

**République algérienne démocratique et populaire**  
**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique**  
**UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ**  
**– BOUIRA –**



Faculté des Sciences et Des Sciences Appliquées

**Mémoire de Master**  
Présenté par :  
**Mr. CHELABI HAMZA**  
**Mr. TALEB ZAHIR**

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

Filière : Génie Civil  
Option : Ingénierie des Matériaux de Construction

**Thème**

**Amélioration des propriétés mécaniques du plâtre de construction  
avec des déchets plastiques et verre.**

**Devant le jury composé de :**

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

Année universitaire :  
2016/2017

---

# *Dédicace*

*Nous dédions ce modeste travail :*

*À celles qu'elles ont veillé sur nous pendant  
toujours, nos chères mères, A nos très chers pères,*

*A toutes nos familles, nos frères, nos sœurs,*

*À tous nos amis*

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

# *Remerciements*

*Le présent travail a été réalisé aux laboratoires de génie civil à l'université UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ BOUIRA.*

*Au terme de ce travail, nous tenons à remercier en premier lieu DIEU Miséricordieux qui nous a donné la volonté et la patience pour achever ce mémoire.*

*Nous adressons nos profondes et respectueuses gratitudee à Monsieur KENNOUCHE Salim directeur de ce mémoire, qui a dirigé ce travail de recherche attentivement et efficacement l'évolution de ce travail.*

*Nous voudrions aussi remercier pour avoir accepté d'évaluer ce travail et pour toutes leurs observations et critiques*

*A tout le personnel de :*

- Laboratoire de recherche de Génie Civil de l'Université de BOUIRA.*

*Nous disons merci à tous nos collègues*

*Enfin, tous les enseignants qui ont contribués à notre formation trouveront ici notre profonde reconnaissance.*



# **Sommaire**

# Sommaire

## Sommaire

<b>Introduction Générale .....</b>	<b>19</b>
<b>I. Introduction .....</b>	<b>22</b>
<b>I.1. Recyclage des déchets.....</b>	<b>22</b>
<b>I.2. Origine de la production des déchets .....</b>	<b>25</b>
<b>I.3. Différents types de déchets .....</b>	<b>25</b>
<b>I.3.1. Déchets ultimes .....</b>	<b>25</b>
<b>I.3.2. Déchets inertes .....</b>	<b>25</b>
<b>I.3.3. Déchets assimilés .....</b>	<b>25</b>
<b>I.3.4. Déchets verts .....</b>	<b>25</b>
<b>I.3.5. Déchets organiques.....</b>	<b>26</b>
<b>I.3.6. Déchets industriels banals (DIB).....</b>	<b>26</b>
<b>I.3.7. Déchets dangereux.....</b>	<b>26</b>
<b>I.3.7.1. Déchets industriels spéciaux (DIS).....</b>	<b>26</b>
<b>I.3.7.2. Déchets ménagers spéciaux (DMS) .....</b>	<b>26</b>
<b>I.4. Technique de recyclage .....</b>	<b>26</b>
<b>I.4.1. Procédés du recyclage .....</b>	<b>26</b>
<b>I.4.2. L'intérêt de la valorisation .....</b>	<b>27</b>
<b>I.4.3. Gestion des déchets.....</b>	<b>27</b>
<b>I.4.3.1. Collecte de déchets.....</b>	<b>27</b>
<b>I.4.3.2. Transformations .....</b>	<b>27</b>
<b>I.4.3.2. Commercialisation et consommation.....</b>	<b>27</b>
<b>I.5. Principe de gestion des déchets .....</b>	<b>28</b>
<b>I.6. Technique de gestion des déchets.....</b>	<b>28</b>
<b>I.6.1. Décharge.....</b>	<b>28</b>
<b>I.6.2. Incinération.....</b>	<b>28</b>
<b>I.6.3. Compost et fermentation .....</b>	<b>28</b>
<b>I.6.4. Traitement biologique et mécanique : .....</b>	<b>29</b>
<b>I.6.5. Pyrolyse et gazéification : .....</b>	<b>29</b>
<b>I.7. Impacts du recyclage sur l'environnement .....</b>	<b>30</b>
<b>I.8. Déchets en Algérie .....</b>	<b>30</b>
<b>I.8.1. Valorisation du laitier en Algérie.....</b>	<b>31</b>
<b>I.8.2. Valorisation des déchets et sous produits dans le domaine des travaux publics .....</b>	<b>32</b>

# Sommaire

I.8.2.1. Pneus usagés et déchets plastiques : .....	32
I.9. Valorisation et Recyclage des Déchets Plastiques dans le Béton.....	32
I.10. Valorisation des Déchets de copeaux de bois dans le plâtre .....	33
I.11. Conclusion.....	35

## CHAPITRE II : Généralité sur les Matériaux Composites

I. INTRODUCTION.....	37
II.2. MATÉRIAUX COMPOSITES .....	37
II.2.1. Caractéristiques générales.....	37
II.2.2. CLASSIFICATION DES MATÉRIAUX COMPOSITES .....	39
II.2.3. Classification suivant la forme des constituants .....	40
II.2.3.1. Composites à fibres .....	40
II.2.3.2. Composites à particules .....	40
II.2.4. Classification suivant la nature des constituants.....	41
II.2.5. Différents types de fibres .....	42
II.2.5.1. Fibres naturelles .....	42
II.2.5.2. Fibres artificielles .....	42
II.2.6. La microstructure des composites : renforts et matrice .....	43
II.2.7. Géométrie des renforts.....	44
II.2.8. Renforts et propriétés mécaniques .....	44
II.3. L'INTÉRÊT DES COMPOSITES : .....	45
II.3.1. Avantages et inconvénients des composites.....	46

## CHAPITRE III : Composite à matrice Plâtre

Partie I.....	48
III. Généralité sur le Plâtre .....	48
III.1. Introduction .....	48
III.2. Plâtre [FLEURUS] .....	48
III.2.1. Descriptif du produit.....	Erreur ! Signet non défini.
III.3. Evolution de l'utilisation du plâtre .....	48
III.3.1. Matière première.....	49
III.3.1.1. Gypse et anhydrite .....	49
III.3.1.2. Le gypse naturel .....	49
III.3.2. Formes cristallines.....	49

# Sommaire

III.3.3. Caractéristiques physico-chimiques .....	50
III.3.4. Anhydrite .....	50
III.3.5. Le gypse de synthèse .....	51
III.3.6. Structure cristalline du gypse.....	52
III.4. Fabrication de plâtre.....	53
III.5. Les différents types de plâtres.....	55
III.6. Propriétés physiques du plâtre.....	55
III.6.1. Prise .....	55
III.6.2. Les facteurs agissants sur la prise .....	57
III.6.3. Durcissement.....	57
III.6.4. Isolation thermique et régulation de l'hygrométrie.....	57
III.6.4.1. Isolation acoustique .....	57
III.6.4.2. Isolation phonique .....	57
III.6.5. Résistance au feu .....	58
III.7. Propriétés mécanique et mise en œuvre du plâtre.....	58
III.7.1 Pâte pure de plâtre .....	58
III.7.1.1. Propriétés de la pâte pure .....	58
III.8. Utilisations du plâtre .....	59
Partie II .....	60
III.9. Valorisation et Recyclage des Déchets Plastiques dans MC .....	60
III.9.1. Introduction .....	60
III.10. Histoire du plastique .....	61
III.11. Déchets à base de polymère .....	62
III.12. Intérêt économique du recyclage des plastiques.....	62
III.13. Différents polymères réutilisables sous forme de granulats .....	63
III.13.1. Polystyrène expansé (EPS).....	63
III.13.2. Polyéthylène téréphtalate (PET) .....	63
III.14. Le feillard en plastique .....	63
III.14.1. Le feillard polypropylène PP .....	63
III.14.2. Le feillard polyester PET .....	64
III.15. Généralité sur la poudre de verre .....	66
III.15.1. Introduction .....	66
III.16. La poudre de verre .....	66
III.17. Valorisation des déchets de verres dans le ciment blanc et CPj.....	67
III.18. Incorporation de la poudre de verre dans le béton .....	69

# Sommaire

## CHAPITRE IV : Partie Experimental

<b>IV. Caractérisations des matériaux et techniques expérimentales .....</b>	<b>71</b>
<b>IV.1. Caractérisation des matériaux utilisés .....</b>	<b>71</b>
<b>IV.1.1. Plâtre .....</b>	<b>71</b>
<b>IV.2. Caractérisations physiques.....</b>	<b>71</b>
<b>IV.2.1. Consistance normale.....</b>	<b>71</b>
<b>IV.2.2. La prise .....</b>	<b>72</b>
<b>IV.2.3. Eau de gâchage.....</b>	<b>72</b>
<b>IV.2.4. Poudre de verre.....</b>	<b>72</b>
<b>IV.2.5. Déchet plastique (feuillard en polyester) .....</b>	<b>73</b>
<b>IV.3. Caractérisation Mécanique .....</b>	<b>73</b>
<b>IV.3.1. Résistances mécaniques.....</b>	<b>73</b>
<b>IV.4. Mise en œuvre des composites et confection des éprouvettes .....</b>	<b>76</b>
<b>IV.5. Étude des propriétés mécaniques.....</b>	<b>81</b>
<b>IV.5.1. Résistance à la flexion .....</b>	<b>81</b>
<b>IV.6. Résistance à la compression.....</b>	<b>87</b>
<b>IV.6.1. Discussion et interprétation .....</b>	<b>89</b>
<b>IV.7. Résistance à la traction .....</b>	<b>90</b>
<b>IV.7.1. Discussion et interprétation .....</b>	<b>91</b>
<b>Conclusion Générale et perspectives .....</b>	<b>94</b>

# Abréviations

## Abréviations

- **PV** : Poudre de Verre
- **FP** : Feuillard en Plastique

### CHAPITRE I :

- **DMA** : déchets ménagers et assimilés
- **DND** : déchets non dangereux
- **FFOM** : fraction fermentescible des ordures ménagères
- **OM** : ordures ménagères
- **DTQS** : déchets toxiques en quantité dispersé
- **TMB** : traitement mécanique et biologique
- **CACI** : chambre algérienne de commerce et d'Industrie
- **AND** : l'Agence Nationale des Déchets
- **GIZ** : l'agence de coopération internationale allemande pour le développement
- **SAFEX** : Société Algérienne des Foires et Exportations

### CHAPITRE II :

- **MC** : Matériaux Composites
- **PET** : Polyester

### CHAPITRE III :

- **éq** : Équation
- **T.H.D** : très haute dureté
- **PVC** : polychlorure de vinyle
- **PMMA** : polyméthacrylate de méthyle
- **PEBD** : polyéthylène basse densité
- **PEHD** : polyéthylène haute densité
- **PC** : polycarbonate
- **PP** : polypropylène
- **PTP** : polyuréthane thermoplastique
- **PA** : polyamide
- **EPS** : Polystyrène expansé

### CHAPITRE IV :

- **LRGC** : Laboratoire de recherche de génie civil
- **P<sub>réf.</sub>** : Plâtre Témoin - **P<sub>fp</sub>** : Plâtre + fibre plastique - **P<sub>pv</sub>** : Plâtre + poudre de verre

# SYMBOLES

## SYMBOLES

<b>Symboles</b>	<b>Désignations</b>	<b>Unités</b>
<b>MV</b>	<b>Masse volumique</b>	<b>(Kg/m<sup>3</sup>)</b>
<b><math>\gamma_s</math></b>	<b>Masse volumique absolue</b>	<b>(Kg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>E/C</b>	<b>Consistance normale du ciment</b>	<b>-</b>
<b>E/P</b>	<b>Consistance normale du plâtre</b>	<b>-</b>
<b>R<sub>f</sub></b>	<b>Résistance à la flexion</b>	<b>(MPa)</b>
<b>R<sub>c</sub></b>	<b>Résistance à la compression</b>	<b>(MPa)</b>
<b>L</b>	<b>Distance entraxe des rouleaux d'appuis de l'éprouvette</b>	<b>(mm)</b>
<b>F<sub>f</sub></b>	<b>Charge à la rupture en flexion</b>	<b>(N)</b>
<b>F<sub>c</sub></b>	<b>Charge à la rupture en Compression</b>	<b>(N)</b>
<b>F</b>	<b>Force</b>	<b>(N)</b>
<b>b</b>	<b>Largeur de la section carrée du prisme</b>	<b>(mm)</b>
<b>e</b>	<b>L'épaisseur</b>	<b>(m)</b>
<b>É</b>	<b>Électricité</b>	<b>KWh</b>
<b><math>\lambda</math></b>	<b>Conductivité thermique</b>	<b>(W/m.K)</b>
<b>T° (max)</b>	<b>Température Max</b>	<b>(°C)</b>
<b>E</b>	<b>Module de Young</b>	<b>-</b>

# Liste des figures

## CHAPITRE I : Valorisation des déchets

Figure I. 1 : Stratégies de traitement des déchets.....	24
Figure I. 2: Valorisation des déchets. ....	24
Figure I. 3: Type des déchets plastiques utilisés .....	32
Figure I. 4: déchets des copeaux de bois.....	33
Figure I. 5 : Variation de la résistance à la flexion pour la composition plâtre + déchet de copeaux de bois avec le temps. ....	34
Figure I. 6: Variation de la résistance à la flexion pour la composition plâtre + déchet de copeaux de bois à l'âge de 28jours.....	34

## CHAPITRE II : Généralité sur les matériaux composites

Figure II. 1 : Matériaux composite .....	39
Figure II. 2: Exemples de multi-matériaux : (a) un composite carbone/époxy, (b) un béton armé, (c) du bois vu au microscope optique, (d) une lame d'acier de Damas. ....	41
Figure II. 3: Les fibres organique et inorganique .....	42
Figure II. 4: Fibre de polyester PET de LEFICO .....	43
Figure II. 5: Différentes forme de fibres métalliques.....	43
Figure II. 6: Fibre de verre Cem-FIL.....	43
Figure II. 7: Fibre de carbone .....	42
Figure II. 8: Les structures géométriques des composites : (A) fibres longues, (B) fibres courtes, (C) particules.....	44

## CHAPITRE III : Composite à matrice plâtre

Figure III. 1: Images de gypses naturelles : (a, d) Gypse rose des sables, (b) gypse en fer de lance, (c, e) gypse.....	50
Figure III. 2 : Projection de la structure cristalline du gypse .....	52
Figure III. 3: Influence du rapport E/P sur la densité.....	58
Figure III. 4: Influence du rapport E/P sur les résistances mécaniques. ....	59
Figure III. 5: Utilisations du plâtre.....	60

# Liste des figures

Figure III. 6: Feuillards plastiques pour le cerclage .....	64
Figure III. 7: Feuillards étroits en Polypropylène PP .....	64
Figure III. 8 : Feuillard en polyester Haute résistance PET .....	65
Figure III. 9: Déchets de verre .....	68
Figure III. 10: Poudre de verre .....	68
Figure III. 11: MEB d'une poudre de verre .....	68

## CHAPITRE IV : PARTIE EXPÉRIMENTAL

Figure IV. 1: Plâtre Knauf FLEURIS utilisé.....	71
Figure IV.2: Poudre de verre .....	72
Figure IV. 3: Déchets utilisés Feuillard en polyester .....	73
Figure IV. 4: RP 3000XP/P sur Pied .....	73
Figure IV. 5: Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion .....	74
Figure IV. 6: Dispositif pour l'essai de résistance à la compression.....	74
Figure IV.7: Essais de flexion 03 points des éprouvettes témoins Mélange 01 .....	83
Figure IV.8: Essais de flexion 03 points des éprouvettes de Mélange 02 (Plâtre + 02% FP) .....	84
Figure IV. 9: Essais de flexion 03 points des éprouvettes de Mélange 03 (Plâtre + 01% FP) .....	84
Figure IV. 10: Essais de flexion 03 points des éprouvettes de Mélange 04 (Plâtre + 01% FP + 5%PV).....	85
Figure IV.11: Essais de flexion 03 points des éprouvettes de Mélange 05 (Plâtre + 02% FP + 5%PV).....	85
Figure IV. 12: Essais de flexion 03 points des éprouvettes de Mélange 06 (Plâtre + 01% FP + 10%PV).....	85
Figure IV.13: Essais de flexion 03 pts des épr du Mélange 07 (Plâtre + 02% FP +10%PV) .....	85
Figure IV.14: Essais de Compression .....	88
Figure IV.15: Traction des FP .....	90
Figure IV.16: Essais de traction sur la FP .....	90

# Liste des Tableaux

## CHAPITRE I : Valorisation des déchets

Tableau I. 1: Variation de la résistance à la flexion pour la composition plâtre + déchet de copeaux de bois.....	33
---	----

## CHAPITRE II : Généralité sur les matériaux composites

Tableau II. 1: Exemples de matériaux composites, pris au sens large. ....	38
---	----

## CHAPITRE III : Composite à matrice plâtre

Tableau III. 1: Critères de qualité pour le gypse de désulfuration comme matière première .....	52
Tableau III. 2: Solubilité en grammes, du sulfate de calcium, par kg d'eau .....	52
Tableau III. 3: Phases de déshydratation du gypse.....	54
Tableau III. 4: Propriétés caractéristiques des deux variétés usuelles de semi-hydrate ....	54
Tableau III. 5: composition chimique des matériaux. ....	67
Tableau III. 6: AFFAISSEMENT DES BETONS.....	69

## CHAPITRE IV : PARTIE EXPÉRIMENTAL

Tableau IV. 1: Temps de prise du plâtre normalisé.....	72
Tableau IV. 2: Mélange de plâtre pur (Préf). ....	76
Tableau IV. 3: constitué de plâtre avec différents pourcentages du feuillard en plastique de teneur de 01% à 02%, noté Pfp (01%) à Pfp(02%).....	77
Tableau IV. 4: Pâte pure en plâtre avec ajouts de poudre de verre et de teneur de 05% à 10%, noté Ppv (05%) à Ppv (10%).....	78
Tableau IV. 5: constitué de plâtre avec ajouts de poudre de verre de teneur de 05% avec pourcentage du feuillard en plastique de 01% .....	79

# Liste des Tableaux

<b>Tableau IV. 6: constitué de plâtre avec ajouts de poudre de verre de teneur de 05% avec pourcentage du feuillard en plastique de 02% .....</b>	<b>79</b>
<b>Tableau IV. 7: constitué de plâtre avec ajouts de poudre de verre de teneur de 10% avec pourcentage du feuillard en plastique de 01% .....</b>	<b>80</b>
<b>Tableau IV. 8: constitué de plâtre avec ajouts de poudre de verre de teneur de 10% avec pourcentage du feuillard en plastique de 02% .....</b>	<b>81</b>
<b>Tableau IV. 9: Variation de la résistance à la flexion pour les mélanges Témoins .....</b>	<b>81</b>
<b>Tableau IV. 10: Variation de la résistance à la flexion pour le mélange 2.....</b>	<b>82</b>
<b>Tableau IV. 11: Variation de la résistance à la flexion pour le mélange 3.....</b>	<b>82</b>
<b>Tableau IV. 12: Variation de la résistance à la flexion pour le mélange 4.....</b>	<b>82</b>
<b>Tableau IV. 13: Variation de la résistance à la flexion pour le mélange 5.....</b>	<b>83</b>
<b>Tableau IV. 14: Variation de la résistance à la flexion pour le mélange 6.....</b>	<b>83</b>
<b>Tableau IV. 15: Variation de la résistance à la flexion pour le mélange 7.....</b>	<b>83</b>
<b>Tableau IV. 16: Résistance à la compression pour les témoins.....</b>	<b>87</b>
<b>Tableau IV. 17: Résistance à la compression des éprouvettes de 05% PV .....</b>	<b>87</b>
<b>Tableau IV. 18: Résistance à la compression des éprouvettes de 10% FP .....</b>	<b>87</b>
<b>Tableau IV. 19: Résistance à la compression des éprouvettes de 01% FP .....</b>	<b>87</b>
<b>Tableau IV. 20: Résistance à la compression des éprouvettes de 02% FP .....</b>	<b>88</b>
<b>Tableau IV. 21: Résistance à la compression des éprouvettes de 01% FP+05% PV .....</b>	<b>88</b>
<b>Tableau IV. 22: Résistance à la compression des éprouvettes de 01% FP+10% PV .....</b>	<b>88</b>
<b>Tableau IV. 23: Résistance à la compression des éprouvettes de 10% PV .....</b>	<b>88</b>
<b>Tableau IV. 24: Calcul Module de Young.....</b>	<b>90</b>
<b>Tableau IV. 25: Coefficient de corrélation [éprouvettes 4x4x16 cm<sup>3</sup>].....</b>	<b>92</b>
<b>Tableau IV. 26: Coefficient de corrélation [éprouvettes 4x4x4 cm<sup>3</sup>].....</b>	<b>92</b>

# Résumé

## Résumé

Le plâtre est un matériau de construction largement utilisé dans les travaux de finition des constructions, connu pour ses qualités, qui lui permettent une demande croissante dans le marché de la construction, c'est un matériau favorable à la protection de l'environnement, très malléable, de faible densité, aussi son isolation thermique et phonique, régulateur de l'hygrométrie des enceintes), décoratif, ... Ce qui rend l'intérêt croissant à ce matériau. La fragilité du plâtre pose un problème lors de la conception des pièces décoratives, ce fragilité est un défaut préoccupant pour l'utilisateur, dans ce sens que notre travail est lancé, par un renforcement du plâtre par des fibres sous forme de déchet plastique utilisé tel que les cordons d'attache pour les palettes de briques rouges au niveau des briqueteries, le déchet plastique transformer en fibres, incorporée à deux (02) pourcentages, 1 et 2 % dans les éprouvettes élaborées, ce qui permet d'évaluer l'effet de l'ajout de la fibre sur les résistances en flexion et de valoriser les déchets plastiques, les résultats confirment l'avantage de l'ajout de la fibre par une amélioration de la contrainte en flexion, ainsi que le changement du comportement du plâtre renforcé, d'autre part notre travail propose aussi un ajout de déchet de verre sous forme de poudre de 5 à 10 % de la masse du liant (plâtre), les résultats montrent une amélioration de la résistance en compression des éprouvettes élaborées.

**Mots clés** : Plâtre de construction, fibre plastiques, poudre de verres, contraintes de rupture.

# ملخص

## ملخص

الجبس هو من مواد البناء الأولية والمستخدم على نطاق واسع في أعمال وتهيئة المباني، وهو معروف بخصائصه التي تسمح بالطلب المتزايد في سوق البناء، ويعتبر من المواد الملائمة لحماية البيئة، له كثافة منخفضة، يعتبر مادة من مواد العزل الحراري والصوتي، له خاصية التحكم في الرطوبة، زخرفي... إلخ. مما ساهم في الاهتمام المتزايد في اقتناء هذه المادة والاعتماد عليها. تعتبر هشاشة الجبس مشكلة في تصميم القطع الزخرفية، هذه الهشاشة عبارة عن عيب يعيق المستخدم، وعلى هذا المسار بدأ عملنا الذي يتمثل في تعزيز الجص بواسطة ألياف المتمثلة في شكل نفايات البلاستيكية التي قمنا بتدويرها وتحويلها واستعمالها كليف للتعزيز، تم استخدام النفايات البلاستيكية إلى ألياف بمعدلين من 1% إلى 2% في عينات الاختبار، مما يسمح بالتأثير على قوة الانحناء وإعادة تدوير النفايات من جهة أخرى. والنتائج تؤكد مرة أخرى ميزة إضافة الألياف بتحسين قوة الانحناء وكذلك تغيير في سلوك الجبس. من ناحية أخرى يقترح عملنا مرة أخرى إلى إضافة نفاية الزجاج المطحونة والمحولة على شكل مسحوق بمقادير من 05% إلى 10% من كتلة الجبس المستخدم، النتائج تبين وجود تحسن في قوة الضغط على قطع العينات المستخدمة سابقا في تجربة الانحناء.

