



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed
معهد الصيانة والأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de maintenance en Électromécanique

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie Industriel

Spécialité : Maintenance-Fiabilité-Qualité

Thème

L'effet de la distribution des fibres de chaque couche sur la résistance des matériaux composites

Présenté et soutenu publiquement par :

ZAKNOUN Kheir Eddine

ANBER Soufiane

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Mr. ACHACHE Habib	MCA	IMSI-UNIV ORAN2	président
Mme.ABDI Ghezail	MCA	IMSI-UNIV ORAN2	Encadreur
Mr. ADJELOUA Abdelaziz	MCB	IMSI-UNIV ORAN2	Examineur

Année 2022/2023

Remerciement

*Avant tout nous remercions ALLAH le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté, la patience et la santé pour mener à terme la réalisation de notre mémoire de fin d'étude. En premier lieu, nous exprimons notre profonde gratitude à notre promotrice madame **ABDI Ghezail** pour ses conseils judicieux et sa confiance.*

De plus, nous tenons à la remercier de nous avoir assuré l'encadrement et la documentation nécessaire pour l'élaboration de ce mémoire.

*Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury **Mr ADJELOUA Abdelaziz** et **Mr ACHACHE Habib** pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.*

*Nos sincères reconnaissances à nos enseignants du département **Electromécanique industriel** plus particulièrement ceux de la spécialité **MFQ**. Nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.*

Dédicace

Je dédie ce travail à :

A mes parents.

A mes sœurs et mes frères.

A mes amis et mes proches.

*Mes très chères proches qui m'ont
beaucoup soutenu pendant toute ma
Formation, ils trouveront ici ma
profonde gratitude.*

**Soufiane
kheir Eddine**

Résumé :

Les composites unidirectionnels sont largement utilisés dans l'industrie en raison de leurs excellentes propriétés mécaniques telles qu'une résistance élevée et un poids léger, mais la rupture selon différents axes est un phénomène clé limitant les performances des composites. Par conséquent, la modélisation micromécanique de ce processus de rupture devient cruciale pour améliorer la compréhension et la prédiction du comportement mécanique des composites unidirectionnels. nous avons proposer une analyse numérique par la méthode des éléments finis et une modélisation ver de composites unidirectionnels si le positionnement de la fibre a réellement un effet sur résultats que nous obtenons alors c'est ce que nous allons faire ici on va regarder l'effet du positionnement de la fibre entre disposition ordonnée une disposition aléatoire donc on va faire des simulations pour voir comment le matériau va se comporter afin de vérifier d'il ya a vraiment un effet que cela aura sur notre simulation.

Mots clés: fibres , matériaux ,simulation,composites,aléatoire,ordonnées,matrice.

Abstract:

Unidirectional composites are widely used in industry due to their excellent mechanical properties such as high strength and light weight, but failure along different axes is a key phenomenon limiting the performance of composites. Therefore, micromechanical modeling of this failure process becomes crucial to improve the understanding and prediction of the mechanical behavior of unidirectional composites. we have proposed a numerical analysis by the finite element method and a worm modeling of unidirectional composites if the positioning of the fiber really has an effect on the results that we obtain then that is what we are going to do here we are going to look at the effect the positioning of the fiber between an ordered arrangement and a random arrangement so we are going to do simulations to see how the material will behave in order to check whether there is really an effect that this will have on our simulation.

Keywords: fibers, materials, simulation, composites, random, ordered, matrix.

الملخص:

تُستخدم المركبات أحادية الاتجاه على نطاق واسع في الصناعة نظرًا لخصائصها الميكانيكية الممتازة مثل القوة العالية والوزن الخفيف ، ولكن الفشل على طول المحاور المختلفة هو ظاهرة رئيسية تحد من أداء المركبات. لذلك ، تصبح النمذجة الميكانيكية الدقيقة لعملية الفشل هذه حاسمة لتحسين الفهم والتنبؤ بالسلوك الميكانيكي للمركبات أحادية الاتجاه. لقد اقترحنا تحليلًا عدديًا بطريقة العناصر المحدودة ونمذجة دودة لمركبات أحادية الاتجاه إذا كان لتحديد موضع الألياف تأثيرًا حقيقيًا على النتائج التي نحصل عليها ، فهذا ما سنفعله هنا سننظر في تأثير تموضع الألياف بين ترتيب مرتب وترتيب عشوائي لذلك سنقوم بمحاكاة لنرى كيف ستتصرف المادة من أجل التحقق مما إذا كان هناك تأثير حقيقي لذلك على المحاكاة.

sommaire

Introduction Générale	8
------------------------------------	---

Chapitre I: Généralités sur les matériaux Composites

I. Introduction	11
------------------------------	-----------

I.1 DÉFINITION	12
I.2 Caractéristiques générales des matériaux composites	13
I.3 Types de matériaux composites.....	13
I.3.1 Les Composites De Grande Diffusion (Gd)	14
I.3.2 Les Composites De Hautes Performances (Hp) :.....	14
I.4 Classification des matériaux composites	14
I.4.1 Composites Renforces Par Des Particules	15
I.4.2 Composites Renforces Par Des Fibres.....	16
I.5 Constituants des Matériaux composites :	18
I.5.1 Les Renforts	18
I.5.1.1 Différents types de renfort	18
I.5.1.2 Différentes natures de renfort	19
I.5.2 Les charges et les additifs	22
I.5.2.1 Les charges	22
I.5.2.2 Les additifs	22
I.5.3 La Matrice	23
I.5.3.1 Les différents types de matrices :	23
I.5.3.1.1 Les matrices organiques	23
I.5.3.1.2 Les matrices carbonées	25
I.5.3.1.3 Les matrices métalliques	25
I.5.3.1.4 Les matrices céramiques	25

chapitre 2: le volume élémentaire représentatif (VER)

II. Introduction	28
-------------------------------	-----------

II.1 Recherches bibliographiques	29
II.2 La méthode de Monte-Carlo	34
II.2.1 Définition de Monte-Carlo	34
II.2.2 Avantage technique de Monte-Carlo	35
II.2.3 Le principe de la méthode	35
II.2.4 Les différents types d'utilisation	36
II.2.5 Simulation de Monte-Carlo.....	36

chapitre 3: résultats et discussion

III. Introduction	39
--------------------------------	-----------

III.1 Modèle géométrique	40
III.2 Maillage	41

III.3	La modélisation numérique	41
III.4	La méthode des éléments finis	47
III.5	Résultats et DISCUSSIONS	48
III.5.1	L'effet de la distribution des fibres (ordonnée/aléatoire) sur la courbe force-déplacement pour les différents types de matériaux selon l'axe X.....	48
III.5.2	l'effet de la distribution des fibres (ordonnée/aléatoire) sur la courbe contrainte-déformation pour les différents types de matériaux selon l'axe X	54
III.5.4	l'effet du matériau sur la courbe force-déplacement pour les différents types de distribution des fibres (ordonnée/aléatoire) selon l'axe X	57

Introduction Générale

Introduction Générale

Les composites renforcés de fibres sont devenus des matériaux indispensables dans de nombreux domaines de l'ingénierie en raison de leurs excellentes propriétés mécaniques et de leur légèreté. Une caractéristique clé de ces matériaux est la répartition des fibres de renforcement dans chaque couche. La manière dont ces fibres sont disposées et réparties dans les différentes couches d'un matériau composite a un impact majeur sur sa résistance et ses propriétés mécaniques. Par conséquent, comprendre l'effet de la distribution des fibres dans chaque couche est crucial pour optimiser les performances de ces matériaux et explorer de nouvelles applications industrielles.

Ce mémoire porte sur l'étude approfondie de l'effet de la répartition des fibres dans chaque couche sur la résistance électrique des matériaux composites. L'objectif principal est d'analyser comment l'agencement spatial des fibres de renforcement (qu'il s'agisse de fibres continues, de tissus ou de feuilles) affecte les propriétés structurelles et les propriétés mécaniques du matériau. En examinant les interactions fibre-matrice, les mécanismes de transfert de charge, de ténacité à la rupture, de ténacité et d'autres propriétés fondamentales peuvent être mieux compris.

Cette recherche contribuera à améliorer les connaissances actuelles sur la conception et l'optimisation des composites renforcés de fibres. Les résultats obtenus permettront de déterminer la stratégie d'alignement des fibres de chaque couche afin de maximiser la résistance et les propriétés mécaniques du composite. De plus, cela ouvrira de nouvelles perspectives pour leur application dans divers domaines industriels tels que l'aérospatial, l'automobile, la construction, etc.

Les méthodes utilisées dans ce mémoire comprendront une combinaison de techniques expérimentales et de simulations numériques. Des échantillons composites seront fabriqués en contrôlant précisément la répartition des fibres dans chaque couche, puis soumis à des tests mécaniques rigoureux. En parallèle, des modèles numériques avancés seront développés pour simuler le comportement mécanique des composites en fonction de la répartition des fibres. Les résultats expérimentaux sont comparés aux résultats numériques pour vérifier le modèle

théorique et fournir des suggestions pour l'optimisation de la distribution des fibres dans chaque couche.

En résumé, cette thèse vise à étudier l'effet de la répartition des fibres dans chaque couche sur la résistance électrique du composite. En comprenant comment l'alignement des fibres affecte les propriétés mécaniques des composites, il sera possible de concevoir des matériaux plus durables et d'optimiser leur utilisation dans diverses applications industrielles. Les résultats de ces recherches permettront de faire progresser les connaissances sur les composites renforcés de fibres et de créer de nouvelles opportunités d'innovation dans le domaine de l'ingénierie des matériaux.

Chapitre I :

Généralités sur les matériaux Composites

I.Introduction

A l'image des technologies qui ont caractérisé l'évolution rapide de la science durant la dernière moitié du XX siècle, les matériaux, voire même leur concept, ont été marqués par des évolutions fondamentales. Pendant longtemps, le tout métallique, caractérisé par le développement de l'industrie sidérurgique, a rempli le cahier des charges de toutes les applications industrielles.

L'introduction de nouvelles familles de matériaux à partir des années 70 a non seulement occasionné d'autres matériaux dans un espace initialement réservé aux matériaux métalliques, mais surtout amené à penser différemment les concepts associés aux choix des matériaux. Part conséquent, les nouveaux matériaux nécessitent de la part des constructeurs une meilleure maîtrise des différentes étapes qui vont de la conception du matériau à son utilisation en passant par sa réalisation.

La caractérisation d'un matériau composite doit tenir compte de toutes les conditions et considérations afin de mieux définir désormais, son rôle et ses performances à pouvoir même remplacer certains matériaux métalliques d'égale résistance mais plus léger et encore mieux résistant dans des milieux les plus agressifs.

L'utilisation des matériaux composites implique des choix restreints conditionnés par les caractéristiques des différents éléments du matériau choisi (résines, fibres, additifs, ...) et par le procédé de mise en œuvre. La connaissance de toutes les caractéristiques de la matière première permettent, par la sommation de leurs performances (physiques, chimiques, mécaniques,...etc.), de définir celles du produit final.

Pour l'étude du comportement d'un matériau composite et pouvoir ainsi établir ces propriétés, il est impératif de connaître son rôle, sa destination selon un cahier des charges pré établi, comment et par quoi le caractériser. [1]

I.1 DÉFINITION:

C'est l'assemblage de deux ou plusieurs matériaux non miscibles, de nature différente, et dont les propriétés sont la somme de celles des constituants, ou mieux encore, par effets de synergie et non plus d'addition. Ces matériaux ne sont pas alliés mais associés.

L'association intime d'au moins deux composants est nécessaire : le renfort et la matrice, qui doivent être compatibles entre eux et se solidariser (Figure I.1), ce qui introduit la notion d'un agent de liaison qui est l'interface. Ce dernier assure la compatibilité renfort matrice, et transmet les contraintes d'un constituant à l'autre sans déplacement relatif. Un composite est hétérogène et anisotrope. [1]

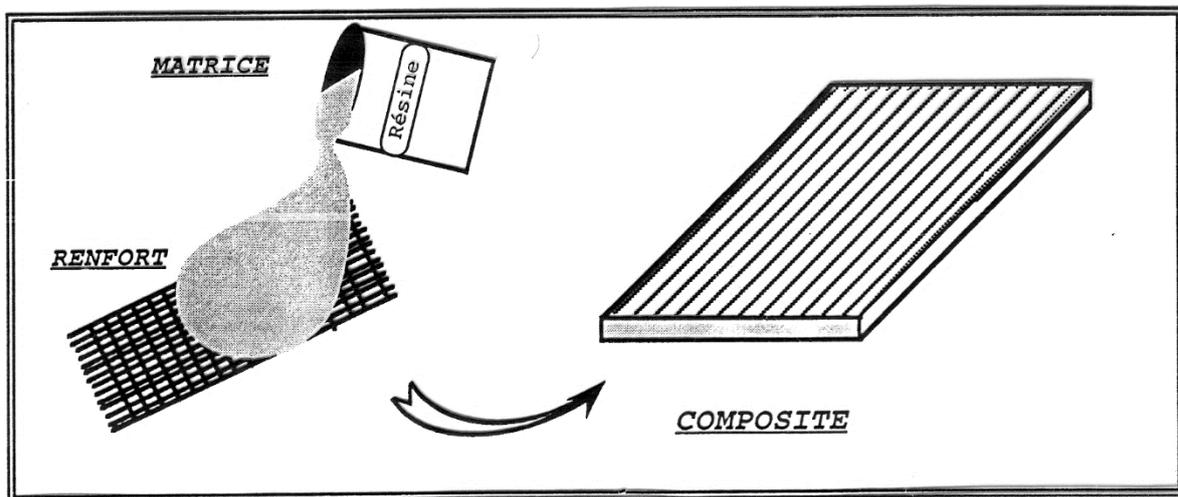


Figure I.1: Constituants d'un matériau composite

Les caractéristiques mécaniques des composites ne sont réellement connues qu'après fabrication, car on réalise, en même temps le matériau et le produit, et ce contrairement aux matières premières classiques dont on connaît à l'avance les caractéristiques mécaniques. Actuellement, les matériaux composites à matrice organique représentent plus de 99% des composites ; toutefois, il existe également des composites à matrice inorganique (métallique ou céramique) dont la diffusion reste encore marginale.

Un matériau composite est un système formé d'un nombre relativement important de constituants. Le nombre de réalisations possibles à partir de cette gamme d'éléments fondamentaux est donc pratiquement infini. Mais bien entendu, seuls sont retenus ceux qui présentent un intérêt technique et/ou économique. Un matériau composite est constitué de deux phases principales : La matrice ; Le renfort ou la fibre. [2]

I.2 CARACTERISTIQUES GENERALES DES MATERIAUX COMPOSITES :

Dans le cas général, un matériau composite est constitué d'une ou plusieurs phases discontinues (renforts) réparties, dans une phase continue (matrice). Dans le cas de plusieurs phases discontinues de nature différentes, le matériau composite est dit hybride. La phase discontinue est habituellement plus dure avec des propriétés mécaniques supérieures à celles de la phase continue.

Les propriétés des matériaux composites résultent des propriétés de ses constituants, de leur distribution géométrique ainsi que de leur interaction. Pour la description d'un composite, il est donc nécessaire de spécifier :

- La nature des constituants et leurs propriétés ;
- La géométrie du renfort (sa forme, sa taille et son orientation) et sa distribution ;
- La nature de l'interface matrice/ renfort.

La concentration du renfort dans le composite est habituellement mesurée par la fraction volumique ou par la fraction massique. Le pourcentage du renfort est un paramètre qui détermine les propriétés mécaniques 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 c'est-à-dire que 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 du composite dont le renfort est constitué de fibres, l'orientation des fibres détermine l'anisotropie de ce matériau, cet aspect constitue une des caractéristiques fondamentales des composites. La possibilité de contrôler l'anisotropie du produit fini par conception et une fabrication adaptée aux propriétés souhaitées (matériau à la carte). [3]

I.3 TYPES DE MATERIAUX COMPOSITES:

On distingue deux grandes familles de matériaux composites :

I.3.1 Les Composites De Grande Diffusion (Gd) :

Les matériaux composites à grande diffusion offrent des avantages essentiels, qui sont : Optimisation des coûts par diminution des prix de revient, sa composition de polyester avec des fibres de verre longues ou courtes (sous forme de mat ou tissu) et la simplicité du principe du matériaux (moulage par contact, SMC et injection). [4]

I.3.2 Les Composites De Hautes Performances (Hp) :

Les matériaux composites à hautes performances sont utilisés dans le domaine d'aéronautique où le besoin d'une grande performance déduite des hautes valeurs ajoutées. Les renforts sont plutôt des fibres longues. Le taux de renfort est supérieur à 50%. Ces composites sont élaborés par les procédures suivantes :

Drapage autoclave, enroulement filamentaire, RTM.

Beaucoup de procédés encore manuels . [5]

I.4 CLASSIFICATION DES MATERIAUX COMPOSITES:

Les matériaux composites, selon le type du renfort utilisé, peuvent être classés en trois grands groupes :

- Matériaux composites renforcés par des particules ;
- Matériaux composites renforcés par des fibres ;
- Matériaux composites structuraux.

Chacun de ces grands groupes comporte des sous-groupes. La figure 1 illustre les différents types de composites.

