

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
Et de la recherche scientifique

UNIVERSITE Abderrahmane MIRA BEJAIA
Faculté de Technologie
Département de Génie Mécanique

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : fabrication mécanique et productique

Par :

TAHI YANIS

HENANE AMAR

Thème

**Simulation numérique des orientations préférentielles d'un
renfort dans un matériau composite**

Soutenu le2020 devant le jury composé de:

Mr :	M.A. BRADAI	President
Mr :	YOUNES R	Rapporteur
Mr :	A.SAD-EDDINE	Examineur

Année Universitaire 2019-2020

Remerciements

Notre parfaite gratitude et nos remerciements à Allah le plus puissant qui nous a donné la force, le courage et la volonté pour mener à bien ce modeste travail.

*C'est avec une profonde reconnaissance et considération particulière que nous remercions notre encadreur Monsieur **R.YOUNES** et pour son soutien, et ses conseils.*

Nous exprimons aussi nos reconnaissances à tous les membres du jury d'avoir accepté de lire, de présider et d'examiner ce modeste travail et d'apporter les critiques nécessaires à la mise en forme de ce projet.

Nos vifs remerciements pour l'ensemble des enseignants du département de génie mécanique qui ont contribué à notre formation de master en génie mécanique.

Enfin, à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin pour la réalisation de ce projet de fin d'étude, qu'ils trouvent ici, l'expression de nos sincères remerciements.

Dédicace

C'est avec grand respect et gratitude que je tiens à exprimer toute ma Reconnaissance et ma sympathie et dédier ce travail modeste à :

- *Mes parents, les mots ne sauraient exprimer l'immense et profonde Gratitude que je leur témoigne ici pour leur précieux soutien, pour leur Patience, pour avoir cru en moi, pour leurs sourires réconfortants et pour Leurs sacrifices qui m'ont permis d'atteindre cette étape dans ma vie et Qu'ils m'ont jamais cessé de consentir pour mon instruction et mon bien Être. Que dieu me les garde et les protège.*
- *Toute ma famille surtout mes grand parents et mon oncle Rachid.*
- *Mes deux frère aimad et zinou*
- *Tous mes amis*
- *Tous mes enseignants tout au long des cycles de mes études.*
- *Tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

TAHI YANIS

Dédicace

Rien n'est aussi beau à offrir que le fruit d'un labeur qu'on dédie du fond du cœur à ceux qu'on aime et qu'on remercie en exprimant la gratitude et la reconnaissance durant toute notre existence, Je dédie ce travail à :

- *Mes chers parents qui ont sacrifié leurs vies pour notre bien.*
- *Mon frère et ma sœur*
- *Toute la famille : henane*
- *Mon ami et mon binôme Tahi*
- *Mes amies*
- *Et en dernier, un grand merci à toutes celles et tous ceux qui d'une manière ou d'une autre m'ont aidé et soutenu.*

HENANE AMAR

Sommaire

Introduction générale.....	01
Chapitre I : généralités sur les matériaux composites	
Introduction.....	03
I.1 définition.....	04
I.2 caractéristiques générales des matériaux composites.....	05
I.3 Types de matériaux composites.....	06
I.4 Classification des matériaux composites.....	06
I.4.1 Classification suivant la forme des constituants.....	06
I.4.2 Classification suivant la nature des constituants.....	07
I.5 Les constituants d'un composite.....	07
I.5.1 La matrice.....	07
I.5.1.2 Les matrices métalliques.....	13
I.5.1.3 Les matrices carbonées.....	13
I.5.1.4 Les matrices céramiques.....	14
I.5.1.5 Préparation des matrices.....	14
I.5.2 Les renforts.....	14
I.5.2.1 Les fibres.....	15
I.5.2.1.1 Les formes linéiques.....	16
I.5.2.1.2. Formes surfaciques.....	16
I.5.2.1.3. Forme multidirectionnelle.....	19