**الكلمات المفتاحية:** جص البناء، الألياف البلاستيكية، مسحوق الزجاج، جهد الانكسار

## **Abstract**

Plaster is a building material widely used in finishing work for buildings, known for its qualities, which allow it a growing demand in the construction market, it is a material favorable to the protection of the environment, very Malleable, low density, also its thermal and sound insulation, regulator of the hygrometry of the enclosures), decorative, the fragility of plaster poses a problem in the design of decorative pieces with more or less important languor, this fragility is a disturbing fault for the user, in the sense that our work is launched, by reinforcement of the material by fibers In the form of plastic waste used such as the fastening cords for the red brick pallets in the brickyards, the plastic waste transform into fibers, incorporated into two (2) percentages, 1 and 2% in the elaborated test pieces, Allows to evaluate the effect of the addition of the fiber on the flexural strengths and to enhance the plastic waste, the results confirm the advantage of adding the fiber by an improvement in the flexural stress as well as The change in the behavior of the reinforced plaster, on the other hand our work also proposes an addition of glass waste in the form of powder from 5 to 10% of the mass of the binder (plaster Re).The results show an improvement in the compressive strength of the elaborated specimens.

**Keywords:** Plaster of construction, plastic fiber, powder of glasses, stresses of rupture.

# Introduction Générale

---

## Introduction Générale

L'Algérie est un pays en développement, ce qui augmente le taux de déchets générés par les acteurs économiques. La prise en charge des déchets est parmi les priorités inscrite par les pouvoirs publiques, d'autant plus que les déchets peuvent être injecter directement dans plusieurs domaines, notamment le secteur de la construction, qui s'intéresse de plus en plus à la valorisation des déchets, vu l'obligation de la prise en charge des déchets par la réglementions en vigueur, et l'importance économique, environnementale ainsi que technique que certains déchets inertes (plastique, verre, produits céramiques.....etc.) peuvent apporter au secteur de la construction, bien entendu, des mesures doivent être pris en compte en amant, entre autres ; l'étude des propriétés des déchets afin de bien cerner leur utilisation. La recherche actuelle sur les matériaux s'intéresse au développement de nouveaux composites et matériaux de construction, dans le but d'améliorer les propriétés mécaniques, physiques et durabilité de ces matériaux. Parmi ces matériaux, qui peuvent être exploités, notamment le plâtre, le verre sous forme de poudre, et les déchets plastiques utilisés comme fibres de renfort.

La plupart des pays du monde souffrent d'une pénurie des ressources en granulats, ce qui nous pousse à chercher des solutions permettant la valorisation de ces matériaux disponibles localement en abondance et d'essayer de les utiliser dans différents domaines de construction.

D'après des études géologiques, l'Algérie dispose d'abondantes ressources en gypse naturel dont la teneur dépasse les 75% requis pour la construction, qu'est utilisé comme enduit ou en éléments préfabriqués pour réaliser des cloisons légères, avec un faible prix de revient. Toutefois, l'inconvénient du plâtre de construction, est ses faibles résistances mécaniques en flexion et en compression, qui font lui un matériau de finition dans la construction.

Ce qu'a susciter un intérêt scientifique, dont l'objectif converge à l'amélioration des propriétés mécanique du plâtre, par le renforcement par des fibres, synthétiques ou végétale afin d'élargir son champ d'application. Par ailleurs, l'utilisation du verre comme emballage en verre en Algérie génère beaucoup de déchets polluants et nuisibles à l'environnement. Dans ce contexte, il semblerait avantageux de prévoir le recycler du verre sous forme de poudre ou autres formes.

C'est dans cette optique que notre travail est axé, le but principal de cette étude est le développement d'un mortier de plâtre renforcé par des fibres de déchets plastique, ainsi qu'une addition de la poudre de verre (PV), permettant ainsi à apporter notre contribution à la valorisation de deux types de déchets, à savoir le verre et le plastique.

Notre étude est focalisée sur deux objectifs essentiels :

- Étude de composition d'une pâte de plâtre témoin, et du plâtre renforcé par des déchets plastiques sous fibres.
- L'amélioration de certaines propriétés physiques et mécaniques du plâtre, par addition d'une quantité de poudre de verre.

Ce travail est scindé en quatre chapitres :

- Le premier chapitre est une recherche bibliographique :

Nous allons exposer les différents types de déchets dans le domaine de génie civil, ainsi que les possible valorisation des déchets dans la construction.

- Le deuxième chapitre, est consacré à une présentation des matériaux composites en général dans le domaine du génie civil.
- Dans le troisième chapitre, est principalement consacré à l'étude des principales propriétés physique, chimiques et mécaniques des matériaux étudiés : le plâtre, poudre verre, et les déchets plastique.
- Le quatrième chapitre, est consacré à la partie expérimentale, dont laquelle nous allons exposer la méthode, les mélanges et les variantes préparées, ainsi que la méthode de caractérisation des éprouvettes réaliser, suivit d'une analyse des résultats.
- Enfin, nous présentons une conclusion générale sur le travail réaliser, ainsi que des recommandations.

# **CHAPITRE I**

## **VALORISATION DES DÉCHETS**

# I. Introduction

---

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.

Avant de valoriser un déchet, il faut connaître son origine, l'analyser, caractériser son état actuel et son comportement dans le temps et évaluer son traitement. Il s'agit donc de « mesurer pour connaître et connaître pour agir ». L'approche globale du déchet permettra d'en définir son devenir, à savoir quel type de valorisation choisir.

« Toute personne qui produit ou détient des déchets, dans des Conditions de nature à produire des effets nocifs sur le sol, la flore et la faune, à dégrader les sites ou les paysages, à polluer l'air ou les eaux, à engendrer des bruits et des odeurs et, d'une façon générale, à porter atteinte à la santé de l'homme et à l'environnement, **est tenue d'en assurer ou d'en faire assurer l'élimination** conformément aux dispositions du Code de l'Environnement, dans des conditions propres à éviter les dits effets. » [1]

Dans ce chapitre, nous allons parler sur la gestion des différents types de déchets et les techniques de traitement ou d'élimination ; ainsi le recyclage et la réutilisation des déchets dans le domaine de génie civil.

## I.1. Recyclage des déchets

### ❖ Définition d'un déchet

Selon l'**article L541-1-1 du Code de l'Environnement**, un déchet est défini comme « toute substance ou tout objet, ou plus généralement tout bien meuble, dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire ». En fonction de leurs types et de leurs origines, les déchets ont un niveau de dangerosité variable qui, dans certains cas, peut être préjudiciable à l'homme et à l'environnement. [2]

Les déchets peuvent être classés en trois catégories :

- Les déchets dangereux, qui présentent une ou plusieurs propriétés dangereuses (comburant, inflammable, explosif, corrosif, cancérigène...) (**décret n° 2002-540 du 18 avril 2002**),
- Les déchets non dangereux, qui ne figurent pas dans le **décret n° 2002-540 du 18 avril 2002**,
- Les déchets inertes, qui ne sont pas dangereux et ne contiennent pas de constituants évolutifs. Ils « ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune autre réaction physique ou chimique, 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 » (**directive n° 1999/31/CE**). Ils proviennent essentiellement du secteur du BTP.

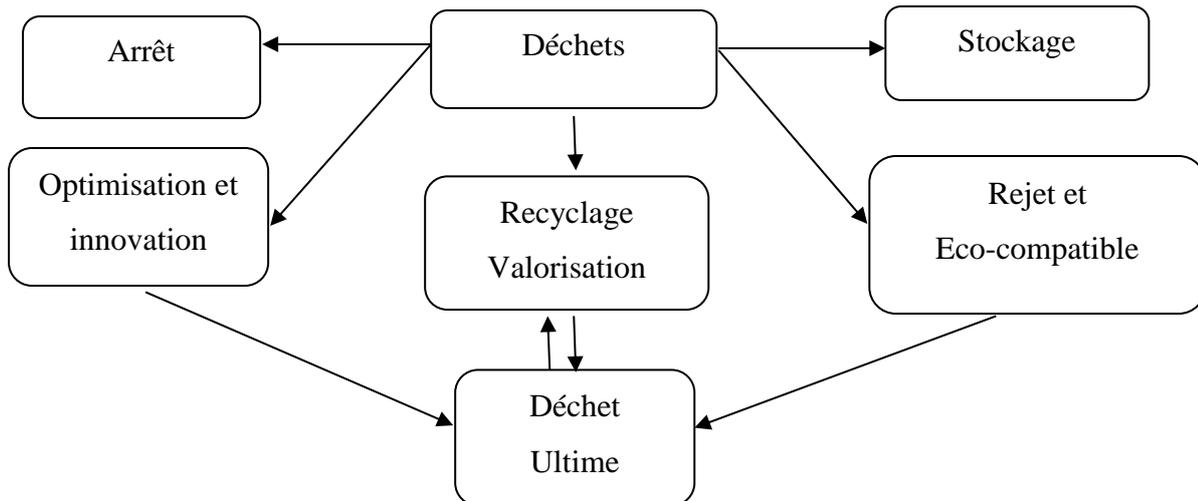
**Anciennement appelés déchets ménagers et assimilés (DMA) (arrêté du 19 janvier 2006), les déchets non dangereux (DND) regroupent tous les déchets, dont l'innocuité est garantie, en provenance de l'intégralité des activités économiques et des ménages.**

#### ❖ Définition de recyclage

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets industriels et des déchets ménagers qui permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui le composent.

Le recyclage a deux conséquences écologiques majeures : la réduction du volume de déchets et la préservation des ressources naturelles. Certains procédés sont simples et bon marché mais, à l'inverse, d'autres sont complexes, coûteux et peu rentables. Dans ce domaine, les objectifs de l'écologie et ceux des consommateurs se rejoignent mais parfois divergent ; c'est alors le législateur qui intervient. Ainsi, en particulier depuis les années 70, le recyclage est une activité importante de l'économie et des conditions de vie des pays développés. Le recyclage s'inscrit dans la stratégie de traitement des déchets dite des trois R :

- réduire, qui regroupe tout ce qui concerne la réduction de la production de déchets,
- réutiliser, qui regroupe les procédés permettant de donner à un produit usagé un nouvel usage.
- Le recyclage apporte une contribution importante à la baisse des quantités de déchets à éliminer par enfouissement et par incinération, mais il n'est pas suffisant pour contrer l'augmentation de la production des déchets ou y suffit à peine. [4]

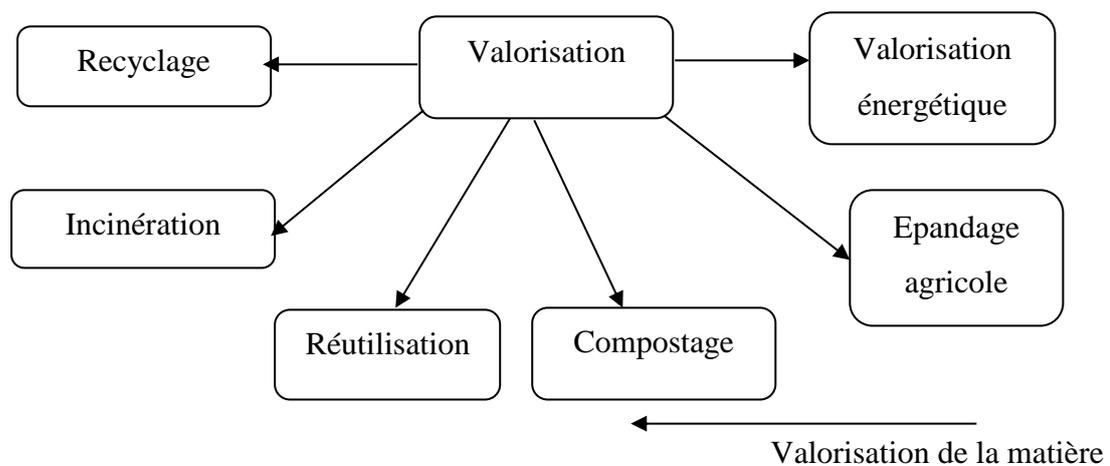


**Figure I. 1 : Stratégies de traitement des déchets. [7]**

Leur mise en œuvre concrète passe par un certain nombre de filières techniques, elles articulent autour des objectifs généraux suivants :

- ❖ Valorisation énergétique.
- ❖ Valorisation en matière première organique et minérale.
- ❖ Valorisation en science des matériaux.
- ❖ Valorisation en agriculture.
- ❖ Valorisation en technique de l’environnement.
- ❖ Technique dite d’élimination.

Les objectifs précédents sont illustrés dans la figure I.2



**Figure I. 2: Valorisation des déchets [7].**

## **I.2. Origine de la production des déchets**

La production des déchets est inéluctable pour les raisons suivantes :

- Biologiques : tout cycle de vie produit des métabolites ;
- Chimiques : toute réaction chimique est régie par le principe de la conservation de la matière et dès que veut obtenir un produit à partir de deux autres on en produira un quatrième ;
- Technologiques : tout procédé industriel conduit à la production de déchet ;
- Économiques : les produits en une durée de vie limitée ;
- Écologiques : les activités de la dépollution (eau, air) génèrent inévitablement d'autres déchets qui nécessiteront une gestion spécifique ;
- Accidentelles : les inévitables dysfonctionnements des systèmes de production et de consommation sont eux aussi à l'origine de déchets.

## **I.3. Différents types de déchets**

### **I.3.1. Déchets ultimes**

Le déchet ultime c'est un déchet, qui n'est plus 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. [4]

### **I.3.2. Déchets inertes**

Déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante, ne se décompose pas, ne brûle pas, et ne produit aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradable et ne détériore pas d'autres matières avec lesquelles il entre en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine. Ces déchets sont admissibles dans les installations de stockage et proviennent essentiellement des chantiers de bâtiment et de travaux publics ou d'industries de fabrication de matériaux de construction. Ce sont notamment les déchets suivants :

Les bétons, les tuiles et les céramiques, les briques, les déchets de verre, les terres, les enrobés bitumeux.

### **I.3.3. Déchets assimilés**

Les déchets ménagers et assimilés recouvrent les ordures ménagères (OM) qui proviennent des ménages et tous les déchets gérés comme tels par les collectivités locales (déchets des artisans ou commerçants).

### **I.3.4. Déchets verts**

Ce sont les déchets végétaux des parcs et jardins (gazon, branchages...)

**I.3.5. Déchets organiques**

Les termes suivants recouvrent la même notion : biodéchets ou déchets fermentescibles ou FFOM (fraction fermentescible des ordures ménagères). Il s'agit de :

- ❖ déchets végétaux des parcs et jardins (déchets verts)
- ❖ déchets organiques de la cuisine (restes de repas, épluchures, papiers essuie-tout, papier journal, fleurs coupées, marc de café, filtres à café, sachets de thé, coquilles d'œufs, etc....- boues

**I.3.6. Déchets industriels banals (DIB)**

Ils regroupent l'ensemble des déchets non dangereux produits par les industriels et par les entreprises du commerce, de l'artisanat, des services et de l'administration, de la métallurgie, la peinture, la chimie et la pétrochimie. Ce sont des déchets d'emballage, des déchets d'entretien et les matériels en fin de vie.

**I.3.7. Déchets dangereux****I.3.7.1. Déchets industriels spéciaux (DIS)**

Ces déchets figurent en raison de leurs propriétés dangereuses, exemple : déchets contenant de l'arsenic, du plomb ; constitués de boues de peinture, d'hydrocarbures ; provenant de l'industrie pétrolière, etc....

**I.3.7.2. Déchets ménagers spéciaux (DMS)**

Ce sont les déchets à risque contenus dans les déchets ménagers, tels que les aérosols, colles, détergents, détachants insecticides, peintures, piles, tubes néon, produits de nettoyage. Il peut s'agir de ce qu'on appelle également les DTQS : déchets toxiques en quantité dispersés.

**I.4. Technique de recyclage****I.4.1. Procédés du recyclage**

Il existe trois grandes familles de techniques de recyclage : chimique, mécanique et organique. Le recyclage dit « chimique » utilise une réaction chimique pour traiter les déchets, par exemple pour séparer certains composants. Le recyclage dit « mécanique » est la transformation des déchets à l'aide d'une machine, par exemple pour broyer.

Le recyclage dit « organique » consiste, après compostage ou fermentation, à produire des engrais et du carburant tel que le biogaz.

**I.4.2. L'intérêt de la valorisation**

POURQUOI VALORISER ? Pour porter de plus en plus à la valorisation des déchets et des sous produits industriels est lié à la fois à la crise de l'énergie, à la diminution des ressources mondiales en matières premières et enfin la législation qui devient très sévère concernant la protection de la nature et l'environnement.

Les arguments peuvent être résumés en :

- ❖ Augmentation de la production.
- ❖ Le coût de stockage ou de traitement est de plus en plus élevé.
- ❖ Une législation de plus en plus sévère.
- ❖ Une meilleure gestion de la recherche.

**I.4.3. Gestion des déchets**

La gestion des déchets est la collecte, le transport, le traitement (le traitement de rebut), la réutilisation ou l'élimination des déchets, habituellement ceux produits par l'activité humaine, afin de réduire leurs effets sur la santé humaine, l'environnement, l'esthétique ou l'agrément local. La gestion des déchets concerne tous les types de déchets, qu'ils soient solides, liquides ou gazeux, chacun possédant sa filière spécifique.

**I.4.3.1. Collecte de déchets**

Les opérations de recyclage des déchets commencent par la collecte des déchets. Les déchets non recyclables sont incinérés ou enfouis en centres d'enfouissement techniques. 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, dite aussi séparative et souvent appelée à tort tri sélectif est la forme la plus répandue pour les déchets à recycler. Le principe de la collecte sélective est le suivant : celui qui crée le déchet le trie lui-même. À la suite de la collecte, les déchets, triés ou non, sont envoyés dans un centre de tri où différentes opérations permettent de les trier de manière à optimiser les opérations de transformation. Le tri manuel est une de ces opérations.

**I.4.3.2. Transformations**

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.4.3.2. 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.

**I.5. Principe de gestion des déchets**

Il y a plusieurs principes de gestion des déchets dont l'usage varie selon les pays ou les régions. La hiérarchie des stratégies (règle des trois R) :

- Réduire
- Réutiliser
- Recycler

**I.6. Technique de gestion des déchets****I.6.1. Décharge**

Stocker les déchets dans une décharge est la méthode la plus traditionnelle de stockage des déchets, et reste la pratique la plus courante dans la plupart des pays. Historiquement, les décharges étaient souvent établies dans des carrières, des mines ou des trous d'excavation désaffectés. Utiliser une décharge qui minimise les impacts sur l'environnement peut être une solution saine et à moindre coût pour stocker les déchets ; néanmoins une méthode plus efficace sera sans aucun doute requise lorsque les espaces libres appropriés diminueront.

**I.6.2. Incinération**

L'incinération est le processus de destruction d'un matériau en le brûlant. L'incinération est souvent appelée « Énergie à partir des déchets » ou « des déchets vers l'énergie » ; ces appellations sont trompeuses puisqu'il y a d'autres façons de récupérer de l'énergie à partir de déchets sans directement les brûler (voir fermentation, pyrolyse et gazéification).

Elle est connue pour être une méthode pratique pour se débarrasser des déchets contaminés, comme les déchets médicaux biologiques. Beaucoup d'organisations utilisent aujourd'hui l'exposition des déchets à haute température pour les traiter thermiquement (cela inclut aussi la gazéification et la pyrolyse).

Cette technique inclut la récupération du métal et de l'énergie des déchets solides municipaux comme le stockage adapté des résidus solides (mâchefers) et la réduction du volume des déchets.

L'incinération est une technique éprouvée et répandue, en Europe comme dans les pays en voie de développement, même si elle est soumise à controverse pour plusieurs raisons.

**I.6.3. Compost et fermentation**

Les déchets organiques, comme les végétaux, les restes alimentaires, ou le papier, sont de plus en plus recyclés. Ces déchets sont déposés dans un composteur ou un digesteur pour contrôler le processus biologique de décomposition des matières organiques et tuer les agents pathogènes.

Le produit organique stable qui en résulte est recyclé comme paillis ou terreau pour l'agriculture ou le jardinage. Il y a un très large éventail de méthodes de compostage et de fermentation qui varient en complexité du simple tas de compost de végétaux à une cuve automatisée de fermentation de déchets domestiques divers.

Ces méthodes de décomposition biologique se distinguent en aérobie, comme le compost, ou anaérobie, comme les digesteurs, bien qu'il existe aussi des méthodes combinant aérobie et anaérobie.

#### **I.6.4. Traitement biologique et mécanique**

Le traitement biologique et mécanique (TBM) est une technique qui combine un tri mécanique et un traitement biologique de la partie organique des déchets municipaux. Le TBM est aussi parfois appelé TMB (traitement mécanique et biologique) cela dépend de l'ordre dans lequel s'effectuent les opérations.

La partie « mécanique » est souvent une étape de tri du vrac. Cela permet de retirer les éléments recyclables du flux de déchets (tels les métaux, plastiques et verre) ou de les traiter de manière à produire un carburant à haute valeur calorifique nommé combustible dérivé des déchets qui peut être utilisé dans les fours des cimenteries ou les centrales électriques.

La partie « biologique » réfère quant à elle à une fermentation anaérobie ou au compostage. La fermentation anaérobie détruit les éléments biodégradables des déchets pour produire du biogaz et du terreau. Le biogaz peut être utilisé pour créer de l'énergie renouvelable.

La partie « biologique » peut aussi faire référence à une étape de compostage. Dans ce cas les composants organiques sont traités par des micro-organismes à l'air libre. Ils détruisent les déchets en les transformant en dioxyde de carbone et en compost. Il n'y a aucune énergie produite par le compostage.

TBM est de plus en plus reconnu comme une méthode efficace dans les pays où les techniques de gestion des déchets évoluent comme le Royaume-Uni ou l'Australie, pays où la compagnie WSN Environmental solutions a pris une position majeure dans le développement des usines de type TBM.

#### **I.6.5. Pyrolyse et gazéification**

La pyrolyse et la gazéification sont deux méthodes liées de traitements thermiques où les matériaux sont chauffés à très haute température et avec peu d'oxygène. Ce processus est typiquement réalisé dans une cuve étanche sous haute pression. Transformant les matériaux en énergie cette méthode est plus efficace que l'incinération directe, plus d'énergie pouvant être récupérée et utilisée.

La pyrolyse des déchets solides transforme les matériaux en produits solides, liquides ou gazeux. L'huile pyrolytique et les gaz peuvent être brûlés pour produire de l'énergie ou être raffinés en d'autres produits.

Les résidus solides (charbon) peuvent être transformés plus tard en produits tels les charbons actifs. La gazéification est utilisée pour transformer directement des matières organiques en un gaz de synthèse appelé syngaz composé de monoxyde de carbone et d'hydrogène.

Ce gaz est ensuite brûlé pour produire de l'électricité et de la vapeur. La gazéification est utilisée dans les centrales produisant de l'énergie à partir de la biomasse pour produire de l'énergie renouvelable et de la chaleur.