Notons qu'il existe d'autre type de matériaux qui sont classés composite par une partie des scientifiques comme les matériaux FGM (Matériaux à Gradient de Propriétés), le bois et certaines structures tissées. [6]

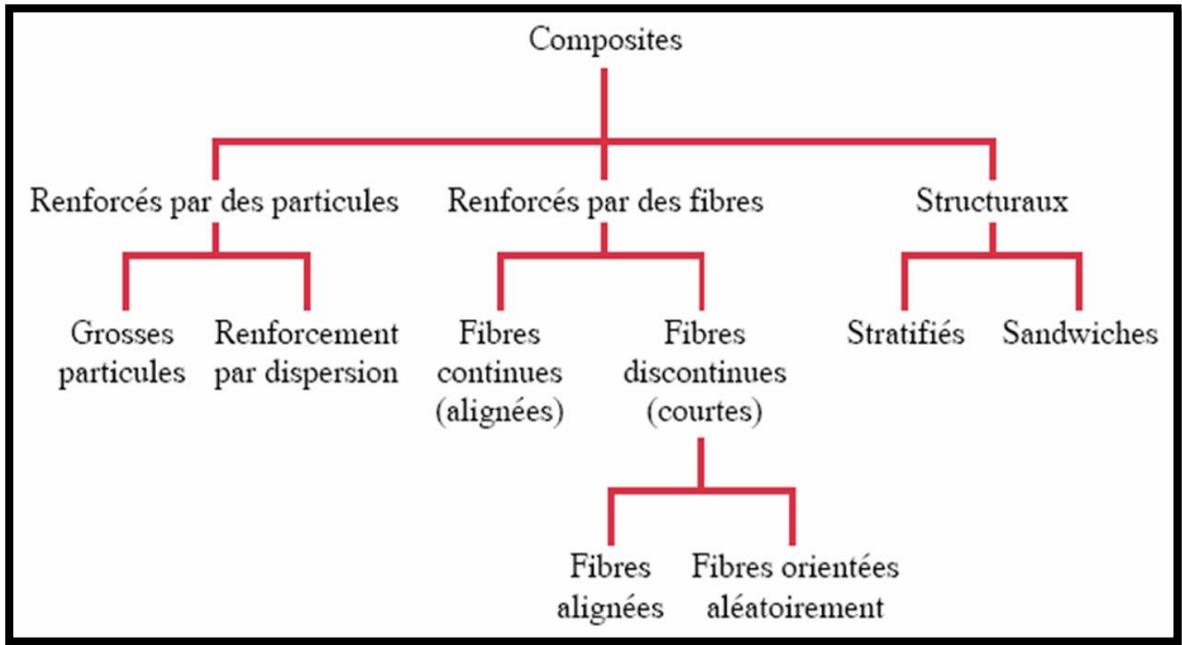


Figure I.2:Classification des matériaux composites (William & Callister,2001)

I.4.1 Composites Renforces Par Des Particules :

Dans cette catégorie, les composites sont renforcés ;

- Par des grosses particules (béton, polymères chargés...) : la géométrie des particules peut varier mais leurs dimensions demeurent similaires dans toutes les directions ;
- Par dispersion : dans ces composites, de fines particules d'une matière inerte et de proportions très faibles sont dispersés généralement dans des matrices métalliques (figure 2). [7]

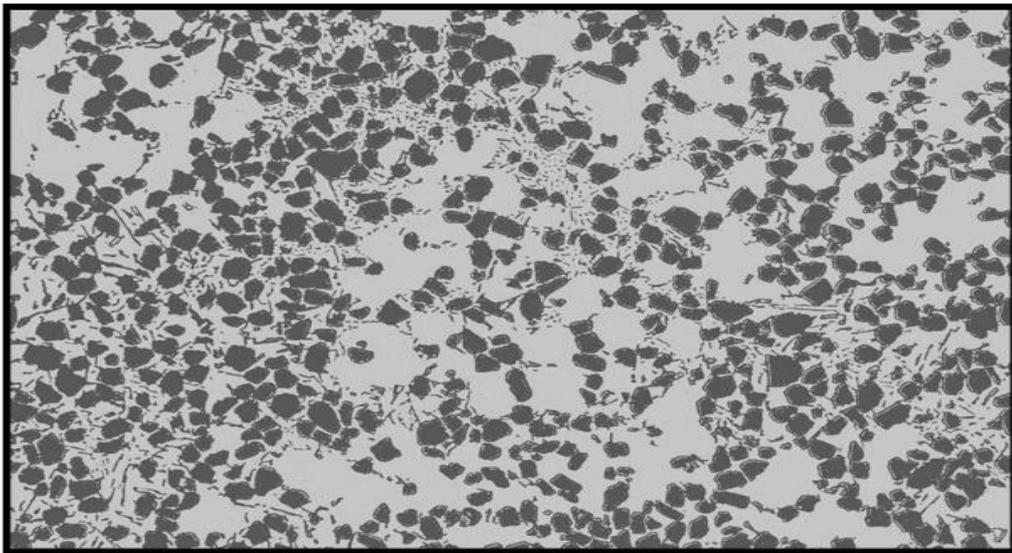


Figure I.3:Composite à matrice métallique renforcé par dispersion (Hairy,2018)

I.4.2 Composites Renforcés Par Des Fibres :

Ces composites sont développés pour obtenir des matériaux rigides et légers. Les composites de cette classe sont classés en deux sous-groupes :

- Des composites renforcés par des fibres continues (fibres alignées longues) ;
- Des composites renforcés par des fibres discontinues (courtes). Ces fibres courtes

peuvent se présenter sous une forme alignée ou orientée aléatoirement. [7]

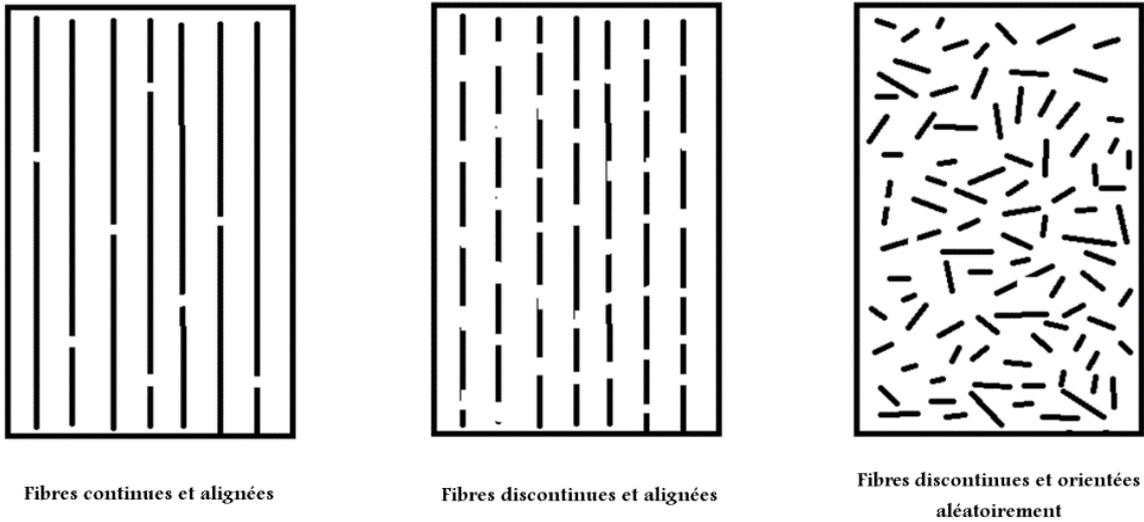


Figure I.4: Les différents types des composites renforcés par des fibres.

Composites structure:

Un composite structural est constitué d'un matériau homogène et d'un composite. Les composites structuraux sont classés en deux groupes :

➤ Les stratifiés :

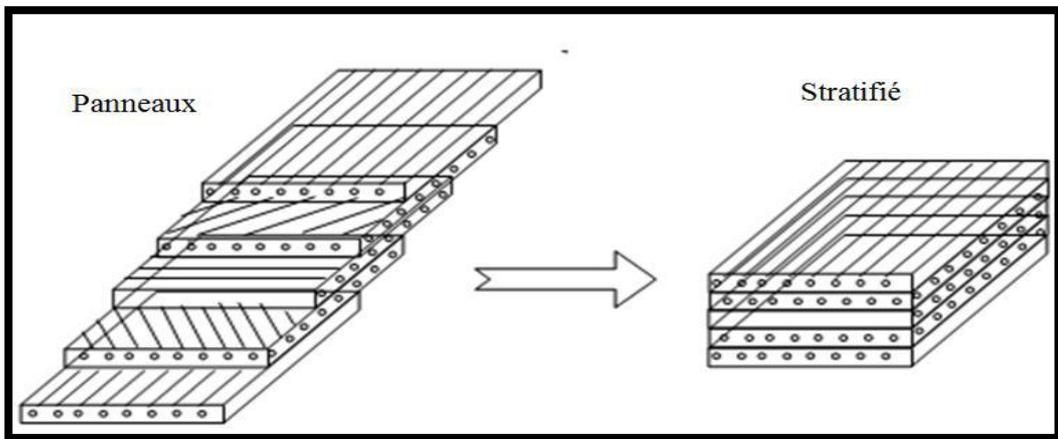


Figure I.5: Principe d'empilement de panneaux pour constituer un stratifié.

Un stratifié est un composite constitué d'un empilement de feuilles (panneaux) dont les propriétés varient selon la direction. Les différentes couches d'un stratifié sont superposées et collées de façon telle que la direction de leurs plus grandes résistances varie d'une couche à l'autre comme le montre la figure (I-5) (Gornet,2008)

➤ **Les panneaux sandwich :** Ces composites sont constitués de deux couches d'un matériau très résistant entre lesquelles on a intercalé un cœur fait d'une matière moins dense, moins résistante et moins rigide (figure 5). [8]

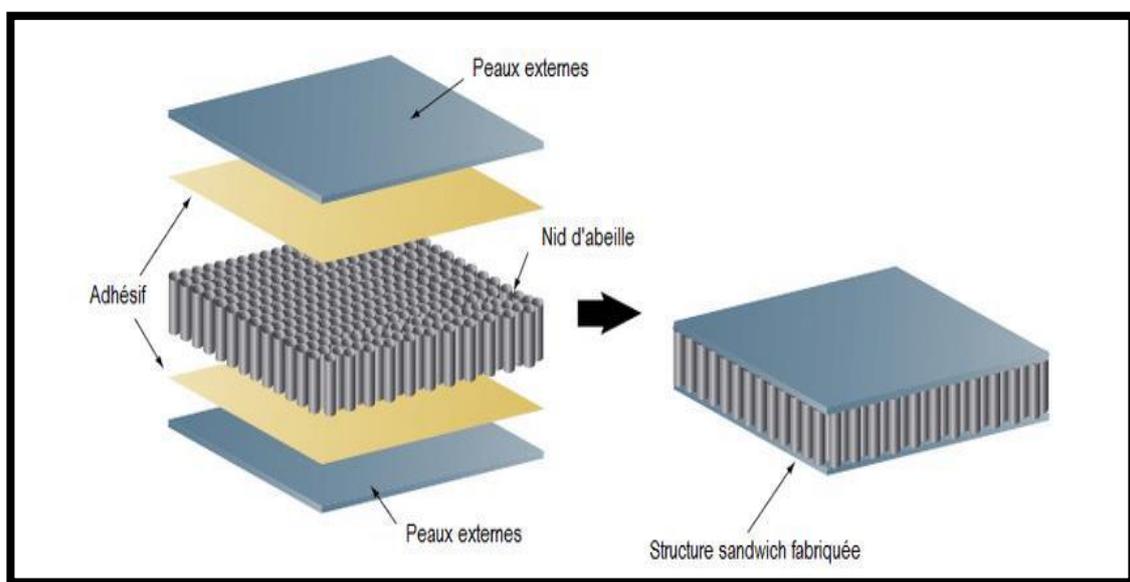


Figure I.6:Représentation schématique d'un panneau sandwich

Les matériaux composites à grande diffusion offrent des avantages essentiels, qui sont : Optimisation des coûts par diminution des prix de revient, sa composition de polyester avec des fibres de verre longues ou courtes (sous forme de mat ou tissu) et la simplicité du principe du matériaux (moulage par contact, SMC et injection).

I.5 CONSTITUANTS DES MATÉRIAUX COMPOSITES :

I.5.1 Les Renforts :

Les renforts contribuent à améliorer la résistance mécanique à la traction et la rigidité des matériaux composites et se présentent sous forme filamentaire (des fibres organiques ou inorganiques). [9]

I.5.1.1 Différents types de renfort :

Les renforts les plus utilisés se présentent sous forme de fibres ou formes dérivées et constituent une fraction volumique de matériau composite généralement comprise entre 0.3 et 0.7.

Les renforts fibres se présentent sous diverses formes commerciales :

- Sous forme de roving (fils, mèches, etc. ...) : le roving est un assemblage de fils de bases parallèles groupés sans torsion.
- Sous forme de tissus (tissus taffetas, toiles, serge, etc. ...) : le tissu est formé par l'entrecroisement perpendiculaire des roving.

Les tissus de roving peuvent peser jusqu'à 800 g/m².

- Sous forme de mat (à fil coupé, à fil continu): le mat est un matelas de fils coupés ou continu à ensimage plastique, agglomérés par un liant à solubilité rapide ou lente dans la résine. [9]

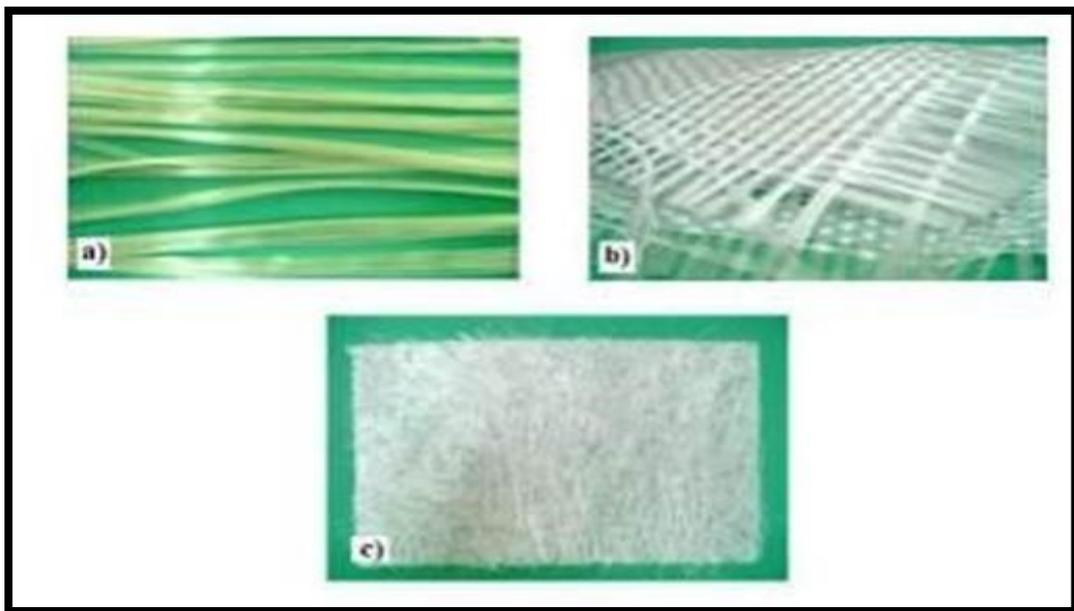


Figure I.7:les différentes formes des renforts fibres de verre
a)Roving de verre , b)Tissu de verre, c)Mat de verre

I.5.1.2 Différentes natures de renfort : [9]

Les renforts peuvent être de natures différentes, comme illustré sur la figure (3) qui récapitule les diverses origines des matériaux constituant les renforts.

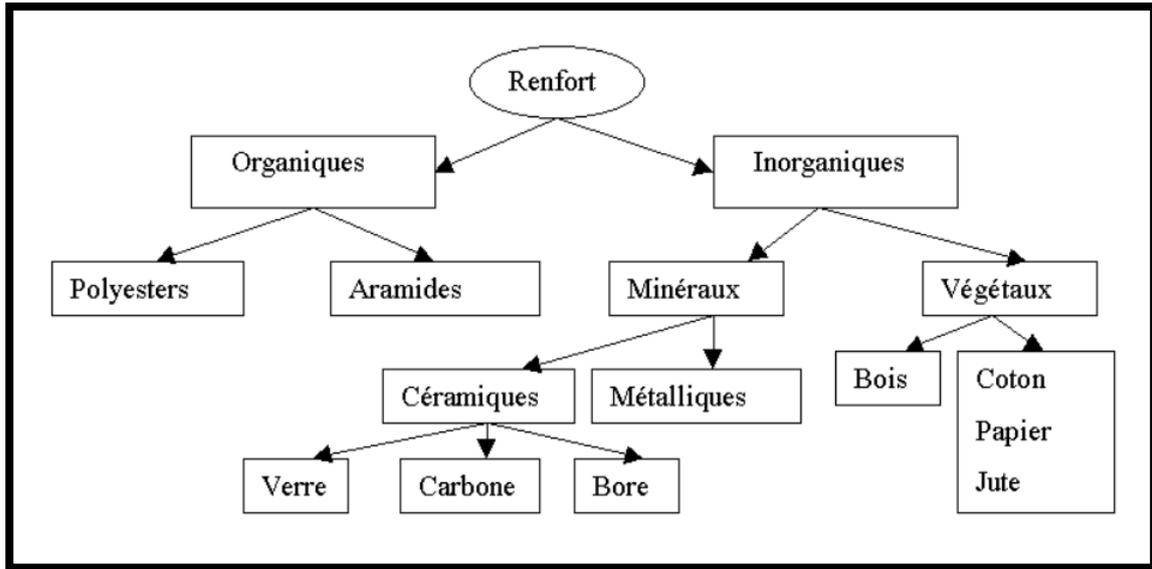


Figure I.8: Principaux matériaux de renforts

La forme la plus utilisée pour les renforts est la forme fibreuse dont les fibres de verre et de Carbone, grâce à leurs propriétés, ont connues une très grande exploitation dans l'industrie.

Les fibres de verre :

Les fibres de verre constituent le renfort le plus utilisé actuellement pour les composites (dans plus de 95%). Elles offrent pour un prix raisonnable une bonne adhérence, de bonnes propriétés mécaniques (mais inférieures à celles de la fibre carbone) et des propriétés d'isolation électrique acceptables pour la plupart des applications. Cependant, leurs faibles modules d'élasticité (et leurs densités qui sont supérieure à celle des fibres de carbone) limitent leurs utilisations pour la fabrication des pièces structurales (en aéronautique par exemple).

Les fibres de verre sont obtenues à partir de l'oxyde minéral (Silice, Alumine, Chaux, Magnésie, Oxyde de bore...). On distingue plusieurs types:

- Verre E : à usage général avec de bonnes propriétés électriques.
- Verre D : il a de bonnes propriétés diélectriques pour l'utilisation en électronique (circuit imprimé).

- Verre C : il a une bonne résistance chimique, pour les couches superficielles des structures sur le plan chimique.
- Verre R et S : ont une haute résistance mécanique pour la réalisation des pièces structurales. Les fibres de verre E sont les plus utilisés, le tableau suivant représente quelque composition de verre E, D et R :

Constituants		Composition en masse %		
		E	D	R
Silice	SiO₂	53 – 54	73 – 74	60
Alumine	Al₂O₃	14 – 15,5	-	25
Chaux	CaO	20 – 24	0,5 – 0,6	9
Magnésie	Mg	20 – 24	0,5 – 0,6	6
Oxyde de bore	B₂O₃	6,5 - 9	22 – 23	-
Fluor	F	0 – 0,7		
Oxyde de fer	Fe₂O₃	< 1	0,1- 0,2	-
Oxyde de titane	TiO₂	< 1	0,1- 0,2	
Oxyde de sodium	Na₂O	< 1	1,3	
Oxyde de potassium	K₂O	< 1	1,5	

Table 1:quelques compositions de verre E, D et R

Avantages et Inconvénients : on donne certaines caractéristiques des fibres de verre que nous résumons dans le tableau 2

avantages	inconvénients
-bon rapport de performance mécanique/prix - bonne résistance spécifique (rapport résistance à la traction/densité.) -bonne adhérence avec toutes les résines (existence d'ensimage) -incombustibilité ; -dilatation et conductivité thermiques faibles	- faible module (fragile par rapport à l'aramide et Carbone). - Vieillessement au contact de l'eau (problème pour les navires)

Table 2:avantages et inconvénient de la fibre du verre E, D et R

Les fibres de carbone :

Les fibres de carbone sont élaborées à partir d'un polymère de base appelé précurseurs, se présentant lui-même sous forme de fibres orientées et réticulées. Le plus utilisé de ces précurseurs est le Poly Acrylonitrile (PAN).

Les fibres de carbone possèdent de très bonnes caractéristiques mécaniques d'autant plus que leurs masses volumiques est faible (généralement inférieure à 2000Kg/m³). En outre, il faut noter que les fibres de carbones ont une excellente tenue en température en atmosphère non oxydante.

Il est important de noter que les fibres de carbone sont sensibles à l'oxygène dès 400°C (pour des applications en atmosphère oxydante, dans le domaine spatial, ces matériaux sont revêtus d'une couche protectrice anti-oxydante). Les fibres de carbone présentent une mauvaise résistance aux chocs. Le prix de ces fibres est relativement élevé, d'ailleurs, elles sont réservées principalement pour les utilisées dans des applications structurales.

Afin d'améliorer la liaison fibre/résine, les fibres de carbone sont soumises à un traitement de surfaces. Ce dernier est suivi par un procédé d'ensimage textilo-plastique qui facilite l'accrochage de la matrice.

