

Département de Génie mécanique



Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies.

Filière : génie mécanique mécanique.

Spécialité : fabrication mécanique et procédés de production

Présenté par :

ALOUK AMMAR ABD RAOUF

MESSAT ISSAM

Thème :

**Valorisation Des Déchets de verre dans un matériau
composite**

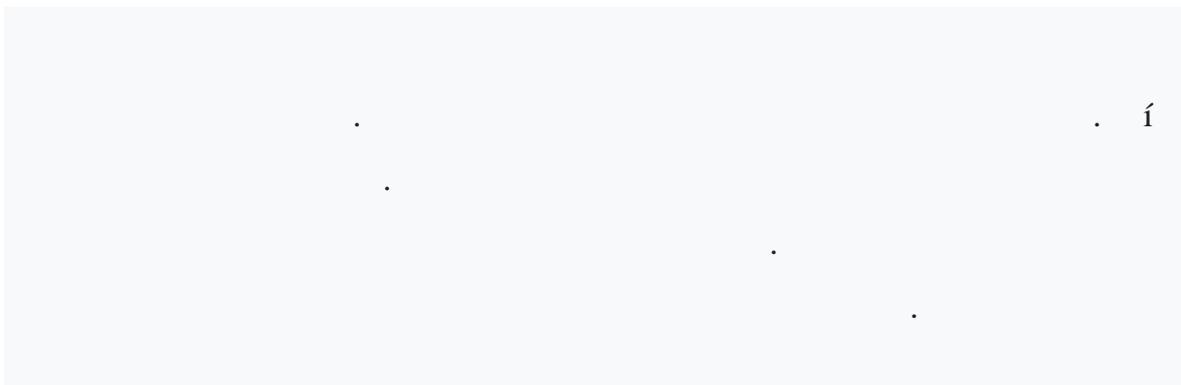
Soutenu le : 16-06-2021

Devant le jury composé de :

Pr. Belloufi Abderrahim	Pr	Président	UKM Ouargla.
Dr. Ameer Toufik	MCA	Examineur	UKM Ouargla.
Pr. Bouakba Mustapha	Pr	Rapporteur	UKM Ouargla.

Année universitaire : 2020/2021

Le verre est un matériau largement utilisé dans de nombreux domaines industriels et économiques, telle que la fabrication de pots et de miroirs í etc. Et tout matériau fréquemment utilisé doit contenir des déchets, ces déchets doivent être éliminés Pour se débarrasser, il y a de grands dommages à l'environnement, comme les incendies des forêts, et pour éviter ces dommages, ils doivent être enfouis. Mais le processus d'enterrement est coûteux pour les grandes entreprises en raison des grandes quantités produites. Afin de réduire les coûts d'élimination de ces déchets et de préserver l'environnement, nous avons décidé de mener des études en ajoutant des déchets de verre comme renfort aux matériaux composites. Où nous avons ajouté du verre cassé au béton et étudié dans quelle mesure il augmentait sa résistance à la compression.



édicace

Je dédie ce modeste travail :

A mon père et à ma mère,

Pour leur générosité, leur confiance, leur patience et leur soutien que Dieu leur accorde une longue vie.

A mes chères sœurs Fatima

A mon frère Mahdi et Ma nièce Mirale

A ma tante souad et toute ma grande famille alouk et bouafia

A Tous mes amis de la cité 460 logements et en particulier Aïssa

Rch, kader frht, nadir kmh, daltons

A Tous mes amis avec qui nous avons passé de merveilleux moments dans notre vie d'université Ayoub mzrg , nazim hmd

,amine cha,boubou,alaaadd, djoudi m,

Sans oublier tous les autres ...

Alouk Ammar Abd Raouf



PDF
Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Dédicace

Je dédie ce mémoire

A ma chère maman

Pour sa patience, son amour, son soutien et son

Encouragements.

A mon frère.

A mes amis et mes camarades.

Sans oublier tous les professeurs que ce soit du

Primaire, du moyen, du secondaire et de

L'enseignement supérieur.

Messat Issam

Remerciement

*Avant tout, nous remercions **DIEU** tout puissant de nous avoir donné la force, le courage, la persistance et de nous avoir permis d'exploiter les moyens disponibles afin d'accomplir ce travail.*

*J'adresse, particulièrement, nos remerciements à notre promoteur de thèse **Pr. Bouakba Mustapha** pour son soutien durant la réalisation de notre mémoire, ses explications et ses précieux conseils, sa patience tout au long de l'élaboration de ce modeste travail ainsi que ses connaissances bibliographiques qui nous ont beaucoup apporté.*

Un grand merci à tous les enseignants et les responsables du département de génie mécanique pour leur soutien quotidien qu'on a trouvé toujours pour nous aider.

Nous exprimons notre gratitude à tout le personnel de la faculté des sciences appliquées et particulièrement monsieur le doyen.

Nous remercions les membres du jury d'avoir accepté de juger notre travail.

Nous souhaitons également remercier toute nos familles et amis pour leur soutien et leur confiance. Merci de m'avoir accompagnée dans cette aventure.

Raouf.alk .Issam



PDF Complete
*Your complimentary use period has ended.
 Thank you for using PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features](#)

...e thermodurcissable et thermoplastique pageí í í6

...des fibres de verreí í í í í í í í í í í í í8

Tableau 03 : caractéristique mécanique des fibres de carboneí í í í í í í í í í í í í ..10

Tableau 04 : caractéristique mécanique des fibres dearamideí í í í í í í í í í í í í ...11

Tableau 05 : caractéristique mécanique des fibres de boreí í í í í í í í í í í í í ...12

Tableau 06 : les différents types deéprouvettes étudiées en poidsí í í í í í í í í í í21

Tableau 07 : résultats obtenus deessai de compressioní í í í í í í í í í í í í í í í ..26



PDF Complete
Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.

[Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features](#)

	í í	.25
Figure 23 : histogramme résistance a la rupture	í ...í í	.27
Figure 24 : géométrie de plan 182	í í	.29
Figure 25 : maillage du modèle simulé	í í	..30
Figure 26 : description de la contrainte de von mises de béton sec en compression	í í í í	.31
Figure 27 : VER béton déchets de verre à 30% poudre	í í í í í í í í í í í í í í í í í í	.32
Figure 28 : maillage du structure béton / déchets de verre	í í í í í í í í í í í í í í í í í	33
Figure 29 : distribution des contraintes de Von mises béton déchets de verre poudre	í í í	.34

HM : Fibres haut module ;

TP : Matrices thermoplastiques ;

TD : Matrices thermodurcissables ;

VER : volume élémentaire représentatif

Symbole	Désignation	Unité
ρ_f	Densité	kg/m ³
E_f	Module d'Young de fibre	GPa
E_m	Module d'Young de matrice	GPa
ε_f	Déformation à la rupture	%
σ_f	Contrainte à la Rupture de fibre	MPa
σ_m	Contrainte à la rupture de matrice	MPa



Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.

Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

.....27
.....29

III : Simulation numérique

III.1. Introduction29
III.2. Description D'élément29
III.3.Modèle Simulé30
III.4.conclusion.....34

Conclusion générale

Références bibliographique.....38



Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Introduction générale

Les matériaux composites est né de la volonté d'allier les avantages de différents matériaux, généralement dans un même matériau, qui par la suite doit s'adapter aux solutions technologiques des problèmes à résoudre. Un matériau composite résulte de l'association de deux matériaux différents aussi bien par leur forme que par leurs propriétés mécaniques ou chimiques pour tenter d'accroître leurs performances. Les deux constituants du composite sont la matrice et le renfort, qui en se combinant donnent un matériau hétérogène souvent anisotrope, c'est-à-dire dont les propriétés diffèrent suivant les directions. Les matériaux constituant le composite sont généralement choisis en fonction de l'application que l'on souhaite en faire par la suite. Les critères de choix peuvent être, par exemple, les propriétés mécaniques, la résistance à la chaleur ou à l'eau, ou même la méthode de mise en œuvre. [26]

Il n'est plus à démontrer l'engouement et l'innovation créés par les matériaux composites dans les secteurs de la construction et du transport. Les matériaux composites répondent parfaitement à ces critères, et le large choix des constituants nécessaires à leur élaboration ouvre un vaste spectre de propriétés mécaniques. [26]

Cependant, les stratifiés sont particulièrement sensibles aux chargements, comme les impacts à basse vitesse, qui peuvent créer des dommages internes invisibles à l'œil nu (délaminage, rupture de matrice et de fibres). Beaucoup de travaux de recherche ont été dédiés à l'amélioration des propriétés des composites. [26]

Ce travail de mémoire comporte en plus d'une recherche bibliographique, un travail expérimental en compression dans lesquels nous avons amélioré la résistance à la compression d'un matériau composite en ajoutant des déchets de verre. Ce travail est divisé en quatre chapitres :

- ✓ Le premier chapitre est consacré à une recherche bibliographique, Nous aborderons dans ce chapitre des généralités sur les matériaux composites

n, domaines d'utilisation) ; a la fin de ce chapitre on en générale et les déchets composite (déchets des matereaux composites)

- ✓ Le deuxième chapitre est consacré à l'étude expérimentale, on à effectuée des essais et nous avons noté les résultats obtenus.
- ✓ Le troisième chapitre présente une simulation numérique ; Où nous avons utilisé la logicielle ANSYS, afin de vérifier les résultats de le deuxième chapitre et validée les résultats empirique.
- ✓ On à conclu ce mémoire de fin d'étude avec une conclusion générale.



Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Chapitre I :

Recherche bibliographique

matériaux : les métaux, les plastiques, les composites, etc. Les matériaux composites ne sont pas une nouveauté, ils ont tous temps été utilisé par l'homme, citons par exemple le bois, le béton et le béton armé [1]. Ce chapitre est consacré à la présentation des différents constituants des matériaux composites

I.2. DEFINITION:

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 [2]. Les matériaux composites disposent d'éventualités importantes par apport aux matériaux traditionnels. Ils possèdent de nombreux avantages fonctionnels :

- légèreté
- grande résistance à la fatigue
- liberté de formes
- maintenance réduite
- faible vieillissement sous l'action de l'humidité, de la chaleur, de la corrosion insensibles aux produits chimiques sauf les décapants de peinture qui attaquent les résines.
- Une bonne isolation électrique.
- Leur faible taux d'utilisation vient de leur coût

I.3. Constituants des matériaux composites :

En général les constituants principaux d'un matériau composite sont :

- D'une matrice à laquelle sont ajoutés, dans certains composites des charges,
- D'un renfort.
- D'une interface.

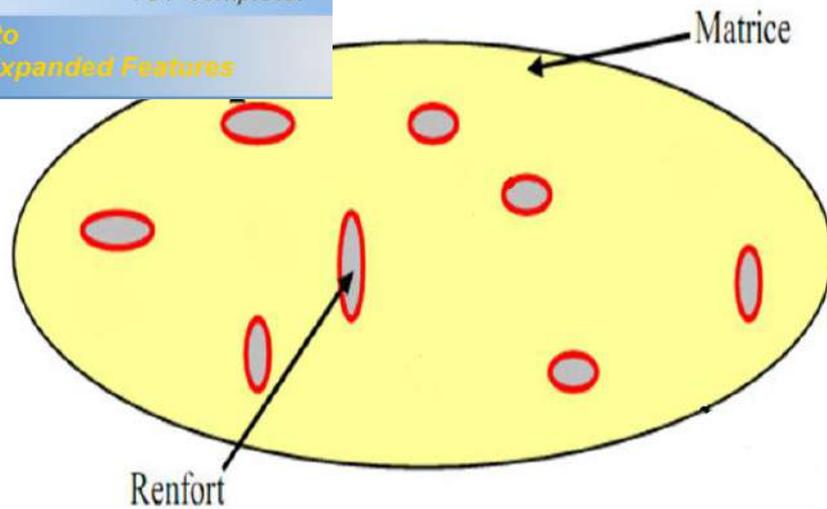


Figure 1: Constituants principaux d'un matériau composite [3]

1.3.1 La matrice:

La matrice permet de lier les fibres du renfort fibreux entre elles, ainsi que de répartir les efforts (résistance à la compression ou à la flexion). La matrice est facilement déformable et assure la protection chimique des fibres. Généralement, c'est un polymère ou une résine organique [4, 6]. Les résines les plus employées dans les matériaux composites sont les résines thermodurcissables et les résines thermoplastiques.

On peut retrouver dans l'organigramme ci-dessous (figure 2), les différentes familles de matrices:

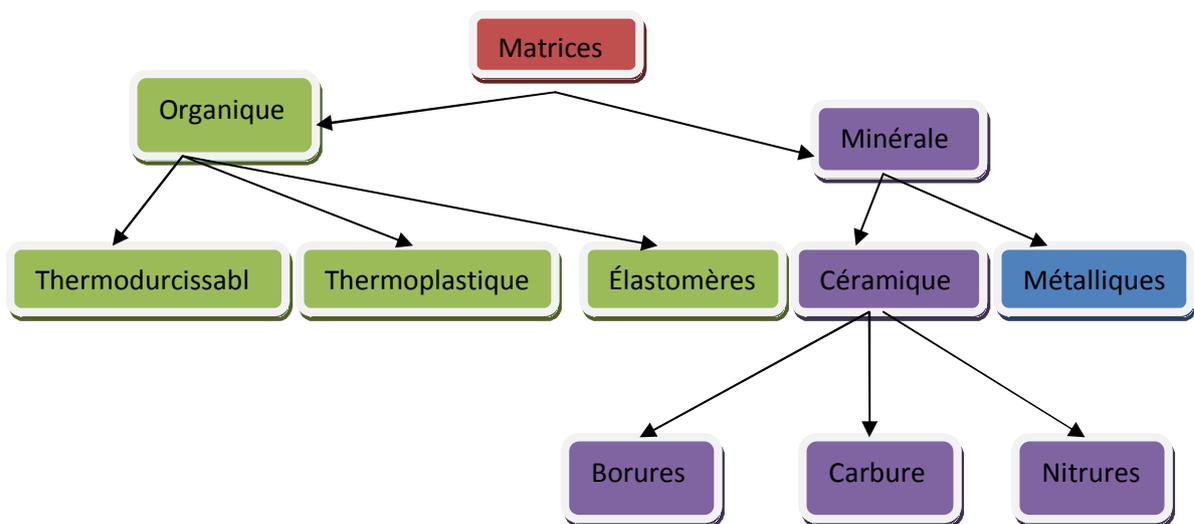


Figure 2: Les différentes familles de matrices. [4]

ables:

Les résines thermodurcissables sont des polymères, qui, après un traitement thermique ou physico-chimique (catalyseur, durcisseur), se transforment en des produits essentiellement infusibles et insolubles. Ces résines ont donc la particularité de ne pouvoir être mises en forme qu'une seule fois [4].

I.3.1.2 .Les résines thermoplastiques:

Les résines thermoplastiques sont des solides généralement solubles, formés de chaînes distinctes bien compactées, liées entre elles par des seules liaisons secondaires (force de van der Waals, liaisons d'hydrogène) et mis en forme par chauffage et refroidissement [5]

I.3.1.3 .Les résines époxydes:

Les résines les plus utilisées après les résines polyesters insaturées sont les résines époxydes. Elles ne représentent cependant que 5 % du marché composite, à cause de leur prix élevé (de l'ordre de cinq fois plus que celui des résines polyesters) [1].