### **I.7. Impacts du recyclage sur l'environnement**

Les bénéfices économiques et environnementaux du recyclage sont considérables : il permet de protéger les ressources, de réduire les déchets, de créer des emplois, de protéger la nature et d'économiser les matières premières. Le recyclage permet de réduire l'extraction de matières premières :

- ✓ l'acier recyclé permet d'économiser du minerai de fer ;
- ✓ chaque tonne de plastique recyclé permet d'économiser 700 kg de pétrole brut ;
- ✓ le recyclage de 1 kg d'aluminium peut économiser environ 8 kg de bauxite, 4 kg de produits chimiques et 14 kWh d'électricité (É) ;
- ✓ l'aluminium est recyclable à 100% ; 1 kg d'alu donne 1 kg d'aluminium (après avoir été fondu).
- ✓ chaque tonne de carton recyclé fait économiser 2,5 tonnes de bois ;
- ✓ chaque feuille de papier recyclé fait économiser 11 l'eau et 2,5 kWh d'électricité (É) en plus de 15 g de bois.

### **I.8. Déchets en Algérie**

D'après **Le Salon international de la valorisation des déchets industriels** et Dans le souci de préserver l'environnement, la chambre algérienne de commerce (CACI) organise la première édition du Salon International de la Récupération et de la Valorisation des Déchets Industriels, « Revade 2016 ». Prévu du 05 au 08 octobre au palais des expositions (SAFEX), à Alger, l'événement est parrainé par le ministère du commerce, le ministère des ressources en eau et environnement, et celui de l'Industrie et des Mines.

Placé sous la thématique « Les enjeux économiques du recyclage des déchets industriels », le « Revade » réunira des spécialistes qui auront à aborder différents sujets liés à la protection de notre terre. Entre autres, « la collecte des déchets, le transport et la transformation, les centres d'enfouissement technique, de l'incinération, ou ceux en charge du traitement des eaux industrielles usées ».

Par sa thématique, l'événement vise, comme indiqué par les organisateurs, à « encourager l'investissement dans les nouvelles activités et la création de nouvelles entreprises dans ce domaine ».

Parmi les activités du salon, un programme d'animation sera organisé, en partenariat avec l'Agence Nationale des Déchets (AND) et l'agence de coopération internationale allemande pour le développement (GIZ). D'ailleurs dans son rapport du mois d'avril 2014, la GIZ a fait savoir que « la quantité annuelle des déchets industriels en Algérie est estimée à 2 547 000 tonnes ». [4]

Des déchets répartis en quatre catégories :

- ❖ Les déchets d'emballages et de plastique dont la quantité est estimée à environ 1.2 million de tonnes/an.
- ❖ Les pneus usagés dont la quantité est estimée à plus de 1 million d'unités/ an
- ❖ Les déchets des huiles et des huiles lubrifiantes, dont la quantité est estimée à 110.000 tonnes/an
- ❖ Les déchets électroniques, électriques et électroménagers, dont la quantité est estimée à 18 000 tonnes/an.

### **I.8.1. Valorisation du laitier en Algérie**

L'utilisation des produits de laitier en Algérie est limitée à quelques rares applications malgré sa production qui progresse (500.000 tonnes/an).

En cimenterie, il entre comme un ajout secondaire ne dépassant pas 20 % (cette substitution est faite seulement dans quelques cimenteries).

Et en travaux routiers : A titre d'exemple, le laitier granulé a trouvé une utilisation dans la réalisation de la liaison autoroutière Annaba – Berrahal, où la couche de fondation été réalisée par une grave laitier tout laitier.

Des études intéressantes et récentes ont montré la possibilité d'utiliser les laitiers Algériens (d'El-hadjar) pour :

- ❖ La fabrication des briques silico calcaires à base du laitier.
- ❖ La fabrication du béton cellulaire autoclavé.
- ❖ La fabrication d'un ciment de laitier activé sans clinker. [7]

## I.8.2. Valorisation des déchets et sous produits dans le domaine des travaux publics

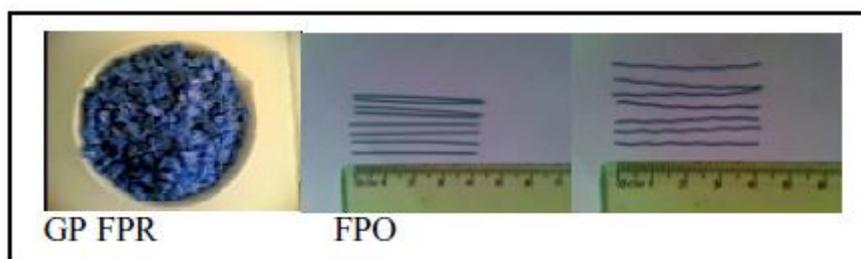
### I.8.2.1. Pneus usagés et déchets plastiques

En Algérie le secteur d'activité œuvre en effet à renforcer ses actions en matière de valorisation des déchets et sous produits industriels notamment les pneus usagés dans les travaux routiers et de génie civil. Cette démarche consiste évidemment à développer et appuyer l'utilisation de ce déchet industriel dans les divers travaux de Génie civil ce qui contribuera d'une part, à la préservation de l'environnement, et d'autre part, à la réduction des coûts induits par l'utilisation des matériaux de plus en plus rares notamment dans certaines régions du pays.

En effet, les pneumatiques usagés constituent un gisement de matières premières secondaires, leur récupération et leur valorisation constituent pour notre pays un impératif économique. La valorisation de ce déchet industriel est à ses premiers balbutiements. Un premier chantier expérimental a été initié par le département ministériel, concernant l'utilisation des pneus réformés en tant que soutènement d'un talus de remblai dans un projet routier (contournement de Bousmail). Les travaux déjà finalisés ont permis de mettre en œuvre 3500 pneus mis à disposition par Michelin Algérie [6].

## I.9. Valorisation et Recyclage des Déchets Plastiques dans le Béton

[Benimam Samir ; DebiebFarid ; Bentchikou Mohamed ; Guendouz Mohamed 2014] au niveau des Laboratoire LBMPT, Université de Médéa, Algérie ; Laboratoire LME (Ex. LPTRR), Université de Médéa, Algérie ont mené des études sur le recyclage des déchets plastiques, dont le rapport E/C =0,5



**Figure I. 3:** Type des déchets plastiques utilisés [5]

L'objectif de ce travail est de valoriser les déchets plastiques et étudier leurs effets sur le comportement du béton. Sur la base des résultats obtenues ils ont conclu que :

- ❖ Le béton de déchets plastiques est peu compact par rapport au béton naturel et présente une difficulté de mélange et de mise en œuvre en fonction du pourcentage et du type d'ajout en déchets plastiques (grains ou fibres).

- ❖ Le béton armé de fibres plastiques (surtout en forme ondulée) résiste mieux à la flexion par la traction en comparaison au béton ordinaire. Néanmoins un risque de retrait supplémentaire est possible pour un dosage élevé en pourcentage de fibres, c'est pourquoi un pourcentage de 1% en fibres à ne pas dépasser est conseillé. [5]

#### I.10. Valorisation des Déchets de copeaux de bois dans le plâtre

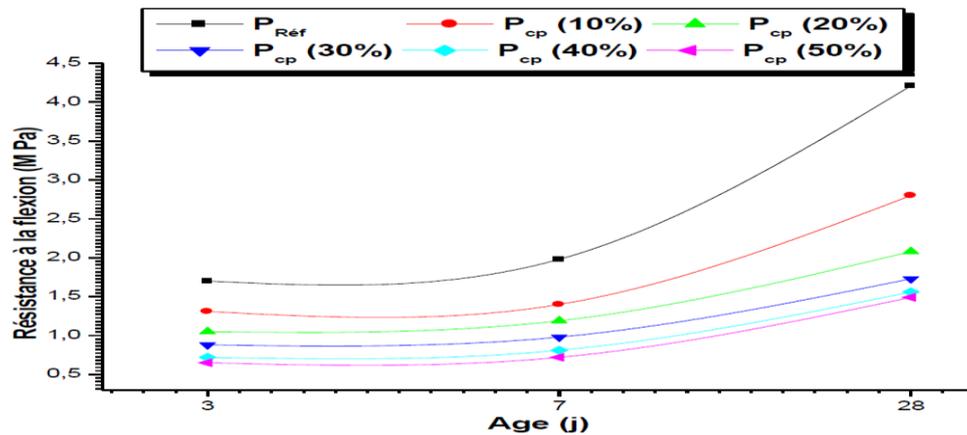
D'après Kassou.Y 2016 qui a fait des recherches sur la valorisation des déchets des copeaux de bois dans le plâtre a pour but de profiter de certaines de leurs caractéristiques physico-thermiques (allègement, isolation thermique), les résultats d'études sont résumés dans le tableau I.1 suivant.



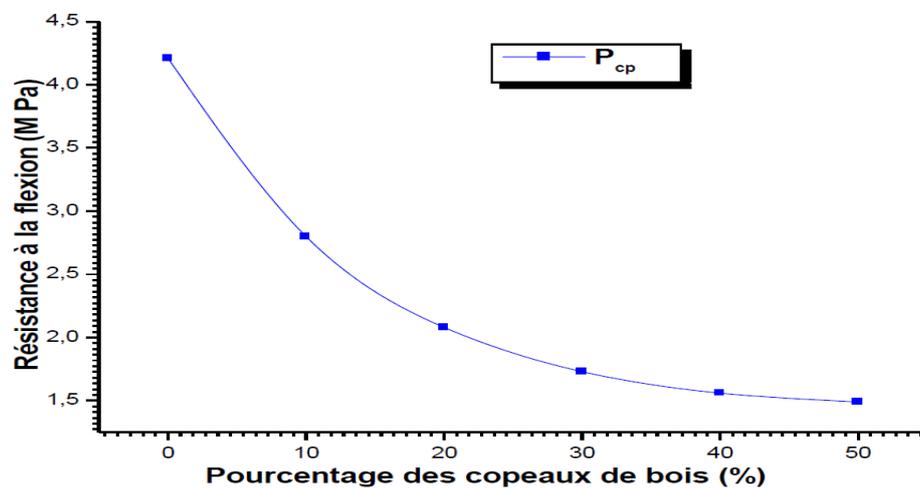
**Figure I. 4:** déchets des copeaux de bois. [8]

**Tableau I. 1 :** Variation de la résistance à la flexion pour la composition plâtre + déchet de copeaux de bois. [8]

Teneurs en copeaux (%)	Composition (MPa)	Age en jours		
		3j	7j	28j
0	P <sub>réf</sub>	1,70 ± 0,119	1,98 ± 0,115	4,21 ± 0,069
10	P <sub>cp</sub> (10%)	1,31 ± 0,011	1,40 ± 0,127	2,80 ± 0,090
20	P <sub>cp</sub> (20%)	1,05 ± 0,117	1,19 ± 0,051	2,08 ± 0,448
30	P <sub>cp</sub> (30%)	0,88 ± 0,058	0,98 ± 0,051	1,73 ± 0,303
40	P <sub>cp</sub> (40%)	0,72 ± 0,033	0,81 ± 0,029	1,56 ± 0,105
50	P <sub>cp</sub> (50%)	0,65 ± 0,044	0,72 ± 0,040	1,49 ± 0,105



**Figure I. 5 :** Variation de la résistance à la flexion pour la composition plâtre + déchet de copeaux de bois avec le temps.



**Figure I. 6:** Variation de la résistance à la flexion pour la composition plâtre + déchet de copeaux de bois à l'âge de 28 jours. [8]

- ❖ D'après la figure I.5, illustre une croissance de la résistance à la flexion avec l'âge. Cela peut être expliqué par le fait que la réaction d'hydratation se poursuit et prend tout le temps nécessaire pour se compléter, ce qui contribue à la croissance de la résistance à la flexion.
- ❖ D'après la figure I.6, montre que la résistance à la flexion à l'âge de 28 jours décroît avec l'augmentation des pourcentages de copeaux de bois. Cette chute de la résistance atteint 1,49 MPa pour la composition plâtre + 50% copeaux de bois. Ceci est tout à fait logique car la résistance à la flexion des compositions à base du plâtre est, comme pour les bétons classiques, une fonction croissante de la masse volumique.

**I.11. Conclusion**

- ❖ Les déchets constituent un réel problème, inhérent à toute vie biologique et à toute activité industrielle, agricole ou urbaine, et à ce titre, la recherche de solutions est une vraie nécessité pour les collectivités.
  
- ❖ L'utilisation des divers déchets en fonction de leur rentabilité d'exploitation et de leurs propriétés. De nombreux types de déchets ne pourront peut-être pas être utilisés à une grande échelle étant donné la diversité de leurs caractéristiques physiques et chimiques.
  
- ❖ La valorisation des déchets reste ouverte, à d'autres utilisations et possibilités, permettant ainsi d'élargir la gamme des matériaux de construction, de réduire les déchets à la source et de développer l'utilisation des matériaux recyclés dans les chantiers.

# **Chapitre II**

## **Généralités sur les matériaux composites**

---

---

## I. INTRODUCTION

Aujourd'hui l'utilisation des matériaux composites Dans les applications industrielles tend à augmenter depuis plusieurs années, et cela dans toutes les industries tels que l'aéronautique, l'armement, l'automobile, le **Génie Civil**, les transports, spatiale, marine, ferroviaire ou encore sportive, médicale et nucléaire, etc. ..., l'utilisation des matériaux composites est en constante progression. Parmi les propriétés d'emploi exigées dans l'industrie pour les problèmes de sécurité et de fiabilité, l'aptitude d'un matériau à résister à la dégradation dans le temps, sous sollicitations multiples (mécanique, électrique, chimique...) est primordiale.

Pour améliorer efficacement les comportements de ces matériaux et pour augmenter leur durabilité, il est essentiel d'analyser chaque phénomène en gardant un point de vue général sur l'ensemble des propriétés des composites.

Un ouvrage de génie civil est dimensionné pour une durée de vie de cent ans en moyenne. Toutefois, plusieurs types de désordres viennent réduire cette durée de vie prévisionnelle et aujourd'hui, un ouvrage sur trois nécessite une maintenance pour assurer la sécurité des usagers.

Par exemple Dans le domaine du génie civil, les matériaux composites sont utilisés pour le renforcement et la réhabilitation d'éléments structuraux en béton armé, tels que les poutres, les dalles, les colonnes et les murs.

## II.2. MATÉRIAUX COMPOSITES

### ❖ Définition

Dans un sens large, le mot "composite" signifie "constituer de deux ou plusieurs parties différentes". En fait, l'appellation *matériau composite* ou *composite* est utilisée dans un sens beaucoup plus restrictif, qui sera précisé tout au long de ce chapitre. Nous en donnons pour l'instant la définition générale suivante. Un matériau composite est constitué de l'assemblage de deux matériaux de natures différentes, se complétant et permettant d'aboutir à un matériau dont l'ensemble des performances est supérieur à celui des composants pris séparément. Des exemples de matériaux composites pris au sens large sont donnés au tableau II.1.

### II.2.1. Caractéristiques générales

Un matériau composite consiste dans le cas le plus général d'une ou plusieurs phases discontinues réparties dans une phase continue. Dans le cas de plusieurs phases discontinues de natures différentes, le composite est dit hybride.

La phase discontinue est habituellement plus dure avec des propriétés mécaniques supérieures à celles de la phase continue.

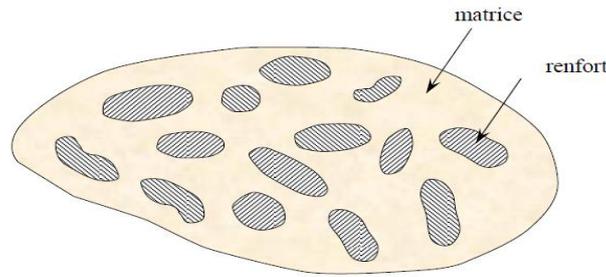
La phase continue est appelée la *matrice*. La phase discontinue est appelée le *renfort* ou *matériau renforçant* (figure II.1). Une exception importante à la description précédente est le cas de polymères modifiés par des élastomères, pour lesquels une matrice polymère rigide est chargée avec des particules élastomères. Pour ce type de matériau, les caractéristiques statiques du polymère (module d'Young, contrainte à la rupture, etc.) ne sont pratiquement pas modifiées par l'adjonction de particules élastomères, alors que les caractéristiques au choc sont améliorées.

Les propriétés des matériaux composites résultent :

- des propriétés des matériaux constituants,
- de leur distribution géométrique,
- de leurs interactions, etc.

**Tableau II. 1** : Exemples de matériaux composites, pris au sens large. [9]

Type de composite	Constituants	Domaines d'application
1. Composites à matrice organique : - Papier, carton - Panneaux de particules - Panneaux de fibres - Toiles enduites - Matériaux d'étanchéité - Pneumatiques - Stratifiés - Plastiques renforcés	Résine/charges/fibres cellulosiques Résine/copeaux de bois Résine/fibres de bois Résines souples/tissus Elastomères/bitume/textiles Caoutchouc/toile/acier Résine/charges/fibres de verre, de carbone, etc. Résines/microsphères	Imprimerie, emballage, etc. Menuiserie Bâtiment Sports, bâtiment Toiture, terrasse, etc. Automobile Domaines multiples
2. Composites à matrice minérale : - Béton - Composite Carbone-carbone - Composite céramique	Ciment/sable/granulats Carbone/fibres de carbone Céramique/fibres céramiques	Génie civil Aviation, espace, sports, biomédecine, etc. Pièces thermomécaniques
3. Composites à matrice métallique	Aluminium/fibres de bore Aluminium/fibres de carbone	Espace
4. Sandwiches Peaux Ames	Métaux, stratifiés, etc. Mousses, nids d'abeilles, balsa, plastiques renforcés, etc.	Domaines multiples



**Figure II. 1 : Matériaux composite [9]**

Ainsi, pour accéder à la description d'un matériau composite, il sera nécessaire de spécifier :

- la nature des constituants et leurs propriétés,
- la géométrie du renfort, sa distribution,
- la nature de l'interface matrice-renfort.

La géométrie du renfort sera caractérisée par : sa forme, sa taille, la concentration du renfort, sa disposition (son orientation), etc. Si l'ensemble de ces paramètres concourt à déterminer les propriétés du composite, les modélisations descriptives ne tiendront compte que de certains paramètres, du fait de la complexité des phénomènes mis en jeu. Par exemple, la forme du renfort sera schématiquement approchée soit par des sphères, soit par des cylindres. La concentration du renfort est habituellement mesurée par la fraction volumique (fraction en volume) ou par la fraction massique (fraction en masse). La concentration du renfort est un paramètre déterminant des propriétés du matériau composite. Pour une concentration donnée, la distribution du renfort dans le volume du composite est également un paramètre important. Une distribution uniforme assurera une "homogénéité" du matériau : les propriétés du composite seront indépendantes du point de mesure. Dans le cas d'une distribution non uniforme du renfort, la rupture du matériau sera initiée dans les zones pauvres en renfort, diminuant ainsi la résistance du composite.

Dans le cas de matériaux composites dont le renfort est constitué de fibres, l'orientation des fibres détermine l'anisotropie du matériau composite. Cet aspect constitue une des caractéristiques fondamentales des composites : la possibilité de contrôler l'anisotropie du produit fini par une conception et une fabrication adaptées aux propriétés souhaitées.

## II.2.2. CLASSIFICATION DES MATÉRIAUX COMPOSITES

Les composites peuvent être classés suivant la forme des composants ou suivant la nature des composants.

**II.2.3. 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.2.3.1. 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.2.3.2. 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 tels 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.

### II.2.4. 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 ont actuellement un usage industriel, d'autres faisant l'objet d'un développement dans les laboratoires de recherche. Parmi ces composites, nous pouvons citer :

1. Composites à matrice organique (résine, charges), avec :
  - des fibres minérales : verre, carbone, etc.
  - des fibres organiques : Kevlar, polyamides, etc.
  - des fibres métalliques : bore, aluminium, etc.
2. Composites à matrice métallique (alliages légers et ultralégers d'aluminium, de magnésium, de titane), avec :
  - 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).
3. Composites à matrice minérale (céramique), avec :
  - des fibres métalliques : bore,
  - des particules métalliques : cermets,
  - des particules minérales : carbures, nitrures, etc.

Les matériaux composites à matrice organique ne peuvent être utilisés que dans le domaine des températures ne dépassant pas 200 à 300 °C, alors que les matériaux composites à matrices métallique ou minérale sont utilisés au-delà : jusqu'à 600 °C pour une matrice métallique, jusqu'à 1000 °C pour une matrice céramique. [9]



**Figure II. 2:** Exemples de multi-matériaux : (a) un composite carbone/époxy, (b) un béton armé, (c) du bois vu au microscope optique, (d) une lame d'acier de Damas (image de Ralf Pfeifer). [10]

**II.2.5. Différents types de fibres**

Les fibres peuvent se classer en deux catégories : Les fibres naturelles et les fibres artificielles.



**Figure II. 3:** Les fibres organique et inorganique [13]

**II.2.5.1. Fibres naturelles**

Elles ont 2 origines végétales et minérales.

**A- Fibres végétales**

Les fibres végétales les plus utilisées sont le sisal, bois, coton

**B- Fibres minérales**

Les fibres minérales les plus utilisées sont l’amiante et la laine.

**II.2.5.2. Fibres artificielles**

Elles ont 2 origines Organiques et Inorganiques

**A- Fibres organiques**

Les fibres organiques courantes sont les polypropylènes et plus rarement les polyamides et les polyesters.



**Figure II. 4:** fibre de polyester PET de LEFICO [17]

**B- Fibres Inorganiques**

On distingue les fibres métalliques, les fibres en carbone, les fibres en verre.



**Figure II. 5 :** Différentes forme de fibres métalliques [11]



**Figure II. 6:** Fibre de verre **Cem-FIL** [19]



**Figure II. 7:** Fibre de carbone [20]

**II.2.6. La microstructure des composites : renforts et matrice**

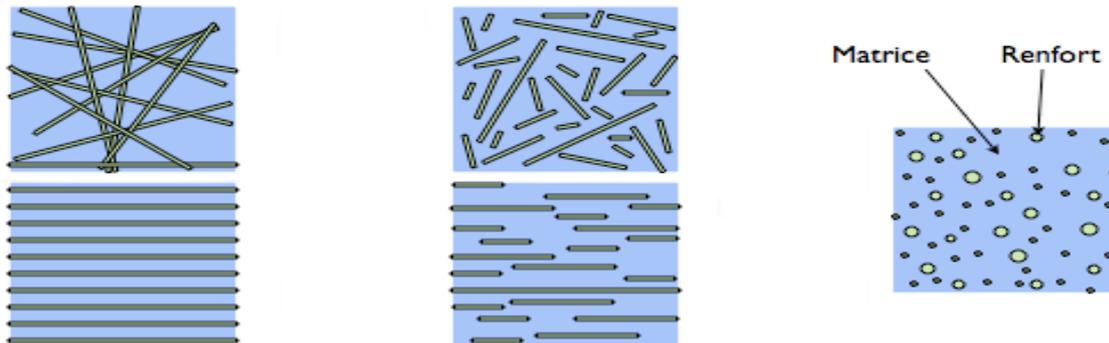
Pratiquement tous les composites sont constitués d'éléments discontinus appelés renforts, noyés dans une phase continue appelée matrice. Schématiquement, les renforts assurent une part importante de la tenue mécanique (rigidité et résistance) du composite, tandis que la matrice maintient les renforts en position, transfère les efforts entre eux, et assure toutes les autres fonctions techniques. Les renforts peuvent avoir plusieurs géométries, et les deux constituants peuvent être réalisés dans de nombreux matériaux.

### II.2.7. Géométrie des renforts

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

- Les fibres longues (i.e. longueur comparable aux dimensions de la pièce figure A.
- Les fibres courtes (i.e. de longueur faible devant les dimensions de la pièce, figure B.
- Les particules, ou charges renforçantes figure C.