Chapitre II : principaux type de renfort des matériaux composites

II.1 introduction	21
II.2 Les principales fibres.....	21
II.2.1 Fibres de verre.....	21
II.2.1.1. Les avantage de fibres de verre.....	22
II.2.1.2 Les inconvénients de fibres de verre.....	22
II.2 fibres de carbone.....	22
II.2.2.1 Les avantage de fibres de carbone.....	22
II.2.2.2 Les inconvénients de fibres de carbone.....	23
II.2.3 Les fibres de bore.....	23
II.2.4 Les fibres de carbure de silicium.....	23
II.2.5 Les fibres d'aramide.....	23
II.2.5.1 Les avantage des fibres d'aramide.....	24
II.2.5.2 Les inconvénients des fibres d'aramide.....	24
II.2.6 Les fibres céramiques.....	25
II.3 Les charge.....	26
II.3.1 Chargés renforçantes.....	26
II.3.2 Charges non renforçantes.....	27
II.3.3 Charges conductrices et antistatiques.....	27
II.4 Additifs.....	27
II.5 Le rôle des charges et des renforts.....	27
II.6 Architecture des matériaux composites.....	28

II.6.1 Composite Stratifiés.....	28
II.6.2 Stratifié hybride.....	30
II.6.3 Composites sandwich.....	30
Chapitre III : simulation numériques d'un essai de traction	
III.1 introduction.....	32
III.2 simulation numérique sur une éprouvette d'aluminium.....	32
III.3 Les résultats des Simulation.....	33
III.4 simulation numérique sur une éprouvette de fibre de carbone.....	37
III.5 conclusion.....	44
Conclusion générale.....	45

Liste des tableaux

Chapitre I : généralités sur les matériaux composite

Tab. I.1 Comparaison entre quelques critères des résines TD et les résines TP.....10

Tab. I.2 Caractéristiques des résines thermoplastiques et thermodurcissables.....11

Chapitre II : principaux type de renfort des matériaux composites

Tab. II.1 Types de verres.....21

Tab. II.2 Principales caractéristiques mécaniques des fibres de base.....25

Chapitre III : simulation numériques d'un essai de traction

Tab.III.1 Les principales propriétés d'aluminium AU4G.....32

Tab.III.2 Les principales propriétés de fibre de carbone type AS4C (3000 filaments).....37

Liste des figures

Chapitre I

Fig. I.1 Constituants d'un matériau composite.....	04
Fig. I.2 Différentes familles de matrice.....	08
Fig. I.3 Boucle de vie d'un thermodurcissable.....	09
Fig. I.4 Boucle de vie d'un thermoplastique.....	12
Fig. I.5 Les différents types de renfort de base.....	15
Fig. I.6 Les différentes formes de présentation de la fibre du verre.....	16
Fig. I.7 Mat à fibres courtes.....	17
Fig. I.8 Mat à fibres continues.....	17
Fig. I.9 Chaîne et trame d'un tissu.....	17
Fig. I. 10 Les principaux types d'armures utilisés pour le tissage des tissus.....	18
Fig. I.11 Tissage cylindrique et conique.....	19
Fig. I.12 Tissus multidirectionnels.....	19
Fig. I.13 Nid d'abeilles.....	20

Chapitre II

Fig. II.1 Différents types de verre pouvant se présenter en poudre et en fibres courtes...	22
Fig. II.2 Différents types de charges.....	26
Fig. II.3 Constitution d'un stratifié.....	28
Fig. II.4 Repérage du plan moyen.....	29
Fig. II.5 Désignation d'un stratifié.....	29

Fig. II.6 Structure en sandwich.....	30
Fig. II.7 Sandwich à âme.....	31

Chapitre III

Fig.III.1 simulation sur solide Works d'une éprouvette en alliage d'aluminium type AU4G...	33
Fig.III.2 Simulation des contraintes du matériau sous l'effet des forces appliquées.....	34
Fig.III.3 Simulation des déplacements du matériau sous l'effet des forces appliquées.....	35
Fig.III.4 Simulation des déformations du matériau sous l'effet des forces appliquées.....	36
Fig.III.5 Simulation sur solide Works d'une éprouvette en fibre de carbone.....	38
Fig.III.6 Simulation des contraintes du matériau sous l'effet des forces appliquées.....	39
Fig.III.7 Simulation des déplacements du matériau sous l'effet des forces appliquées.....	40
Fig.III.8 Simulation des contraintes du matériau sous l'effet des forces appliquées.....	41
Fig.III.9 Simulation des déplacements du matériau sous l'effet des forces appliquées.....	42
Fig.III.10 Simulation des contraintes du matériau sous l'effet des forces appliquées.....	43
Fig.III.11 Simulation des déplacements du matériau sous l'effet des forces appliquées.....	44