Une comparaison entre quelques caractéristiques des résines thermodurcissables et celles des résines thermoplastiques est présentée dans le tableau suivant:

Tableau 1: comparaison entre les résines thermodurcissables et les résines thermoplastiques [4]

	thermoplastique	thermodurcissable
Etat de base	Solide- prête a l'emploi	Liquide visqueux
Stockage	illimite	Réduit (précautions a prendre)
Mouillabilité des renforts	difficile	Facile
Moulage	Chauffage et refroidissement	Chauffage continu
Cycle	Court	Long(x2) (polymérisation)

	Assez bonne	Limite
	éduit (<130°C)	Meilleure (>150°C)
Chutes et déchets	recyclable	Perdus ou utilisés comme charge après broyage
Conditions de travail	Propreté	Emanation de COV

I.3.2. Le renfort :

C'est le principal porteur constitutif dans le composite (forme, volume). Il confère aux composites leurs caractéristiques mécaniques : rigidité, résistance à la rupture, dureté. Les renforts peuvent être d'origine minérale (verre, bore, céramique) ou organique (carbone ou aramide). Les plus employées sont les fibres de verre. Les fibres de carbone sont privilégiées [3].

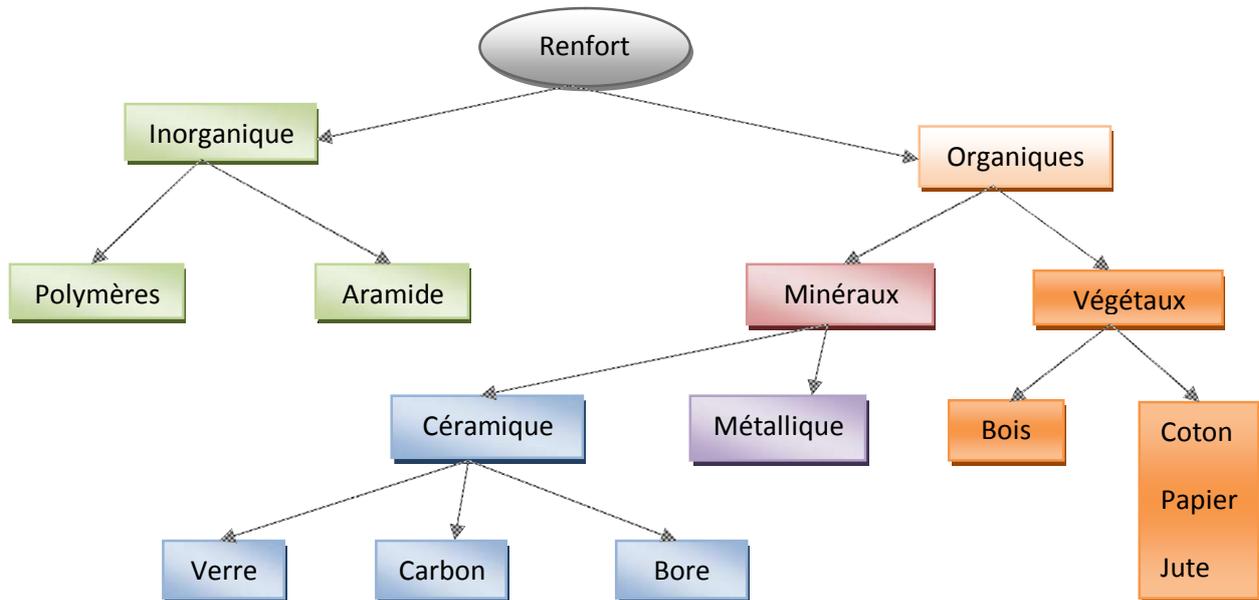


Figure 3: Les différentes familles de renforts [6]

I.3.2.1. Fibres de verre:

Elle constitue le renfort essentiel des composites de grande diffusion. Elle est obtenue à partir de sable (silice) et d'additifs (alumine, carbonate de chaux, magnésie, oxyde de bore). On distingue trois types de fibres [7] :

- grande diffusion et les applications courantes ;
- s performances ;
- D : pour la fabrication de circuits imprimés (propriétés diélectriques).

La figure 4 représente la technique de fabrication des fibres de verre.

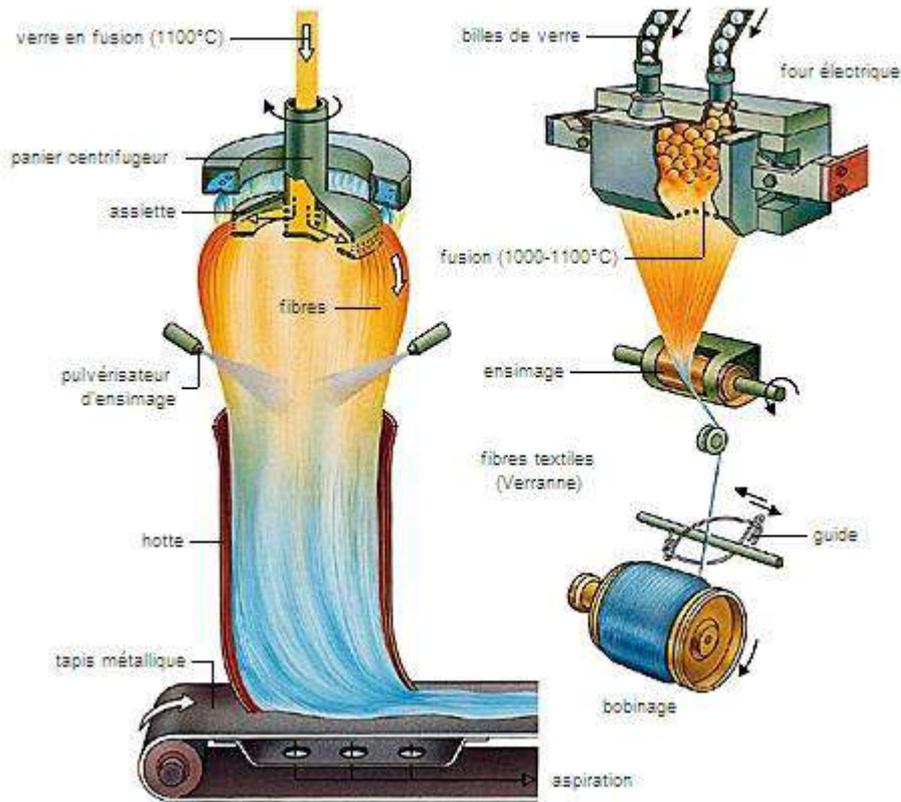


Figure 4: Procédés fabrication des fibres de verre [8]

Les caractéristiques mécaniques des fibres de verre décrites ci-dessus sont résumées dans le Tableau (2).

Tableau 2: Caractéristiques mécaniques des fibres de verre [9]

Caractéristiques	Type E	Type D	Type R
Contrainte à la rupture (MPa)	3500	2450	4650
Module d'Young (Gpa)	73.5	52.5	86.5

re (%)	4.5	4.5	5.3
--------	-----	-----	-----

1.3.2.2. Fibre de carbone:

Les fibres de carbone ont de très fortes propriétés mécaniques et sont élaborées à partir d'un Polymère de base, appelé précurseur. Actuellement, les fibres précurseur utilisées sont des fibres acryliques élaborées à partir du polyacrylonitrile (PAN). La qualité des fibres de carbone finales dépend fortement des qualités du précurseur.

Le principe d'élaboration est de faire subir aux fibres acryliques une décomposition thermique

Sans fusion des fibres aboutissant à une graphitisation. Le brai qui est un résidu de raffinerie issu du pétrole ou de la houille est également utilisé pour produire des fibres de carbone. Quelques exemples de fibres de carbone classiquement rencontrées : T300, T800, MR40, TR50, IM6, IM7, GY, M55J. [10]



Figure 5: fibres de carbone

La figure 6 représente la technique de fabrication des fibres de carbone.