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.



**Figure II. 8:** Les structures géométriques des composites : (A) fibres longues, (B) fibres courtes, (C) particules. [10]

### II.2.8. Renforts et propriétés mécaniques

Les renforts sont généralement conçus de sorte à avoir des propriétés mécaniques optimales (notamment la résistance et la rigidité). Ceci passe naturellement par le choix d'un matériau adéquat, mais pas seulement : dans le cas des composites modernes, le caractère particulaire ou filamentaire des renforts fait qu'il est généralement possible de les fabriquer avec très peu de défauts, alors qu'une pièce massive du même matériau en contiendrait beaucoup plus, ce qui nuirait à sa résistance mécanique (c'est pourquoi le verre, peu résistant sous forme massive, peut être employé comme renfort lorsqu'il est sous forme de fibres). Sauf cas particuliers, les renforts sont donc beaucoup plus rigides et plus résistants que la matrice (souvent d'un facteur 10, voire 100 ou plus).

Par conséquent, les propriétés mécaniques du composite dépendent fortement de la forme et de l'orientation des renforts :

- Les composites à fibres longues présentent un meilleur comportement mécanique que les composites à fibres courtes ou à particules, du moins dans les directions renforcées par les fibres ;
- Les composites à fibres parallèles présentent un comportement mécanique anisotrope (voir la ressource « Modélisation du comportement des composites : l'élasticité anisotrope »), tandis que les composites à fibres orientées aléatoirement ou à particules présentent un comportement à peu près isotrope.

Ainsi, pour des applications structurelles, c'est-à-dire des pièces devant résister à des efforts importants, on utilise généralement des fibres longues, dont on adapte l'orientation aux sollicitations subies par la pièce, et les composites ainsi conçus ont généralement des comportements anisotropes.

En revanche, pour des applications non structurelles, on utilise généralement des fibres courtes ou des particules, dont le coût de mise en œuvre est moins élevé. Cette distinction vaut aussi bien pour les composites modernes que pour les « multi-matériaux » traditionnels.

### **II.3. L'intérêts des composites**

Les matériaux composites, en fonction de leurs constituants, présentent un grand nombre d'intérêts. D'un point de vue mécanique, ils offrent d'excellentes propriétés en traction, flexion, compression, cisaillement plan et transverse ainsi qu'une excellente absorption aux chocs. Leur résistance mécanique combinée à leur faible densité en font un élément incontournable des conceptions actuelles qu'elles soient structurelles ou non.

D'un point de vue physico-chimique, ils s'adaptent parfaitement à différents milieux ambiants et peuvent être très performants en termes de résistance aux produits chimiques, au feu, ou à la corrosion. Néanmoins, leur plus grand intérêt réside dans la possibilité de pouvoir intégrer plusieurs fonctions en une seule opération réduisant de fait et de façon conséquente, le nombre de pièces d'un ensemble mécanique ou d'une conception et par là même son coût de revient.

Bien que leur fabrication nécessite des investissements parfois lourds en termes d'outillages de moulage, ils constituent un compromis technico-économique intéressant lorsqu'ils sont fabriqués en série. [10]

### **II.3.1. Avantages et inconvénients des composites**

Les matériaux composites sont favorables 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.

D'autre part les matériaux composites possèdent des contraintes :

- 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. [12]

# Chapitre III

## Composite à matrice plâtre

**Partie I****III. Généralité sur le Plâtre****III.1. Introduction**

Le plâtre, qui est un matériau le plus familier dans le domaine de la construction avec ses qualités reconnues dans le monde, peut entrer en concurrence avec le ciment, Dans les pays industrialisés, l'utilisation du plâtre est de plus en plus développée pour la réalisation de cloisons, de revêtements, de doublages intérieures et mêmes d'éléments porteurs des bâtiments préfabriqués de R à R+3 « Pologne et Allemagne ».

En Algérie le plâtre est couramment utilisé pour les murs, les plafonds et les moulures décoratives. Chez KNAUF, outre les produits usuels, les techniques de construction évoluent, les méthodes de travail changent et de nouveaux matériaux font leur apparition. Résultat : un assortiment de plâtres à projeter ou manuels, d'enduits minces, d'accessoires et de machines à projeter qui peuvent apporter une réponse aux demandes les plus diverses. A part les avantages en gains de coûts et de temps de mise en œuvre, l'enduit de plâtre KNAUF, à l'encontre des produits traditionnels confère un véritable confort par la régulation hygrométrique et la réduction thermique et acoustique, assure une sécurité par ses spécificités coupe-feu et permet d'adapter toute sorte de revêtements, y compris les papiers peints.

**III.2. Plâtre [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.

**III.3. Evolution de l'utilisation du plâtre**

Le plâtre est un matériau découvert depuis l'antiquité, 9000 ans environ avant J.C. Par la suite, on s'en sert comme joints des blocs de pyramides en Egypte, dans toutes les constructions romaines, dans l'ornement des palais et mosquées moyenâgeux. A l'époque de LOUIS XIV, le plâtre est rendu obligatoire comme enduit intérieur et extérieur pour limiter les risques d'une propagation catastrophique d'incendie comme celui survenu à Londres en 1666. Des carrières d'extraction du gypse voient le jour. De nombreux travaux de recherche ont été menés pour mieux comprendre ses propriétés, sa structure cristalline, son comportement vis-à-vis de l'environnement d'une part et, pour améliorer son comportement mécanique d'autre part. [21]

**III.3.1. Matière première**

La matière première désigne le matériau d'origine naturelle qui est l'objet d'une transformation artisanale ou industrielle. Des études récentes permettent d'avoir des connaissances assez larges sur le plâtre notamment sur sa matière première et son élaboration. En effet le plâtre est obtenu à partir du gypse. Il en existe deux types : le gypse naturel et le gypse de synthèse.

**III.3.1.1. Gypse et anhydrite**

Le sulfate de calcium se rencontre dans la nature principalement sous les deux formes suivantes :

- Hydraté avec deux molécules d'eau par molécule de sulfate de calcium ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )
- Anhydre ( $\text{CaSO}_4$ ) : c'est l'anhydrite.

**III.3.1.2. Le gypse naturel**

Le gypse appartient à la famille des évaporites qui sont les roches sédimentaires les plus solubles dans l'eau. On considère généralement que le gypse résulte de l'évaporation de l'eau des lagunes marines sursaturées. Plusieurs théories s'affrontent cependant à propos des conditions qui ont permis le dépôt de bancs de gypse très pur d'épaisseur (e) importante (pouvant atteindre 18 à 20 m). Les gisements les plus importants datent de l'ère secondaire (trias et jurassique) ou tertiaire (éocène et oligocène). Le gypse est présent en quantités relativement importantes dans la nature, mais inégalement réparties à la surface du globe.

Les principaux gisements français sont situés dans :

- Le Bassin parisien (éocène) ;
- Le Vaucluse (oligocène) ;
- Les Alpes (trias) ;
- Le Jura (trias) ;
- Les Pyrénées et les Landes (trias) ;
- Les Charentes (jurassique).

**III.3.2. Formes cristallines**

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

- Sous forme macro-cristallisée : le gypse lamellaire, le fer de lance, le gypse lenticulaire, la rose des sables ;
- Sous forme micro-cristallisée : l'albâtre, le gypse fibreux, le gypse saccharoïde, le gypse éolien.

Le gypse exploité dans l'industrie plâtrière est une roche micro-cristallisée à grains généralement fins (gypse saccharoïde). Il est rarement pur et se trouve mélangé à des impuretés en nombre et proportion variables d'une carrière à l'autre : argile, calcaire, silice, dolomie, anhydrite, etc. D'autres impuretés syncristallisées, présente sen quantités très faibles, colorent généralement les gypses naturels en rose, beige, gris, etc.

### III.3.3. Caractéristiques physico-chimiques

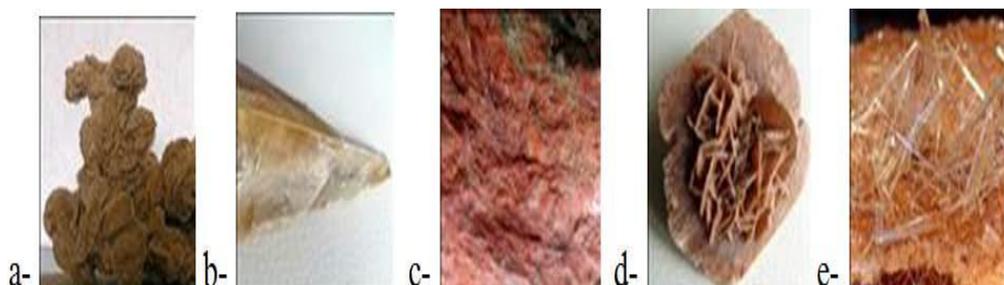
Elles sont les suivantes :

- Formule chimique :  $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$  ;
- Masse volumique :  $2,31 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  ;
- Système cristallin : monoclinique ;
- Dureté (échelle de Mohs) : 1,5 à 2 suivant l'orientation de la face cristalline.
- Solubilité (en grammes de sulfate de calcium par kilogramme d'eau) :
  - A 3 °C : 1,81,
  - A 20 °C : 2,04,
  - A 38 °C : 2,10 (solubilité maximale),
  - A 100 °C : 1,69 ;

Note : la solubilité du gypse est sensiblement plus forte dans l'eau salée (eau de mer par exemple).

### III.3.4. Anhydrite

L'anhydrite naturelle de formule chimique  $\text{CaSO}_4$  se rencontre dans les formations gypseuses et salifères, ou dans certains gîtes métallifères. On considère qu'elle s'est formée, comme le gypse, par évaporation de l'eau de mer, mais elle peut également résulter d'une déshydratation lente du gypse sous l'effet d'une pression importante lors de plissements géologiques. En France, l'anhydrite naturelle, exploitée essentiellement en Lorraine, est destinée soit à la fabrication du ciment, soit à la fabrication d'un liant employé pour la confection de murs de sécurité dans les anciennes galeries de mines.



**Figure III. 1:** gypses naturelles : (a, d) Gypse rose des sables, (b) gypse en fer de lance, (c, e) gypse. [21]

En France, le gypse naturel est extrait principalement dans le Bassin parisien, le Vaucluse, les Alpes, le Jura, la Charente, les Pyrénées et les Landes. Il se caractérise par une masse volumique de  $2,31 \cdot 10^3 = \text{kg/m}^3$ , une dureté à l'échelle de Mohs de 1,5 à 2 suivant l'orientation de la face cristalline. La solubilité en grammes, par kilogramme d'eau de sulfate de calcium, est donnée dans le tableau III.2 [21].

### **III.3.5. Le gypse de synthèse**

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

- La fabrication de l'acide phosphorique (phosphogypse) par attaque sulfurique du phosphate naturel ;
- La fabrication d'autres acides minéraux (acide borique : borogypse, acide fluorhydrique : fluorogypse) ou organiques : organogypses (acide citrique, tartrique, etc.) La fabrication de l'oxyde de titane ( $\text{TiO}_2$ ) conduit également à une production de gypse appelé titanogypse ;
- La désulfuration des gaz et fumées : l'oxydation de l'anhydride sulfureux en anhydride sulfurique puis sa réaction avec de la chaux, provoquée dans le but d'éliminer le soufre des gaz de combustion des centrales thermiques, produit un gypse appelé désulfogypse (FGD gypsum en anglais, REA Gips en allemand).

L'utilisation du phosphogypse dans l'industrie du plâtre a été tentée dans de nombreux pays dans les années 1960-1970 mais a dû être abandonnée progressivement pour des raisons économiques et parfois techniques. En effet, l'élimination nécessaire des impuretés provenant des phosphates naturels, présentes dans le phosphogypse est parfois sous forme syncristallisée, exige des épurations chimiques coûteuses.

Par ailleurs, le phosphogypse se présente toujours sous forme humide (17,5 à 25 % d'eau par rapport à la masse du produit sec) et cela implique un traitement thermique plus important que celui du gypse naturel qui ne contient que quelques pour-cent en masse d'humidité. [18]

**Tableau III. 1:** Critères de qualité pour le gypse de désulfuration comme matière première [18]

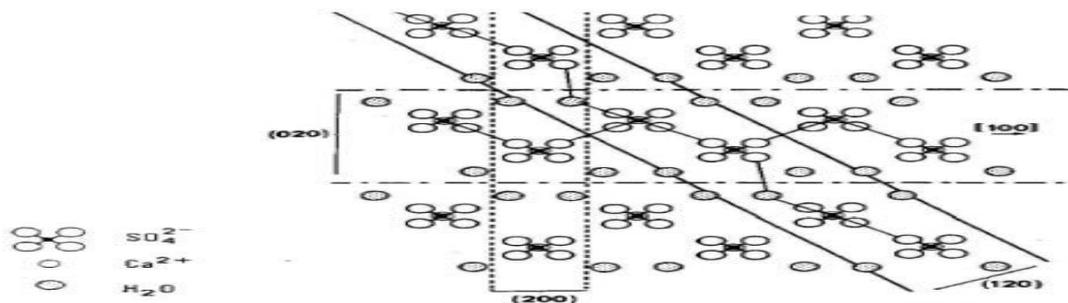
Paramètre	Formule chimique ou symbole	Unité	Critère de qualité
Humidité libre	H	% en masse	< 10
Sulfate de calcium dihydraté	CaSO <sub>4</sub> .2 H <sub>2</sub> O	% en masse	> 95
Oxyde de magnésium soluble dans l'eau	MgO	% en masse	< 0,10
Oxyde de sodium	Na <sub>2</sub> O	% en masse	< 0,06
Chlorure	Cl	% en masse	< 0,10
Dioxyde de soufre	SO <sub>2</sub>	% en masse	< 0,25
Ph			5 à 9
2 Couleur		Ry	Blanc mais d'autres colorations sont admises en fonction de l'utilisation
Odeur			Neutre
Toxicité			Non toxique

**Tableau III. 2:** Solubilité en grammes, du sulfate de calcium, par kg d'eau [21]

N°	Température (°C)	Solubilité	Observation
1	3	1,81	Solubilité maximale
2	20	2,04	
3	38	2,10	
4	100	1,69	

**III.3.6. Structure cristalline du gypse**

Les travaux de S. MEILLE en 2007 permettent d'en avoir une idée bien précise. Le cristal de gypse est de symétrie monoclinique, il est composé d'un empilement de couches d'ions calcium Ca<sup>2+</sup> et sulfate SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> de forme tétraédrique avec un atome de soufre au centre et des atomes d'oxygène aux sommets. Ils sont séparés par des doubles couches d'eau. [21]



**Figure III. 2 :** Projection de la structure cristalline du gypse [21]

### III.4. Fabrication de plâtre

Le terme plâtre est utilisé pour désigner un matériau solide, la fabrication du plâtre repose sur un principe relativement simple : l'élimination totale ou partielle de l'eau de constitution du gypse. Cependant, dans la pratique, cette opération a des implications complexes mettant en jeu des phénomènes de cristallisation difficiles à maîtriser.

Soumis à la chaleur, le gypse conduit à une série de produits partiellement hydratés ou anhydres. Aux environs de 100 °C - 140°C, on obtient les semi-hydrates  $\alpha$  et  $\beta$  (selon que l'on opère respectivement sous pression de vapeur d'eau ou à l'air libre).

**Le semi-hydrate présente une structure cristalline monoclinique.**

La transformation s'effectue suivant l'équation :



Si on poursuit la cuisson vers 200°C on a l'anhydrite III ou l'anhydrite soluble. Très instable, il se réhydrate assez rapidement en semi-hydrate au contact avec l'eau en phase vapeur. Sa structure cristalline est hexagonale. L'équation de la transformation est alors :



L'anhydrite III se transforme en anhydrite II, de structure cristalline orthorhombique, lorsqu'on est aux alentours de 250°C à partir du semi-hydrate- $\alpha$  et vers 400°C à partir du semi-hydrate $\beta$  :



Dans le cas où on cuit au-delà de 1200°C, on obtient l'anhydre I, sa structure cristalline est cubique à faces centrées, la réaction se produit conformément à l'équation éq (III.4) :



Les semi-hydrates  $\alpha$  et  $\beta$  sont les principaux produits utilisés : le premier par un gâchage avec peu d'eau permet d'obtenir de bonnes propriétés mécaniques. Il est utilisé pour les moulages spéciaux, la fabrication des prothèses dentaires, etc. Le second après gâchage conduit à un matériau moins dense et peu résistant. Il est utilisé dans de nombreuses applications comme les enduits, plafonds, etc. [23]

Tableau III. 3 : Phases de déshydratation du gypse [18]

Phase	CaSO <sub>4</sub> .2 H <sub>2</sub> O	CaSO <sub>4</sub> .1/2 H <sub>2</sub> O		CaSO <sub>4</sub>		
		Forme α	Forme β	Forme III	Forme II	Forme I
Appellation	Gypse	semi-hydrate α	semi-hydrate β	Anhydrite III où anhydrite soluble	Anhydrite II où anhydrite insoluble	Anhydrite I
Système cristallin	monoclinique	rhomboédrique		hexagonal	orthorhombique	cubique à faces centrées
Teneur en eau (% en masse)	20,92	6,20	6,20	0	0	0
Masse volumique (Kg/m <sup>3</sup> )	2,31 . 10 <sup>3</sup>	2,76 . 10 <sup>3</sup>	2,63 . 10 <sup>3</sup>	2,58 . 10 <sup>3</sup>	2,93 . 10 <sup>3</sup> à 2,97 . 10 <sup>3</sup>	2,93 . 10 <sup>3</sup> à 3,0 . 10 <sup>3</sup>
Masse molaire (g/mol)	172,20	145,15	145,15	136,10	136,10	136,10
Volume molaire (cm <sup>3</sup> /mol)	74,50	52,40	55,20	52,80	45,8 à 46,4	

Tableau III. 4: Propriétés caractéristiques des deux variétés usuelles de semi-hydrate [18]

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

### III.5. Les différents types de plâtres

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

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

L'industrie plâtrière fournit également des plâtres à usages particuliers, c'est ainsi que l'on trouve les plâtres à briqueter, destinés au montage des cloisons de distribution, les plâtres chaux de surfacage, ainsi et surtout les plâtres pour préfabrication, essentiellement utilisés pour la fabrication de carreaux de plâtre, d'éléments de cloison en plaques de parement [19].

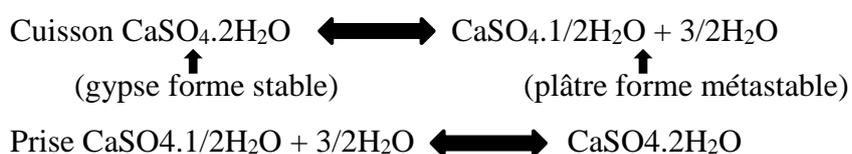
### III.6. Propriétés physiques du plâtre

#### III.6.1. Prise

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

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

La prise est la réaction inverse de la cuisson



**A- Accélérateurs de prise**

Dans le cas notamment de la préfabrication, il peut être nécessaire d'accélérer la prise du plâtre pour procéder à un démoulage plus rapide. On fait donc appel à des accélérateurs qui sont des produits minéraux formant des germes de cristallisation (gypse broyé par exemple) ou diminuant la solubilité du sulfate de calcium dihydraté (sulfates – sauf sulfate de fer–, acides sulfurique, chlorhydrique ou nitrique, chlorures, bromures et iodures alcalins, bichromate de potassium) [25]

**B- Retardateurs de prise**

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

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

Les principaux retardateurs de prise sont les phosphates alcalins et d'ammonium, les acides organiques et leurs sels solubles (par exemple l'acide citrique et les citrates), les protéines dégradées. En général, l'efficacité des sels d'acides organiques suit la séquence :  $H^+ > K^+ > Ca^{2+}$ .

**C- Épaississeurs et rétenteurs d'eau**

Les épaississeurs, en augmentant la consistance de la pâte de plâtre, permettent d'avancer le début d'emploi du plâtre. Un épaississeur bien connu est l'amidon. Généralement, ces produits ont aussi un effet retardateur de prise limité ; associés à des retardateurs plus puissants, ils permettent d'utiliser la pâte dès la fin du gâchage et d'augmenter la durée d'emploi. Ils facilitent en outre la mise en œuvre. Épaississeurs et rétenteurs ont permis le développement des plâtres modernes à long temps d'emploi et des plâtres projetés. Certains épaississeurs sont également rétenteurs d'eau, c'est-à-dire qu'ils retiennent dans la pâte, en empêchant son évaporation ou son absorption par le support, une certaine quantité d'eau qui permet au plâtre de s'hydrater normalement durant la prise. [24].

**III.6.2. Les facteurs agissants sur la prise**

- La vitesse de prise est fonction de la constitution du plâtre ;
- La prise est retardée par une augmentation de la quantité d'eau de gâchage ;
- Un malaxage prolongé diminue le temps de prise, il ne doit pas dépasser une minute). [22]

**III.6.3. Durcissement**

Le processus de durcissement comporte trois phases :

- Dissolution des produits du semi-hydrate de Calcium,
- L'hydratation du semi-hydrate aboutissant à la formation du double hydrate de Calcium,
- La cristallisation de double l'hydrate.

**III.6.4. Isolation thermique et régulation de l'hygrométrie**

Du fait de sa faible conductivité thermique  $\lambda$ , le plâtre peut s'employer seul ou associé à d'autres matériaux pour améliorer l'isolation thermique. Un enduit plâtre appliqué sur une paroi de béton ou de terre cuite forme un revêtement continu qui améliore l'isolation thermique. Les plâtres spéciaux qui incorporent des charges d'agréats légers qui ont des conductivités thermiques de l'ordre de  $0,18$  à  $0,20 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  sont particulièrement destinés à cet usage.

**III.6.4.1. Isolation acoustique**

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

**III.6.4.2. Isolation phonique**

L'isolation phonique, mesurée en décibels (**dba**), croît avec la masse et décroît avec la rigidité de la paroi. Les cloisons en carreaux de plâtre présentent des caractéristiques phoniques comparables à celle des cloisons de briques ou de parpaings.

### III.6.5. Résistance au feu

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

Ce comportement résulte des données suivantes :

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

### III.7. Propriétés mécanique et mise en œuvre du plâtre

Le plâtre peut être utilisé dans le génie civil sous forme de pâte pure, en mortier ou en béton.

#### III.7.1 Pâte pure de plâtre

Contrairement au ciment, la pâte de plâtre pure est obtenue par saupoudrage de la poudre de plâtre dans l'eau jusqu'à saturation de celle-ci. Le taux de gâchage à saturation est le rapport du poids de l'eau utilisée pour la mise en œuvre du plâtre sur le poids de celui-ci et il déterminé selon la norme (NF B12-401) [25].