Les autres fibres :

Les autres fibres sont peu utilisées par ce que leurs caractéristiques sont moins performantes par rapport aux deux premières. On peut citer :

Les fibres d'aramide :

Elles sont généralement connues sous le nom de Kevlar. Elles ont une bonne résistance aux chocs,, à l'impact et à l'abrasion, mais leur utilisation est limitée par leur faible résistance à la compression, à la flexion, au flambement, et elles sont sensibles au cisaillement inter laminaire (l'adhérence entre matrice et fibre est mauvaise ou moyenne).

Fibres naturelles :

Comme le chanvre et le lin, ces fibres ont de bonnes propriétés mécaniques (module de Young peu atteindre celui du verre) pour un prix modeste, elles sont particulièrement écologiques puisque ce sont des produits naturels ; mais ces fibres, présentent plusieurs verrous techniques : elles ne sont pas fabriquées par un processus industriel, la quantité et la qualité des fibres

produites dépendent de l'environnement, les fibres naturelles sont difficilement calibrable et plus difficilement manipulables.

I.5.2 Les charges et les additifs : [10]

I.5.2.1 Les charges :

On désigne sous le nom général de charge toute substance inerte, minérale ou végétale qui est ajoutée à un polymère de base, permet de modifier de manière sensible les propriétés mécaniques, électriques ou thermiques, d'améliorer l'aspect de surface ou bien, simplement, de réduire le prix de revient du matériau transformé.

A l'inverse des matières thermoplastiques, les matières thermodurcissables ont toujours contenu des charges de nature et de forme variées, à des taux souvent élevés pouvant atteindre 60 % en masse, dépassant ce pourcentage le composite arrive à saturation.

Pour un matériau donné, le choix d'une charge est déterminé en fonction des modifications recherchées pour l'objet fini. Mais, d'une manière générale, les substances utilisables comme charges des matières plastiques devront d'abord satisfaire à un certain nombre d'exigences :

- Compatibilité avec la résine de base ;
- Mouillabilité ;
- Uniformité de qualité et de granulométrie ;
- Faible action abrasive ; Bas prix de revient.

I.5.2.2 Les additifs :

Un additif désigne une substance qui est introduite dans un mélange pour apporter une propriété spécifique, ils se trouvent en faible quantité (quelque % et moins) et interviennent comme :

- Adjuvants ;
- Lubrifiants et agents de démoulage ;
- Pigments et colorants ;
- Agents anti-retrait ;
- Agents anti-ultraviolets.

I.5.3 La Matrice : [11]

La matrice est constituée de résine mélangée, pour améliorer ses caractéristiques, à une charge qui facilite aussi la mise en œuvre et diminue le coût de la production. Le mélange est considéré mécaniquement comme une phase homogène, et nous obtenons ainsi un matériau composite formé d'un renfort et d'une matrice.

Le rôle de la matrice est d'assurer le lien entre les fibres et de transmettre les sollicitations. Elle assure la résistance du matériau dans le sens transverse du renfort, ainsi qu'une protection physico-chimique des fibres contre les agents nocifs de l'environnement. De plus elle conditionne directement la tenue thermique, et la résistance à la compression et au cisaillement inter-laminaire.

Les résines utilisées doivent être assez déformables et doivent présenter une bonne compatibilité avec les fibres. Elles doivent également avoir une masse volumique faible de manière à conserver au matériau composite des caractéristiques mécaniques spécifiques élevées.

I.5.3.1 Les différents types de matrices :

I.5.3.1.1 Les matrices organiques :

La matrice organique est la partie polymère du système qui se divise en deux familles principales thermoplastiques et thermodurcissables.

Il est important de bien situer les différences fondamentales de ces deux types de matrices.

La structure des TP se présente sous forme de chaînes linéaires, il faut les chauffer pour les mettre en forme (les chaînes se plient alors), et les refroidir pour les fixer (les chaînes se bloquent). Cette opération est réversible.

La structure des TD a la forme d'un réseau tridimensionnel qui se pont (double liaison de polymérisation) pour durcir en forme de façon définitive, lors d'un échauffement. La transformation est donc irréversible.

Les résines thermodurcissables :

Les résines TD sont exceptionnellement utilisées sans renforts, leurs caractéristiques intrinsèques ne le permettent pas. Elles ne peuvent être mises en forme qu'une seule fois. Après

la polymérisation par rapport à la chaleur en présence d'un catalyseur, elles conduisent à une structure géométrique qui ne peut pas être détruite que par un apport important d'énergie thermique.

Il existe plusieurs familles de résines TD, on peut citer :

- Polyesters insaturés : C'est la résine la plus utilisée dans l'application composite de grande distribution.

Une résine de polyester insaturé contenant un monomère (généralement le styrène) est réticulée à température ambiante par addition d'un catalyseur de type peroxyde organique et d'un accélérateur.

Elle passe successivement de l'état liquide visqueux initial à l'état de gel, puis à l'état de solide infusible. La réaction est exothermique et la température de la résine augmente progressivement depuis le gel jusqu'à un maximum pour redescendre ensuite lentement à la température ambiante.

La réaction de durcissement dépend de la réactivité de la résine, de la forme de l'objet fabriqué (épaisseur, etc.), de la nature et du dosage du système catalytique.

- **Les résines thermoplastiques :**

Polymères linéaires ou ramifiés, qui peuvent être ramollis par chauffage et durcis par refroidissement plusieurs fois, elles sont fréquemment utilisées seules (sans renfort et sans charge), dans ce cas on peut plus les considérer comme matériaux composites, leurs propriétés intrinsèques sont suffisantes pour permettre la réalisation d'objets et de pièces à fonction diverses. Les polymères utilisés sont essentiellement des thermoplastiques techniques qui présentent à l'état vierge de bonnes caractéristiques mécaniques. Un renforcement à l'aide de fibres courtes leur confère une tenue thermique et mécanique améliorée et une bonne stabilité dimensionnelle. Les principales matrices TP utilisées (possédant toutes une tenue en température supérieure à 100 °C) sont les suivantes :

- ❖ Polyamide (PA) : tenue au choc, bonne résistance à la fatigue et aux hydrocarbures ;
- ❖ Poly téréphtalate éthylénique et butylénique (PET, PBT) : bonne rigidité, bonne ténacité ;
- ❖ Polycarbonate (PC) : tenue au choc
- ❖ Polysulfure de phénylène (PPS) : résistance à l'hydrolyse
- ❖ Polyoxyméthylène (POM) : bonne tenue à la fatigue
- ❖ Polysulfures (PSU et PPS) : bonne stabilité chimique et à l'hydrolyse, peu de fluage, tenue au chaud
- ❖ Polypropylène (PP) : peu onéreux et assez stable en température, mais combustible. Il existe aussi deux autres types de résines dont leur emploi est limité qui sont :

➤ Résines thermostables (tenue en température > 200 °C et bonnes propriétés mécaniques), comme :

- Polyamide-imide (PAI)
- Polyéther-imide (PEI)
- Polyéther-sulfone (PES)
- Polyéther-éther-cétone (PEEK)

Les caoutchoucs et les élastomères, qui sont caractérisés par leur forte élasticité et un module de Yong très faible.

I.5.3.1.2 Les matrices carbonées :

Elles sont produites par le même principe que celui utilisé pour la production des fibres de carbones : carbonisation d'une matrice organique à haute température.

Elles sont constituées de grains de carbone pyrolytique qui se dépose à chaud sur les fibres, ce qui assure une liaison mécanique entre celle-ci et ferme les vides laissés entre elles. On obtient ainsi un matériau composite dont la masse volumique se rapproche de celle du carbone massif.

I.5.3.1.3 Les matrices métalliques :

La température maximale d'utilisation des polymères étant peu élevée, et le carbone risque de s'oxyder à plus de 500°C, il faut donc par fois envisager d'utiliser des matrices dont l'inertie chimique est meilleur à plus haute température, certains métaux et alliages métalliques peuvent répondre à cette exigence, on a donc recours à des matrices métalliques dans certaines conditions :

- Des propriétés mécaniques supérieures
- Résistance plus élevée à l'attaque de certains solvants
- Tenue en température élevée
- Comportement pas parfaitement élastique
- Augmentation du poids du composite

I.5.3.1.4 Les matrices céramiques :

Les propriétés intrinsèques des céramiques (réfractaire, rigidité, résistance et bonne stabilité chimique), leurs permet potentiellement de jouer le rôle de matrice dans des matériaux composites, dans ce cas le but des fibres de renfort est d'améliorer la ténacité de telles matrices, ainsi que leur résistance aux chocs thermiques.

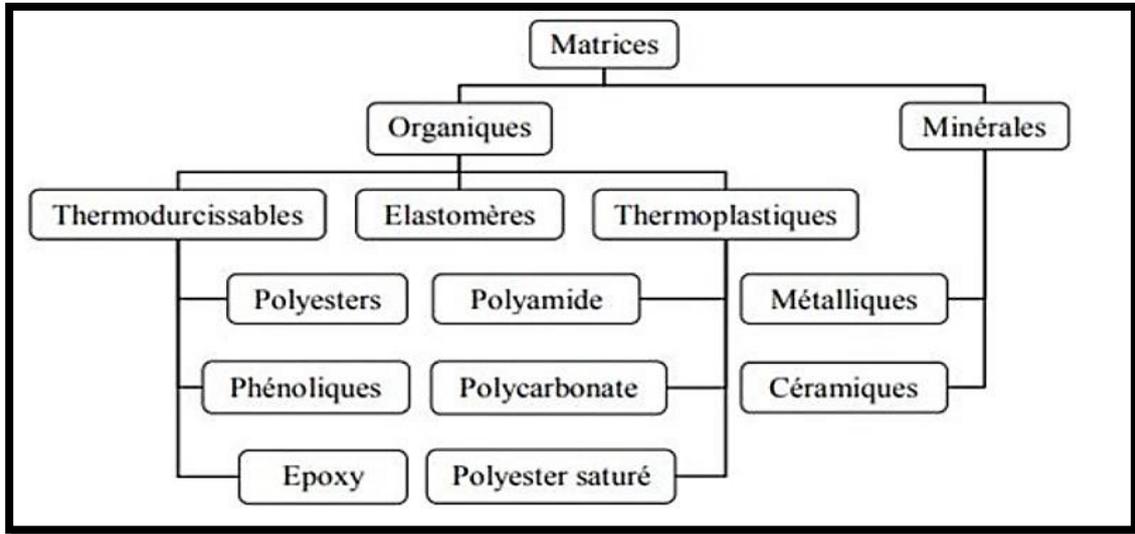


Figure I.9 :Différentes familles de matrice.

Conclusion :

Dans ce premier chapitre, nous avons établi les bases en fournissant une vue d'ensemble des matériaux composites. Nous avons commencé par explorer les différents types de matériaux composites et leurs constituants, en mettant l'accent sur les fibres et les matrices utilisées dans leur fabrication, Nous avons également souligné leurs avantages et leurs défis.

En ce qui concerne les fibres, nous avons examiné des options populaires telles que les fibres de carbone, de verre et d'autres matériaux avancés. Chacune de ces fibres présente des caractéristiques spécifiques en termes de résistance, de rigidité et de performances mécaniques, ce qui permet aux ingénieurs de choisir celle qui convient le mieux à leur application.

En ce qui concerne les matrices, nous avons exploré les polymères les plus couramment utilisés, tels que les résines époxy, les résines thermodurcissables et les polymères thermoplastiques. Chaque matrice offre des propriétés spécifiques en termes de résistance chimique, de résistance à la chaleur et de durabilité, permettant de personnaliser davantage les performances des composites en fonction des exigences de l'application.

Chapitre II :

Le volume élémentaire représentatif

(VER)

II.Introduction

Le volume élémentaire représentatif (VER) est un concept utilisé en science des matériaux et en ingénierie pour décrire un volume spécifique d'un matériau qui est choisi de manière à représenter de manière significative ses propriétés macroscopiques. Il s'agit d'une subdivision du matériau qui conserve les caractéristiques essentielles de sa microstructure, telles que la distribution des phases, des pores ou des inclusions

Le VER est défini en fonction de la taille et de la forme du volume, ainsi que des caractéristiques spécifiques de la microstructure du matériau. Il doit être suffisamment petit pour être représentatif, mais suffisamment grand pour englober un nombre significatif de constituants de la microstructure. La détermination précise du VER dépend du matériau étudié et des propriétés macroscopiques pertinentes pour l'application visée.

L'objectif principal du VER est de simplifier l'analyse et la modélisation des propriétés matérielles à l'échelle macroscopique en considérant les interactions et les comportements à l'échelle microscopique. En utilisant le VER, il est possible d'extrapoler les caractéristiques de la microstructure à une échelle plus grande, permettant ainsi une compréhension plus approfondie des propriétés globales des matériaux.

En résumé, le volume élémentaire représentatif est un volume spécifique d'un matériau qui est sélectionné pour représenter de manière significative ses propriétés macroscopiques tout en conservant les caractéristiques essentielles de sa microstructure. Cela facilite l'analyse et la microscopiques.

II.1 RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUES :

Les travaux réalisés sur L'effet de la distribution des fibres de chaque couche sur la résistance des matériaux composites on cite :

D'après **Mr T. Kanit** qui travaillé sur la Détermination de la taille de l'élément de volume représentatif pour les composites aléatoires approche statistique et numérique en 2003. L'auteur exprime son opinion sur l'élément de volume représentatif (RVE) qui joue un rôle central dans la mécanique et la physique des matériaux hétérogènes aléatoires en vue de prédire leurs propriétés effectives. Une définition quantitative de sa taille est proposée dans ce travail. Une taille RVE peut être associée à une précision donnée de l'estimation de la propriété globale recherchée et au nombre de réalisations d'un volume V donné de microstructure qu'ils sont en mesure d'envisager. il montre que cela dépend de la propriété morphologique ou physique étudiée, du contraste des propriétés des constituants et de leurs fractions volumiques. La méthodologie est appliquée à une microstructure aléatoire spécifique, à savoir une mosaïque de Voronoï tridimensionnelle à deux phases. Des simulations par éléments finis de volumes de différentes tailles sont effectuées dans le cas de l'élasticité linéaire et de la conductivité thermique. Les volumes sont soumis à des déformations homogènes, des contraintes ou des conditions aux limites périodiques. Les propriétés effectives peuvent être déterminées pour de grands volumes et un petit nombre de réalisations. À l'inverse, des volumes plus petits peuvent être utilisés à condition d'envisager un nombre suffisant de réalisations. Un biais dans l'estimation des propriétés effectives est observé pour des volumes trop petits pour tous les types de conditions aux limites. La variance des propriétés apparentes calculées pour chaque taille de volume est utilisée pour définir la précision de l'estimation. La notion clé de plage intégrale est introduite pour relier cette estimation d'erreur et la définition de la taille RVE. Pour une précision voulue et un nombre de réalisations donnés, ils sont capables de fournir une taille volumique minimale pour le calcul des propriétés effectives. Il a trouvé que ces résultats peuvent également être utilisés pour prédire le nombre minimal de réalisations à considérer pour une taille de volume donnée afin d'estimer la propriété effective pour une précision donnée. Les tailles RVE trouvées pour les propriétés élastiques et thermiques, mais aussi pour une propriété géométrique comme la fraction volumique, sont comparées. 2003 Elsevier Science Ltd. Tous droits réservés [1].

D'après **Mr Wahbi Jomaa** qui a travaillé sur le Milieu poreux diphasique déformable : volume élémentaire représentatif déformable et prise de moyenne d'une équation de transport en 2007.

Il dit que La modélisation du transport de masse, d'énergie et de quantité de mouvement dans un milieu poreux diphasique déformable requiert d'une part une connaissance détaillée à l'échelle du pore des phénomènes de transport concerné, et d'autre part une aptitude à moyenniser ceux-ci sur un Volume Élémentaire Représentatif. Une démarche de prise de moyenne couramment utilisée repose sur une intégration des équations de transport locales concernées sur un V.E.R. non-déformable, que le milieu soit déformable ou pas. De cette démarche résulte des équations de transport moyennées. L'objet du travail présenté ici consiste à moyenniser, sur un VER déformable au cours du temps, une équation de transport simple : l'équation de conservation de la masse d'une phase dans un milieu diphasique. Cette démarche permet de mettre distinctement en évidence la non influence, sur la forme générale de l'équation moyennée obtenue, du caractère déformable du VER retenu [2].

D'après **Mr KYO KOOK JIN** qui travaillé sur Effet de l'arrangement des fibres sur les résidus Répartition des contraintes thermiques dans un composite unidirectionnel en 2007

Il dit que la analyse tridimensionnelle par éléments finis est effectuée pour étudier les effets des arrangements de fibres sur les contraintes thermiques résiduelles dans les composites unidirectionnels de diverses fractions volumiques de fibres (FVF). Les arrangements de fibres comprennent les réseaux de fibres régulières (réseaux carrés et hexagonaux) et un réseau de fibres aléatoires

Les contraintes normales, tangentielles et de cisaillement à l'interface fibre-matrice sont d'abord obtenus à l'aide de cellules unitaires des réseaux de fibres carrés et hexagonaux réguliers. Pour simuler de meilleurs arrangements de fibres réelles, la distribution aléatoire des fibres est modélisée et analysée à l'aide d'une analyse par éléments finis. Les distributions statistiques des contraintes thermiques résiduelles sont obtenues pour divers FVF et comparées au résultat des réseaux de fibres ordinaires.

Les effets des propriétés des matériaux constitutifs des composites sur les contraintes thermiques sont également pris en compte. Les résultats indiquent que l'arrangement aléatoire des fibres a une influence significative sur les contraintes thermiques résiduelles, en particulier à des FVF élevés.

Les contraintes de mode des fibres aléatoires sont bien estimées à l'aide du réseau carré alors que les contraintes moyennes sont mieux prédites à partir du réseau hexagonal. Il est démontré que les

coefficients de dilatation thermique prédits ne sont pas influencés par la microstructure des composites.

D'après **YUANCHEN HUANG** qui a travaillé sur Effets de la disposition des fibres sur Comportement mécanique de Composites unidirectionnels en 2008.