PDF Complete
 Your complimentary use period has ended.
 Thank you for using PDF Complete.
[Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features](#)

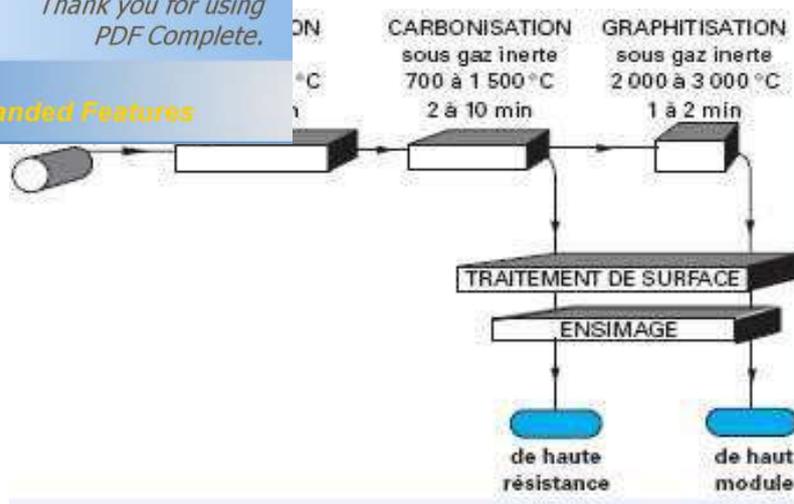


Figure 6: Procédés fabrication des fibres de carbone [11]

Les caractéristiques mécaniques des fibres de verre décrites ci-dessus sont résumées dans le Tableau (3).

Tableau 3: Caractéristiques mécaniques des fibres de carbone [10]

Caractéristique	Fibres HR	Fibres HM
Résistance en traction (MPa)	3400 -4500	2000-2500
Module en traction (GPa)	230-250	390-450
Allongement à la rupture (%)	1.4-1.8	0.5-0.6
Résistance en compression(MPa)	2200-2800	1300-1700

1.3.2.3. Fibre d'aramide:

Les fibres aramides ont des propriétés mécaniques élevées en traction comme les carbones mais leurs résistances à la compression est faible. La faible tenue mécanique en compression est généralement attribuée à une mauvaise adhérence des fibres à la matrice dans le matériau composite. Pour y remédier, des ennoyages des fibres peuvent être utilisé. L'utilisation décomposâtes à fibres hybrides permet également de remédier aux faiblesses des composites à fibres aramides. Des renforts hybrides de type verre kevlar ou carbone kevlar sont largement utilisés dans le domaine des loisirs (ski, raquette de

s aramides : KEVLAR (Dupont de Nemours, USA), (Inde), TECHNORA (Teijin, Japon).

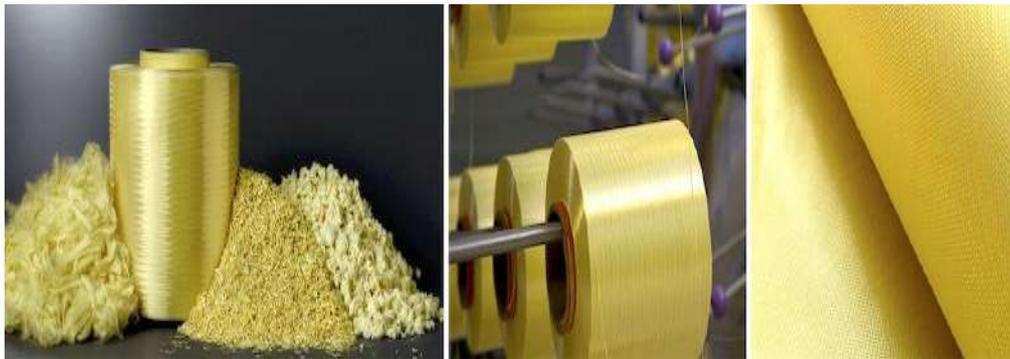


Figure 7: fibres d'aramide [12]

Les caractéristiques mécaniques des fibres de verre décrites ci-dessus sont résumées dans le Tableau (4).

Tableau 4: Caractéristiques mécaniques de fibres d'aramide [13]

Caractéristiques	Kevlar 29	Kevlar 49
E (GPa)	60	130
σ rupture-traction (GPa)	2700	3600
Allongement a la rupture(%)	4.5	2
ρ (Kg/m ³)	1450	1450
T _{max} d'utilisation (C°)	200	425

1.3.2.4. Fibre de bore:

Fibre de haut module et insensible à l'oxydation à hautes températures, elles sont obtenues par dépôt en phase gazeuse sur un substrat en tungstène [2]. Les caractéristiques mécaniques des fibres de verre décrites ci-dessus sont résumées dans le Tableau (4).

Tableau 5: Caractéristiques mécaniques de fibres de bore [1]

σ_a	300 à 420
σ_{ion} (MPa)	3000 à 3700
Allongement a la rupture(%)	0.7 à 0.9
ρ (Kg/m ³)	2650
T_{max} d'utilisation (C°)	500 à 700

I.3.3. L'interface:

L'utilisation d'une couche interface permet d'assurer la compatibilité entre le renfort et la matrice. Qui se forme spontanément lorsque deux phase sont mises en présence l'un de l'autre au moment de l'élaboration du matériau et qui se maintient entre ces deux phases pendant toute la vie du matériau, l'interface n'est pas simplement une simple discontinuité entre les deux phases du matériau hétérogène ou leur juxtaposition [1].

I.4. Les domaines d'utilisation :

Les matériaux composites de nos jours prennent une place prépondérante dans différents domaines :

- Électricité et électronique,
- Bâtiment et travaux publics
- Transports routiers, ferroviaires, maritimes, aériens et spatiaux (notamment militaire,)
- Santé (instrumentation médicale), [9].

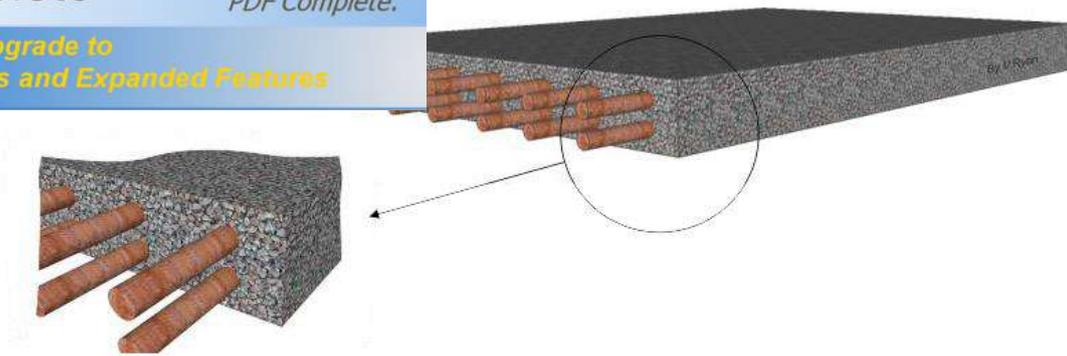


Figure 8: béton armée [14]



Figure 9: casque de rugby à base des fibres de carbone [15]



Figure 10: Composite dentaire [16]



Figure 11: avion fabriquée a base des composites [17]

I.5.les déchets composites:

I.5.1.Définition des déchets:

Dans le secteur des déchets, le rôle des définitions (et du vocabulaire) est particulièrement critique. Ainsi, selon la loi 01-19 du 12 décembre 2001, relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets le déchet est défini comme étant tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériaux, produit ou, plus généralement, tout objet, bien meuble dont le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer

D'après, [18] « Les termes de "bien meuble" et "abandon" font appel à des notions de droit civil appartenant à la terminologie du droit des biens. Le terme "abandon" pourrait rattacher juridiquement le déchet "bien meuble" à la catégorie des "choses sans maîtres", choses volontairement délaissées par leur propriétaire. Cependant, la notion de détenteur et la définition de l'abandon renvoient implicitement à la responsabilité du producteur et/ou du détenteur de déchets. Aussi, derrière tout déchet surtout générateur de nuisances, se trouve une personne physique qui le produit ou le détient et qui en est responsable

même si le déchet n'est plus physiquement entre ses mains, il est défini "comme un produit dont la valeur d'usage et la valeur d'échange sont nulles pour son détenteur ou son propriétaire. Ce déficit en valeur économique tient du fait que le déchet n'est pas un produit rare, contrairement à l'air par exemple». Par ailleurs, pour le dictionnaire LAROUSSE, un déchet est un débris ou tous les restes sans valeur de quelque chose ou encore tout ce qui tombe d'une matière qu'on travaille (exemple : un déchet radioactif).