##### III.7.1.1. Propriétés de la pâte pure

Les courbes ci-dessous donnent l'influence du rapport E/P sur la densité et sur la résistance mécanique de la pâte pure du plâtre. [24]

##### A- La densité

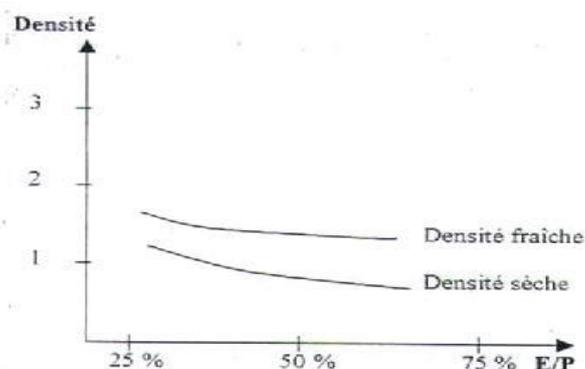
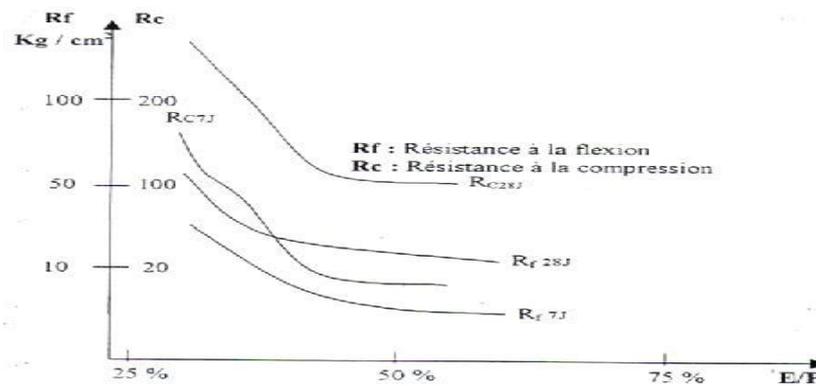


Figure III. 3: Influence du rapport E/P sur la densité.

### B- Les résistances mécaniques



**Figure III. 4:** Influence du rapport E/P sur les résistances mécaniques.

On remarque que le rapport E/P influe directement sur les propriétés de produit résultant où lorsque le rapport E/P élevé provoque une porosité élevée. Le matériau devient moins dense d'où une chute sur les résistances mécaniques.

Selon [26] pour l'obtention d'une meilleure ouvrabilité et d'une résistance satisfaisante, recommande l'utilisation d'un rapport E/P = 0,6.

### III.8. Utilisations du plâtre

Le plâtre, utilisé sous forme d'enduit ou de mortier pour assembler des ouvrages en maçonnerie, figure parmi les matériaux de construction traditionnels. L'utilisation contemporaine du plâtre procède pour beaucoup de transformations industrielles, avec les plaques et les carreaux de plâtre. [27]

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

Le plâtre est toujours la solution idéale [19] :

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



**Figure III. 5:** Utilisations du plâtre [27]

## **Partie II**

### **III.9. Valorisation et Recyclage des Déchets Plastiques dans MC**

#### **III.9.1.Introduction**

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 environnementale et l'impact économique. Donc plusieurs pays du monde, différents déchets sont utilisés dans le domaine de la construction et spécialement dans le ciment ou béton comme poudre, fibres ou agrégats, mais notre travail c'est qu'utilisé ces déchets spécialement dans le plâtre.

Depuis ces vingt dernières années, les déchets en matières plastiques représentent une part importante des déchets solides municipaux. De plus, ils posent un sérieux problème à cause de leur durée de vie et parce que ce sont des déchets voyants. Leur gestion est donc nécessaire que ce soit d'un point de vue environnemental, économique ou social. Les premiers procédés mis en place pour les traiter furent l'enfouissement et l'incinération. Toutefois, la croissance exponentielle de déchets d'emballages plastiques amène à prévoir d'autres filières de recyclage.

Ce travail s'intéresse à la valorisation d'un déchet qui est nuisible pour l'environnement vu son caractère encombrant et inesthétique il s'agit du déchet plastique. Le déchet plastique est ajouté dans le plâtre sous forme de fibres.

### III.10. Histoire du plastique

Les matières plastiques seront essentiellement fabriquées par la pétrochimie, à partir du pétrole ou du gaz naturel. Les usages sont très variés et entrent « dans les petits objets de la vie de tous les jours ».

- **1926** : Départ du succès commercial du *PVC* (polychlorure de vinyle), fabriqué à partir de 57 % de sel et de 43 % de pétrole grâce à des additifs qui le rendent plus plastique (W. Semon).
- **1927** : Fabrication de *PMMA* (polyméthacrylate de méthyle) remplaçant le verre pour des vitres incassables (O. Röhm et Haas, société IG Farben)
- **1930** : Débuts de la fabrication industrielle du *Polystyrène*
- **1933** : *polyéthylène basse densité* (PEBD) (ingénieurs E. Fawcett et R. Gibson). Utilisé comme isolant électrique performant pour protéger les câbles des radars.
- **1935** : *polyamide*, fibre annoncée comme « aussi solide que l'acier, aussi fine que la toile d'araignée, et d'un magnifique éclat » du pont de Nemours.
- **1937** : premiers *polyuréthanes* (Otto Bayer), utilisés comme adhésifs, « mousses » pour matelas et coussins, sièges d'automobile, ...
- **1940 et 41** : fabrication du *silicone* et du *Caoutchouc synthétique* qui répond aux besoins en matières premières des pays en guerre pendant la seconde guerre mondiale
- **1949** : Les plastiques « *mélamine-formol, MF* » (*Formica*) découverts en 1941 envahissent les cuisines et le mobilier.
- **1950** : *polyester*. Le plus connu est le polytéréphtalate d'éthylène : PET, PETE (John Rex Whinfield et James Tennant Dickson).
- **1953** : *polyéthylène haute densité (PEHD)* par polymérisation de l'éthylène sous pression modérée (chimiste allemand Karl Ziegler, prix Nobel de chimie en 1963)
- **1953** : *polycarbonate (PC)*, plastique très transparent et extrêmement résistant aux chocs (a équipé le casque des astronautes pour la mission Apollo 11 en 1969 !) (Chercheurs Bottenbruch, Krimm et Schnell de Bayer AG)
- **1954** : *polypropylène (PP)* (chimiste italien Giulio Natta, prix Nobel de chimie en 1963)
- **1961**: *polyuréthane thermoplastique (PTP) (Estane)* (BF Goodrich).
- **1965** : *polyamide (PA)* léger et particulièrement résistant à la déchirure, aux chocs, au feu et à la corrosion (*Kevlar*). (StephanieKwolek et H. Blades de Du Pont de Nemours)

Les plastiques sont des matériaux de plus en plus utilisés :

- Plus légers à résistance égale que l'acier ou l'aluminium et insensibles à la corrosion, ils remplacent les métaux dans beaucoup de produits (leur consommation actuelle en volume est supérieure à celle des métaux.),
- Les associations de plusieurs matériaux, comme pour les composites \*, ou les complexes\*\* permettent des avancées technologiques importantes ;
- Leurs performances les rendent indispensables au quotidien et dans tous les domaines :(santé, bâtiment, automobile, aérospatiale, emballage, décoration, bureautique, sport...)

Cependant, régulièrement des études montrent que la fabrication et l'utilisation de certains plastiques sont problématiques ; notamment en raison de composants (phtalates, bisphénol A, ...) toxiques pour la santé et l'environnement.

La production mondiale de plastiques augmente chaque année (+ 2,9 % en 2012) et pose des problèmes liés à la pétrochimie et au devenir des plastiques usagés. La prise de conscience des enjeux environnementaux se développe et incite à de nouveaux progrès : amélioration du recyclage et de la biodégradabilité, utilisation de matières premières renouvelables, utilisation raisonnée des matériaux, ...

### **III.11. Déchets à base de polymère**

### **III.12. Intérêt économique du recyclage des plastiques**

La gestion des déchets est un des problèmes majeurs pour la protection de l'environnement. Leur élimination occasionne en effet des surcoûts notables pour les collectivités territoriales tout en engendrant des sources potentielles de pollution secondaire.

Les coûts croissants associés à l'acquisition de terrains d'enfouissement et à la gestion des décharges (ou des incinérateurs d'ordures ménagères) nécessitent de trouver des solutions pour le traitement des déchets, en accord avec le principe de préservation de l'environnement et avec un coût raisonnable pour les entreprises et les collectivités. Par conséquent, la réutilisation des déchets pour la fabrication de nouveaux matériaux est une alternative particulièrement attractive par rapport à l'enfouissement ou à l'incinération.

Les recherches effectuées jusqu'à présent pour la réutilisation des déchets (verres, polymères, pneus, scories, etc.) se focalisent essentiellement sur leur incorporation dans les enduits, les mortiers et les bétons. La validité du procédé technique et la viabilité de l'intérêt économique ont ainsi été démontrées à de nombreuses reprises.

Les nouveaux matériaux de construction ainsi réalisés représentent un fort tonnage annuel qui garantit une réutilisation d'un grand volume de déchets sous forme de granulats et donc le recyclage d'un volume conséquent de déchets encombrants.

C'est aussi le cas des déchets à base de polymère provenant de sous-produits industriels. Leurs volumes cumulés ont augmenté de façon exponentielle au fil du temps depuis environ 50 ans et les matériaux de construction représenteraient une filière de recyclage intéressante pour la réutilisation de nombreux matériaux polymères. [30]

### **III.13. Différents polymères réutilisables sous forme de granulats**

#### **III.13.1. Polystyrène expansé (EPS)**

Le polystyrène expansé est un polymère thermoplastique ayant une structure cellulaire, rigide, fermée et remplie d'air donnant normalement un matériau de masse volumique apparente faible. Bien qu'il existe de nombreux polymères expansés sur le marché, le plus commun reste le polystyrène expansé, connu internationalement via l'acronyme EPS (Expanded PolyStyrene). L'introduction d'EPS dans les mortiers et les bétons est d'un usage bien établi afin d'obtenir des matériaux de construction plus isolants thermiquement et acoustiquement.

#### **III.13.2. Polyéthylène téréphtalate (PET)**

Le PET est un polyester qui est obtenu par une réaction de polycondensation entre l'acide téréphtalique et des monomères d'éthylène glycol. C'est un polymère linéaire thermoplastique avec un haut degré de cristallinité qui peut être mis en forme par extrusion, injection et moulage ou par soufflage et thermoformage. Ce polymère a été produit pour la première fois en 1941. Une de ses principales utilisations est la fabrication des bouteilles pour des boissons, telles que l'eau minérale et les boissons gazeuses, étant donné son imperméabilité vis-à-vis de l'eau et de l'oxygène. [30].

### **III.14. Le feillard en plastique**

Le feillard en plastique comprend deux types de feillards différents :

#### **III.14.1. Le feillard polypropylène PP**

Très économique, le feillard en polypropylène (PP) est à privilégier pour le cerclage de colis ou de palettes relativement légers (350 kg maximum). Son principal atout est d'être souple et donc facile à utiliser. Il est également très résistant à la rouille et aux variations de température. Il peut servir à sécuriser des produits fragiles ou à empêcher le vol de produits de valeur ou bien servir au stockage de marchandises mais seulement pour une courte durée.

Il peut le dérouler manuellement ou bien à l'aide d'un tendeur électrique ou d'une autre machine. Le feillard de cerclage PP est un feillard synthétique pour des applications manuelles et automatiques. Ce feillard PP bon marché et sûr est utilisé pour le cerclage de boîtes en carton, colis et charges moyennes de palettes. Souple, léger et maniable : s'adapte à toutes les formes d'emballages sans les détériorer. La résistance à la rupture est déterminée par la largeur et l'épaisseur de la bande. [36]

#### III.14.2. Le feillard polyester PET

Le feillard en polyester (PET) est parfait pour le cerclage de charges relativement lourdes (jusqu'à 550 kg ou 1000 kg selon les modèles) ou compressibles comme le bois, le carton (mis à plat) et les matériaux de construction. Grâce à sa très grande résistance et à sa souplesse, il protège efficacement les marchandises emballées face aux chocs rencontrés sur la route. De plus, ce feillard polyester permet une manipulation facile et sûre. Il résiste à l'humidité, aux UV et à une température maximale de 80°C. Il ne rouille pas et ne se déforme pas. Il peut également servir au stockage de longue durée des marchandises. Enfin, il peut être appliqué sur la charge à cercler manuellement ou à l'aide d'une machine pneumatique ou d'un tendeur électrique.

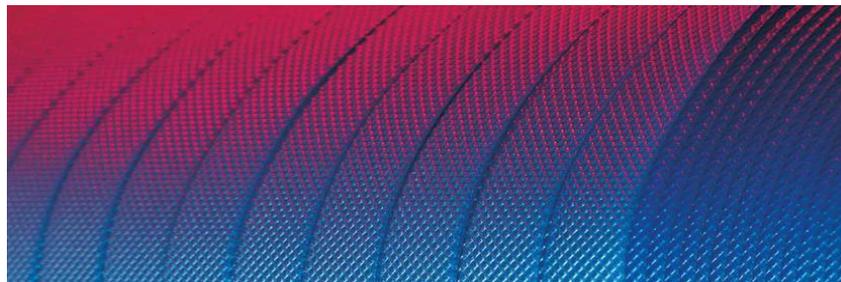


Figure III. 6: *[Strapex]* Feuillards plastiques pour le cerclage [36]



Figure III. 7: Feuillards étroits en Polypropylène PP [36]

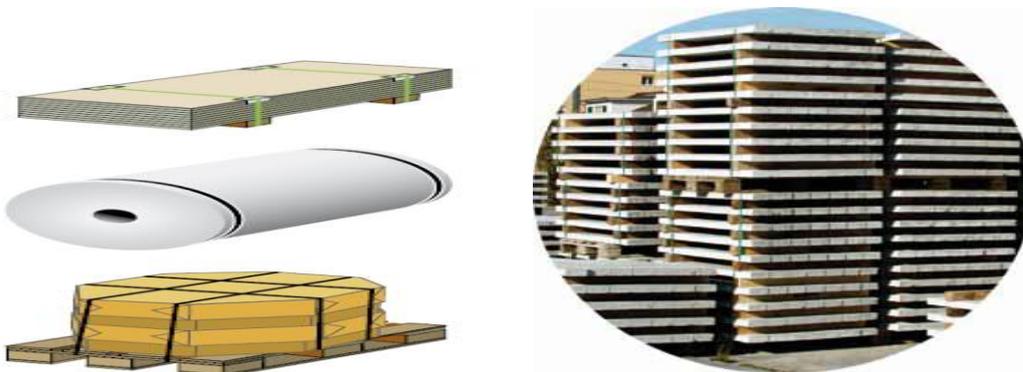
De nombreux avantages parlent en faveur des feuilards de cerclage **Strapex** :

❖ **Feuilards étroits en Polypropylène PP**

- Pour colis légers pesant jusqu'à 30 kg.
- Pour paquets, colis en vrac ainsi que pour journaux et magazines.
- Assurent la sécurité contre le vol pour les produits de valeur.
- Sécurisent le transport des produits délicats.
- Pour un cerclage manuel ou à la machine.
- Supportent des écarts de températures allant de  $-18^{\circ}\text{C}$  bis  $+50^{\circ}\text{C}$ .
- La solution industrielle universelle pour la logistique et la sécurité du transport.

❖ **Feuilards haute résistance en Polyester PET**

- Pour la sécurité du transport des marchandises sur palettes de tout type.
- Grâce à leur résistance aux UV, peut s'employer pour les produits stockés en plein air.
- Supportons-les :
  - Contraintes liées au maniement et au transport, comme secousses etc.
  - Influences climatiques comme l'humidité ou les écarts de températures allant de  $-30^{\circ}\text{C}$  à  $+80^{\circ}\text{C}$  (rétractation ou dilatation des colis)
- Pour un cerclage manuel ou à la machine.
- L'alternative qui l'emporte sur les feuilards en acier :
  - Économie de coûts.
  - Colis moins endommagés (surface, arêtes).
  - Réduction du danger de se blesser en coupant le feuilard.



**Figure III. 8** : Feuilard en polyester Haute résistance **PET**

**III.15. Généralité sur la poudre de verre****III.15.1. Introduction**

Le verre est un corps solide, non cristallin, homogène, provenant de la trempe de la silice après fusion. Il est fabriqué à l'aide des matières premières telles que le sable, la soude, la dolomie et le calcaire auxquelles on ajoute parfois le calcin pour abaisser la température de fusion. Il peut être utilisé dans plusieurs domaines, donc c'est un matériau idéal pour les contenants (bouteilles, pots de yaourt, bécans, erlenmeyers, éprouvettes, tubes d'essais, etc.). Ces contenants après usage nécessitent un recyclage pour la protection de l'environnement. Certains pays tels que la France, l'Allemagne et la Suède récupèrent près de 80 % de verres mis sur le marché. Au Québec en l'an 2006, une moyenne de 117 000 tonnes de verre (soit environ 44 %) a été récupérée à travers divers systèmes. Une partie de ce verre, le verre incolore, est facilement recyclé avec une bonne valeur ajoutée, tandis que le verre mixte (verre de différentes couleurs).

Le verre subissant un léger concassage peut être incorporé dans le béton comme substitut partiel ou entier aux granulats et ou sous forme de poudre. L'utilisation de la poudre de verre dans un système cimentaire, est un moyen de valorisation des verres en décharge.

L'objectif de cette recherche est d'étudier la possibilité d'incorporer la poudre de verre dans le Plâtre et de développer un plâtre économique et écologique contenant la poudre de verre (PV).

**III.16. La poudre de verre**

Le verre est un matériau à plusieurs vies et peut être recyclé plusieurs fois. Cependant, il est nécessaire que le verre provenant de collecte sélective soit préalablement séparé en fonction de la couleur pour être transformé en calcin pour de nouveau être utilisé dans la fabrication d'emballages en verre. La plupart du temps, le verre récolté est un produit mixte et sa réutilisation peut être difficile. Dans ce cas-ci, il est employé pour d'autres applications (abrasif routier, laine de verre, filtrations municipales...) ou stocké en décharge.

La poudre de verre est un ajout cimentaire alternatif de couleur blanche. Elle est obtenue après la collecte et le broyage des fragments de verre coloré. Sa haute teneur en silice amorphe  $\text{SiO}_2$  lui confère des propriétés pouzzolaniques en se combinant avec la chaux pour produire d'autres hydrates.

### III.17. Valorisation des déchets de verres dans le ciment blanc et CPj

[ZEGHICHI. L2012] a mené des études sur l'utilisation de la poudre de verre broyé au remplacement du clinker. Un CPj CEM II/A 42,5 provenant de la cimenterie de M'sila (Algérie), présentant une finesse de 3200 cm<sup>2</sup>/g et une masse volumique absolue de 3,05 g/cm<sup>3</sup>, rapport E/C = 0,27.

- Ciment Blanc avec un rapport E/C=0,28 pour les mélanges de 20, 25, 30 et 35% d'addition au ciment blanc, d'une composition chimique illustrée au tableau III.5 présentant une finesse 3572cm<sup>2</sup>/g, et une masse volumique absolue ( $\gamma_s$ ) de 3,10g/cm<sup>3</sup>.
- Le verre : il s'agit des déchets de verre, des verres de vitrage brisés, des bouteilles rejetées broyé à une finesse de 2500 cm<sup>2</sup>/g, qui sont représentés sur les figures III.10 et III.11. Sa composition chimique est donnée au tableau III.5, sa masse volumique absolue est de 2,43g/cm<sup>3</sup>.

**Tableau III. 5:** composition chimique des matériaux. [32]

Composants	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	NaO <sub>2</sub>	CaO	SO <sub>3</sub>	PaF
<b>Ciment blanc</b>	11.24	3.70	11.70	67.52	0.29	-	-	-	5.55
<b>CPJ</b>	23.0	5.9	2.9	58.7	1.5	0.7	0.4	2.4	2.4
<b>Verre</b>	71.81	1.01	1.86	9.49	2.24	7.45	-	-	-

Les résultats obtenus ont montré :

Une addition de 10 à 25% améliore les propriétés physiques et mécaniques du liant :

- La consistance normalisée est obtenue pour un rapport E/C entre 0,27 et 0,28 comme étant le cas pour un ciment témoin.
- Le début de prise est influencé par l'addition de la poudre de verre, il augmente légèrement par l'augmentation de l'addition.
- La résistance en compression est considérablement améliorée, l'augmentation de la résistance est estimée à 16% dans le cas d'un ciment blanc (à 28 jours de durcissement) et de 14% dans le cas d'un CPj.
- Le traitement thermique par étuvage est efficace, ce qui permet d'utiliser ces liants en préfabrication.
  - ❖ L'addition de la poudre de verre au-delà de 25% affecte considérablement les propriétés mécaniques.

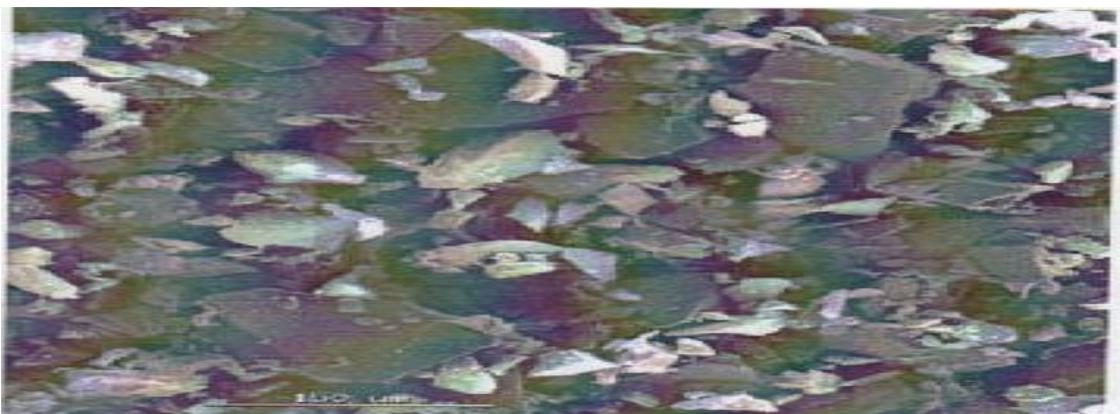
- ❖ La poudre de verre exerce un effet physique (remplissage) et chimique (réaction pouzzolanique) sur le ciment blanc et un effet physique sur le CPj (l'effet chimique est exercé par l'ajout de base).
- ❖ Les résistances à la rupture en compression des éprouvettes en mortier, présentent la même allure que celles obtenues pour la pâte de ciment.



**Figure III. 9:** Déchets de verre



**Figure III. 10:** Poudre de verre [32]



**Figure III. 11:** MEB d'une poudre de verre [32]

**III.18. Incorporation de la poudre de verre dans le béton**

SHAY AN et coll. (2006) ont mené des études sur une dizaine de mélanges de bétons de rapport E/L=0,49, dont trois incorporant 0, 20 et 30 % de la poudre de verre en substitution partielle du ciment et désignés respectivement par Mix1, Mix3 et Mix4 retiennent particulièrement notre attention. Les surfaces spécifiques Blaine des matériaux utilisés sont de 350 m<sup>2</sup>/kg et 800 m<sup>2</sup>/kg respectivement pour le ciment et la poudre de verre. Les résultats de l'affaissement exprimés par le tableau III.6 montrent que la poudre réduit l'ouvrabilité des mélanges. Ceci serait lié à sa surface spécifique très élevée, plus que le double de celle du ciment utilisé. Ces résultats confirment ceux obtenus sur les poudres finement broyées [GALLIAS et coll., 2000, YAMAMOTO et coll., 2007]. [32]

**Tableau III. 6: AFFAISSEMENT DES BETONS E/L = 0,49 [SHAYAN et coll., 2006]**

Mélanges	Témoin	20% Poudre de verre	30% Poudre de verre
Affaissement (mm)	70	65	60

# CHAPITRE IV

## PARTIE

# EXPÉRIMENTAL

#### IV. Caractérisations des matériaux et techniques expérimentales

La première partie de ce chapitre est réservée pour définir les différentes matières premières utilisées pour la préparation des composites étudiés, à savoir :

- ❖ Plâtre : KNAUF [FLEURIS]
- ❖ Poudre de verre issue de déchets de verre
- ❖ Déchets plastique type polyester PET haut résistant [feuillard en plastique]

La caractérisation de ces matériaux utilisés pour notre composite est faite au niveau de laboratoire pédagogique de génie civil de l'université de BOUIRA.