Des approches micromécaniques sont employées pour étudier l'influence de différents agencements de fibres sur le comportement mécanique des composites unidirectionnels (UD) dans diverses conditions de chargement. Un modèle micromécanique avec un réseau de fibres aléatoires est généré et utilisé dans une analyse par éléments finis avec deux éléments de volume représentatifs (RVE) fréquemment utilisés ou des modèles de cellules unitaires de réseaux carrés et hexagonaux. L'algorithme de génération du réseau de fibres aléatoires est vérifié en comparant les performances globales d'une cellule unitaire basée sur notre réseau aléatoire et celle d'une cellule unitaire basée sur une distribution de fibres réelles dans la section transversale UD. Les performances des réseaux de fibres aléatoires et régulières sont également évaluées à travers les distributions de fréquence des invariants de contrainte dans la matrice et les tractions à l'interface fibre-matrice dues à divers types de chargement. Les effets de différents angles de chargement sur la réponse globale des réseaux réguliers à diverses conditions de chargement sont étudiés en profondeur. Enfin, la distribution de Weibull de la traction inter faciale normale maximale dans un tableau aléatoire est comparée à la distribution de probabilité cumulée des données de résistance transversale acquises à partir de l'expérience, et un bon accord est obtenu.[4]

D'après **Mr. ROKBI** qui a travaillé sur L'effet des traitements de surface des fibres sur les propriétés mécaniques de composites Polyester-fibres Alfa en 2011

Il dit que Les fibres Alfa ont subi des traitements alcalins de différentes concentrations de NaOH (1, 5 et 10%) durant 0, 24 et 48h. Les résultats montrent que la contrainte et le module de flexion du composite renforcé par des fibres traitées à 10% de NaOH durant 24h s'améliorent de l'ordre de 60% et de 62% respectivement comparés à ceux du composite à renfort non traité. En revanche, pour un traitement des fibres (NaOH à 5%) durant 48h, les propriétés mécaniques du composite diminuent. Cette diminution est liée principalement à la réduction de la lignine qui lie les fibrilles de cellulose. [5]

D'après **HF Lei, ZQ Zhang** qui a travaillé sur l'effet de la disposition des fibres sur les propriétés mécaniques des composites renforcés de fibres courtes en 2012

Elles disent que Le présent article a développé un modèle théorique tridimensionnel (3D) de « chaîne de traction-cisaillement » pour prédire les propriétés mécaniques des composites renforcés de fibres courtes unidirectionnelles, et en particulier pour étudier l'effet de distribution des fibres courtes. La précision de ses prédictions sur le module effectif, la résistance, la déformation à la rupture et la capacité de stockage d'énergie des composites avec différentes distributions de fibres sont validées par des simulations de la méthode des éléments finis (FEM). On constate qu'outre la fraction volumique, la forme et l'orientation des renforts, la répartition des fibres joue également un rôle important dans les propriétés mécaniques des composites unidirectionnels. Deux facteurs de distribution de rigidité et deux facteurs de distribution de résistance sont identifiés pour caractériser complètement cette influence. Il est également à noter que l'échelonnement en escalier (y compris l'échelonnement régulier), qui est adopté par la nature, pourrait atteindre d'excellentes performances globales. Le modèle de chaîne de tension-cisaillement 3D proposé peut fournir des conseils pour la conception de composites renforcés de fibres courtes.[6]

D'après **B. HADDAG** qui a travaillé sur l'identification des propriétés effectives d'élasticité d'un polymère obtenu par fabrication additive SLS à partir d'une modélisation du volume élémentaire représentatif en 2019.

Cet article traite de l'identification des propriétés élastiques du polymère PA12 obtenu par le procédé de fabrication additive SLS à partir d'une modélisation EF d'un volume élémentaire représentatif (VER). Le polymère PA12 analysé contient des additifs retardateurs de feu comme inclusions et des porosités induites par le procédé SLS. Un VER est construit à partir d'images tomographiques de la microstructure et d'une procédure de maillage pour mettre en place un modèle EF. En appliquant de la traction un axiale et du cisaillement simple selon différentes directions au VER, les principales propriétés d'élasticité (module de Young, coefficient de Poisson, module de cisaillement) sont identifiées. Il est constaté que ces propriétés dépendent de la direction de chargement (anisotropie). Le module de Young et le coefficient de Poisson sont proches de ceux de la matrice, du fait que la fraction volumique des inclusions et du vide sont beaucoup plus bas par rapport à celle de la matrice. Par contre, le module de cisaillement dans les différentes directions est plus faible par rapport à celui de la matrice d'environ 30%.[7]

D'après A. El Moumen qui a travaillé sur l'évaluation numérique de l'élément de volume représentatif pour composites aléatoires en 2020.

L'élément de volume représentatif (RVE) joue un rôle central dans l'homogénéisation de microstructures hétérogènes aléatoires, notamment pour les matériaux composites et poreux,

avec une vue de prédire leurs propriétés effectives. Une évaluation quantitative de sa taille est proposée dans ce travail en élasticité linéaire et conductivité thermique linéaire de matériaux hétérogènes aléatoires. Un RVE peut être associé à différentes propriétés physiques et statistiques des microstructures. La méthodologie est appliquée à des ensembles aléatoires spécifiques basés sur la microstructure à deux phases. Statistique paramètres sont introduits pour étudier la variation de la taille RVE en fonction des fractions volumiques de composants et le contraste de leurs propriétés. La notion clé de domaine intégral est introduite pour déterminer ces variations. Pour une précision souhaitée donnée, on peut prévoir un volume minimal taille pour le calcul des propriétés mécaniques et thermiques effectives. Simulations numériques sont effectués pour démontrer qu'il existe un volume qui est statistiquement représentatif de microstructures. Cette découverte est un élément important pour la multi-échelle basée sur l'homogénéisation. Modélisation des matériaux.[8]

D'après **GASMI. S** qui travailler sur L'élaboration et caractérisation d'un matériau composite renforcé par les fibres de paille de blé en 2020. L'objectif principal de ce mémoire est de développer et d'améliorer les propriétés des matériaux au moindre coût en utilisant des fibres de la paille de blé comme matériau de renforcement et du polyester insaturé comme matériau de base en raison des propriétés physiques et mécaniques élevées de ces fibres. Ensuite, nous avons abordé une étude de l'effet du traitement chimique sur les propriétés des fibres. Afin de préparer un nouveau matériau enrichi en fibre de la paille de blé et résoudre le problème d'incompatibilité. Il dit que L'objectif principal de ce mémoire est de développer et d'améliorer les propriétés des matériaux au moindre coût en utilisant des fibres de la paille de blé comme matériau de renforcement et du polyester insaturé comme matériau de base en raison des propriétés physiques et mécaniques élevées de ces fibres. Ensuite, nous avons abordé une étude de l'effet du traitement chimique sur les propriétés des fibres. Afin de préparer un nouveau matériau enrichi en fibre de la paille de blé et résoudre le problème d'incompatibilité. [9]

II.2 LA METHODE DE MONTE-CARLO :

La méthode de simulation Monte Carlo fut développée par Von Neuman, Ulam et Metropolis, à la fin de la seconde guerre mondiale, pour l'étude de la diffusion des neutrons dans un matériau fissile (son noyau peut subir une fission nucléaire sous l'effet d'un bombardement par des neutrons de toutes énergies (rapides ou lentes) [21]. Cette simulation a été utilisée au cours de la seconde guerre mondiale en parallèle avec les recherches sur la bombe atomique qui a eu lieu en Inde en (1949) (article publié Stanislas Ulam). Comte du Buffon (1777) est le premier qui a utilisé les nombres aléatoires pour résoudre des problèmes mathématiques (Calcul de π). La simulation MC de Laplace (1886) consiste à choisir des points aléatoires dans un rectangle pour calculer π . En 1930, Fermi a utilisé une méthode de simulation MC basant sur le choix aléatoire pour calculer les propriétés de neutrons découverts.[22]

II.2.1 Définition de Monte-Carlo :

Les techniques d'inversion de Monte Carlo ont été utilisées pour la première fois par les scientifiques de la Terre il y a plus de 30 ans. Depuis lors, ils ont été appliqués à un large éventail de problèmes, de l'inversion des données d'oscillation libre pour la structure sismique de la Terre entière aux études à l'échelle métrique rencontrées en sismologie d'exploration. Cet article retrace le développement et l'application des méthodes de Monte Carlo pour les problèmes inverses dans les sciences de la Terre et en particulier la géophysique. Les principaux développements de la théorie et de l'application remontent aux premiers travaux de l'école russe et aux études pionnières en Occident de Press [1968] jusqu'aux méthodes modernes d'échantillonnage par importance et d'inférence d'ensemble. Le papier est divisé en deux parties. Le premier est une revue de la littérature et le second est un résumé des techniques de Monte Carlo qui sont actuellement populaires en géophysique. Ceux-ci incluent recuit simulé, algorithmes génétiques et autres approches d'échantillonnage importantes. L'objectif est d'agir à la fois comme une introduction pour les nouveaux venus dans le domaine et comme une source de référence complète pour les chercheurs déjà familiarisés avec l'inversion de Monte Carlo. Nous espérons que le document servira de résumé opportun d'une méthodologie en expansion et polyvalente et encouragera également les applications à de nouveaux domaines des sciences de la Terre. [23]

II.2.2 Avantage technique de Monte-Carlo :

Le principal avantage de ces méthodes est de couvrir des échelles de temps et de taille plus grandes que les méthodes quantiques et la méthode de la Dynamique Moléculaire, tout en étant de faibles consommatrices de temps de calculs. Les techniques Monte Carlo reflètent l'évolution exacte d'un système : à condition que la simulation soit réalisée de façon correcte et précise, le résultat final peut être comparé de façon directe à des expériences réelles et quelque fois peuvent être non distinguables. Le caractère stochastique du Monte Carlo peut être discutable dans le sens où le nombre aléatoire nécessaire à la conduite d'une bonne simulation Monte Carlo est généré par un ordinateur, par conséquent de manière intrinsèquement déterministe ! Cependant, l'utilisation de ces nombres pseudo-aléatoires présente un grand avantage : ils permettent de pouvoir reproduire exactement une même simulation à condition que les paramètres d'entrée restent inchangés d'une simulation à l'autre. Plus que tout autre argument, ces nombres aléatoires permettent de manière très précise de pouvoir sonder et étudier l'influence d'un seul paramètre sur un système. [22]

II.2.3 Le principe de la méthode :

Les méthodes de Monte Carlo permettent d'estimer des quantités en utilisant la simulation de variables aléatoires. Les problèmes pouvant être rencontrés comprennent le calcul d'intégrales, les problèmes d'optimisation et la résolution de systèmes linéaires. La simplicité, la flexibilité et l'efficacité pour les problèmes en grande dimension de la méthode en font un outil intéressant, pouvant servir d'alternative ou de référence pour d'autres méthodes numériques.

Supposons que l'on souhaite connaître la valeur d'une certaine quantité δ . La première étape de la méthode consiste à écrire le problème sous la forme d'une espérance. Soient une variable aléatoire :

$\mathbf{X} = (\mathbf{X}_1, \dots, \mathbf{X}_d)$ de loi ν sur \mathbf{R}^d (on abrègera cela par $\mathbf{X} \sim \nu$) et une fonction $h : \mathbf{R}^d \rightarrow \mathbf{R}$. Le problème traité par les méthodes de Monte Carlo est l'estimation de

$$\delta = E_\nu[h(\mathbf{X})] = \int_{\mathbf{R}^d} h(x)\nu(dx). \quad (\text{II.1})$$

La solution standard à ce problème est de simuler une suite $(\mathbf{X}_n)_{n \geq 1} = (X_{1,n}, \dots, X_{d,n})_{n \geq 1}$ de variables aléatoires indépendantes identiquement distribuées (*i.i.d.*) suivant la loi ν , puis d'estimer l'espérance $E_\nu[h(\mathbf{X})]$ par la moyenne empirique, *i.e.*, [24]

$$\bar{h}_n = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n h(\mathbf{X}_k) \quad (\text{II.2})$$

II.2.4 Les différents types d'utilisation :

La simulation Monte Carlo se base sur une idée très simple qui est le choix aléatoire d'un ensemble de configurations. Cette simulation peut être utilisée dans :

- *La Physique des particules.
- *La Théorie quantique des champs.
- *L'astrophysique.
- *La modélisation moléculaire.
- * Les problèmes d'optimisation.

Dans ce travail, la simulation MC consiste à choisir aléatoirement des particules dans le volume du réacteur et des sites à la surface de substrat puis on calcule les énergies d'interaction. [25]

II.2.5 Simulation de Monte-Carlo :

Initialement, le générateur de nombres aléatoires suivant loi uniforme sur $[0, 1]$ est le seul dont on dispose. Disposer d'un tel générateur n'est pas trivial : un ordinateur ne disposant d'aucun composant aléatoire. Un générateur de nombres aléatoires est donc un programme déterministe qui produit une suite de valeurs "suffisamment" désordonnées pour ressembler à un échantillon aléatoire (c.f., pour la définition suivante).

Définition : Générateur pseudo-aléatoire : Un générateur de nombres pseudo-aléatoire est un algorithme qui, à partir d'une valeur initiale u_0 , appelée graine (seed), et une transformation D , produit une suite :

$(U_n)_{n \geq 1} = \{D^n(u_0)\}$ dans $[0, 1]$. Pour tout n , les valeurs u_1, \dots, u_n reproduisent le comportement d'un échantillon i.i.d. de loi uniforme vis à vis des tests usuels.

La loi uniforme joue un rôle central aussi bien dans la simulation de lois usuelles que de lois plus complexes. Si des générateurs sont généralement disponibles pour les lois usuelles, il est important de comprendre le rôle de ces processus de génération qui permettent dans certains cas de réduire la variance des méthodes de Monte-Carlo. [24]

Conclusion :

En conclusion, les volumes élémentaires représentatifs (VER) jouent un rôle crucial dans l'analyse des matériaux à structure aléatoire, tels que les distributions de fibres aléatoires. Les VER sont des sous-volumes de grandeurs appropriées qui capturent les caractéristiques statistiques essentielles du matériau à l'échelle macroscopique. Ils permettent d'obtenir des informations précises sur les propriétés et les comportements du matériau, en réduisant la complexité de l'analyse à une échelle plus gérable.

La méthode de Monte-Carlo est une approche puissante pour étudier les distributions de fibres aléatoires dans les VER. Elle repose sur la génération de nombres aléatoires pour simuler des configurations de fibres possibles et l'évaluation statistique de ces configurations pour estimer les propriétés du matériau. La méthode de Monte-Carlo permet d'obtenir des résultats probabilistiques en prenant en compte les variations aléatoires inhérentes aux systèmes à structure aléatoire.

Grâce à la méthode de Monte-Carlo, il est possible d'estimer des grandeurs telles que la porosité, la conductivité thermique, la résistance mécanique, etc., pour des matériaux contenant des distributions de fibres aléatoires. Elle offre une approche flexible et efficace pour étudier ces systèmes complexes, en prenant en compte la variabilité inhérente aux matériaux réels. En résumé, la combinaison des volumes élémentaires représentatifs et de la méthode de Monte-Carlo permet d'analyser et de caractériser les distributions de fibres aléatoires de manière précise et fiable.

Ces outils fournissent une base solide pour la modélisation et la compréhension des matériaux à structure aléatoire, ouvrant ainsi la voie à de nombreuses applications dans des domaines tels que l'ingénierie des matériaux, la science des matériaux, l'industrie manufacturière et bien d'autres.

Chapitre III

Résultats et discisions

III.Introduction :

Les fibres sont des éléments allongés et résistants qui fournissent les propriétés mécaniques au matériau composite, tandis que la matrice est une substance qui entoure et maintient les fibres ensemble, fournissant un soutien structurel et transférant les charges entre les fibres. Les fibres utilisées dans les composites peuvent être fabriquées à partir de divers matériaux tels que le carbone, le verre, l'aramide (comme le Kevlar), le graphite, etc. Chaque type de fibre possède des propriétés spécifiques qui influencent les performances du matériau composite. Par exemple, les fibres de carbone offrent une résistance exceptionnelle et une rigidité élevée, tandis que les fibres de verre offrent une résistance modérée mais une excellente résistance à la corrosion. Dans une micrographie d'un composite interactionnel typique, disons une coupe transversale d'une stratifié carbone ,époxy a plis croisés, ce qui signifie que les fibres sont posées dans deux directions une dans la direction 0°, l'autre dans la direction 90° ,et aussi la direction 0° donc c'est un composite de glycol croisé, le principal choisir c'est la distribution aléatoire de la fibre qui sont essentiellement ces cercle ou ellipses gris sur cette micrographie ils sont ou quelques sortie distribues de manier aléatoire dans l'espace, et c'est donc a quoi ressembler le vrai composite, mais ce que nous constatons c'est que une pratique ce les gens commencent a modéliser cela ils nous considèrent pas toujours ce caractère aléatoire ils utilisent un peu une sorte de représentation ordonnée pour modéliser cela .[26]

L'objectif de notre travaille qu'on configurer une simulation par les éléments finis et une modélisation RV de composites unidirectionnel si le positionnement de la fibre a réellement un effet de sur le résultat que nous obtiendrons alors c'est ce que nous allons faire ici , on va regarder l'effet du positionnement de la fibre entre une disposition ordonnée et une disposition aléatoire on va faire des simulation pour voire comment le matériaux va se comporter a fin de vérifier sil ya vraiment un effet que cela aura sur notre simulation .[27]

Propriétés Constituants	Densité [g /m ²]	Module de Young [GPa]	Coefficient de poissent
Alfa	1.4	12	0.3
Eglass	1 .6	73	0.3
Epoxy		4.5	0.4
Polypropylène		1.308	0.4

Table 3:Propriété Mécanique du Matériau

III.1 MODELE GEOMETRIQUE :

Le modèle géométrique choisi est un system 2D d'un composite unidirectionnel c'est un carre RV qui a la longueur de $150\mu\text{m}$, les diamètre des fibres sont de $20\mu\text{m}$ et ils ont toujours une fraction volumique de 35% ce serait donc la représentation de l'autre position de fibre que nous allons utiliser, donc c'est bien afficher distribue d'une autre manier dans l'espace et ce serait le RV que nous utiliserons pour cela en termes de aléatoire donc encore une fois ,ce sera le positionnement aléatoire que nous utiliserons pour que les fibres soient reparties de manière aussi fibres soient reparties de manière aussi réaliste que possible dans l'espace de la maison .comment va être générer cette chose. donc pour l'autre cas nous allons utiliser la structuration linéaire dans Abacus cae pour ce faire donc c'est un processus vraiment simple et rien d'excellent exceptionnel a ce sujet cependant que nous commençons a arrivé à la fin le distribution aléatoire de fibres on a utilisons un script python qui sera exécuté à l'intérieur de backu pour ce faire et le principe de ce positionnement aléatoire que nous utiliserons sera baser sur une méthode de Monte-Carlo qui a été utiliser pour implémenter ce carré aléatoire .[27]

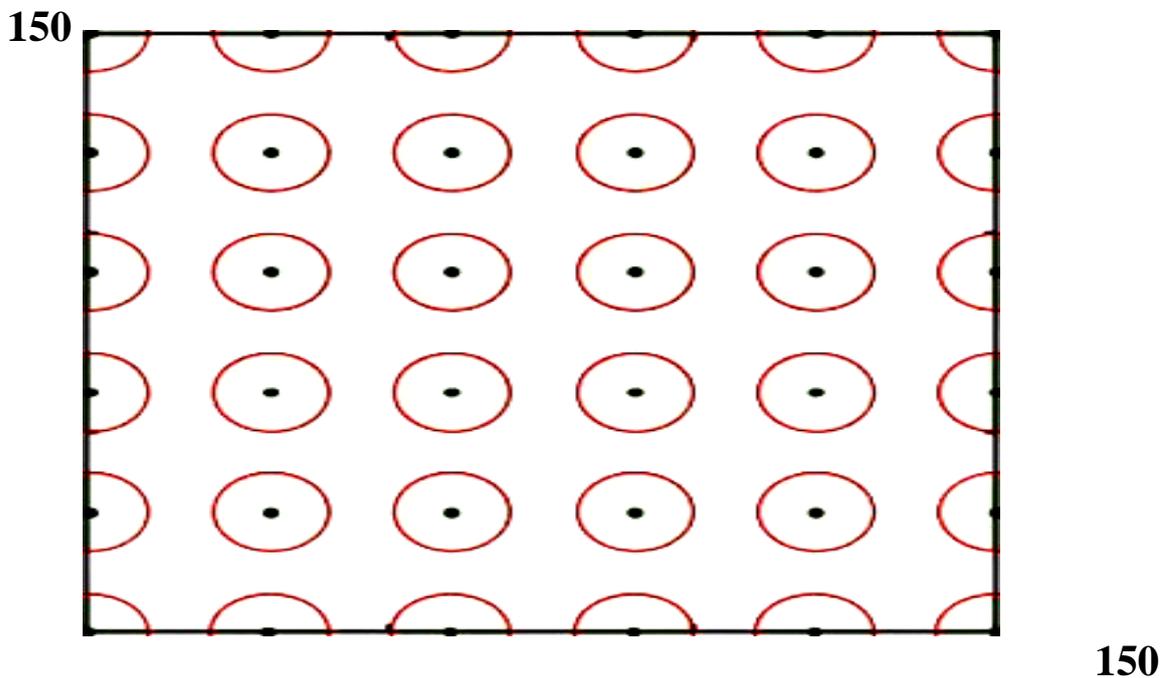


Figure III.1:modèle géométrique a fibres ordonnées (Dr.Michael Okereke)