Figure12: déchets [22]

1.5.2. Les déchets des matériaux composites :

Les déchets de matériaux composites sont les déchets résultant de la détérioration d'un matériau composite ou de sa perte de ses propriétés physiques ou chimiques



Figure 13:des déchets a base des composites [23]

Le stockage des déchets des matériaux composites et la récupération de ceux-ci, c'est un problème important que nous ayons de nos jours. Sur la figure 11, on peut voir des pièces composites hors d'usage et des déchets composites issus de différents procédés de production qui occupent des espaces considérables pour le stockage. Avec le temps, l'accumulation de ces matériaux peut créer de sérieux problèmes pour les entreprises manufacturières.



Figure 14: déchets de béton [24]



Chapitre II : Etude
expérimentale d'un matériau
composite renforcé par des
déchets de verre (béton/verre)

II. 1. INTRODUCTION

Parmi les différents modes de gestion des déchets, le recyclage tient une place toute particulière; considéré par les uns comme la voie royale de la valorisation des déchets, il est contesté par d'autres, qui remettent en cause son intérêt, en soulignant d'éventuels effets négatifs, notamment sur le plan environnemental [20].

Le recyclage constitue un élément clé de notre évolution vers une civilisation durable, mais dans la société actuelle, l'opinion publique perçoit le recyclage selon divers points de vue. En voici quelques-uns :

Les activités de recyclage sont relativement récentes.

Le recyclage a des répercussions positives sur l'environnement.

Le recyclage constitue un élément du secteur de la gestion des déchets.

Les produits fabriqués avec des matériaux recyclés sont de qualité inférieure à ceux faits avec des matériaux vierges.

Dans ce chapitre, nous allons mener notre étude sur un groupe d'échantillons de ciment et de sable renforcée avec une poudre et des déchets de verre. Après la préparation des éprouvettes on effectue des essais des compressions et des flexions 3 points. Les résultats obtenus sont discutés.

L'objectif de ce travail de mémoire de fin étude est de valoriser les déchets de verre, et aussi utiliser ces déchets comme un élément de renforcement dans les bétons (ciment-sable). On a réalisé des tests de compression sur une machine de compression.

II. 2. DEFINITION DU RECYCLAGE:

Le recyclage correspond à la réutilisation des déchets par le producteur. Il peut être court, lorsque ces derniers sont recyclés directement par l'agent ou cédé à un autre

tivité. Il s'agit alors de chute de production, que l'on observe dans les aciéries ou papeteries, par exemple. Il peut être long, lorsqu'ils empruntent des filières de collecte et de prétraitement assurées par des professionnels de la récupération. C'est le cas des déchets industriels et commerciaux banals ou de ceux qui sont issus de la consommation des ménages. Rappelent que des millions de tonnes de matériaux résiduaux produits par les sociétés modernes peuvent être récupérés et recyclés. Leur valorisation peut emprunter plusieurs voies :

- La réutilisation des produits usagés sous la même forme, telle que la consignation de bouteilles ; La réintégration de matériaux dans le cycle productif dont ils sont issus (closed loop recycling), comme c'est le cas des fibres cellulosiques de récupération dans la fabrication de papiers et cartons ou du calcin dans celle des bouteilles ;
- L'intégration de matériaux dans d'autres formes de production que celles dont ils sont issus (open-loop recycling), tels les exemples du verre dans les travaux routiers, de la partie fermentescible des résidus dans l'élaboration de compost ou bien des déchets d'emballage en plastique utilisés dans la fabrication de mobilier ou de piquets de vigne ;
- Enfin, la valorisation énergétique des résidus via leur incinération avec récupération de la vapeur dégagée et/ou la production d'électricité [27]

II. 3. Equipements :

Dans cette opération, nous avons besoin de: **Ciment, le sable, verre, Bois pour la fabrication des moules, une cuvette, une truelle, un pilon, une machine de compression, balance électronique.**



Figure 15 : machine de compression



Figure16: matériels utilisé dans l'élaboration des éprouvettes

II. 4. Préparation des éprouvettes:

ettes, la différence entre eux est dans le pourcentage des déchets de verre dans chaque type (0, 10,30) % et la qualité de déchets de verre (poudre et cassée), on va vous présentée la manière de préparation de chaque type d eux:

Tableau 6: les différents types d'éprouvettes étudiés en poids

TYPE D'EPROUVETTE	% CIMENT	% SABLE	% VERRE	TYPE DE VERRE
Type 1	60	40	0	aucun
Type 2	60	40	10	poudre
Type 3	60	40	10	cassé
Type 4	60	40	30	poudre
Type 5	60	40	30	cassé

Remarque :

Le pourcentage de déchets de verre est par rapport au poids total de béton

II. 4. A. Préparation des moules:

Nous allons utilisée des moules du forme parallélépipède avec des dimensions de 4*4*16cm



Figure17: les moules préparé

de verre :

On broie le verre avec le pilon jusqu'à ce qu'il se transforme en poudre pour le deuxième et le quatrième type, et nous cassons le verre en petits morceaux pour le troisième et le cinquième type.



Figure 18: les deux types de verre utilisé

II. 4. C. Elaboration des éprouvettes :

- **Le premier type: (ciment+sable)**

En mélange 600 gr de ciment avec 400 gr de sable, Après avoir bien mélangé, on le met dans les moules et on le laisse sécher.

- **Le deuxième type: (ciment+ sable + verre en poudre 10%)**

En mélange 600 gr de ciment avec 400 gr de sable et 100gr de poudre de verre, Après avoir bien mélangé, on le met dans les moules et on le laisse sécher.

- **Le troisième type : (ciment + sable + verre cassé 10%)**

En mélange 600 gr de ciment avec 400 gr de sable et 100gr de verre cassé, Après avoir bien mélangé, on le met dans les moules et on le laisse sécher.

- **Le quatrième type : (ciment + sable + verre en poudre 30%)**

400 gr de sable et 300gr de verre en poudre, Après avoir bien mélangé, on le met dans les moules et on le laisse sécher.

- **Le cinquième type : (ciment + sable + verre cassé 30%)**

En mélange 600 gr de ciment avec 400 gr de sable et 300 gr de verre cassé, Après avoir bien mélangé, on le met dans les moules et on le laisse sécher.



Figure19: les mélanges dans les moules

Nous obtiendrons ces échantillons après leur moulage



Figure 20: les échantillons après 4 et 28 jours

II. 5. Essai de compression :

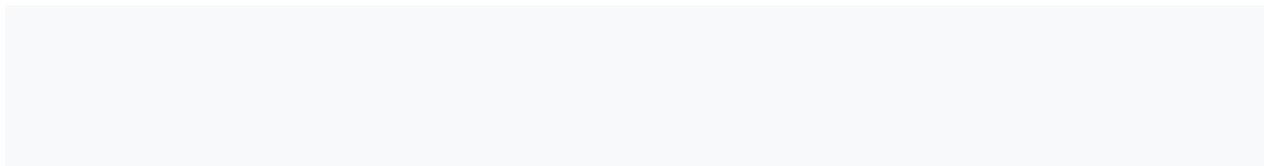
L'essai de compression consiste à soumettre une éprouvette de forme parallélépipédique, placée entre les plateaux d'une presse, à deux forces axiales opposées. Si le matériau étudié est élastique, la rupture ne peut être atteinte avec ce test. L'essai de compression est surtout utilisé pour déterminer la contrainte de rupture des matériaux fragiles (comme les céramiques) qui sont difficiles à usiner pour un essai de traction. Nous commençons les essais et on note les résultats enregistrés sur l'écran de l'appareil.