La deuxième partie est réservée pour l'Étude des propriétés mécaniques

### PARTIE I

#### IV.1. Caractérisation des matériaux utilisés

##### IV.1.1. Plâtre

Le plâtre utilisé est produit chez KNAUF [FLEURIS] plâtre traditionnel qui s'applique manuellement sur tous les supports.



**Figure IV. 1:** Plâtre Knauf FLEURIS

#### IV.2. Caractérisations physiques

##### IV.2.1. Consistance normale

L'objectif de l'essai a pour but de déterminer précisément la quantité optimale d'eau de gâchage. D'après [Papadakis M, (1970) et Hamida M.L, (2010)], la consistance normale de plâtre (E/P) varie entre (0,3 à 0,6). Elle est approuvée expérimentalement par [Djoudi A, (2002), (2009)] et [Hafsi F, (2010)]. Nous considérons que le rapport en masse d'eau sur plâtre est de (E/P=0,6).

### IV.2.2. La prise

Lorsqu'on mélange une poudre de plâtre avec de l'eau il se forme une pâte molle que l'on travaille, mais au bout d'un certain temps sa viscosité augmente brutalement, 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 dans la pâte.

L'essai est réalisé à l'aide de l'aiguille de Vicat, elle a été déterminée selon les prescriptions de la norme EN 196-3.

**Tableau IV. 1** : Temps de prise du plâtre normalisé.

Début de prise (mn)	Fin de prise (mn)	Temps de prise (mn)
3mn 41sec	11mn 28sec	7mn 47sec

### IV.2.3. Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée c'est l'eau potable du robinet du LRGC. En général, la résistance est en fonction du rapport (E/P).

### IV.2.4. Poudre de verre

L'utilisation des déchets de verre broyés (poudre de verre)



**Figure IV.2:** Poudre de verre

#### IV.2.5. Déchet plastique (feuillard en polyester)

L'idée d'introduire des feuillards en polyester vient dans le but de les valoriser et pour améliorer certaines caractéristiques Mécanique (résistance à la flexion) de notre composite. La Figure (IV.3) présente un échantillon des déchets plastique utilisés.



Figure IV. 3: Déchets utilisés *Feuillard en polyester*

### IV.3. Caractérisation Mécanique

#### IV.3.1. Résistances mécaniques

Dans le cadre de notre travail, nous avons fait des essais à la compression, flexion sur une presse hydraulique. Les échantillons testés sont des éprouvettes de forme prismatique de ( $4 \times 4 \times 16 \text{cm}^3$ ) avec rapport (E/P) constant  $E/P = 0,6$

#### ❖ Mesure expérimentale

##### ❖ Essais mécaniques

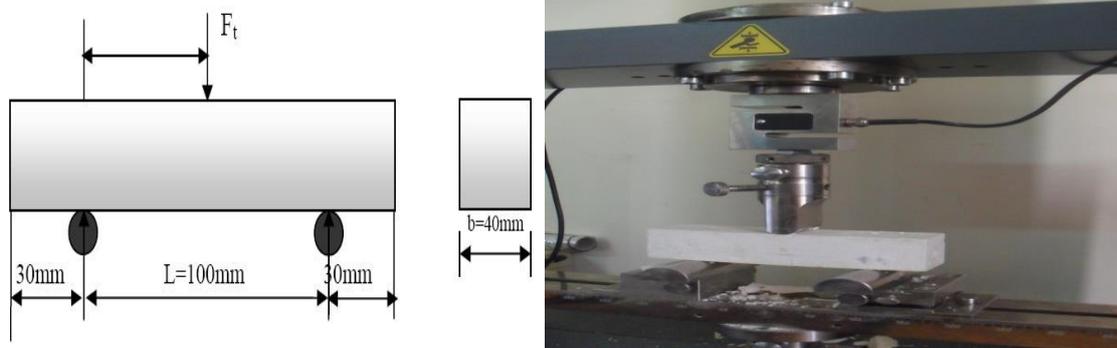
Il s'agit de l'essai de flexion à trois points et l'essai de compression. Les essais sont réalisés, selon la norme EN 196-1, sur les échantillons élaborés utilisant un appareil d'essai mécanique de marque RP 3000 XP/P sur Pied de charge maximale 3000KN [Norme : EN 12390-4]



Figure IV. 4 : RP 3000XP/P sur Pied

### ❖ Essai de rupture par flexion

L'essai de flexion 3 points est effectué sur des prismes de  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$  avec une vitesse de mise en charge de  $50 \text{ N/s} \pm 10 \text{ N/s}$ . La rupture de chaque éprouvette en flexion est effectuée conformément au dispositif présenté sur la figure suivante



**Figure IV. 5:** Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion

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

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

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

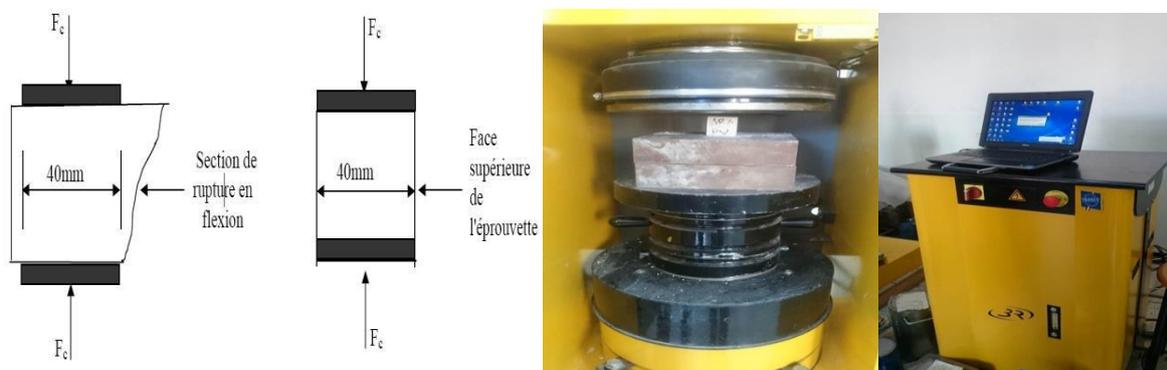
**R<sub>f</sub>** : Résistance à la flexion en **MPa** ;

**F<sub>f</sub>** : Charge à la rupture en **N**.

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

### Essai de rupture par compression

L'essai consiste à comprimer jusqu'à écrasement un échantillon du matériau étudié. Les morceaux restants d'éprouvettes obtenus après rupture en flexion sont alors soumis à une compression uniaxiale. La force de rupture est affichée sur l'écran de l'ordinateur de LRG C. L'essai de compression est présenté dans la figure suivante :



**Figure IV. 6:** 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.

### Mode opératoire

#### Formulation de composite

L'absence d'une méthode universelle pour la formulation des compositions à base de plâtre nous a conduit à suivre les recommandations pour la construction en plâtre donnée par le [CNERIB, et Djoudi A].

- ❖ Au début on détermine la consistance normale et on fixe le rapport  $E/P = 0,60$
- ❖ On va couper les déchets de plastique à des morceaux avec une épaisseur de 3mm et de longueur de 14 à 15 cm
- ❖ On considère que : tous les pourcentages (Eau, Poudre de verre, déchet de plastique) sont par rapport à la quantité du plâtre de la composition concernée.
- ❖ On donne les mélanges suivants :
  - ✓ Mélange 1 :(témoin), Pâte pure en plâtre, avec un rapport ( $E/P=0,6$ ) noté  $P_{réf}$ .
  - ✓ Mélange 2 : constitué de plâtre avec différents pourcentages du feuillard en plastique de teneur de 01% à 02%, noté  $P_{fp}$  (01%) à  $P_{fp}$ (02%).
  - ✓ Mélange3 : Pâte pure en plâtre avec ajouts de poudre de verre et de teneur de 05% à 10%, noté  $P_{pv}$  (05%) à  $P_{pv}$ (10%).
  - ✓ Mélange4 : constitué de plâtre avec ajouts de poudre de verre de teneur de 05% avec pourcentage du feuillard en plastique de 01%
  - ✓ Mélange5 : constitué de plâtre avec ajouts de poudre de verre de teneur de 05% avec pourcentage du feuillard en plastique de 02%
  - ✓ Mélange6 : constitué de plâtre avec ajouts de poudre de verre de teneur de 10% avec pourcentage du feuillard en plastique de 01%
  - ✓ Mélange7 : constitué de plâtre avec ajouts de poudre de verre de teneur de 10% avec pourcentage du feuillard en plastique de 02%

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

Une fois le Rapport E/P est fixé, nous avons procédé à la confection des échantillons et la mise en œuvre de chaque mélange et présentée ci-dessous :

**Mélange (1) : Plâtre témoin ( $P_{réf}$ )**

- 1- Préparer les surfaces intérieures des moules (nettoyage, huilage, serrage).
- 2- Peser les quantités totales nécessaires pour le Mélange (plâtre, eau).
- 3- Introduire la quantité d'eau dans le récipient du malaxeur avec ( $E/P=0,6$ ).
- 4- Introduire la quantité du plâtre.
- 5- Malaxage des composants durant 30 secondes.
- 6- Mettre le mélange dans les moules.
- 7- Démoulage et conservation des échantillons à l'aire libre 20°C

Les résultats de la formulation du plâtre témoin ( $P_{réf}$ ) sont illustrés sur le tableau suivant

**Tableau IV. 2:** Mélange de plâtre pur ( $P_{réf}$ ).

Mélange	Masse du plâtre (g)	Masse volumique en $g/cm^3$
T01	317	1,23
T02	327	1,27
T03	319	1,24
T04	318	1,24
T05	318	1,24
T06	313	1,22
T07	313	1,22
TM <sub>OY</sub>	317,85	1,24

**Mélange 2 : plâtre + feillard en plastique**

- 1- Préparer les surfaces intérieures des moules (nettoyage, huilage, serrage).
- 2- Peser les quantités totales nécessaires pour le Mélange (plâtre, eau, FP).
- 3- Introduire la quantité d'eau dans le récipient du malaxeur avec ( $E/P=0,6$ ).
- 4- Introduire la quantité du plâtre.
- 5- Malaxage des composants durant 30 secondes.
- 6- Mettre une couche de plâtre dans le moule ensuite mettre une quantité du feillard en plastique sur la première couche après on répète la même opération et on finalise par une dernière couche du plâtre ;
- 7- Mettre le mélange dans les moules.
- 8- Démoulage et conservation des échantillons à l'aire libre 20°C

**Les résultats de la formulation de mélange 2 :**

**Tableau IV. 3:** constitué de plâtre avec différents pourcentages du feuillard en plastique de teneur de 01% à 02%, noté P<sub>fp</sub> (01%) à P<sub>fp</sub>(02%)

Mélange	Masse du plâtre (g)	Masse volumique en g/cm <sup>3</sup>
<b>P<sub>fp</sub> (01%)</b>		
P <sub>fp</sub> (01%)	320	1,25
P <sub>fp</sub> (01%)	353	1,38
P <sub>fp</sub> (01%)	344	1,34
P <sub>fp</sub> (01%)	350	1,36
P <sub>fp</sub> (01%)	339	1,32
P <sub>fp</sub> (01%)	340	1,33
P <sub>fp</sub> (01%) M	341	1,33
<b>P<sub>fp</sub> (02%)</b>		
P <sub>fp</sub> (02%)	358	1,40
P <sub>fp</sub> (02%)	326	1,27
P <sub>fp</sub> (02%)	351	1,37
P <sub>fp</sub> (02%)	341	1,33
P <sub>fp</sub> (02%)	366	1,43
P <sub>fp</sub> (02%)	363	1,42
P <sub>fp</sub> (02%) M <sub>OY</sub>	351	1,37

**Mélange 3 :** plâtre + poudre de verre

- 1- Préparer les surfaces intérieures des moules (nettoyage, huilage, serrage).
- 2- Peser les quantités totales nécessaires pour le Mélange (plâtre, eau, poudre de verre).
- 3- Introduire la quantité d'eau dans le récipient du malaxeur avec (E/P=0,6).
- 4- Introduire la quantité du mélange (plâtre + 5% PV, plâtre + 10% PV) dans le récipient.
- 5- Malaxage des composants durant 30 secondes.
- 6- Mettre le mélange dans les moules.
- 7- Démoulage et conservation des échantillons à l'aire libre 20°C

**Les résultats de la formulation du mélange 3 :**

**Tableau IV. 4:** Pâte pure en plâtre avec ajouts de poudre de verre et de teneur de 05% à 10%, noté  $P_{pv}$  (05%) à  $P_{pv}$  (10%).

Mélange	Masse du plâtre (g)	Masse volumique en g/cm <sup>3</sup>
<b>P<sub>v</sub> (05%)</b>		
P <sub>v</sub> (05%)	352	1,37
P <sub>v</sub> (05%)	350	1,36
P <sub>v</sub> (05%)	355	1,39
P <sub>v</sub> (05%)	354	1,38
P <sub>v</sub> (05%)	341	1,33
P <sub>v</sub> (05%)	319	1,25
P <sub>v</sub> (05%) M <sub>OY</sub>	345	1,35
<b>P<sub>v</sub> (10%)</b>		
P <sub>v</sub> (10%)	325	1,40
P <sub>v</sub> (10%)	350	1,27
P <sub>v</sub> (10%)	346	1,37
P <sub>v</sub> (10%)	347	1,33
P <sub>v</sub> (10%)	356	1,43
P <sub>v</sub> (10%)	354	1,42
P <sub>v</sub> (10%) M <sub>OY</sub>	346	1,37

**Mélange 4 : plâtre + 05% PV + 01% FP**

- 1- Préparer les surfaces intérieures des moules (nettoyage, huilage, serrage).
- 2- Peser les quantités totales nécessaires pour le Mélange (plâtre, eau, FP, PV).
- 3- Introduire la quantité d'eau dans le récipient du malaxeur avec (E/P=0,6).
- 4- Introduire la quantité du mélange (plâtre + 05% PV),
- 5- Malaxage des composants durant 30 secondes.
- 6- Mettre une couche de plâtre + 05% PV dans le moule ensuite mettre 01% du FP sur la première couche après on répète la même opération et on finalise par une dernière couche du plâtre ;
- 7- Mettre le mélange dans les moules.
- 8- Démoulage et conservation des échantillons à l'aire libre 20°C

**Les résultats de la formulation du mélange 4 : plâtre + 05% PV + 01% FP**

**Tableau IV. 5:** constitué de plâtre avec ajouts de poudre de verre de teneur de 05% avec pourcentage du feuillard en plastique de 01%

Mélange	Masse du plâtre (g)	Masse volumique en g/cm <sup>3</sup>
<b>05%Pv +01% FP</b>		
5%Pv + 01% FP	354	1,38
5%Pv + 01% FP	331	1,29
5%Pv + 01% FP	341	1,33
5%Pv + 01% FP	341	1,33
5%Pv + %01 FP M <sub>OY</sub>	342	1,33

**Mélange 5 : plâtre + 05% PV + 02% FP**

- 1- Préparer les surfaces intérieures des moules (nettoyage, huilage, serrage).
- 2- Peser les quantités totales nécessaires pour le Mélange (plâtre, eau, FP, PV).
- 3- Introduire la quantité d'eau dans le récipient du malaxeur avec (E/P=0,6).
- 4- Introduire la quantité du mélange (plâtre + 5% PV),
- 5- Malaxage des composants durant 30 secondes.
- 6- Mettre une couche de plâtre + 05% PV dans le moule ensuite mettre 02% du FP sur la première couche après on répète la même opération et on finalise par une dernière couche du plâtre ;
- 7- Mettre le mélange dans les moules.
- 8- Démoulage et conservation des échantillons à l'aire libre 20°C

**Les résultats de la formulation du mélange 5 : plâtre + 05% PV + 02% FP**

**Tableau IV. 6:** constitué de plâtre avec ajouts de poudre de verre de teneur de 05% avec pourcentage du feuillard en plastique de 02%

Mélange	Masse du plâtre (g)	Masse volumique en g/cm <sup>3</sup>
<b>05%PV + 02% FP</b>		
05%PV + 02% FP	340	1,33
05%PV + 02% FP	341	1,33
05%PV + 02% FP	323	1,26
05%PV + 02% FPM <sub>OY</sub>	335	1,31

**Mélange 6 : plâtre + 10% PV + 01% FP**

- 1- Préparer les surfaces intérieures des moules (nettoyage, huilage, serrage).
- 2- Peser les quantités totales nécessaires pour le Mélange (plâtre, eau, FP, PV).
- 3- Introduire la quantité d'eau dans le récipient du malaxeur avec (E/P=0,6).
- 4- Introduire la quantité du mélange (plâtre + 10% PV),
- 5- Malaxage des composants durant 30 secondes.
- 6- Mettre une couche de plâtre + 10% PV dans le moule ensuite mettre 01% du FP sur la première couche après on répète la même opération et on finalise par une dernière couche du plâtre ;
- 7- Mettre le mélange dans les moules.
- 8- Démoulage et conservation des échantillons à l'aire libre 20°C

**Les résultats de la formulation du mélange 6 : plâtre + 10% PV + 01% FP**

**Tableau IV. 7:** constitué de plâtre avec ajouts de poudre de verre de teneur de 10% avec pourcentage du feuillard en plastique de 01%

Mélange	Masse du plâtre (g)	Masse volumique en g/cm <sup>3</sup>
<b>10% PV + 1% FP</b>		
10%Pv + 01% FP	323	1,26
10%Pv + 01% FP	328	1,28
10%Pv +01% FP	333	1,30
10%Pv +01% FPM <sub>OY</sub>	328	1,28

**Mélange 7 : plâtre + 10% PV + 02% FP**

- 1- Préparer les surfaces intérieures des moules (nettoyage, huilage, serrage).
- 2- Peser les quantités totales nécessaires pour le Mélange (plâtre, eau, FP, PV).
- 3- Introduire la quantité d'eau dans le récipient du malaxeur avec (E/P=0,6).
- 4- Introduire la quantité du mélange (plâtre + 10% PV).
- 5- Malaxage des composants durant 30 secondes.
- 6- Mettre une couche de plâtre + 10% PV dans le moule ensuite mettre 02% du FP sur la première couche après on répète la même opération et on finalise par une dernière couche du plâtre ;
- 7- Mettre le mélange dans les moules.
- 8- Démoulage et conservation des échantillons à l'aire libre 20°C

**Les résultats de la formulation du mélange 7 : plâtre + 10% PV + 02% FP**

**Tableau IV. 8:** constitué de plâtre avec ajouts de poudre de verre de teneur de 10% avec pourcentage du feuillard en plastique de 02%

Mélange	Masse du plâtre (g)	Masse volumique en g/cm <sup>3</sup>
<b>10%Pv + 02% FP</b>		
10%Pv +02% FP	347	1,34
10%Pv + 02% FP	348	1,36
10%Pv + 02% FP	351	1,37
10%Pv + 02% FP Moy	349	1,36

## PARTIE II

### IV.5. Étude des propriétés mécaniques

#### IV.5.1. Résistance à la flexion

Nous avons mesuré la résistance à la flexion des différents Mélanges par l'essai de flexion 3 points. Rappelons que la description de l'essai est présentée au **PARTIE I**.

Les essais sont réalisés sur des éprouvettes prismatiques de 4x4x16 cm<sup>3</sup>, pour chaque mélange (plâtre témoin, plâtre + %PV, plâtre +%FP, plâtre + %PV + %FP),

Les résultats des essais sur les différents mélanges sont regroupés dans les tableaux suivants ci-dessous.

**Tableau IV. 9:** Variation de la résistance à la flexion pour les mélanges Témoins

Mélange	M(g)	MV (g/cm <sup>3</sup> )	F max (N)	$\sigma$ de Flexion (MPa)
T01	317	1,24	958,12	2,25
T02	327	1,28	999,61	2,34
T03	319	1,25	1027,26	2,41
T04	318	1,24	842,77	1,98
T05	318	1,24	727,28	1,70
T06	313	1,22	878,12	2,06
T07	313	1,22	1125,42	2,64
T Moy	317,85	1,24	936,94	2,20

Tableau IV. 10: Variation de la résistance à la flexion pour le mélange 2

Mélange	M (g)	MV (g/cm <sup>3</sup> )	F max (N)	σ de Flexion (MPa)
<b>P<sub>fp</sub> (01%)</b>				
P <sub>fp</sub> (01%)	320	1,25	2137,07	5,01
P <sub>fp</sub> (01%)	353	1,38	1886,13	4,42
P <sub>fp</sub> (01%)	344	1,34	1986,85	4,66
P <sub>fp</sub> (01%)	350	1,36	1859,93	4,36
P <sub>fp</sub> (01%)	339	1,32	2030,42	4,76
P <sub>fp</sub> (01%)	340	1,33	1893,98	4,44
P <sub>fp</sub> (01%) M	341	1,33	1965,73	4,61
<b>P<sub>fp</sub> (02%)</b>				
P <sub>fp</sub> (02%)	358	1,40	1786,07	4,19
P <sub>fp</sub> (02%)	326	1,27	1932,92	4,53
P <sub>fp</sub> (02%)	351	1,37	1852,34	4,34
P <sub>fp</sub> (02%)	341	1,33	1839,27	4,31
P <sub>fp</sub> (02%)	366	1,43	2016,88	4,73
P <sub>fp</sub> (02%)	363	1,42	1697,14	3,98
P <sub>fp</sub> (02%) M <sub>OY</sub>	351	1,37	1854,10	4,35

Tableau IV. 11: Variation de la résistance à la flexion pour le mélange 3

Mélange	M (g)	MV (g/cm <sup>3</sup> )	F max (N)	σ de Flexion (MPa)
<b>P<sub>v</sub> (05%)</b>				
P <sub>v</sub> (05%)	P <sub>v</sub> (05%)	P <sub>v</sub> (05%)	916,75	2,15
P <sub>v</sub> (05%)	P <sub>v</sub> (05%)	P <sub>v</sub> (05%)	795,40	1,86
P <sub>v</sub> (05%)	P <sub>v</sub> (05%)	P <sub>v</sub> (05%)	923,50	2,16
P <sub>v</sub> (05%)	P <sub>v</sub> (05%)	P <sub>v</sub> (05%)	845,75	1,98
P <sub>v</sub> (05%)	P <sub>v</sub> (05%)	P <sub>v</sub> (05%)	929,58	2,18
P <sub>v</sub> (05%)	P <sub>v</sub> (05%)	P <sub>v</sub> (05%)	943,31	2,21
P <sub>v</sub> (05%) M	P <sub>v</sub> (05%) M	P <sub>v</sub> (05%) M	892.38	2,09
<b>P<sub>v</sub> (10%)</b>				
P <sub>v</sub> (10%)	P <sub>v</sub> (10%)	P <sub>v</sub> (10%)	881,17	2,07
P <sub>v</sub> (10%)	P <sub>v</sub> (10%)	P <sub>v</sub> (10%)	721,30	1,69
P <sub>v</sub> (10%)	P <sub>v</sub> (10%)	P <sub>v</sub> (10%)	909,09	2,13
P <sub>v</sub> (10%)	P <sub>v</sub> (10%)	P <sub>v</sub> (10%)	728,70	1,71
P <sub>v</sub> (10%)	P <sub>v</sub> (10%)	P <sub>v</sub> (10%)	843,16	1,98
P <sub>v</sub> (10%)	P <sub>v</sub> (10%)	P <sub>v</sub> (10%)	816,29	1,91
P <sub>v</sub> (10%) M	P <sub>v</sub> (10%) M	P <sub>v</sub> (10%) M	816,62	1,91