Introduction Générale

Introduction générale

Depuis quelques années, les matériaux composites se sont imposés dans de nombreux secteurs de pointe tels que le spatial, l'aéronautique, la construction navale ou même l'automobile. Une telle percée n'est pas le fruit du hasard mais bien la réponse à des besoins technologiques de plus en plus sévères. L'avantage des matériaux composites est en effet de pouvoir marier plusieurs caractéristiques mécaniques ou chimiques propres à chaque constituant. Ainsi le renfort d'un polymère par des fibres de verre permet d'obtenir un matériau léger, chimiquement peu réactif, étanche comme le plastique et résistant comme le verre. Dans le domaine des hautes températures, domaine qui intéresse tous les motoristes en général, les matériaux composites à matrice céramique (CMC) et à fibres céramiques longues se sont avérés une alternative aux alliages métalliques. En effet les matériaux composites à matrice céramique sont capables de conserver leurs propriétés mécaniques à haute température et en milieu oxydant grâce à leur faible réactivité chimique, tout en présentant un caractère beaucoup moins fragile.

La connaissance du comportement mécanique d'un matériau composite est le premier souci des chercheurs du domaine. Mais cela s'avère insuffisant puisque les matériaux composites généralement utilisés sont susceptibles d'être exposés à tous les milieux ambiants et en particulier à l'atmosphère extérieure ou les gaz, les fumées, l'humidité, et le soleil sont autant de facteurs qui modifient notablement le comportement mécanique des matériaux, contribuant ainsi à leur vieillissement. Les fibres de carbone ont été sélectionnées grâce à leurs très bonnes caractéristiques spécifiques (résistance et rigidité). Elles ont été alliées à une matrice résineuse (époxy) qui permet la mise en forme aisée.

Le composite sous forme de plis arrangés en fonction des directions de chargement constitue un composite stratifié: l'orientation judicieuse des plis permet de faire correspondre les axes de charge et les axes de rigidité ou de résistance de la structure c'est-à-dire d'optimiser. Le problème lié à ce matériau est la prédiction de son comportement à la fois complexe et multiple (lié à l'hétérogénéité et l'anisotropie): la compréhension des phénomènes et prise en compte dans des modèles ne sont pas encore abouties que pour les matériaux métalliques.

Dans ce travail, nous nous intéressons à l'étude de l'influence de divers paramètres, entre autre: les différentes orientations de fibres unidirectionnelles et de la nature du type du renfort sur le comportement mécanique, puis nous abordons la caractérisation mécaniques du

Introduction générale

stratifié et l'identification du l'agencement le plus adéquat pour une telle sollicitation. A ce fait nous avons structuré ce mémoire autour de ces objectifs comme suit : Le premier chapitre de ce mémoire est consacré à la présentation des matériaux composites ainsi que leur domaine d'utilisation ; le second chapitre, porte sur la caractérisation des matériaux composites et les paramètres influençant sur leur comportement Dans le chapitre trois, nous avons effectué un test de compression sur une éprouvette avec simulation numérique d'un essai de traction [1].

Chapitre I :

Généralités sur les matériaux composites

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]