Figure21: Essai de compression



Figure 22: La rupture



Les résultats des essais trouvés pour les différents bétons testés sont récapitulés dans le tableau suivant.

Tableau 7: résultats obtenus d'essai de compression

Types	Période (jours)	Force à la rupture (KN)	Types	Période (jours)	Force à la rupture (KN)
1	4	18	1	28	33
2	4	22	2	28	39.2
3	4	20	3	28	35.9
4	4	22.5	4	28	45
5	4	15	5	28	28.8

L'effort à la compression moyenne à 4 et 28 jours pour les différents types des éprouvettes étudiées est représenté à la figure 19. L'analyse des résultats montre que Le type 4 (ciment + sable + verre en poudre 30%) donne un effort à la rupture en compression de l'ordre 45 KN à 28j et 22.5 KN à 4j, par contre le type 5(ciment + sable + verre cassé 30%) étale à un effort à la rupture en compression le plus basse pour le test à 28 jours et aussi à 4j de l'ordre 28.8 KN et 15 KN successivement. Le béton sec type 1(ciment+sable) atteint un effort moyen à la rupture en compression de l'ordre 33 KN à 28j et 18 KN à 4j. Le mélange ciment + sable + verre en poudre 30% (type 4) atteint une résistance de 1.36 fois par rapport au mélange ciment + sable (béton sec type 1) donc une augmentation de la résistance à la rupture en compression de l'ordre de 23%. Par contre le type 5 ne donne pas une amélioration de la résistance à la rupture en compression.

Lorsque de l'eau est ajoutée au ciment, une réaction chimique se produit, cette réaction produit une matière gélatineuse (composés aqueux de sulfate de potassium), Où

s de petits et gros agrégats et liée l'ensemble pour former du béton.

- ✓ Le meilleur résultat a été achevée par le type 4 (ciment + sable + verre en poudre 30%), Après avoir mélangé la poudre de verre avec le sable et ciment et ajouté de l'eau, la matière gélatineuse se forme, qui encapsule les granulés de sable et de ciment. donc les granules de verre augmentent la dureté du béton et sa résistance à la compression.
- ✓ Par contre le 5eme type (ciment + sable + verre cassé 30%), atteint une résistance moins de 1.14 fois par rapport au type 1(béton sec), à cause de pourcentage élevé de verre cassé dans le mélange, La matière gélatineuse n'adhère pas bien en raison de la surface lisse du verre, donc rigidité faible et résistance a la rupture plus faible.

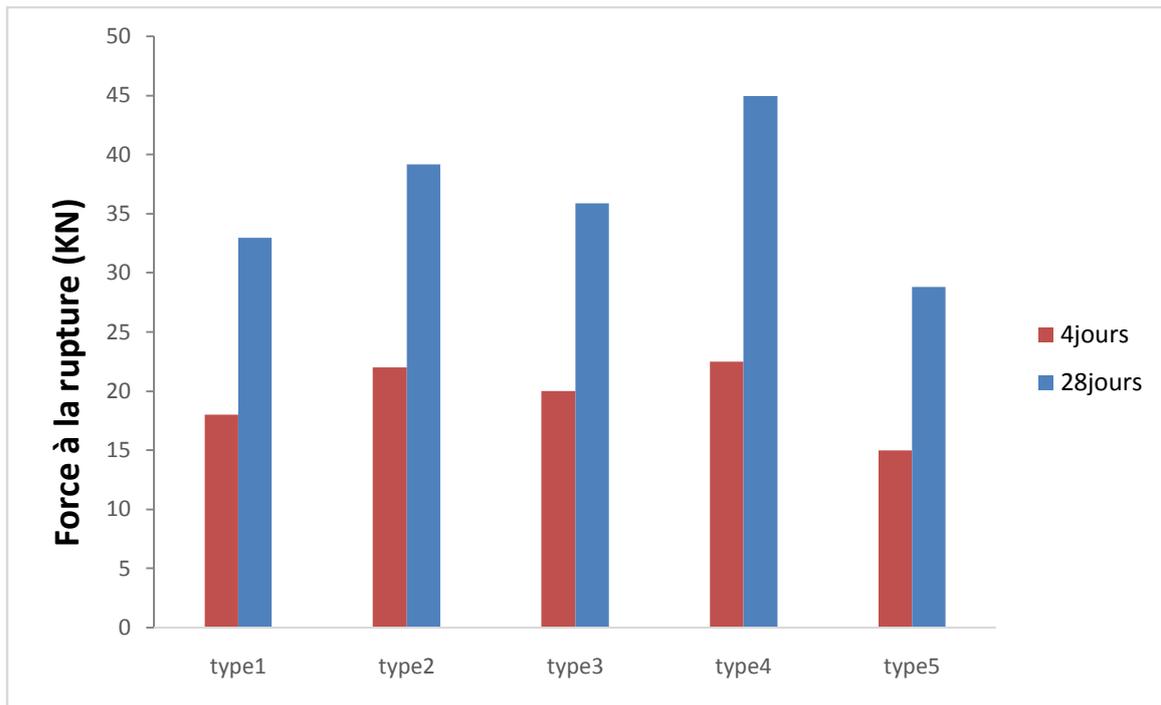


Figure23: Histogramme résistance a la rupture



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Le mélange ciment, sable et verre en poudre à 30% (type 4) montre un meilleur résultat de renforcement, par contre le type 5 contient 30% de déchet en verre cassé réduire le taux de renforcement, par ce que la matière gélatineuse n'adhère pas bien en raison de la surface lisse du verre.



Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Chapitre III :

Simulation numérique

Afin d'approfondir la recherche et de vérifier la validité des résultats obtenus dans cette étude, nous avons effectué des simulations numériques à l'aide du logiciel de calcul des structures ANSYS. qui est un logiciel de simulation numérique FEM leader de son marché utilisé dans le développement de produits industriels. Il couvre toutes les étapes nécessaires à une simulation; le traitement géométrique, le maillage, la résolution, le traitement de résultats. ANSYS offre une plateforme de calcul multi-physique intégrant la mécanique des fluides et des structures, l'électromagnétisme, la thermique ainsi que la simulation de systèmes et de circuits. Les utilisateurs ANSYS sont de domaines industriels différents telles que la construction de machines, les secteurs de l'énergie, l'automobile, le ferroviaire, l'aérospatial, le médical, la microtechnique, la micro-électronique ou encore les biens de consommation. [25]

III.2. Description d'élément :

L'élément **plan182** est utilisé pour la modélisation des structures solide en 2D, cet élément utilisé pour les calculs des contraintes planes et les déformations planes. C'est un élément axisymétrique, dans la plus part des cas il est défini par quatre nœuds ayant deux degré de liberté dans chaque nœud (x et y).

Cet élément à une plasticité, hyper élasticité, grande amplitude, et des grandes capacités de déformation, il a également une formule mixte pour simuler des déformations de matériaux composites, et les matériaux hyper élastiques pleinement incompressibles.

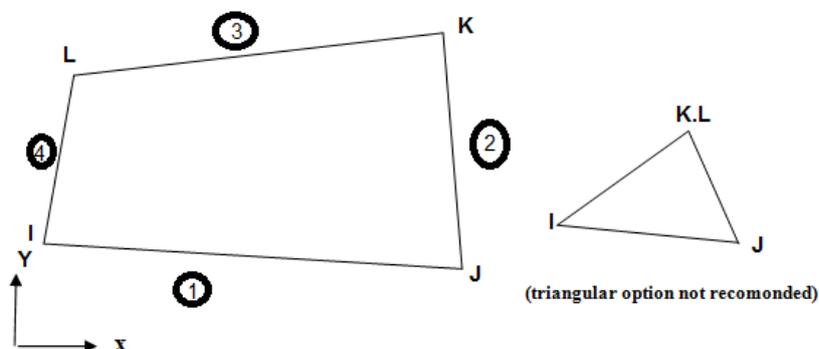


Figure 24 : géométrie de plan 182

III.3.Modèle simulé :

La figure 25 représente le modèle simulé en compression du béton sec avec un module d'Young de **20** GPa et le coefficient de poisson égale à **0.3**. le nombre de maillage dépend au type de chargement et le domaine étudié. Le nombre totale des éléments choisis est 900.