Tableau IV. 12: Variation de la résistance à la flexion pour le mélange 4

Mélange	M (g)	MV (g/cm <sup>3</sup> )	F max (N)	σ de Flexion (MPa)
<b>05%P<sub>v</sub> + 01% FP</b>				
05%P <sub>v</sub> + 01% FP	354	1,38	1824,14	4,28
05%P <sub>v</sub> + 01% FP	331	1,29	1039,05	2,44
05%P <sub>v</sub> + 01% FP	341	1,33	1427,31	3,35
05%P <sub>v</sub> + 01% FP M <sub>OY</sub>	342	1,33	1430,16	3,36

**Tableau IV. 13:** Variation de la résistance à la flexion pour le mélange 5

Mélange	M (g)	MV (g/cm <sup>3</sup> )	F max (N)	$\sigma$ de Flexion (MPa)
<b>5%Pv + 02% FP</b>				
05%PV + 02% FP	340	1,33	1056,83	2,48
05%PV + 02% FP	341	1,33	2281,73	5,35
05%PV + 02% FP	323	1,26	2217,59	5,20
05%PV + 02% FPM <sub>OY</sub>	335	1,31	1852,05	4,34

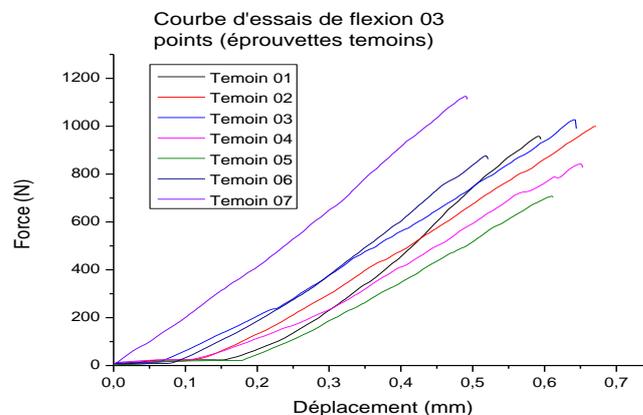
**Tableau IV. 14:** Variation de la résistance à la flexion pour le mélange 6

Mélange	M (g)	MV (g/cm <sup>3</sup> )	F max (N)	$\sigma$ de Flexion (MPa)
<b>10%Pv +01% FP</b>				
10%Pv + 01% FP	323	1,26	1046,69	2,45
10%Pv + 01% FP	328	1,28	1320,07	3,09
10%Pv +01% FP	333	1,30	1479,50	3,47
10%Pv +01% FP M <sub>OY</sub>	328	1,28	1282,09	3,00

**Tableau IV. 15:** Variation de la résistance à la flexion pour le mélange 7

Mélange	M (g)	MV (g/cm <sup>3</sup> )	F max (N)	$\sigma$ de Flexion (MPa)
<b>10%Pv +02% FP</b>				
10%Pv + 02% FP	347	1,34	2087,72	4,89
10%Pv + 02% FP	348	1,36	1838,40	4,31
10%Pv + 02% FP	351	1,37	1950,27	4,57
10%Pv + 02% FP M <sub>OY</sub>	349	1,36	1958,80	4,59

La variation de la résistance à la flexion des mélanges des éprouvettes est affichée sur les courbes des figures ci-dessous :

**Figure IV.7 :** Essais de flexion 03 points des éprouvettes témoins Mélange 01

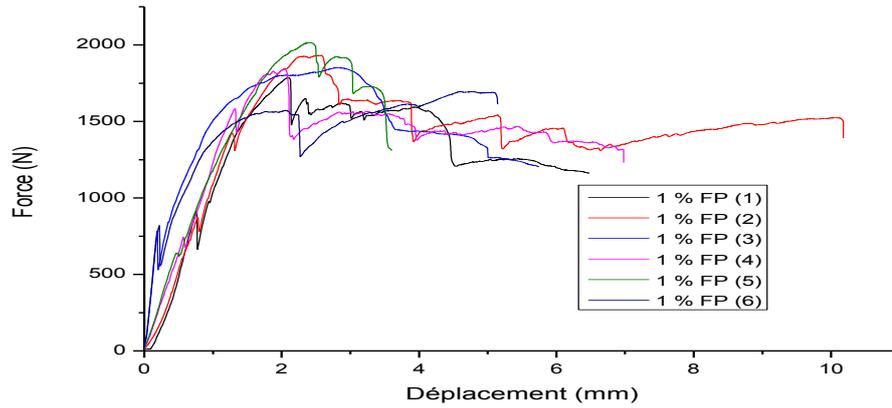


Figure IV.8: Essais de flexion 03 points des éprouvettes de Mélange 02 (Plâtre + 01% FP)

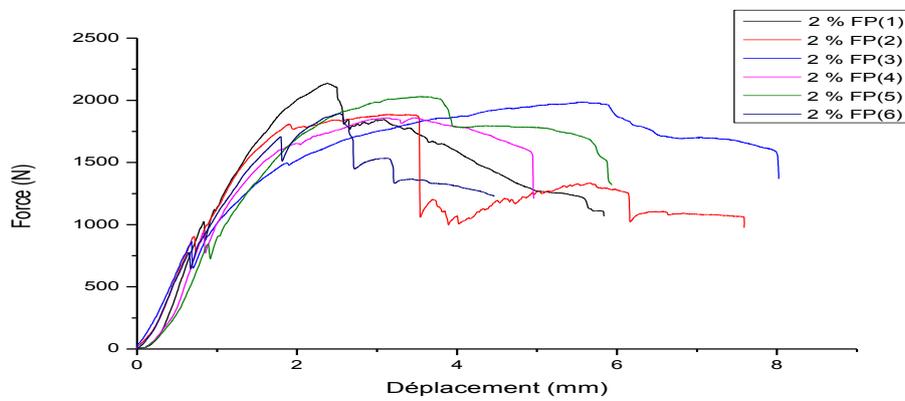


Figure IV. 9: Essais de flexion 03 points des éprouvettes de Mélange 03 (Plâtre + 02% FP)

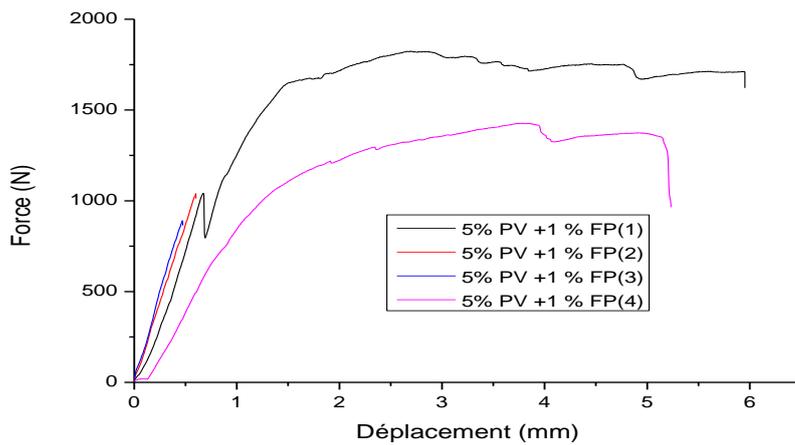


Figure IV. 10: Essais de flexion 03 points des éprouvettes de Mélange 04 (Plâtre + 01% FP + 5% PV)

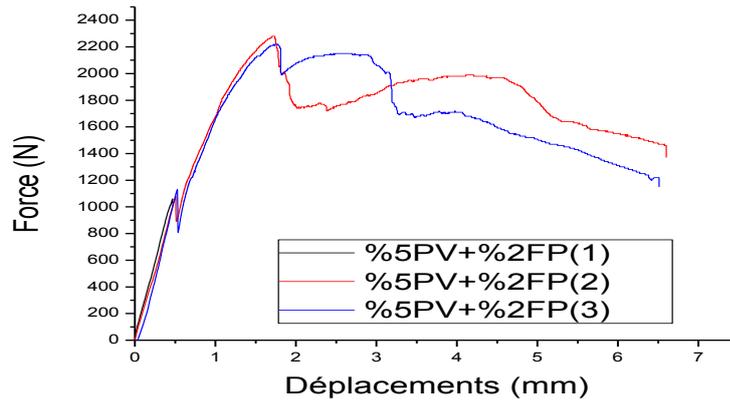


Figure IV.11 : Essais de flexion 03 points des éprouvettes de Mélange 05 (Plâtre + 02% FP + 5%PV)

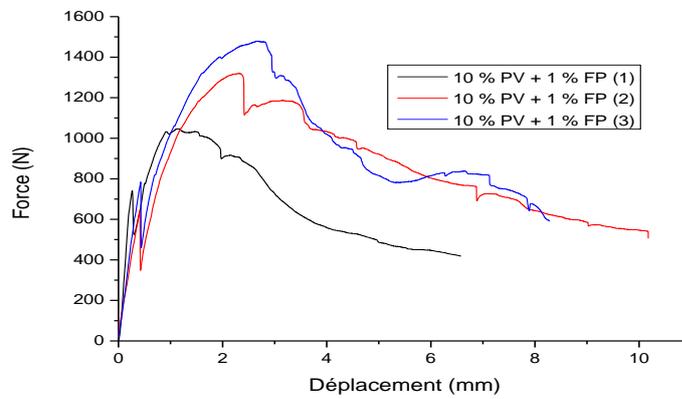


Figure IV. 12 : Essais de flexion 03 points des éprouvettes de Mélange 06 (Plâtre + 01% FP + 10%PV)

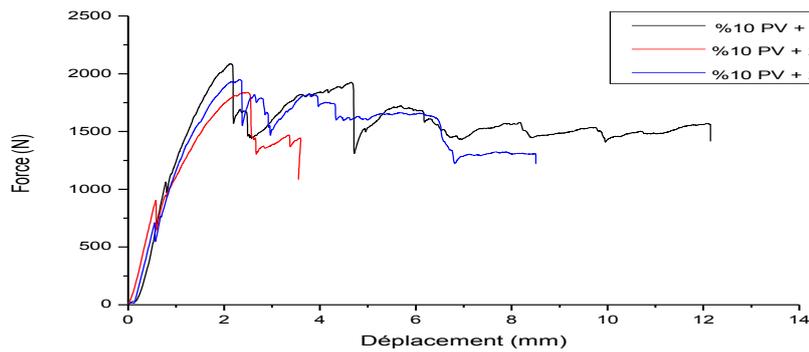


Figure IV.13 : Essais de flexion 03 pts des éprouvettes du Mélange 07 (Plâtre + 02% FP +10%PV)

### IV.5.2. Discussion et Interprétation des résultats

- D'après les figures IV.8, IV.9, IV.10, IV.11, IV.12 et IV.13, on remarque une croissance de la résistance à la flexion pour toutes les teneurs utilisées (01% et 02% de FP) et (05% et 10% de PV), par rapport aux éprouvettes témoins (figure IV.7). Cela est expliqué par le fait de l'intégration des fibres plastiques, qui jouent le rôle d'un renfort dans le mélange, ce qui améliore la résistance à la flexion.
- On observe dans les figures IV.8, IV.9, une augmentation de la résistance à la flexion pour la teneur de (02% de FP) par rapport à (01% de FP), cette croissance est due à l'augmentation de pourcentage de fibres plastiques, car ces dernières jouent un grand rôle dans la résistance à la flexion, vu la résistance à la flexion élevée des fibres.
- Les figures IV.10, IV.11, représentent une croissance de la résistance à la flexion pour la teneur de (02% FP+5%PV), par rapport (01% FP+5%PV), aussi est expliquée par le fait d'intégration de fibres plastiques, de même pour les figures IV.12, IV.13, confirment aussi une croissance de la résistance à la flexion pour la teneur de (02% FP+10%PV) par rapport (01% FP+10%PV).
- D'après les figures (IV.10, IV.11) et (IV.12, IV.13), on observe une diminution de la résistance à la flexion pour la teneur de (02% FP+10%PV) et (01% FP+10%PV) par rapport (02% FP+05%PV) et (01% FP+05%PV).
- Les figures IV.10, IV.12, illustrent une diminution de la résistance à la flexion pour la teneur de (01% FP+10%PV) par rapport (01% FP+05%PV), qui peut être expliquée l'augmentation de pourcentage de poudre de verre de 05% à 10%.

#### Remarque 01

- D'après les résultats d'essais de flexion sur les éprouvettes élaborées, on note qu'une amélioration de la résistance à la flexion en fonction de l'augmente des pourcentages de fibres plastique (1 et 2 %). Cette croissance est expliquée par le fait d'intégrer les fibres plastiques, qui jouent un rôle de renfort dans le composite élaboré.
- L'introduction de la poudre de verre, a affectée de manière légère la résistance à la flexion, qui peut être expliquée par une diminution de la cohésion de l'interface fibre matrice, mais qui améliore la résistance à la compression.

## IV.6. Résistance à la compression

Les mesures de la résistance à la compression des différents mélanges ont été effectuées sur les demi-échantillons (4×4×4), issues de l'essai de flexion. Les résultats des essais sur les différents mélanges sont regroupés dans des tableaux.

Tableau IV. 16: Résistance à la compression pour les témoins

Mélange	M (g)	MV (g/cm <sup>3</sup> )	F max (KN)	$\sigma$ de compression (MPa)
<b>Témoins</b>				
T01	83	1,30	14,8	9,3
T02	77	1,20	16,5	10,3
T03	81	1,27	20,0	12,5
T04	84	1,31	20,7	12,9
T Moy	81,25	1,27	18	11,25

Tableau IV. 17: Résistance à la compression des échantillons de 05% PV

Mélange	M (g)	MV (g/cm <sup>3</sup> )	F max (KN)	$\sigma$ de compression (MPa)
<b>05%PV</b>				
05%PV	83	1,30	13,6	8,5
05%PV	86	1,34	11,8	7,4
T Moy	84,5	1,32	12,7	7,9

Tableau IV. 18: Résistance à la compression des échantillons de 10% FP

Mélange	M (g)	MV (g/cm <sup>3</sup> )	F max (KN)	$\sigma$ de compression (MPa)
<b>10%PV</b>				
10%PV	84	1,31	11,9	7,4
10%PV	88	1,38	15,9	9,9
10%PV	88	1,38	14,2	8,9
10%PV	89	1,39	11,8	7,3
10%PVMoy	87,25	1,36	13,45	8,37

Tableau IV. 19: Résistance à la compression des échantillons de 01% FP

Mélange	M (g)	MV (g/cm <sup>3</sup> )	F max (KN)	$\sigma$ de compression (MPa)
<b>1%FP</b>				
01%FP	87	1,35	11,3	7,1
01%FP	86	1,34	12,0	7,5
01%FP	88	1,38	11,7	7,3
01%FP Moy	87	1,36	11,7	7,3

**Tableau IV. 20:** Résistance à la compression des éprouvettes de 02% FP

Mélange	M (g)	MV (g/cm <sup>3</sup> )	F max (KN)	$\sigma$ de compression (MPa)
<b>02%FP</b>				
02%FP	83	1,30	12,6	7,9
02%FP	89	1,39	12,1	7,5
02%FP	88	1,38	12,4	7,8
02%FP M <sub>OY</sub>	87	1,36	12,37	7,7

**Tableau IV. 21:** Résistance à la compression des éprouvettes de 01% FP+05% PV

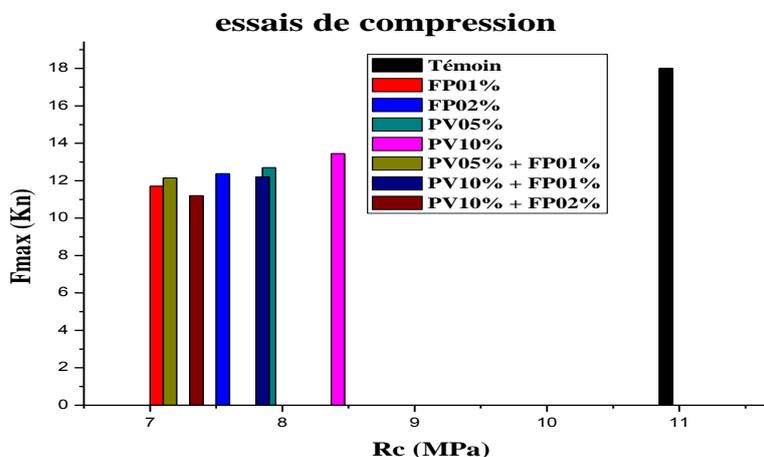
Mélange	M (g)	MV (g/cm <sup>3</sup> )	F max (KN)	$\sigma$ de compression (MPa)
<b>05%PV+ 01%FP</b>				
05%PV+ 01%FP	83	1,29	12,1	7,6
05%PV+ 01%FP	85	1,33	12,2	7,8
05%PV+ 01%FPM <sub>OY</sub>	84	1.31	12.15	7.7

**Tableau IV. 22:** Résistance à la compression des éprouvettes de 01% FP+10% PV

Mélange	M (g)	MV (g/cm <sup>3</sup> )	F max (KN)	$\sigma$ de compression (MPa)
<b>10%PV+ 01%FP</b>				
10%PV+ 01%FP	77	1,20	12,1	7,5
10%PV+ 01%FP	79	1,23	12,3	7,7
10%PV+ 01%FPM <sub>OY</sub>	78	1,21	12,2	7,6

**Tableau IV. 23:** Résistance à la compression des éprouvettes de 10% PV

Mélange	M (g)	MV (g/cm <sup>3</sup> )	F max (KN)	$\sigma$ de compression (MPa)
<b>10%PV+ 02%FP</b>				
10%PV+ 02%FP	81	1,27	11,2	7,0

**Figure IV.14 :** Essais de Compression

### IV.6.1. Discussion et interprétation

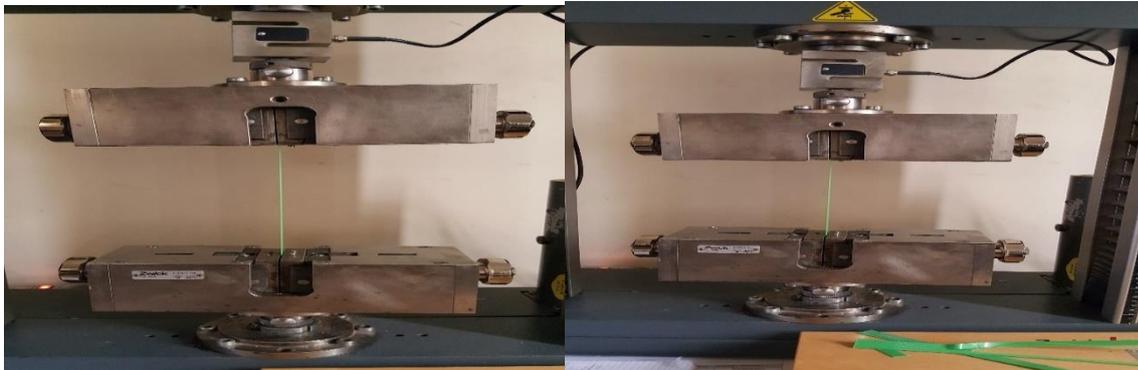
- D'après les tableaux (IV.16 à IV.23), on remarque que la résistance à la compression est inférieure à la résistance des éprouvettes témoins pour toutes les mélanges élaborés. Ceci peut être expliqué par l'intégration des fibres plastiques et l'ajout de poudre de verre dans le plâtre.
- Les tableaux (IV.17, IV.18), montrent que la résistance à la compression à l'âge de 28 jours augmente avec l'ajout de poudre de verre de 7,9 MPa pour la composition plâtre + 5% poudre de verre à 8,37 MPa pour la variante plâtre +10% poudre de verre. Cela est dû à l'incorporation de poudre de verre qui provoque une amélioration sur cette résistance de compression par effet physique.
- On constate aussi dans les tableaux (IV.19, IV.20), que la résistance à la compression à l'âge de 28 jours augmente avec l'ajout de fibre plastique de 7,3 MPa pour la composition plâtre + 1% FP à 7,7 MPa et la composition plâtre + 2% FP. Cela est dû à l'incorporation de fibre plastique ces dernière participent aussi dans l'amélioration de la résistance à la compression.
- D'après les tableaux (IV.21, IV.22), on remarque que la résistance à la compression à l'âge de 28 jours augmente avec l'ajout de fibre plastique et poudre de verre, de 7,6 MPa pour la composition plâtre + 1% FP et 05%PV à 7,7 MPa pour la composition plâtre + 1% FP et 10% de PV. Cela est expliquée par l'incorporation de poudre de verre et fibres plastiques et aussi par l'augmentation de pourcentage de poudre de verre de 05% à 10%.

#### Remarque 02

- Nous avons constaté que :
  - La résistance à la compression, à l'âge de 28 jours augmente avec l'augmentation des pourcentages de poudre de verre. Cette croissance est confirmée aussi par la littérature, car la poudre de verre améliore la résistance à la compression, on peut dire que dans notre travail nous arrivons à améliorer la résistance à la compression du plâtre par l'augmentation de pourcentage de poudre de verre.
  - Les fibres plastiques provoquent une légère croissance de la résistance à la compression, expliquée par l'effet renfort des fibres.

**IV.7. Résistance à la traction**

Nous avons fait l'essai de traction sur le Feuillard en plastique (PET), On a utilisé 6 morceaux pour l'essai de traction FP0 1 jusqu'à FP06.



**Figure IV.15 : Traction des FP**

**Module de Young**

Une relation peut s'écrire entre la contrainte et la déformation : C'est la loi de Hooke

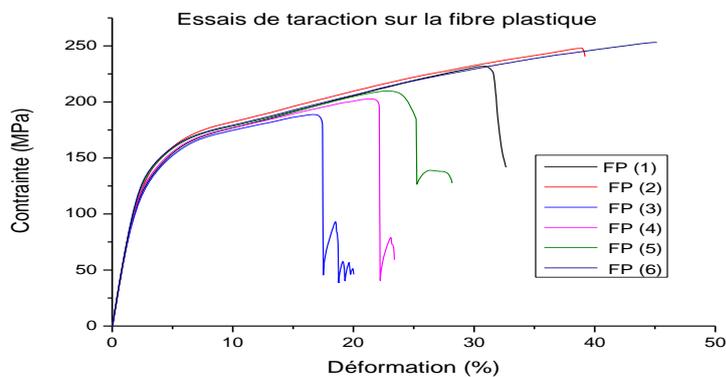
$$\sigma = E \times \varepsilon$$

- E est appelé le **module de Young**
- Unité est le N/m<sup>2</sup> ou Pa (Pascal)(\*)

**Tableau IV. 24:** Calcul Module de Young

FP	FP 01	FP 02	FP 03	FP 04	FP 05	FP 06
<b>Module de Young (E)</b>	55,2	55,8	52,8	56,8	57,8	58,6
<b>Moy</b>	56,2					

Le résultat d'essai est illustré dans la courbe suivante :



**Figure IV.16 : Essais de traction sur la FP**

### IV.7.1. Discussion et interprétation

- D'après la Figure IV.16, qui représente l'évolution de la contrainte par rapport à la déformation on remarque que ce type de fibre plastique a un comportement très complexe. Elle représente une partie élastique qui correspond à l'intervalle [0% à 5%] de la déformation et un comportement plastique qui correspond à l'intervalle [5% à 15%]
- On remarque aussi que la FP (01) et FP(06) sont les meilleurs car la contrainte de rupture est élevée par rapport aux autres Fibres, elles ont atteint une résistance de traction jusqu'à 250 MPa par rapport aux autres fibres.
- La FP (03) est le moins résistant par rapport les autres FP avec une Contrainte de rupture = 180 MPa.