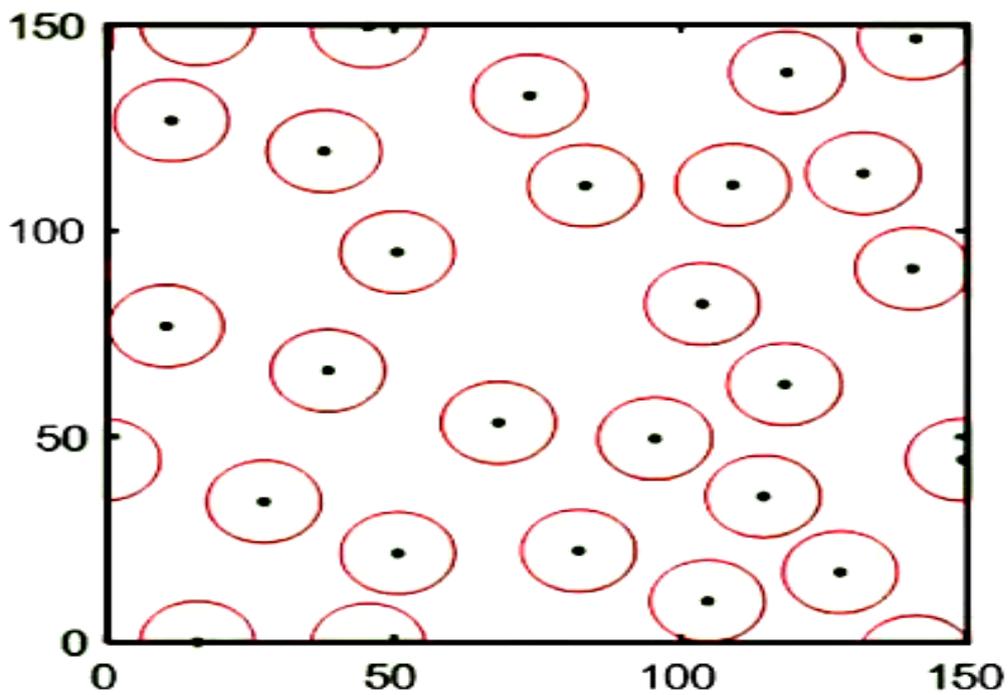


Figure III.2: modèle géométrique a fibres non ordonnées (Dr.Michael Okereke)

III.2 MAILLAGE :



Maillage du modele a fibres ordonnées

Maillage du modele a fibres non ordonnées

Figure III.3: maillage du modèle a fibres ordonnées et non ordonnées (Dr.Michael Okereke)

III.3 LA MODELISATION NUMERIQUE :

Pour simuler le comportement linéaire en traction et l'influence du déplacement horizontal et vertical de la fibre, nous avons utilisé un code de calcul « Abaqus » la version 6.14 pour

l'analyse des structures composites par la méthode des éléments finis. Ce code présente un système complet, intégrant non seulement les fonctions de calcul proprement dites, également des fonctions de construction du modèle (pré processeur) et de traitement des résultats (post-processeur). [28]

Dans la le distribution aléatoire de fibres on a utilisons un script python qui sera exécuté à l'intérieur de backu pour ce faire et le principe de ce positionnement aléatoire que nous utiliserons sera baser sur une méthode de Monte-Carlo qui a été utiliser pour implémenter ce carré aléatoire. [27]

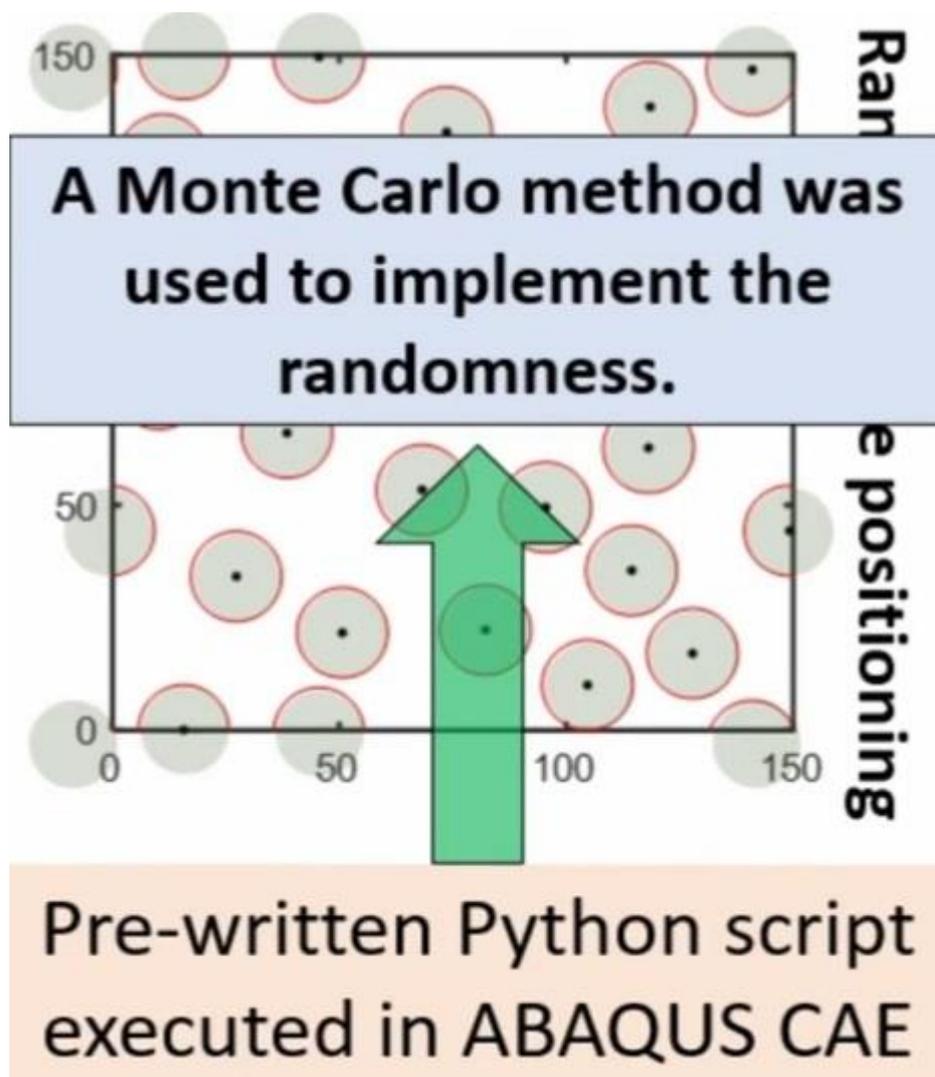


Figure III.4: La modélisation numérique de Monte-Carlo (Dr.Michael Okereke)

Script python pour la distribution aléatoire de fibres

```
"""
#*****
*****
RVE2DFibre Creation Script:
```

```

RVE_25(CircularInclusions__WindowSize_150Squared_Units_5.py
Author: Michael Okereke
Date: 22-Apr-2021
Purpose: Creates Abaqus model (RVE2DFibre) using inputs
generated from MCRVEGen algorithm
Inclusion: Creates 32 CIRCULAR Inclusions
#*****
*****
"""

#Import Abaqus-related (Python) Object files
from abaqus import *
from abaqusConstants import *
import __main__
import section
import regionToolset
import displayGroupMdbToolset as dgm
import part
import material
import assembly
import step
import interaction
import load
import mesh
import job
import sketch
import visualization
import xyPlot
import displayGroupOdbToolset as dgo
import connectorBehavior

#*****
# CREATE MATRIX AND FIBRE MATERIALS/SECTIONS HERE
#*****
mdb.models['Model-1'].Material(name='matrix')
mdb.models['Model-1'].Material(name='fibre')
mdb.models['Model-
1'].HomogeneousSolidSection(name='matrixSection',
material='matrix', thickness=None)
mdb.models['Model-
1'].HomogeneousSolidSection(name='fibreSection',
material='fibre', thickness=None)

#Create Viewport
session.viewports['Viewport: 1'].partDisplay.setValues(mesh=OFF)
session.viewports['Viewport:
1'].partDisplay.meshOptions.setValues(meshTechnique=OFF)

s = mdb.models['Model-1'].ConstrainedSketch(name='__profile__',
sheetSize=450)

```

```

g, v, d, c = s.geometry, s.vertices, s.dimensions, s.constraints
s.setPrimaryObject(option=STANDALONE)
session.viewports['Viewport: 1'].view.setValues(width=30,
height=15)

#*****
# REINFORCING INCLUSIONS SECTION
#*****

# -----
-----
#Create Fibre circles at specified centre coordinates(XYAll) and
defined radius, R
s.CircleByCenterPerimeter(center=(104.6673, 10.0801),
point1=(114.6673, 10.0801))
s.CircleByCenterPerimeter(center=(27.2639, 34.2161),
point1=(37.2639, 34.2161))
s.CircleByCenterPerimeter(center=(38.4317, 66.067),
point1=(48.4317, 66.067))
s.CircleByCenterPerimeter(center=(37.7476, 119.321),
point1=(47.7476, 119.321))
s.CircleByCenterPerimeter(center=(118.509, 138.4279),
point1=(128.509, 138.4279))
s.CircleByCenterPerimeter(center=(103.7407, 82.2336),
point1=(113.7407, 82.2336))
s.CircleByCenterPerimeter(center=(140.4172, 90.8105),
point1=(150.4172, 90.8105))
s.CircleByCenterPerimeter(center=(73.6163, 132.8073),
point1=(83.6163, 132.8073))
s.CircleByCenterPerimeter(center=(15.6715, 0.11908),
point1=(25.6715, 0.11908))
s.CircleByCenterPerimeter(center=(114.3922, 35.5202),
point1=(124.3922, 35.5202))
s.CircleByCenterPerimeter(center=(11.1224, 126.778),
point1=(21.1224, 126.778))
s.CircleByCenterPerimeter(center=(10.2029, 76.8641),
point1=(20.2029, 76.8641))
s.CircleByCenterPerimeter(center=(50.5286, 94.8265),
point1=(60.5286, 94.8265))
s.CircleByCenterPerimeter(center=(149.234, 44.3692),
point1=(159.234, 44.3692))
s.CircleByCenterPerimeter(center=(50.6339, 21.7286),
point1=(60.6339, 21.7286))
s.CircleByCenterPerimeter(center=(68.1863, 53.3984),
point1=(78.1863, 53.3984))
s.CircleByCenterPerimeter(center=(82.1922, 22.3271),
point1=(92.1922, 22.3271))
s.CircleByCenterPerimeter(center=(127.801, 17.1184),
point1=(137.801, 17.1184))
s.CircleByCenterPerimeter(center=(83.2922, 110.9396),
point1=(93.2922, 110.9396))

```

```

s.CircleByCenterPerimeter(center=(131.8298, 113.9221),
point1=(141.8298, 113.9221))
s.CircleByCenterPerimeter(center=(45.4653, 149.5157),
point1=(55.4653, 149.5157))
s.CircleByCenterPerimeter(center=(118.1219, 62.716),
point1=(128.1219, 62.716))
s.CircleByCenterPerimeter(center=(95.465, 49.5245),
point1=(105.465, 49.5245))
s.CircleByCenterPerimeter(center=(109.0645, 111.1388),
point1=(119.0645, 111.1388))
s.CircleByCenterPerimeter(center=(140.9756, 146.6579),
point1=(150.9756, 146.6579))
s.CircleByCenterPerimeter(center=(-9.5828, 90.8105),
point1=(0.41715, 90.8105))
s.CircleByCenterPerimeter(center=(-0.76601, 44.3692),
point1=(9.234, 44.3692))
s.CircleByCenterPerimeter(center=(-9.0244, 146.6579),
point1=(0.97561, 146.6579))
s.CircleByCenterPerimeter(center=(15.6715, 150.1191),
point1=(25.6715, 150.1191))
s.CircleByCenterPerimeter(center=(45.4653, -0.48429),
point1=(55.4653, -0.48429))
s.CircleByCenterPerimeter(center=(140.9756, -3.3421),
point1=(150.9756, -3.3421))
s.CircleByCenterPerimeter(center=(-9.0244, -3.3421),
point1=(0.97561, -3.3421))
# -----
-----

#Name the part model and associate it
p = mdb.models['Model-1'].Part(name='RVE2DFibre',
dimensionality=TWO_D_PLANAR, type=DEFORMABLE_BODY)
p = mdb.models['Model-1'].parts['RVE2DFibre']

#Fibre Extrusion
p.BaseShell(sketch=s)
s.unsetPrimaryObject()
p = mdb.models['Model-1'].parts['RVE2DFibre']
session.viewports['Viewport: 1'].setValues(displayedObject=p)
del mdb.models['Model-1'].sketches['__profile__']

#*****
# MATRIX SECTION
#*****

#Create Viewport
session.viewports['Viewport: 1'].partDisplay.setValues(mesh=OFF)
session.viewports['Viewport:
1'].partDisplay.meshOptions.setValues(meshTechnique=OFF)

s1 = mdb.models['Model-1'].ConstrainedSketch(name=' profile ',

```

```

sheetSize=450)
g, v, d, c = s1.geometry, s1.vertices, s1.dimensions,
s1.constraints
s1.setPrimaryObject(option=STANDALONE)
session.viewports['Viewport: 1'].view.setValues(width=30,
height=15)

#Sketch RVE Rectangle
s1.rectangle(point1=(0.0,0.0), point2=(150, 150))

#Name the part model and associate it
p = mdb.models['Model-1'].Part(name='RVE2DMatrix',
dimensionality=TWO_D_PLANAR, type=DEFORMABLE_BODY)
p = mdb.models['Model-1'].parts['RVE2DMatrix']

#Matrix Extrusion
p.BaseShell(sketch=s1)
s1.unsetPrimaryObject()
p = mdb.models['Model-1'].parts['RVE2DMatrix']
session.viewports['Viewport: 1'].setValues(displayedObject=p)
del mdb.models['Model-1'].sketches['__profile__']

#*****
#ASSEMBLY INSTANCES AND MERGE THE TWO INSTANCES
#*****
a = mdb.models['Model-1'].rootAssembly
a.DatumCsysByDefault(CARTESIAN)
p = mdb.models['Model-1'].parts['RVE2DFibre']
a.Instance(name='RVE2DFibre-1', part=p, dependent=ON)
p = mdb.models['Model-1'].parts['RVE2DMatrix']
a.Instance(name='RVE2DMatrix-1', part=p, dependent=ON)
a = mdb.models['Model-1'].rootAssembly
a.InstanceFromBooleanMerge(name='RVE2DComposite', instances=(
    a.instances['RVE2DFibre-1'], a.instances['RVE2DMatrix-1'],
),
    keepIntersections=ON, originalInstances=SUPPRESS,
domain=GEOMETRY)
mdb.models['Model-1'].rootAssembly.features.changeKey(
    fromName='RVE2DComposite-1', toName='RVE2DComposite')

#*****
# EXTRUDE-CUT SECTION TO TRIM BOUNDARY FIBRES
#*****
session.viewports['Viewport:
1'].partDisplay.setValues(sectionAssignments=OFF,engineeringFeat
ures=OFF)
p1 = mdb.models['Model-1'].parts['RVE2DComposite']
session.viewports['Viewport: 1'].setValues(displayedObject=p1)
s = mdb.models['Model-1'].ConstrainedSketch(name='__profile__',
sheetSize=450)
g, v, d, c = s.geometry, s.vertices, s.dimensions, s.constraints

```

```

s.setPrimaryObject(option=SUPERIMPOSE)
p = mdb.models['Model-1'].parts['RVE2DComposite']
p.projectReferencesOntoSketch(sketch=s, filter=COPLANAR_EDGES)
s.rectangle(point1=(0 ,0), point2=(150 ,150))
s.rectangle(point1=(-300 ,-300), point2=(300 ,300))
session.viewports['Viewport: 1'].view.fitView()
p = mdb.models['Model-1'].parts['RVE2DComposite']
p.Cut(sketch=s)
s.unsetPrimaryObject()
mdb.models.changeKey(fromName='Model-1',
toName='RandomUDComposite' )
session.viewports['Viewport: 1'].setValues(displayedObject=None)

mdb.Model(name='Model-1')
#*****
#*****
#
#                               END OF SCRIPT
#*****
#*****
# -----
# -----

```

III.4 LA METHODE DES ELEMENTS FINIS :

Cette méthode est une extension des techniques d'analyse des structures bidimensionnelles et tridimensionnelles, telles que les poutres et les coques, elle est considérée aussi comme l'un des outils les plus efficaces et les plus favorables pour la simulation numérique, et s'applique aux problèmes de mécanique des milieux continus présentant une linéarité ou une non linéarité de la mécanique du solide (élasticité, plasticité...etc.).L'objectif est de savoir comment mailler le domaine pour avoir des résultats satisfaisants. Sachant qu'un maillage trop fin donne une bonne précision du résultat mais avec un temps de calcul long, alors qu'un maillage grossier fait perdre en précision mais réduit le temps de calcul. La démarche adoptée est d'utiliser dans cette analyse un maillage « raisonnable » tout en affinant les régions jugées critiques (entailles et délaminage). Le maillage doit être affiné jusqu'à l'obtention de résultats voisins. Un bon maillage est constitué d'un nombre optimal d'éléments, c'est-à-dire, capable de nous fournir des résultats précis en un temps de calcul raisonnable. Pour bien mener cette étude. [29]

III.5 RESULTATS ET DISCUSSIONS :

III.5.1 L'effet de la distribution des fibres (ordonnée/aléatoire) sur la courbe force-déplacement pour les différents types de matériaux selon l'axe X

- Cas : Verre/POLYPROPYLENE :

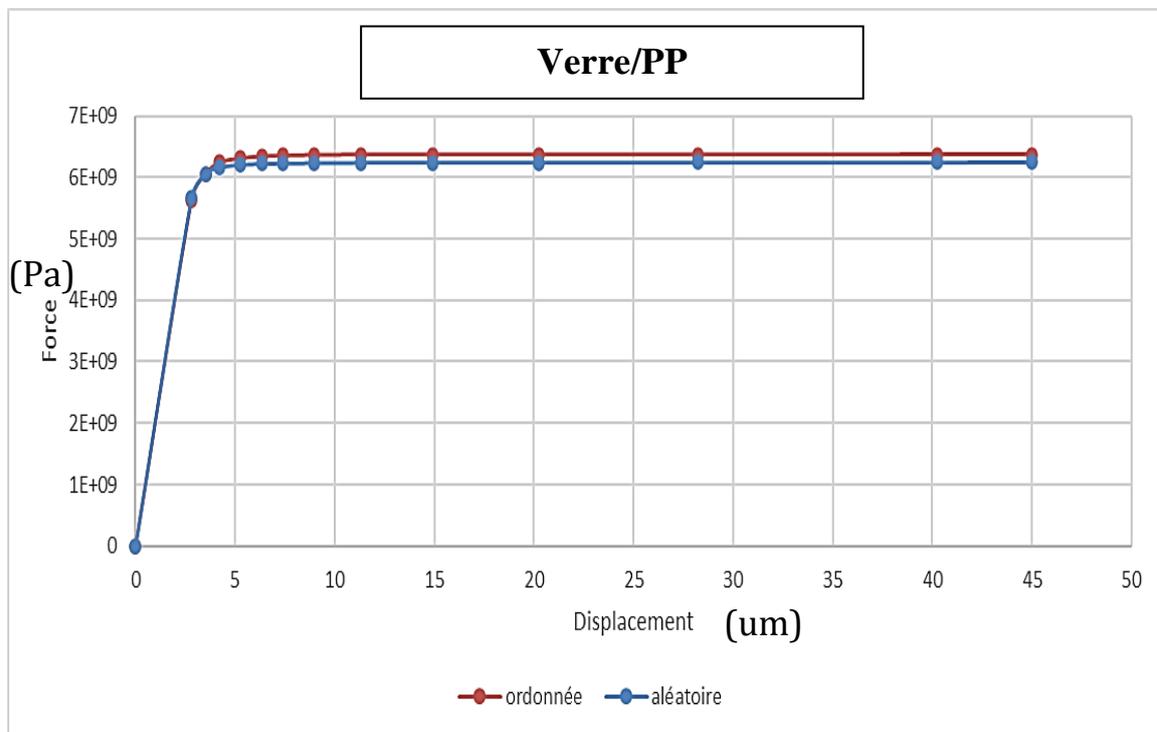


Figure III .5 : Variation de la force en fonction du déplacement pour la répartition des fibres ordonnées et aléatoires dans le cas du matériau Verre/PP

Figure III.5 : montre la variation de la force en fonction du déplacement pour la répartition des fibres ordonnées et aléatoires dans le cas du matériau Verre/PP. On constate que les deux courbes se superposent. La limite élastique du matériau Verre/PP dont la répartition des fibres ordonnées est légèrement supérieure à celle de la répartition des fibres aléatoire.