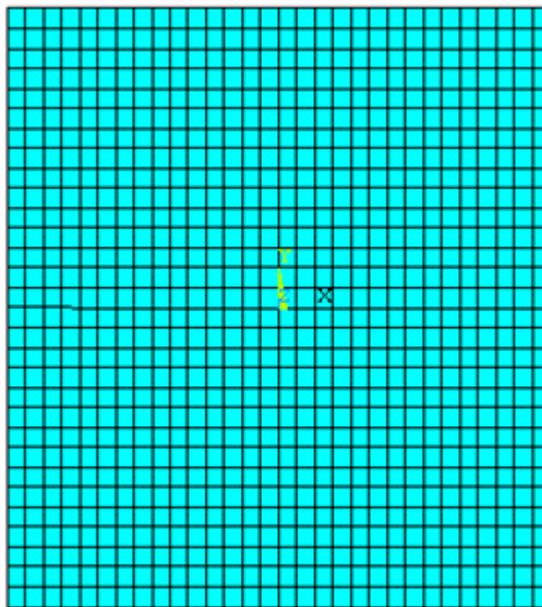


Figure 25 : maillage du modèle simulé

La distribution des contraintes de Von mises de béton sec simulé en compression à été montré sur la figure 26. Dans ce cas la distribution des contraintes est symétrique, et aussi identique avec les résultats expérimentales.

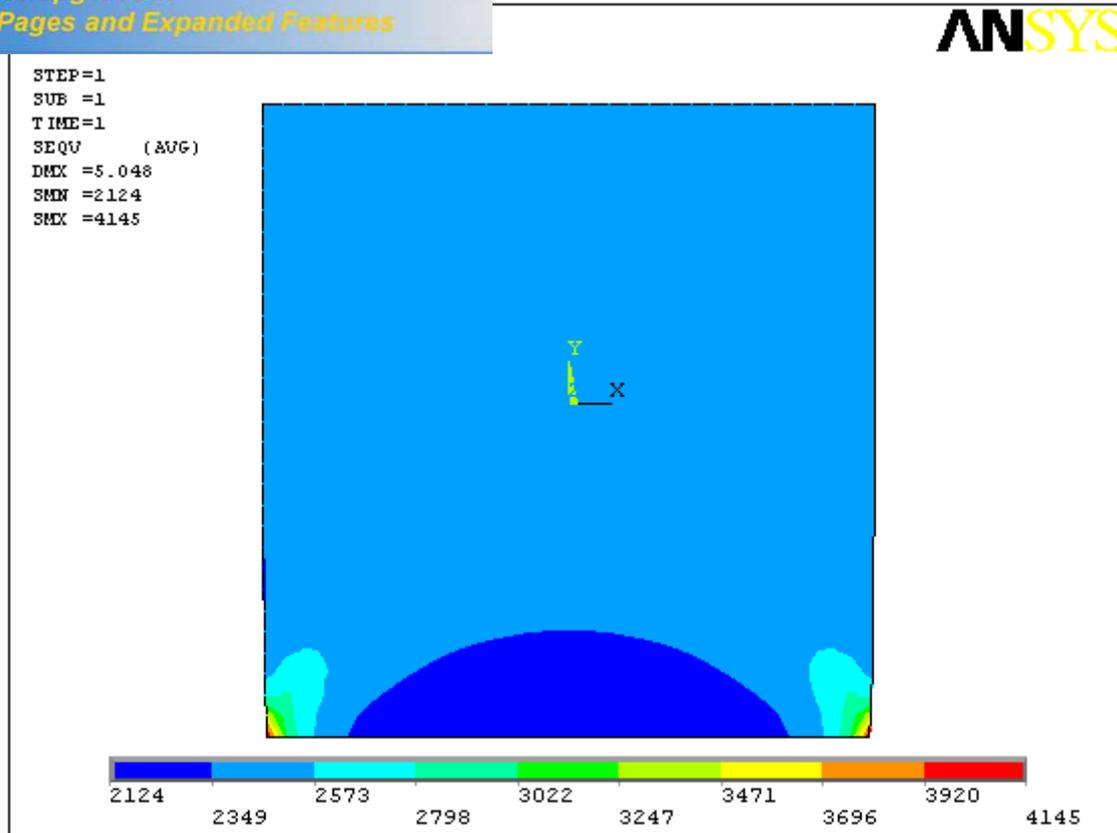


Figure 26 : Distribution des contraintes de Von mises de béton sec en compression

Le cas de renforcement du béton par le déchet de verre en poudre est représenté à la figure 27. Le déchet de verre est supposé à des formes quelconques, la quantité de déchet est à 30% du poids. Le module de Young de verre est 70 GPa, avec un coefficient de poisson est égal à 0.3. L'interface béton /verre est assurée par la commande **GLUE**.

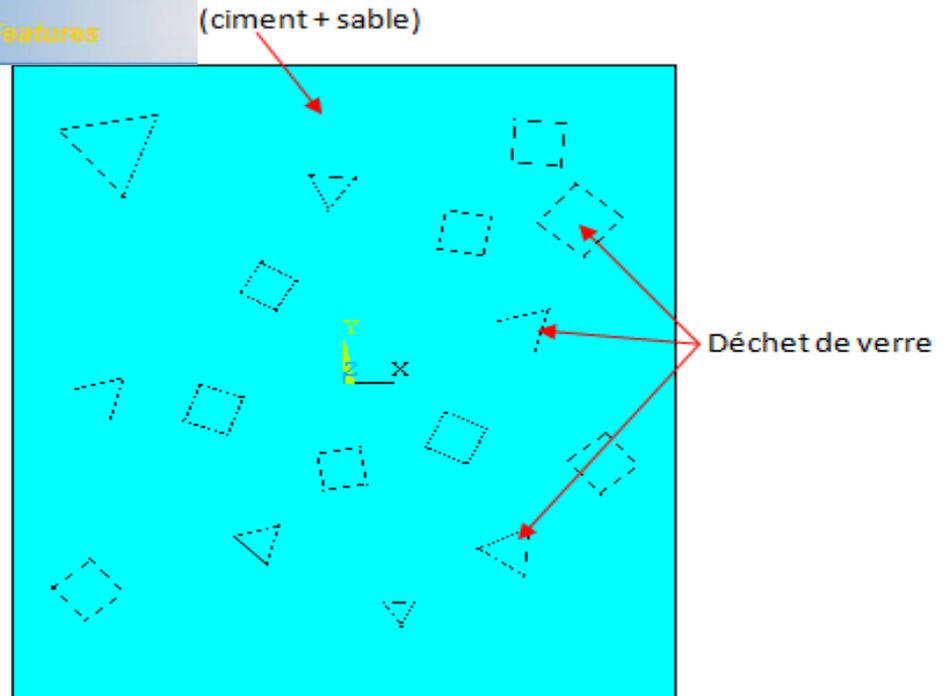


Figure 27 : VER béton déchets de verre à 30% poudre

La figure 28 représente le raffinement du maillage au niveau de déchet de verre, la totalité de la structure est maillé par l'élément plan182.