#### Remarque 03

La contrainte de rupture moyenne maximale des fibres testées est estimée à 203,75 MPa, et le module de Young estimé à 56, 2 MPa.

## Conclusion du chapitre IV

Dans ce chapitre nous avons fait plusieurs essais sur plusieurs types d'éprouvettes qui sont : Plâtre témoins ; plâtre+ 05%PV ; plâtre+ 10%PV ; plâtre+ 01%FP ; plâtre+ 02%FP ; plâtre+ 05%PV+ 01%FP ; plâtre+ 05%PV+ 02%FP ; plâtre+ 10%PV+ 01%FP ; plâtre + 10%PV+ 02%FP ; et on a fait les essais sur le comportement de différentes éprouvettes et on arrive aux conclusions suivantes :

- L'incorporation des fibres plastiques améliore la résistance à la flexion.
- L'incorporation de poudre de verre améliore la résistance à la compression avec l'augmentation de pourcentage de cette dernière.
- Le mélange entre les différents pourcentages de poudre de verre et les fibres plastiques améliore les deux types de comportement (compression + flexion).
- Les fibres plastiques utilisées ont une grande résistance à la traction et la flexion et ces derniers renforcent le plâtre.
- Les fibres plastiques utilisées augmentent légèrement la résistance à la compression donc ces fibres jouent un rôle aussi dans la résistance à la compression.

Des corrélations ont été établies entre les différentes variantes testées, les tableaux suivants résument les valeurs de corrélation entre les résultats obtenus.

**Tableau IV. 25:** Coefficient de corrélation [éprouvettes 4x4x16 cm<sup>3</sup>]

<b>Coef Corr [éprouvettes 4x4x16 cm<sup>3</sup>]</b>	
<b>Masse Volumique (MV)</b>	
[Témoin - 01%FP] MV	0,44914148
[Témoin - 02%FP] MV	-0,830225802
[Témoin - 05%PV] MV	0,608118899
[Témoin - 10%PV] MV	0,023440362
<b>Force Max (Fmax)</b>	
[Témoin- 01%FP] Fmax	0,019574646
[Témoin- 02%FP] Fmax	-0,322303947
[Témoin- 05%PV] Fmax	-0,278975295
[Témoin- 10%PV] Fmax	0,148575855
<b>Résistance à la flexion</b>	
[Témoin- 01%FP] Rf	0,020997008
[Témoin- 02%FP] Rf	-0,335836266
[Témoin- 05%PV] Rf	-0,284662905
[Témoin- 10%PV] Rf	0,14368289

**Tableau IV. 26:** Coefficient de corrélation [éprouvettes 4x4x4 cm<sup>3</sup>]

<b>Coef Corr [éprouvettes 4x4x4 cm<sup>3</sup>]</b>	
<b>Masse Volumique (MV)</b>	
[Témoin - 01%FP] MV	1
[Témoin - 02%FP] MV	-1
[Témoin - 05%PV] MV	-1
[Témoin - 10%PV] MV	-1
<b>Force Max (Fmax)</b>	
[Témoin- 01%FP] Fmax	1
[Témoin- 02%FP] Fmax	-1
[Témoin- 05%PV] Fmax	-1
[Témoin- 10%PV] Fmax	-1
<b>Résistance à la Compression</b>	
[Témoin- 01%FP] Rc	1
[Témoin- 02%FP] Rc	-1
[Témoin- 05%PV] Rc	-1
[Témoin- 10%PV] Rc	-1

Les résultats de corrélation confirment, une relation proportionnelle entre les propriétés (force de rupture et contrainte de rupture), ainsi que le pourcentage d'ajout et la masse volumique.

**Conclusion**

**Générale**

# Conclusion générale et perspectives

---

## Conclusion Général et perspectives

Notre Projet de recherche s'inscrit dans le cadre de valoriser les déchets de verre et les déchets plastiques dans le matériau plâtre.

L'objectif principal de ce travail est de développer les caractéristique physique et mécanique d'un plâtre, par le recyclage des déchets (poudre de verre et les déchets plastiques), et contribuer dans la matrice de plâtre, pour formuler un composite.

En remplaçant une quantité de plâtre par ces déchets. Afin d'atteindre notre but principal, nous nous sommes fixé les objectifs spécifiques suivants :

Le présent travail vise essentiellement à montrer que l'emploi d'ajout de déchets au plâtre peut offrir de nouveaux matériaux de construction qui contribuent facilement à l'amélioration de propriétés mécaniques et physiques. A ce moment-là nous nous sommes alors attachés à rechercher les formulations les plus optimales en termes de la résistance mécanique.

- ❖ Ce travail donne des indices et confirme que :
  - Les fibres plastiques améliorent, d'une façon très significatives la résistance à la flexion
  - La poudre de verre améliore la résistance à la compression avec l'augmentation de pourcentage de cette dernière.
  - Le mélange des différents pourcentages de poudre de verre et les fibres plastiques aident à obtenir des meilleurs résultats (compression flexion).
  - Nous avons utilisé des fibres plastiques de haute résistance à traction, qui sont responsable de l'amélioration des résistances mécaniques de plâtre.

On conclut que l'ajout des déchets de verre et déchets plastiques au plâtre a un effet positif sur son comportement physico-mécanique, qu'est l'objectif principal de ce travail.

## Perspectives

Il en ressort de cette étude d'autres possibles travaux tel que :

- ❖ L'étude de l'effet d'autres pourcentage de poudre de verre sur les propriétés du plâtre.
- ❖ L'effet de la géométrie des fibres.
- ❖ L'effet thermique et de l'humidité sur les propriétés.

# **Références bibliographiques**

## Références Bibliographiques

---

- [1] **Article L. 541-3** Code de l'Environnement - Livre V, Titre IV – chapitre 1er relatif à L'élimination des déchets et à la récupération des matériaux. 2007-2017 Legifrance p. (561-562)
- [2] **Article L. 541-1-1** Code de l'Environnement, Prévention et gestion des déchets 2007-2017 Legi-france p.(559)
- [3] **S. SAADANI** Comportement des bétons à base de granulats recyclés, MEMOIRE DE MAGISTER, UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE p (25,26,27,28,56)
- [4] **Karim Ouamane**, DG L'AND au service de la gestion des déchets industriels Alger, 25 mai 2017
- [5] **Benimam Samir, DebiebFarid, Bentchikou Mohamed, Guendouz Mohamed** Valorisation et Recyclage des Déchets Plastiques dans le Béton 2014
- [6] **BONNET S, TURATSINZE A et GRANJU J-L** effets de l'incorporation de granulats en caoutchouc, issus du broyage de pneus usagés sur la résistance à la fissuration d'un mortier de ciment, Annales du bâtiment et des travaux publics, décembre 2004-N° 6
- [7] **L. ZEGHICHI** Etude des bétons basiques a base des différents granulats 2006.p (6,7,8,13)
- [8] **KASSOU.Y** Contribution à l'amélioration de l'isolation thermique de l'enveloppe des bâtiments : Elaboration d'un composite plâtre-bois 2016 p 49, 80,84
- [09] **Jean-Marie Berthelot** Mécanique des Matériaux et Structures Composites 2013
- [10] **Lionel GENDRE** Matériaux composites et structures composites 2011 p 2,3,4
- [11] **MAKHLOUF** Caractérisation en statique du comportement en traction direct du béton armé de fibres en copeaux université de Tizi-Ouzou 2010 p.(16,17,18)
- [12] **HADDADI.M** Etude numérique avec comparaison expérimentale des propriétés thermophysiques des matériaux composites à matrice polymère 2011 P 30
- [13] **Guy Némoz** La chimie et l'habitat, Le textile, un matériau multifonctionnel
- [14] GLOSSAIRE DES MATERIAUX COMPOSITES," Centre d'animation régional en matériaux avancés, 2006.
- [15] **D. GUILLON**, "Fibres de verre de renforcement," Techniques de l'Ingénieur, vol. A2110.
- [16] **J. LUYCKX**, "Fibres de carbone," Techniques de l'Ingénieur, vol. A2210.
- [17] **P. JACQUINET**, "Moulage par compression des SMC polyesters et phénoliques," Techniques de l'Ingénieur, vol. A 3 727.
- [18] **Daniel DALIGANG**. Plâtre. Techniques de l'Ingénieur, 'Traité Construction'(C910):24 p., jan 2002.p.(35,36,37,38)

## Références Bibliographiques

---

- [19] **Les Industries du plâtre**. La plaque de plâtre au cœur de la construction durable. [Http://www.lesindustriesduplatre.org](http://www.lesindustriesduplatre.org), 21/09/2011
- [20] **Philippe COQUARD**. Résistance mécanique des plâtres secs et humides. PhD thesis, Université de droit, d'économie et des sciences d'Aix-Marseille III, 1992.
- [21] **Fabien Betene Ebanda** Etude des propriétés mécaniques et thermiques du Plâtre renforcé de fibres végétales tropicales 2012 p (47.48.49)
- [22] **Hamouda JAFFEL**. Caractérisation multi-échelles de matériaux poreux en évolution : cas du plâtre. PhD thesis, Ecole Polytechnique, 2006.
- [23] **Sophie EVE**. Comportement à la prise et caractérisation mécanique de matériaux composites à base de plâtre. PhD thesis, Université de Caen, 2003.
- [24] **RACHEDI Mokhtar** Contribution à l'Etude de la durabilité de mortier de plâtre à base de sable de dunes renforcé par des fibres de palmier dattier p (27-28)
- [25] **DJOUDI Amina** "Caractérisation structurale et rhéologique des bétons de plâtre et leur renforcement par les fibres végétales du palmier dattier", thèse de magister, UNIVERSITE DE LAGHOUAT, 2001. p (25,32,33)
- [26] **C.N.E.R.I.B.**, "Recommandations pour la construction en plâtre", Centre National d'Etudes et de Recherche Intégrées au Bâtiment, 2003.
- [27] **BOUNOUA FETHI** Technologie De Fabrication Et Contrôle De La Qualité Du Plâtre Université Badji Mokhtar-Annaba- Juin 2015 p.44
- [28] **HAMIDA MOHAMED LAMINE.**, "Effet de l'humidité sur les caractéristiques thermiques et mécaniques de matériaux utilisés dans la construction", thèse de magister, UNIVERSITE MENTOURI DE ONSTANTINE, 2010. p. (16)
- [29] **S.N.I.P.** L'IMPORTANCE ÉCONOMIQUE DE LA FILIÈRE PLÂTRE 3, rue Alfred Roll 75017 Paris - [www.lesindustriesduplatre.org](http://www.lesindustriesduplatre.org)
- [30] **Veronica CALDERON, Matthieu HORGNIES**, Polymères recyclés dans la fabrication du plâtre 10 – 2013 [Techniques de l'Ingénieur] p.03.
- [31] **Quantis et RECYC-QUÉBEC**. Analyse environnementale du cycle de vie de projets de commercialisation du verre mixte récupéré via des centres de tri de matières recyclables au Québec. Montréal (2015)
- [32] **ZEGHICHI. L** Contribution à l'étude des propriétés du ciment blanc et compose 2012 p. (2,3,5)
- [33] **Shayan, A. et Xu, A.** (2006). Performance of glass powder as a pozzolanic material in concrete: A field trial on concrete slabs. Cement and Concrete Research, vol. 36, n° 3, p. 457-468.

## Références Bibliographiques

---

- [34] **Sylvain MEILLE**. Etude du comportement mécanique du plâtre pris en relation avec sa microstructure. PhD thesis, INSA de Lyon, 2001.
- [35] **C. Shi, Y.Wu, C. Reifler, H. Wang**. Characteristics and pozzolanic reactivity of glass powders. Cement and concrete research 35 (2005) 987 –993.
- [36] Fiche technique du produit de cerclage [www.strapex.com](http://www.strapex.com) Feuillard en plastique

# **Annexes**

**ANNEXE**

**-A-**

**PLÂTRE**

**FLEURIS**

# GAMME DES PLÂTRES DE CONSTRUCTION KNAUF

	FLEURUS®	MOULARUS	COLLARUS	MP75®	MP75L®	TOP FINISH	PERLFX®	JOINTFILLER	FUGENFULLER
<b>Application</b>	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 MP75L® 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 : support en ciment blanc, béton lisse très absorbant, plaque de plâtre brute avant peinture (ou autres habillages)	KNAUF PERLFX® 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).
Épaisseur 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	PERLFX®	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 BETOKONTAKT

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

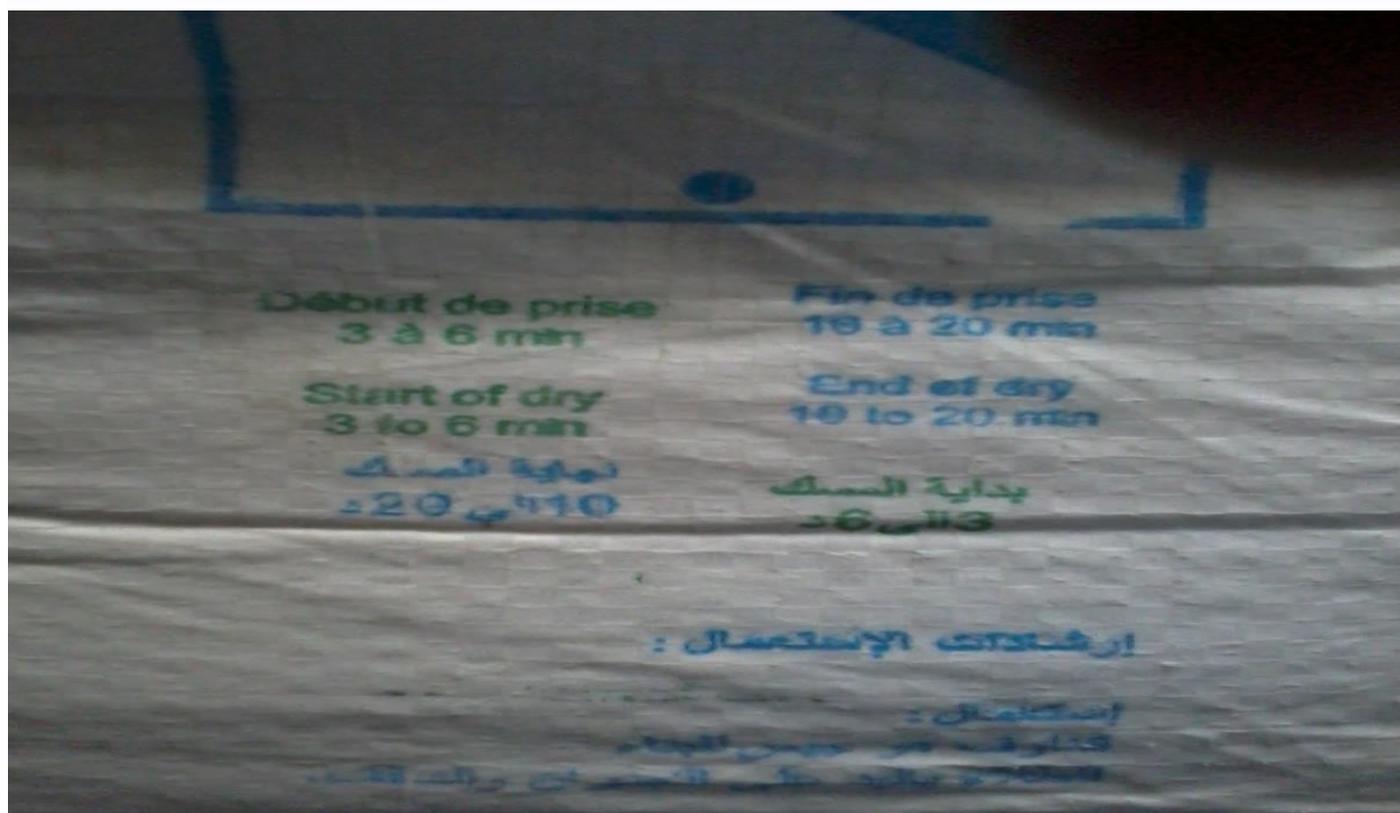
L'Aid Dahoua, Zone d'activité - 3ème tranche - 19000 Sétif

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

E-mail : info@knaufalgerie.com

www.knaufalgerie.com

**KNAUF** Plâtres



**ANNEXE**

**-B-**

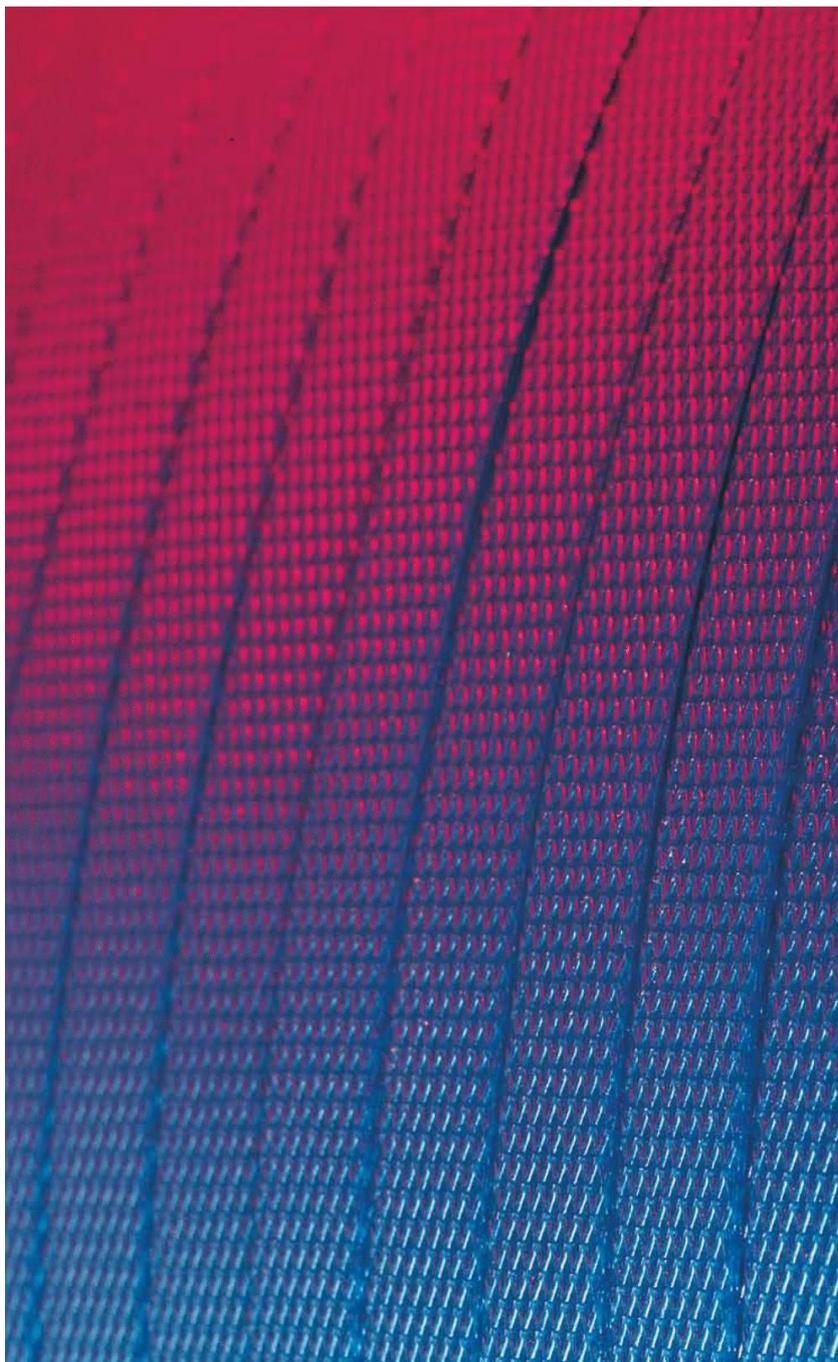
**FEUILLARD**

**EN**

**PLASTIQUE**

**strapex**

## Feuillards plastiques pour le cerclage



Polypropylène (PP) + Polyester (PET)



Feuillards imprimés et feuillards spéciaux

# L'atout de Strapex

## Feuillard, appareil/machine et service après-vente – un système global!

### Le feuillard de cerclage approprié

Une gamme complète de feuillards plastiques: Polypropylène (PP) ou Polyester (PET) avec diverses caractéristiques. De cette manière, appareil/machine et feuillard sont harmonisés de manière optimale!

### L'appareil adéquat ou la machine adéquate

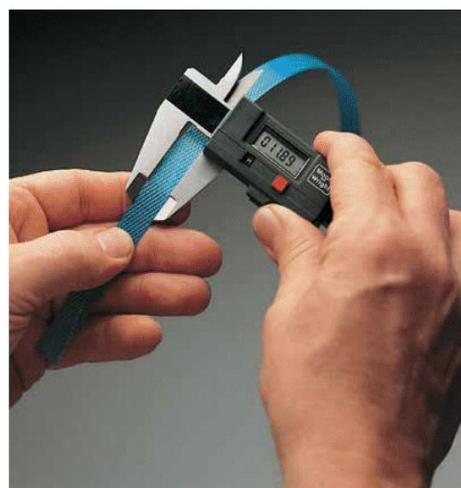
Les besoins dans le cadre du cerclage sont multiples – l'offre Strapex l'est également! Vous choisissez entre différents systèmes: de la simple combinaison tendeur/pince à l'installation entièrement automatique.

### Vente et Après-Vente dans le monde entier

Conseils pour la solution adéquate ainsi que service de réparation et garantie du suivi des pièces de rechange.



### Fabrication maison



### Qualité

Feuillards de qualité, soigneusement bobinés et livrés dans des cartons



Feuillards étroits en Polypropylène PP



Feuillards en Polypropylène PP



Feuillards haute résistance en Polyester PET

# De nombreux avantages parlent en faveur des feuillets de cerclage Strapex

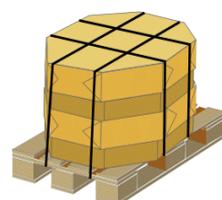
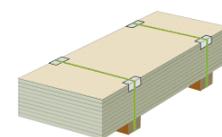
## PP (Polypropylène)

- Pour colis légers pesant jusqu'à 30 kg
- Pour **paquets, colis en vrac** ainsi que pour **journaux et magazines**
- Assurent la **sécurité contre le vol** pour les produits de valeur
- **Sécurisent le transport** des produits délicats
- Pour un cerclage manuel ou à la machine
- Supportent des écarts de températures allant de  $-18^{\circ}\text{C}$  bis  $+50^{\circ}\text{C}^*$
- La solution industrielle universelle pour la logistique et la sécurité du transport



## PET (Polyester)

- Pour la **sécurité du transport** des marchandises sur palettes de tout type
- Grâce à leur **résistance aux UV**, peut s'employer pour les produits stockés en plein air
- Supportent les
  - **contraintes liées au maniement et au transport**, comme secousses etc.
  - **influences climatiques** comme l'humidité ou les écarts de températures allant de  $-30^{\circ}\text{C}$  à  $+80^{\circ}\text{C}^*$  (rétractation ou dilatation des colis)
- Pour un cerclage manuel ou à la machine
- L'alternative qui l'emporte sur les feuillets en acier:
  - **Économie de coûts**
  - Colis moins endommagés (surface, arêtes)
  - Réduction du danger de se blesser en coupant le feuillet
  - Facilité du maniement des rouleaux de feuillets



\* Valeur indicative générale qui peut varier selon l'emploi, le produit ou les influences environnementales. Faites-vous conseiller par nos spécialistes!