- Cas : Alfa/POLYPROPYLENE

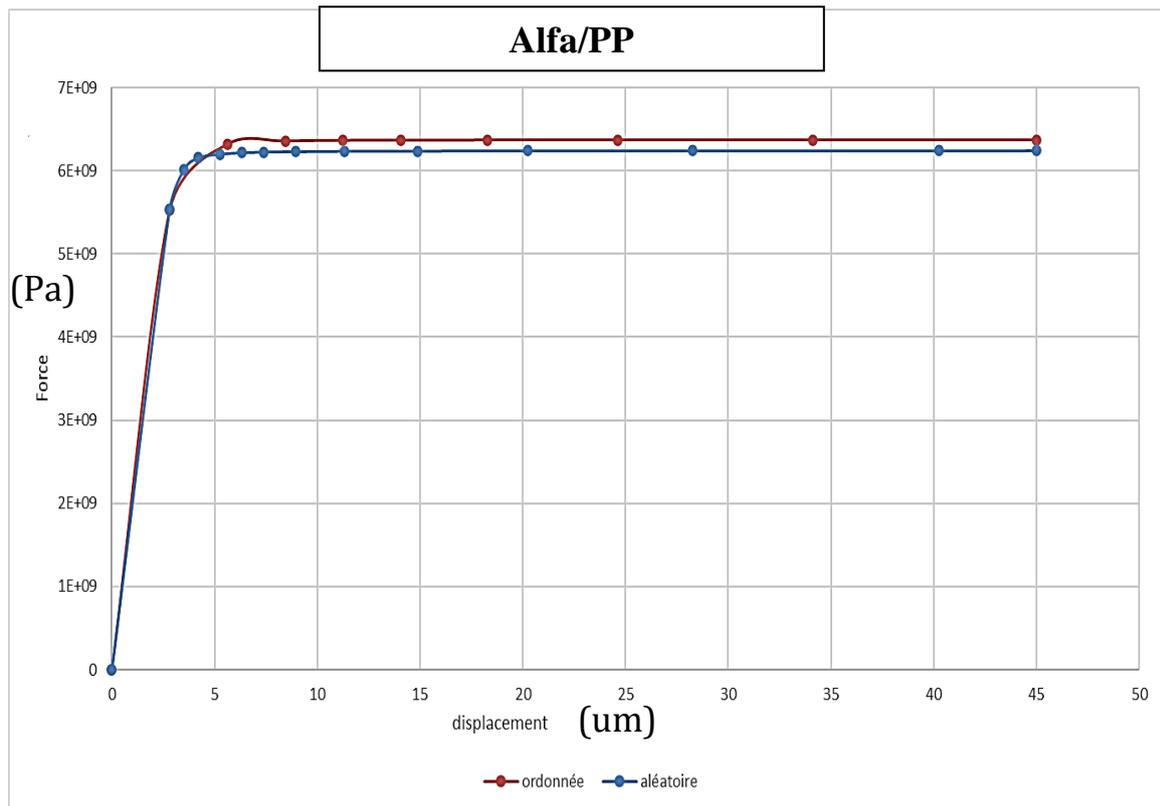


Figure III.6 : Variation de la force en fonction du déplacement pour la répartition des fibres ordonnées et aléatoires dans le cas du matériau Alfa/PP

La figure III.6 : montre la variation de la force en fonction du déplacement pour la répartition des fibres ordonnées et aléatoires dans le cas du matériau Alfa/PP. On constate que les deux courbes se superposent. La limite élastique du matériau Alfa/PP dont la répartition des fibres ordonnées est légèrement supérieure à celle de la répartition des fibres aléatoire.

- Cas : Verre/EPOXY

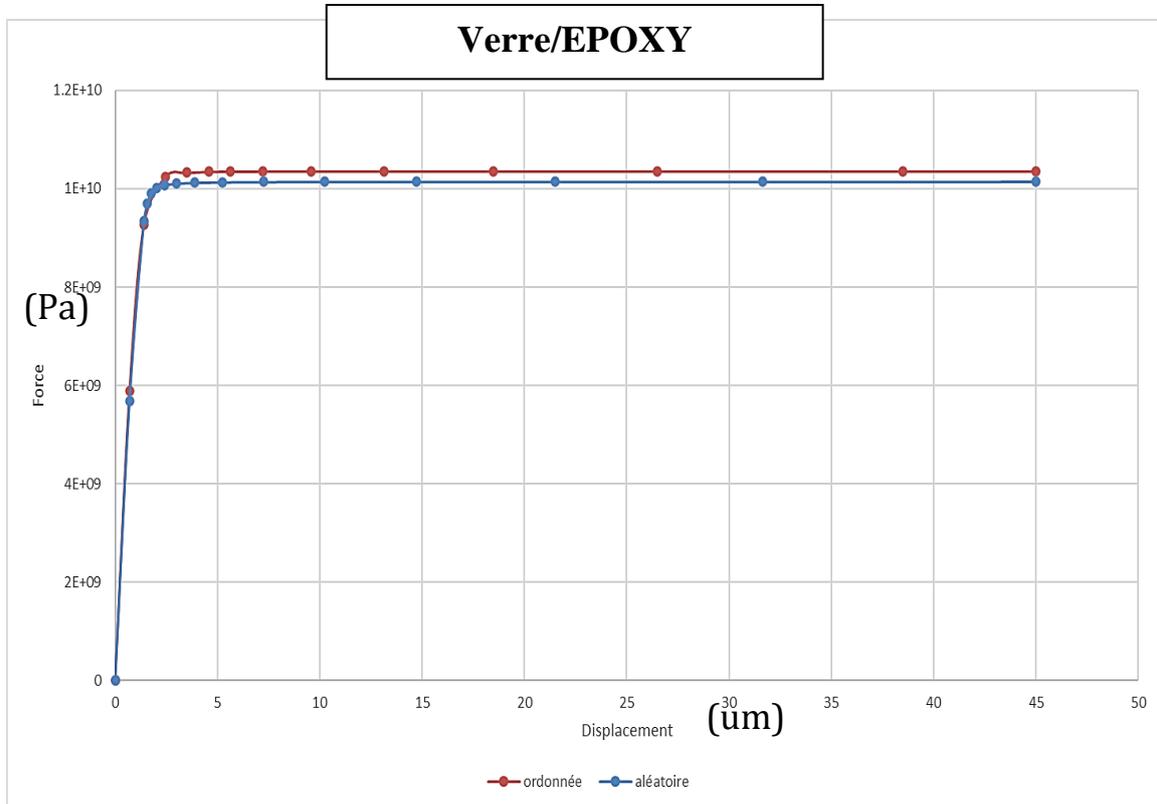


Figure III.7 : Variation de la force en fonction du déplacement pour la répartition des fibres ordonnées et aléatoires dans le cas du matériau Verre/EPOXY

La **figure III.7** : montre la variation de la force en fonction du déplacement pour la répartition des fibres ordonnées et aléatoires dans le cas du matériau Verre/EPOXY. On constate que les deux courbes se superposent. La limite élastique du matériau Verre/EPOXY dont la répartition des fibres ordonnées est légèrement supérieure à celle de la répartition des fibres aléatoire.

- Cas : Alfa/EPOXY

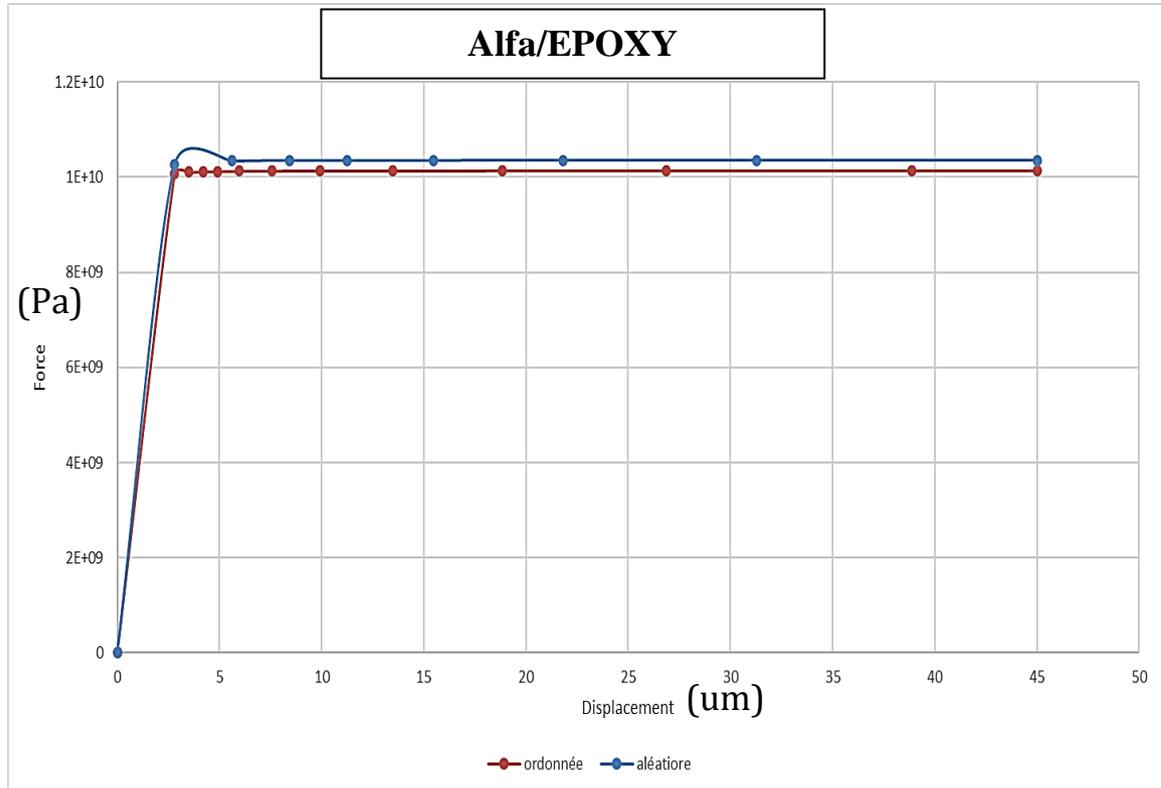


Figure III.8: Variation de la force en fonction du déplacement pour la répartition des fibres ordonnées et aléatoires dans le cas du matériau Alfa/EPOXY

La **figure III.8** : montre la variation de la force en fonction du déplacement pour la répartition des fibres ordonnées et aléatoires dans le cas du matériau Alfa/EPOXY. On constate que les deux courbes se superposent. La limite élastique du matériau Alfa/PP dont la répartition des fibres aléatoire est légèrement supérieure à celle de la répartition des fibres ordonnées.

Cas : Verre-Alfa/POLYPROPYLENE)

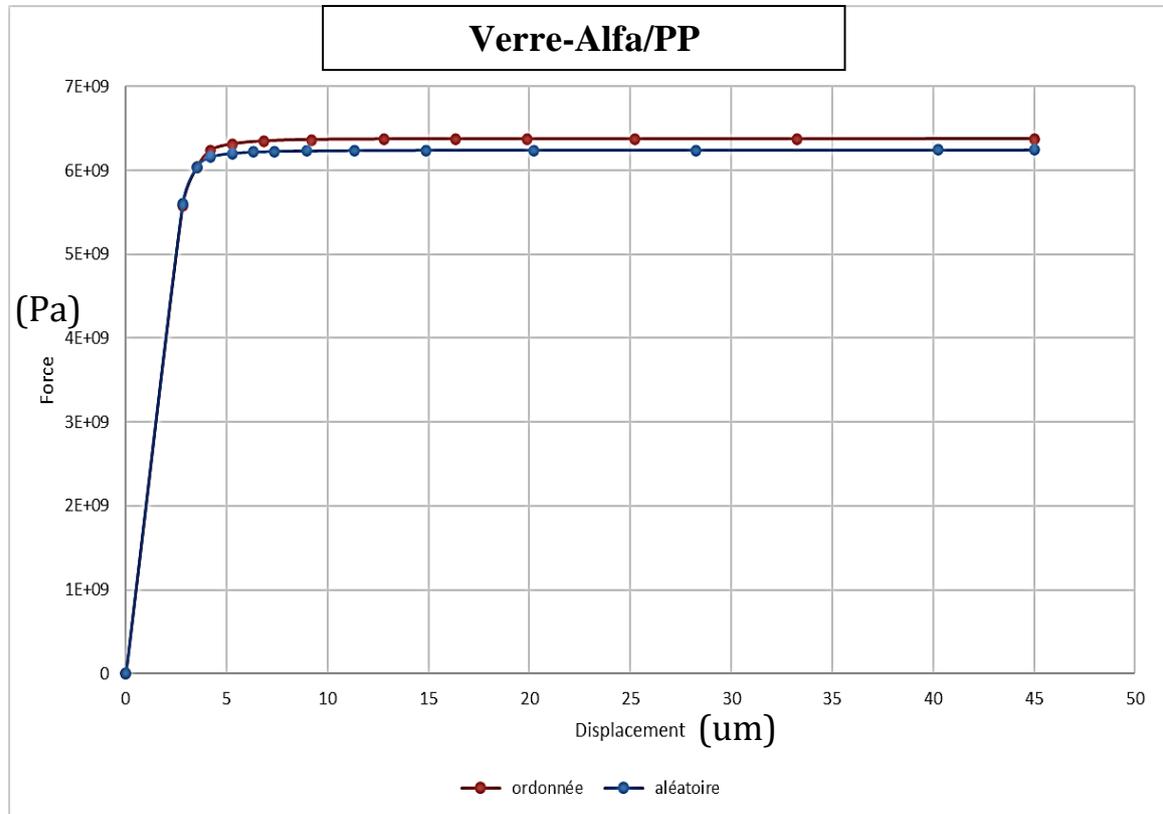


Figure III.9 : Variation de la force en fonction du déplacement pour la répartition des fibres ordonnées et aléatoires dans le cas du matériau Alfa-Verre/PP

La figure III.9 : montre la variation de la force en fonction du déplacement pour la répartition des fibres ordonnées et aléatoires dans le cas du matériau Alfa-Verre/PP. On constate que les deux courbes se superposent. La limite élastique du matériau Alfa-Verre/PP dont la répartition des fibres ordonnées est légèrement supérieure à celle de la répartition des fibres aléatoire.

- Cas : Verre-Alfa /EPOXY

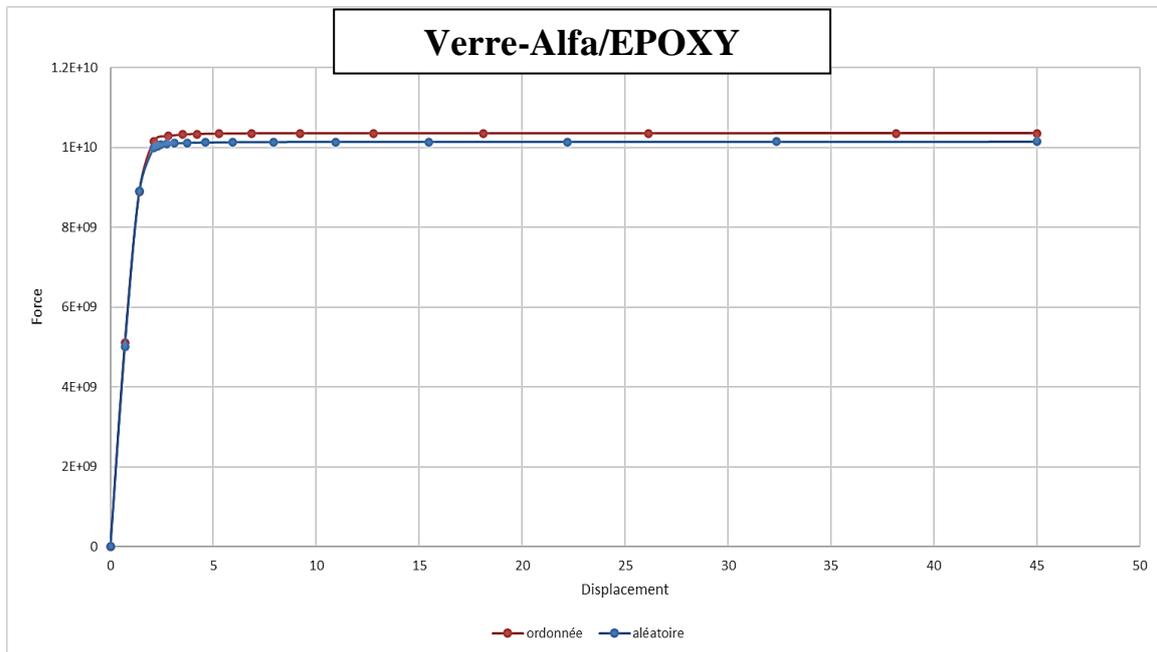
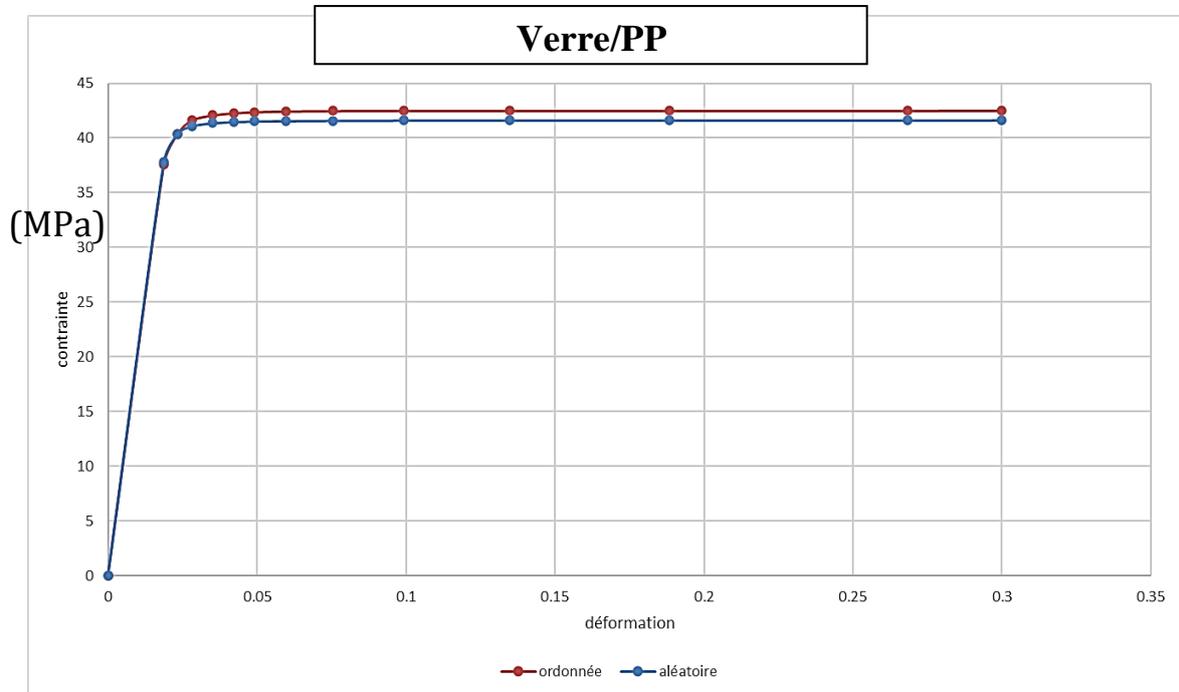