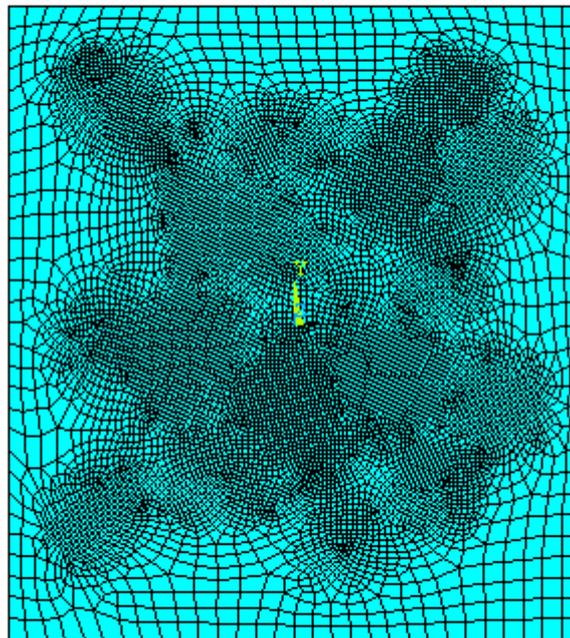


Figure 28 : Maillage du structure béton/ déchet de verre

Les résultats obtenus sont exposé à la figure 29. La simulation numérique montre que les contraintes maximales sont localisé au niveau des interfaces déchets de verres / béton. Même la distribution des contraintes de Von mises n'est pas symétrique, car la distribution et les formes de déchet de verre ne sont pas homogènes. D'après la simulation numérique la majorité des charges sont distribué à la zone riche par le déchet de verre. La simulation montre que la résistance à la compression est améliorée d'environ de 1.33 fois par apport au béton sec.

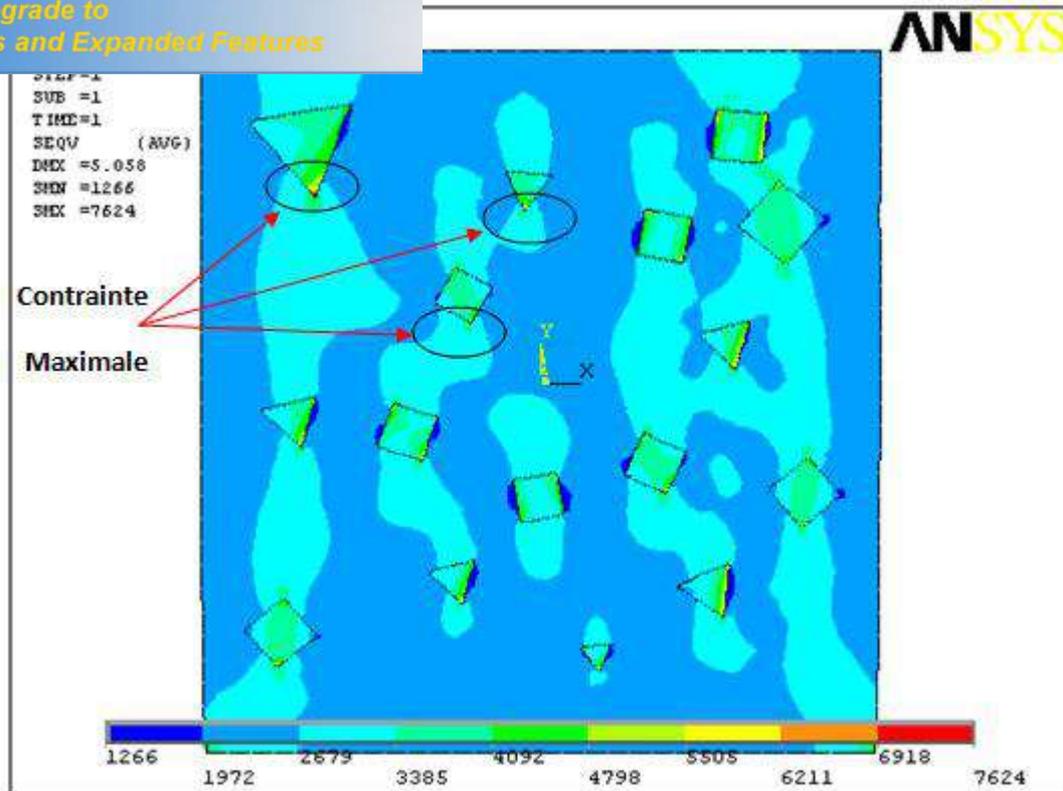


Figure 29 : distribution des contraintes de Von mises béton déchets de verre à 30% poudre

III.4.conclusion:

- Les résultats de la simulation numérique montre une bonne concordance avec les résultats expérimentaux.
- L'analyse des résultats montre, que la taille du déchet de verre à une relation décroissante avec la résistance à la compression (plus que la taille du déchet est fin, on aura une résistance à la compression élevé).



Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Conclusion Générale

Afin de préserver l'environnement et de réduire les dépenses d'élimination des déchets de verre par enfouissement et autres qui constituent un problème pour les grandes entreprises, nous avons pu confirmer la possibilité d'utiliser ces déchets comme un renfort des mâtereaux composites comme le béton.

L'analyse des résultats montre, que la taille du déchet de verre à une relation croissante avec la résistance à la compression (plus que la taille du déchet est fin, on aura une résistance à la compression élevée).

L'augmentation du volume et de la concentration du déchet de verre affaiblit la résistance du mélange en raison de la surface de contact entre le résidu de verre et la matière ércçgélatineuse.

Lorsque la résistance maximale est atteinte, les bords du déchet de verre deviennent le point de départ de la fissure

[02] V. Pauchard, , « Développement d'un modèle de durabilité de poutres composites unidirectionnelles renforcées par des fibres de verre », 2001.

[03] BOUDENNE.A, « Etude expérimentale et théorique des propriétés thermo-physiques de matériaux composite à matrice polymère », 2003.

[04] JULES.E.J, « Couplages entre propriétés thermiques, réactivité chimique et viscosité des matériaux composites thermodurcissables en relation avec les conditions de leur élaboration fondée sur l'hystérésis Diélectrique », ,2001.

[05] KAUSCH.H.-H, HEYMANS.N, PLUMER.C.J, and DECROLY.P, « Matériaux polymères: propriétés mécaniques et physique »,2001.

[06] MOKADDEM.A, « Modélisation du Comportement de L'interface Fibre-Matrice de Matériaux Composites », Mémoire de magister, USTO, 2008

[07] CARMA « Glossaire des matériaux composites » Actualisation octobre 2006

[08] cite Google 1005371-Fabrication_des_fibres_de_verre

[09] RENARD.J, « Elaboration, microstructure et comportement des matériaux composites à matrice polymère », Lavoisier, 2005..

[10] BERTHELOT.J-M, « Matériaux composites: comportement mécanique et analyse des structures », 4ième édition, Lavoisier, 2005.

[11] google.com/search?q=fabrication+fibres+carbone&

[12] google.com/search?q=fibre+d%27aramide&sxsrf=ALeKk03bq7n4m

[13] google.com/search?q=caract%C3%A9ristique+fibres+d%27aramide

[14] google.com/search?q=material+composite+beton&tbm

au+composite+sport&tbm

[16] [google.com/search?q=composite+dentaire&tbm=](https://www.google.com/search?q=composite+dentaire&tbm=)

[17] [google.com/search?q=mat%C3%A9riaux+composite](https://www.google.com/search?q=mat%C3%A9riaux+composite)

[18] CNRS, INRA, INSERM Gestion des déchets : **guide pour les établissements publics d'enseignement supérieur ou de recherche. 194 p.**

[19] BERTOLINI.G., 1990. **Le marché des ordures. Edition : L'harmattan, Paris.**

[20] Julien BERTHOLON, « **Maîtrise Sciences de l'Environnement, Milieux Urbains et Industriels** », Université de Cergy-Pontoise, 2002

[21] P. Gautron, « **Plastiques : valorisation et recyclage des déchets** », **Techniques de l'Ingénieur, A3830, 1993. Miquel. G. Et Poignants. S,** « Les techniques de recyclage et de valorisation des déchets ménagers et assimilés », ed. Assemblée Nationale, Paris, 1999.

[23] [google.com/search?q=dechets+de+mat%C3%A9riaux+composites](https://www.google.com/search?q=dechets+de+mat%C3%A9riaux+composites)

[24]

_dechets_definition_gestion_collecte_traitement_responsabilites_police_speciale.pdf

[25] <https://www.cadferm-an.com/produits/ansys.html>

[26] **biblio.univ-annaba.dz 2018 Bakhouch-Bochra.pdf**