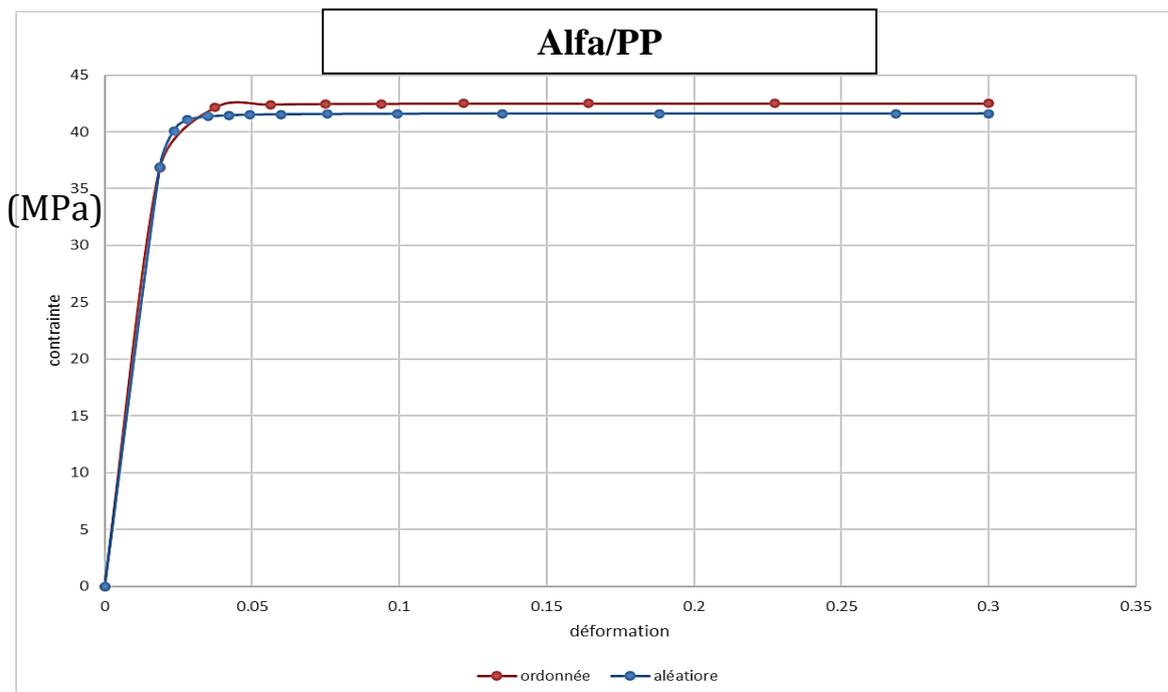
Figure III.10: Variation de la force en fonction du déplacement pour la répartition des fibres ordonnées et aléatoires dans le cas du matériau Alfa-Verre/EPOXY

La figure III.10: montre la variation de la force en fonction du déplacement pour la répartition des fibres ordonnées et aléatoires dans le cas du matériau Alfa-Verre/EPOXY. On constate que les deux courbes se superposent. La limite élastique du matériau Alfa-Verre/EPOXY dont la répartition des fibres ordonnées est légèrement supérieure à celle de la répartition des fibres aléatoire.

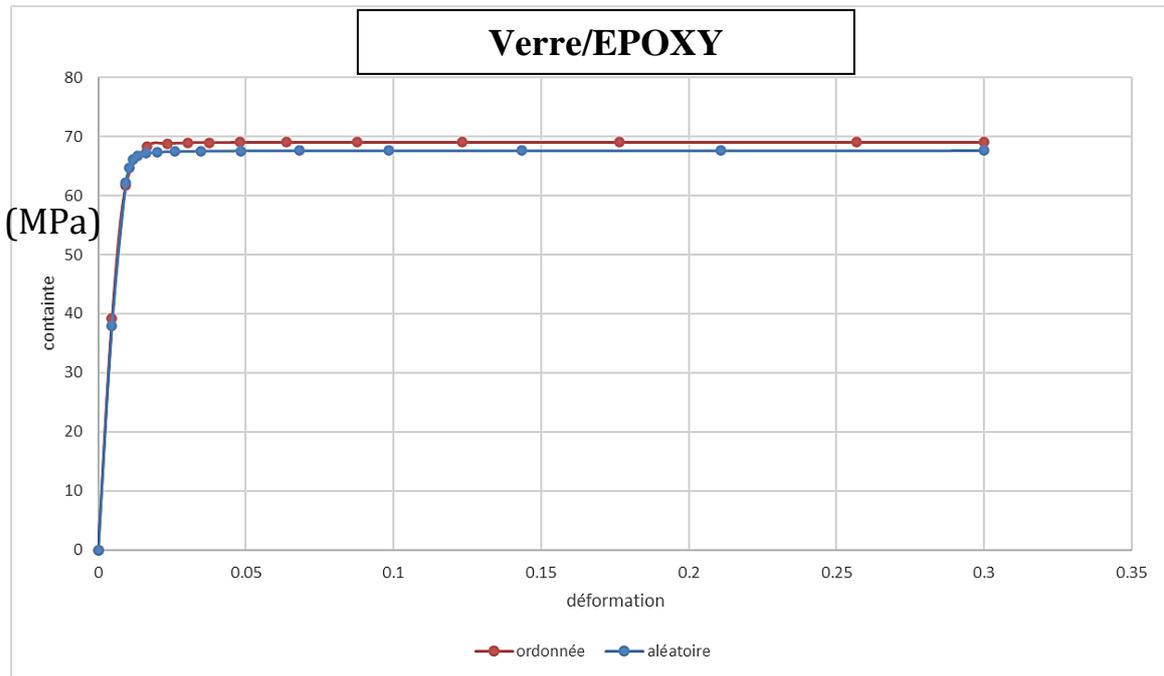
III.5.2 l'effet de la distribution des fibres (ordonnée/aléatoire) sur la courbe contrainte-déformation pour les différents types de matériaux selon l'axe X



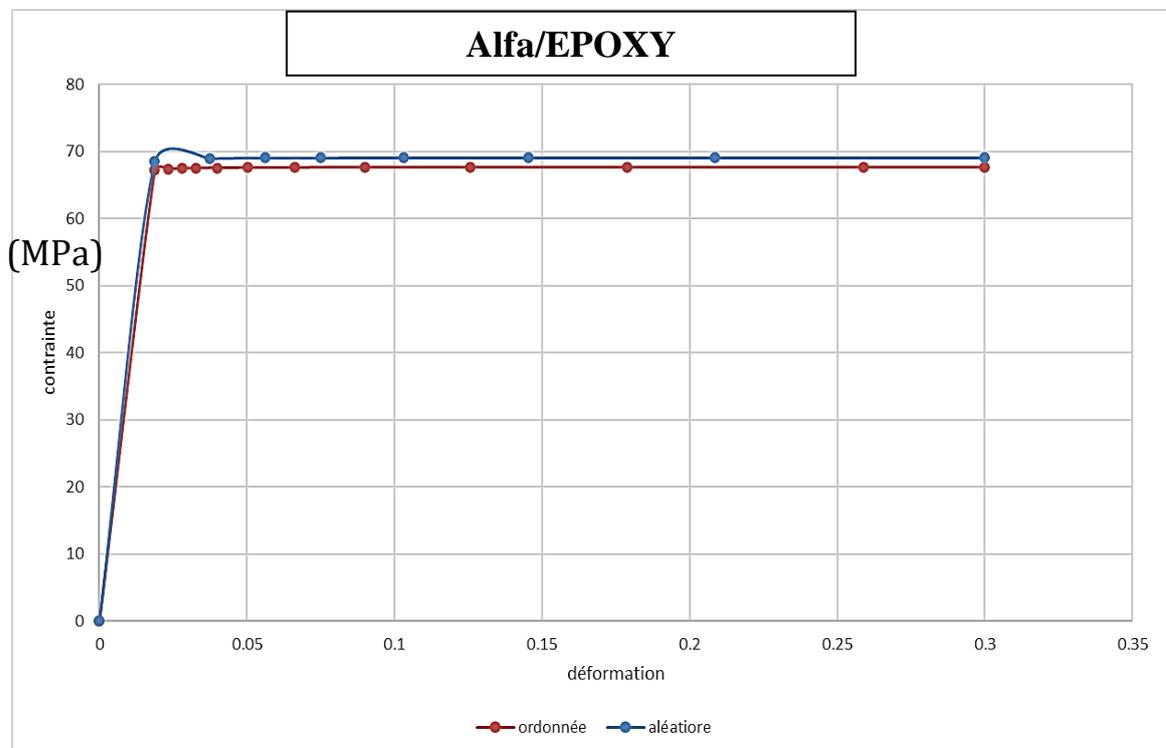
A₁: cas de Verre/PP



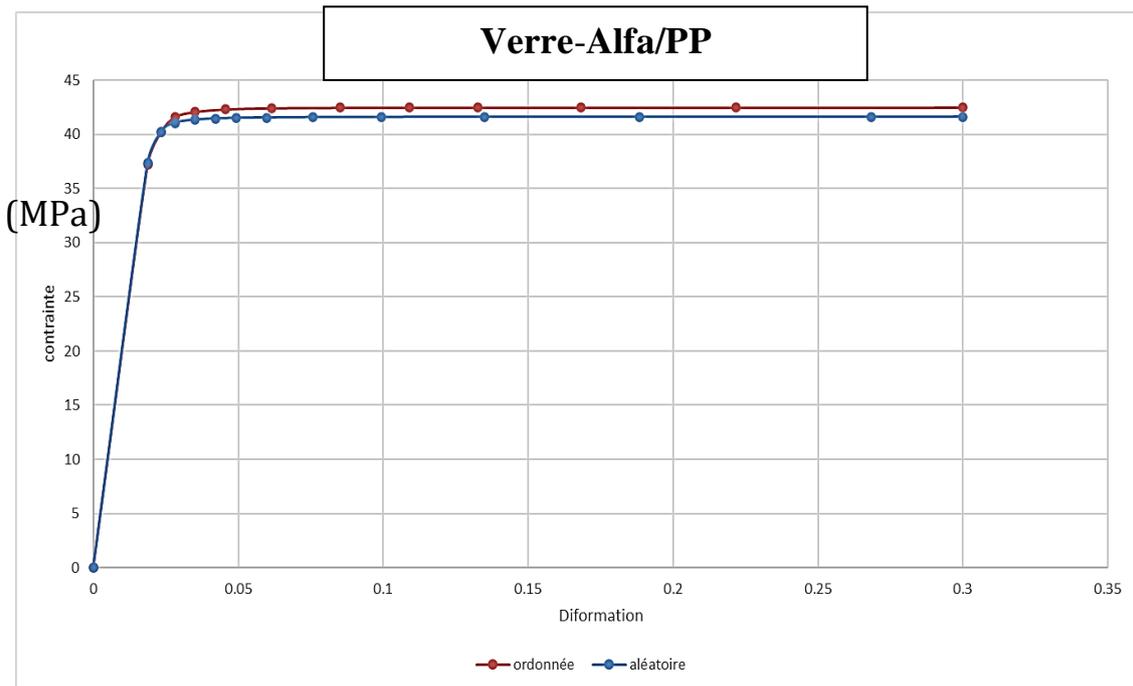
A₂: cas de alfa/pp



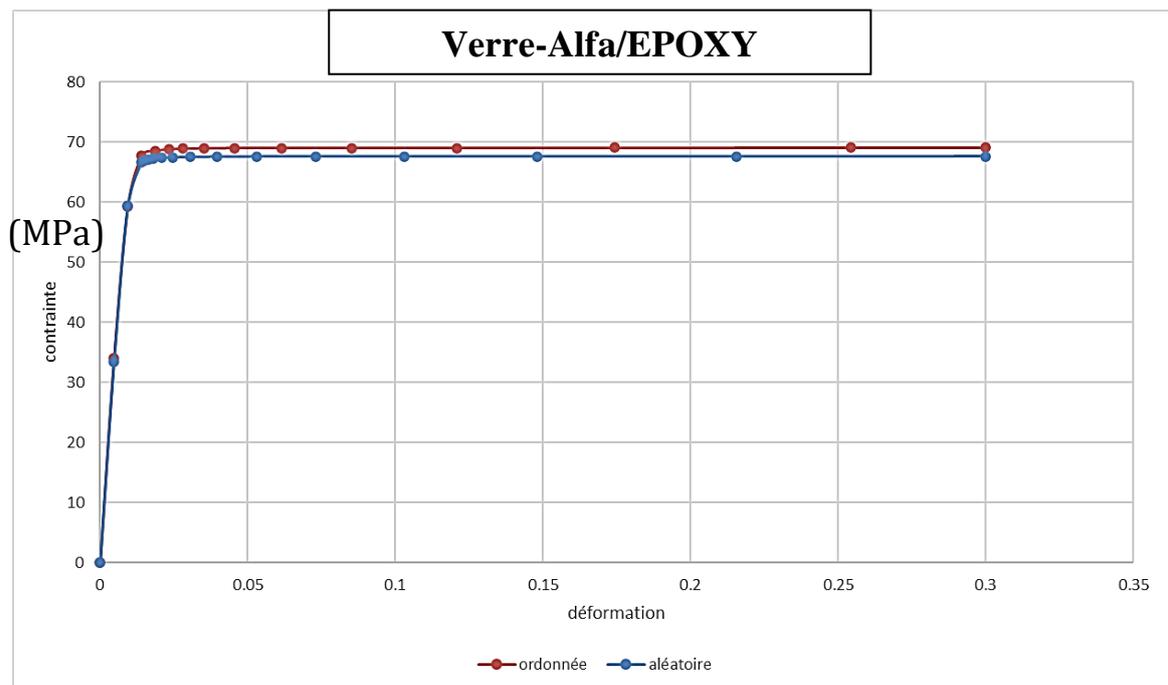
A₃: cas de Verre/EPOXY



A₄: cas de Alfa/EPOXY



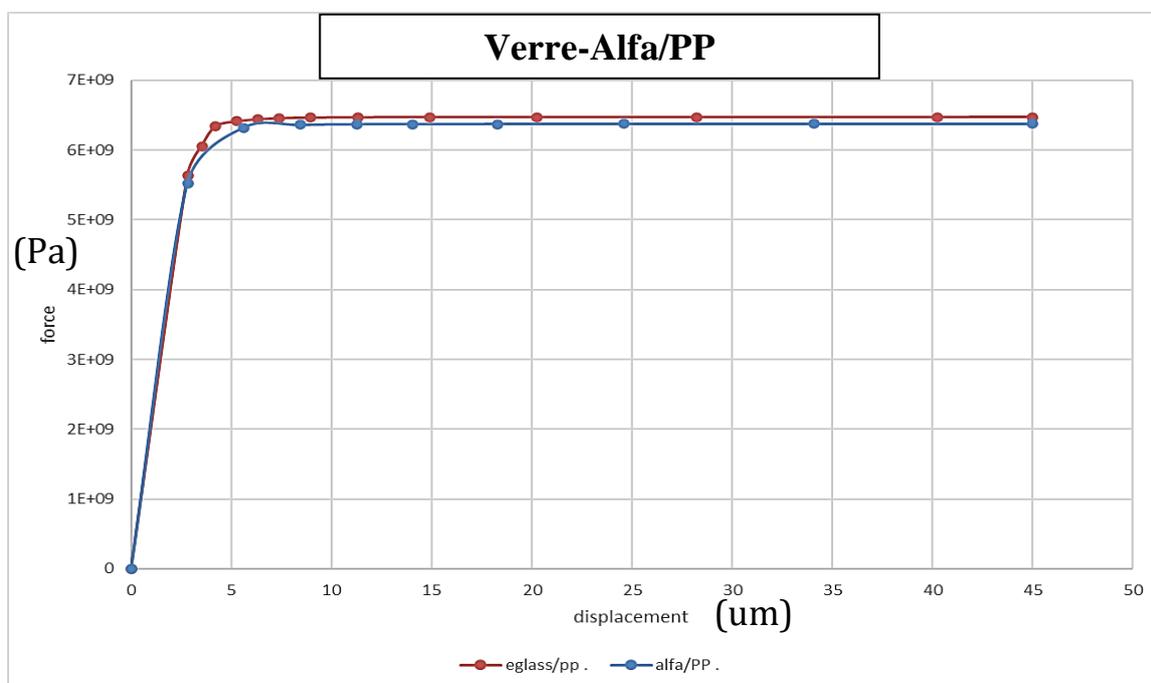
A5: cas de Verre-Alfa/PP



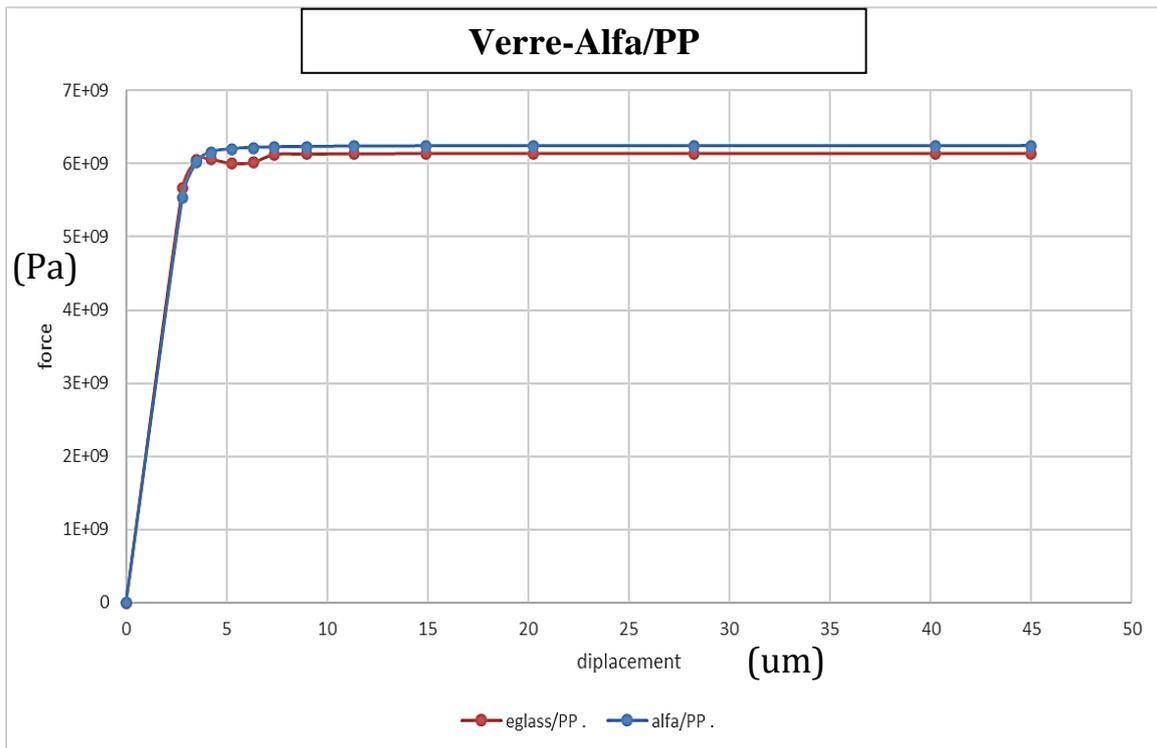
A6: cas de Verre-Alfa/EPOXY

Les figure III.11 montre la Variation de la contrainte en fonction de la déformation pour la répartition des fibres ordonnées et aléatoires pour différents matériaux considérés : A₁) verre/pp, A₂) alfa/pp, A₃) verre/époxy, A₄) alfa/époxy, A₅) alfa-verre/pp et A₆) alfa-verre/époxy, Les figure III.11 (A₁, A₂, A₃, A₄; A₅ et A₆) montrent la variation de la contrainte en fonction de la déformation pour la répartition des fibres ordonnées et aléatoires pour différents matériaux considérés : Verre/PP, Alfa/PP, Verre/EPOXY, Alfa/EPOXY, Alfa-Verre/PP et Alfa-Verre/EPOXY. On constate que les courbes contrainte-déformation se comportent de la même

III.5.4 l'effet du matériau sur la courbe force-déplacement pour les différents types de distribution des fibres (ordonnée/aléatoire) selon l'axe X



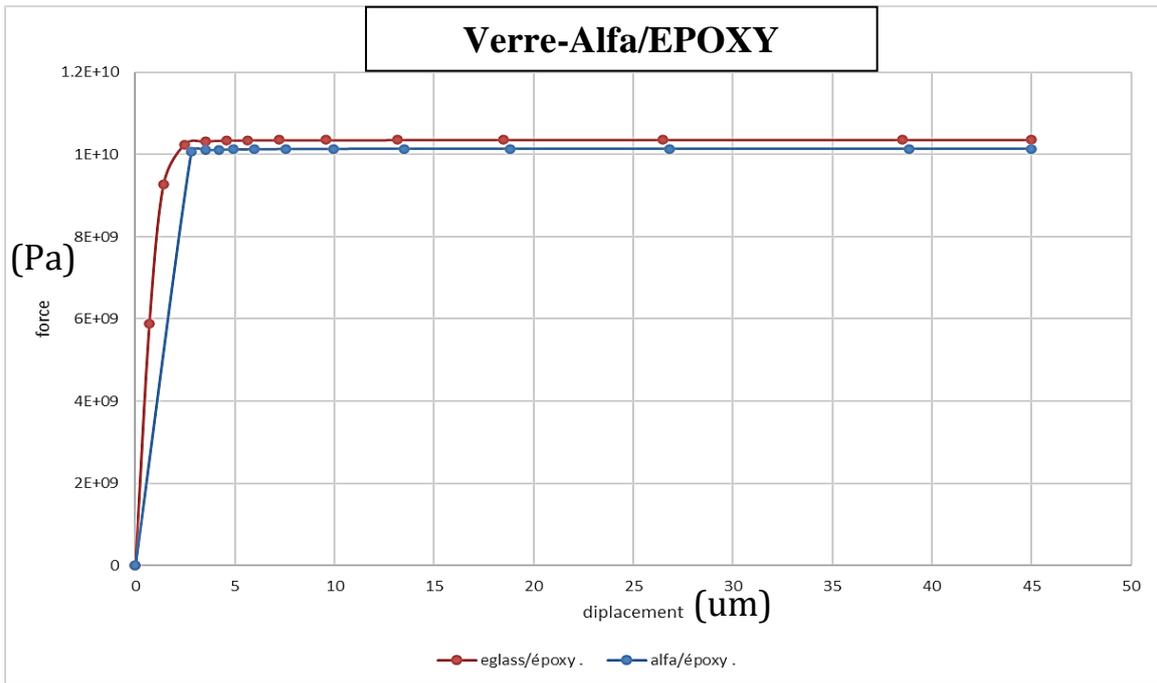
B₁: cas de (Verre-Alfa/PP) ordonnée



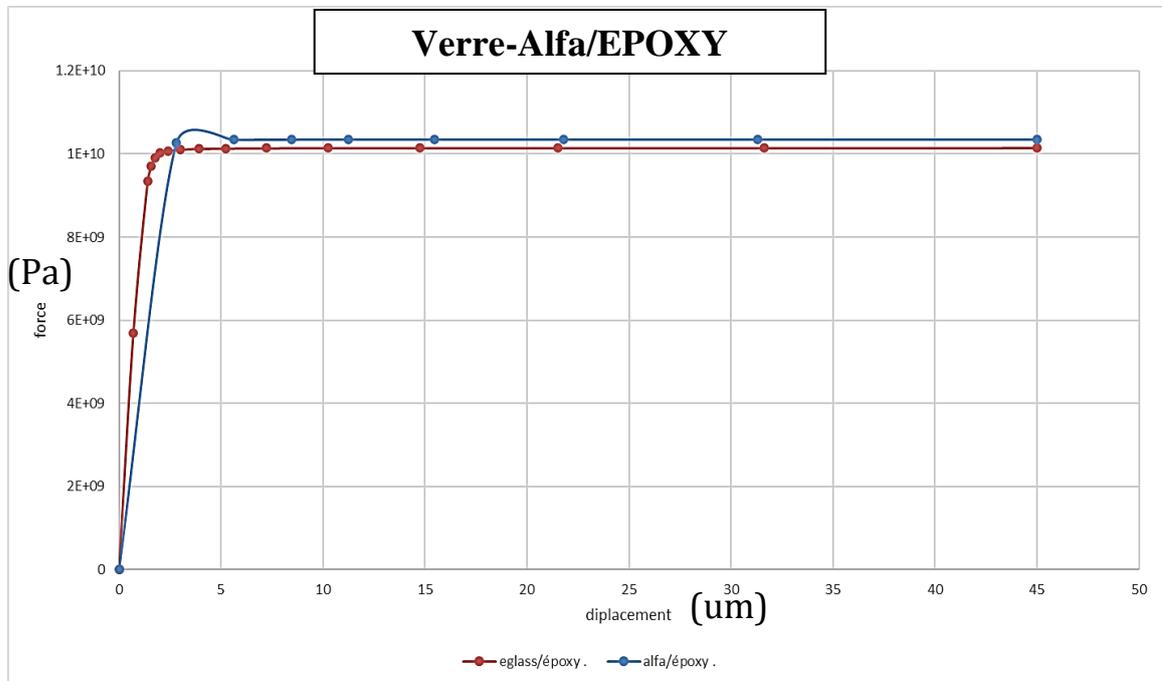
B₂ : cas (Verre-Alfa/PP) aléatoire

Les figure III.12 montres la Variation de la force en fonction du déplacement pour chaque distribution des fibres ordonnées et aléatoires et pour différents matériaux considérés : Verre/PP, et Alfa/PP.

Les figures III.12 (B₁ et B₂) montrent la variation de la force en fonction du déplacement pour chaque distribution des fibres ordonnées et aléatoires et pour différents matériaux considérés : Verre/PP, et Alfa/PP. On constate que les courbes se superposent totalement et cela quel que soit la distribution des fibres aléatoires ou ordonnés.



C₁: cas de (Verre-Alfa/EPOXY) ordonnée



C₂: cas de (Verre, Alfa/EPOXY) aléatoire

Figure III.13 Variation de la force en fonction du déplacement pour chaque distribution des fibres ordonnées et aléatoires et pour différents matériaux considérés : verre/époxy, et alfa/époxy.

Les figures III.13 (C₁ et C₂) montrent la variation de la force en fonction du déplacement pour chaque distribution des fibres ordonnées et aléatoires et pour différents matériaux considérés : verre/époxy, et alfa/époxy. On constate que la courbe de la fonction linéaire montrant la zone élastique du matériau verre/époxy enregistre un déplacement minimal comparativement au matériau alfa/époxy et cela quel que soit la distribution des fibres aléatoires ou ordonnés.

La conclusion :

A travers les figures précédentes on observe que les variations de force, contrainte et déplacement pour différentes distributions de fibres ordonnées et aléatoires, ainsi que pour différents matériaux considérés, est la suivante :

Dans l'ensemble, les courbes correspondant aux distributions de fibres ordonnées et aléatoires se superposent dans la plupart des cas, ce qui indique une similarité dans leur comportement mécanique. Cependant, certaines différences ont été observées en ce qui concerne les limites élastiques et les déplacements spécifiques.

Pour le matériau verre/pp, la limite élastique était légèrement supérieure avec la distribution de fibres ordonnées par rapport à la distribution aléatoire. En revanche, pour le matériau alfa/pp, la limite élastique était légèrement supérieure avec la distribution aléatoire des fibres par rapport à la distribution ordonnée.

Concernant les autres matériaux, tels que verre/époxy et alfa/époxy, les courbes montraient une similarité entre les distributions de fibres ordonnées et aléatoires en termes de variation de la force et du déplacement. Cependant, dans le cas du matériau verre/époxy, une zone élastique plus rigide a été observée, avec un déplacement minimal, par rapport au matériau alfa/époxy, quel que soit le type de distribution des fibres.

En conclusion générale, les résultats indiquent que la distribution ordonnée ou aléatoire des fibres peut avoir des effets différents sur les propriétés mécaniques des matériaux composites, selon les types de fibres et de matrices utilisés. Il est important de prendre en compte ces différences lors de la conception et de la fabrication des matériaux composites afin de tirer le meilleur parti de leurs caractéristiques spécifiques. De plus, d'autres facteurs tels que la ductilité, la flexibilité et d'autres propriétés spécifiques peuvent également influencer le choix de la distribution des fibres dans un matériau composite donné.

Conclusion générale

Dans ce mémoire, nous avons abordé les différents aspects des matériaux composites.

Le premier chapitre a fourni une introduction générale en définissant les matériaux composites, en discutant de leurs types, de leurs caractéristiques et de leurs constituants. Cela nous a permis d'établir une base solide pour comprendre les concepts abordés dans les chapitres suivants.

Le deuxième chapitre s'est concentré sur l'importance du volume élémentaire et représentatif dans l'analyse des composites. Nous avons exploré les considérations essentielles pour sélectionner une taille de volume appropriée afin de représenter de manière précise les caractéristiques du matériau. De plus, nous avons examiné la méthode de Monte Carlo, qui s'est avérée être une approche puissante pour l'analyse probabiliste des composites. Nous avons discuté en détail des principes de cette méthode, de ses avantages et des différents types de simulations possibles.

Enfin, le troisième chapitre a présenté une synthèse des résultats de la simulation avec le logiciel Abaqus. Ces résultats indiquent que la distribution ordonnée ou aléatoire des fibres peut influencer de manière significative les propriétés mécaniques du matériau composite. Cependant, ces effets dépendent des types de fibres et de matrices utilisés.

Bibliographie

- [1] LAAZUZ.K, introduction aux modélisations et aux méthodes de calcul des matériaux composites, Tizi Ouzou: memoire de magister université des science et technologie , 2010.
- [2] P.JACQUINET, Utilisation de matériaux composites,, Paris: ed.HERMES, 1991.
- [3] J.-M. BERTHLOT, Matériaux composites,comportement mécanique,4eme édition, Lavoisier: ed.TEC&DOC, 2005.
- [4] J.-M. Berthelot, mécanique et analyse des structure,5ème édition, lavoisier Paris : IBBN:978-2-7430-14507, 2012.
- [5] N. Bahlouli, cours matériaux composites/DESS mécanique avancée et stratégie industrielle, IOST-ULP.
- [6] D. & J.Callister, science et génie des matériaux (MODULO), 2001.
- [7] P.Hairy, Les composites à matrice métallique pour résister à l'usure, 2018.
- [8] M.Dupeux, Aide-memoire De science Des matériaux, Dunod, 2008.
- [9] D. Youcef, etude de la rupture en MODE I d'ouverture des matériaux composite, université de Biskra, 2004.
- [10] J. P. B. & J. M. Dorlot, des matériaux 3ème édition, école de Montréal, 2000.
- [11] D. Gay, matériaux composite 4ème édition, Hermès, 2009.
- [12] T. Kanit S. Forest a,*, V.Mounoury D. Jeulin a,b : Determination of the size of the representative volume element for random composites: statistical and numerical approach
- [13] Wahbi Jomaa, Denis Bruneau, Gustavo Caceres Milieu poreux diphasique déformable : volume élémentaire représentatif déformable et prise de moyenne d'une équation de transport.
- [14] KYO KOOK JIN, JE HOON OH ET SUNG KYU HA , :Effet de l'arrangement des fibres sur les résidus Répartition des contraintes thermiques dans un composite unidirectionnel
- [15] YUANCHEN HUANG , Effets de la disposition des fibres sur Comportement mécanique de Composites unidirectionnels
- [16] M. ROKBI, H. OSMANI , L'effet des traitements de surface des fibres sur les propriétés mécaniques de composites Polyester-fibres Alfa
- [17] HF Lei, ZQ Zhang , Effet de la disposition des fibres sur les propriétés mécaniques des composites renforcés de fibres courtes

- [18] B. HADDAG , I. BENCHIKH , M. NOUARI , H. MAKICH , M. BORNERT , J. YVONNET , Identification des propriétés effectives d'élasticité d'un polymère obtenu par fabrication additive SLS à partir d'une modélisation du volume élémentaire représentatif
- [19] A. El Moumen (1), T. Kanit (2,*) and A. Imad (2) , Numerical evaluation of the representative volume element for random composites
- [20]GASMI, S. ,& BELGUENDOUC, C , Elaboration et caractérisation d'un matériau composite renforcé par les fibres de paille de blé
- [21] O.Babahani ; "Simulation numérique par la méthode de Monte Carlo de la déposition de couche mince par procédé CVD "; Thèse de Doctorat ; Université de Ouargla (2013).
- [22] HADJADJ Saida , Calcul par la méthode de Monte Carlo des probabilités de la réactivité à la surface lors de la déposition d'une couche mince a-Si:H par le procédé PECVD .
- [23] Sambridge, M., and K. Mosegaard, Monte Carlo Methods in Geophysical Inverse Problems, Rev. Geophys, 40(3), 1009, doi:10.1029/2000RG00089, 2002.
- [24] C. P. Robert and G. Casella. Monte Carlo Statistical Methods. Springer Texts in Statistics. Springer-Verlag New York, 2 edition, 2004. doi : 10.1007/978-1-4757-4145-2
- [25] G. Kochanski ;" Monte Carlo simulation" ; <http://kochanski.org/gpk>.
- [26] Campbel ,F.C...Structural Composite Materials.United States ,ASM International,2010.
- [27] Dr .Michael Okereke ; ABAQUS Tutorial ,Effect of fibre Distribution in Unidirectional Composites , <https://youtu.be/PP2W4JJyXxg>.
- [28] ABAQUS Finite Element Program, ABAQUS/Standard 6.14.1. Hibbit, Karlsson and Sorensen, Inc. Pawtuket, USA, 2014.
- [29] Chouder Zakaria, ANALYSE NUMERIQUE DES MATERIAUX COMPOSITE D'UNE CHARGE MONOTONE.2020/2021.

Liste de Figures

Figure I.1: Constituants d'un matériau composite.....	12
Figure I.2: Classification des matériaux composites (William & Callister,2001)	15
Figure I.3: Composite à matrice métallique renforcé par dispersion (Hairy,2018)	15
Figure I.4: Les différents types des composites renforcés par des fibres.	16
Figure I.5: Principe d'empilement de panneaux pour constituer un stratifié.....	16
FigureI. 6: Représentation schématique d'un panneau sandwich	17
FigureI. 7: les différentes formes des renforts fibres de verre	18
Figure I.8: Principaux matériaux de renforts	19
FigureI. 9 : Différentes familles de matrice.	26
Figure III.1: modèle géométrique a fibres ordonnées	40
Figure III.2: modèle géométrique a fibres non ordonnées	41
Figure III.3: maillage du modèle a fibres ordonnées et non ordonnées	41
Figure III.4 : La modélisation numérique de de Monte-Carlo	42
Figure III.5 : Variation de la force en fonction du déplacement pour la répartition des fibres ordonnées et aléatoires dans le cas du matériau Verre/PP.....	50
Figure III.6 : Variation de la force en fonction du déplacement pour la répartition des fibres ordonnées et aléatoires dans le cas du matériau Alfa/PP.....	51
Figure III.7: Variation de la force en fonction du déplacement pour la répartition des fibres ordonnées et aléatoires dans le cas du matériau Verre/EPOXY.....	52
Figure III.8 : Variation de la force en fonction du déplacement pour la répartition des fibres ordonnées et aléatoires dans le cas du matériau Alfa/EPOXY	53
Figure III.9 : Variation de la force en fonction du déplacement pour la répartition des fibres ordonnées et aléatoires dans le cas du matériau Alfa-Verre/PP.....	54
Figure III.10 : Variation de la force en fonction du déplacement pour la répartition des fibres ordonnées et aléatoires dans le cas du matériau Alfa-Verre/EPOXY	55
Figure III.11 : la Variation de la contrainte en fonction de la déformation pour la répartition des fibres ordonnées et aléatoires pour différents matériaux considérés: verre/pp, alfa/pp, verre/époxy, alfa/époxy, alfa-verre/pp et alfa-verre/époxy,.....	57
Figure III.12 : la Variation de la force en fonction du déplacement pour chaque distribution des fibres ordonnées et aléatoires et pour différents matériaux considérés : Verre/PP, et Alfa/PP.....	58

Figure III.13 Variation de la force en fonction du déplacement pour chaque distribution des fibres ordonnées et aléatoires et pour différents matériaux considérés : verre/époxy, et alfa/époxy.....60

Liste des tableaux

Table 1: quelques compositions de verre E, D et R.....	20
Table 2: avantages et inconvénient de la fibre du verre E, D et R	20
Table 3: Propriété Mécanique du Matériau.....	39