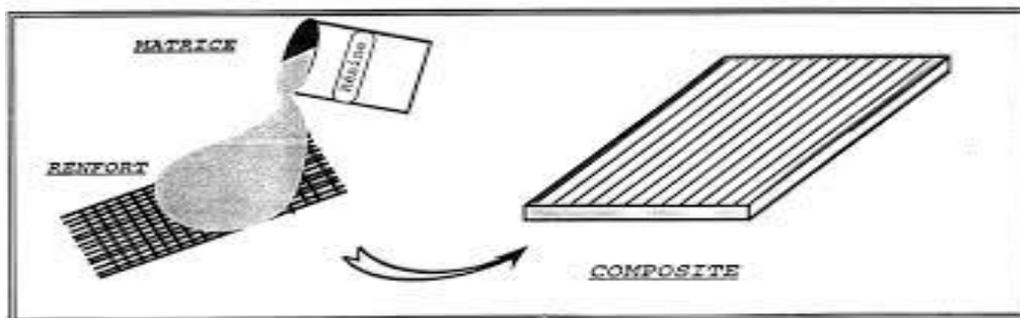


Figure I.1. Constituants d'un matériau composite

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.caractéristiques générales des matériaux 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 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 matériaux composites

On distingue deux grandes familles de matériaux composites :

I.3.1 Les composites de grande diffusion (GD) : Ce sont généralement réalisés à partir de fibre de verre et de résine polyester insaturée ou phénolique. Ils constituent plus de 95% de la production et les demandeurs les plus importants sont l'industrie des transports (Automobile, ferroviaire) et la construction électrique. Cette classe de matériau est destinée à des fabrications en grande série et souvent automatisés.

I.3.2 Les composites de hautes performances (HP) : Les constituants sont surtout des résines époxydes renforcées par des fibres longues de verre, mais principalement de carbone ou d'aramide. L'industrie aéronautique et spatiale, l'automobile sportive et les chantiers navals pour des embarcations expérimentales sont les demandeurs intéressés par leurs caractéristiques mécaniques et thermiques élevées, mais aussi par des séries de productions très faibles ou le prix est très élevé [1].

I.4. Classification des matériaux composites

Le type de renforts, la nature de la matrice et les quantités relatives de ces éléments entrants dans la formulation, ainsi que le procédé de mise en œuvre, ont une incidence déterminante sur les caractéristiques du produit fini.

Les composites peuvent être classés suivants la forme de leurs constituants ou suivant leurs natures [3].

I.4.1. Classification suivant la forme des constituants

Les renforts peuvent se présenter sous forme de fibres ou de particules, on distingue deux grandes classes.

I.4.1.1. Composite à fibres:

Le matériau est dit composite à fibres si le renfort se trouve sous forme de fibres, elles peuvent être soit continues ou discontinues.

I.4.1.2. Composite à particules :

Le matériau est dit composite à particule si le renfort se trouve sous forme de particule. Une particule est une fibre ne possédant pas une direction privilégiée.

I.4.2. Classification suivant la nature des constituants

Les composites sont classés en trois catégories, selon la nature de la matrice :

I.4.2.1. Composites à matrice organique (résine, charges) avec des fibres :

- Minérales (verre, carbone) ;
- Organiques (kevlar, polyamides) ;
- Métalliques (bore, aluminium).

Avec une température limite d'utilisation qui varie entre 200 et 300° C.

I.4.2.2. Composites à matrice métallique (alliages légers et ultras légers de l'aluminium, de magnésium, de titane) avec des fibres :

- Minérales (carbone, carbure de silicium (sic) ;
- Métalliques (bore) ;
- Métallo-minérales (fibre de bore revêtu de carbure de silicium).

I.4.2.3. Composites à matrice minérale (céramique), avec des:

- Fibres métalliques (bore) ;
- Particules métalliques (cermets) ;
- Particules minérales (carbures, nitrures).

Avec une température d'utilisation de 1000° C.

I.5. Les constituants d'un composite

Un composite est constitué de deux constituants de base : la matrice et le renfort.

I.5.1. La matrice

Cette phase est indispensable à la liaison des divers éléments constitutifs, est composée d'une résine (polyester, époxyde, etc...) et d'une charge (carbonate de calcium, graphite, etc.). Leur rôle est de lier les renforts, de répartir les charges (contraintes, résistance à la traction et rigidité) et d'assurer la protection chimique contre les agents agressifs extérieurs tels que (acides, humidité, corrosion...) et donne la forme au produit réalisé; pour les composites plastiques, elle est par définition un polymère ou une résine organique. Le choix de la matrice dépend de l'utilisation à laquelle est destinée le matériau composite.

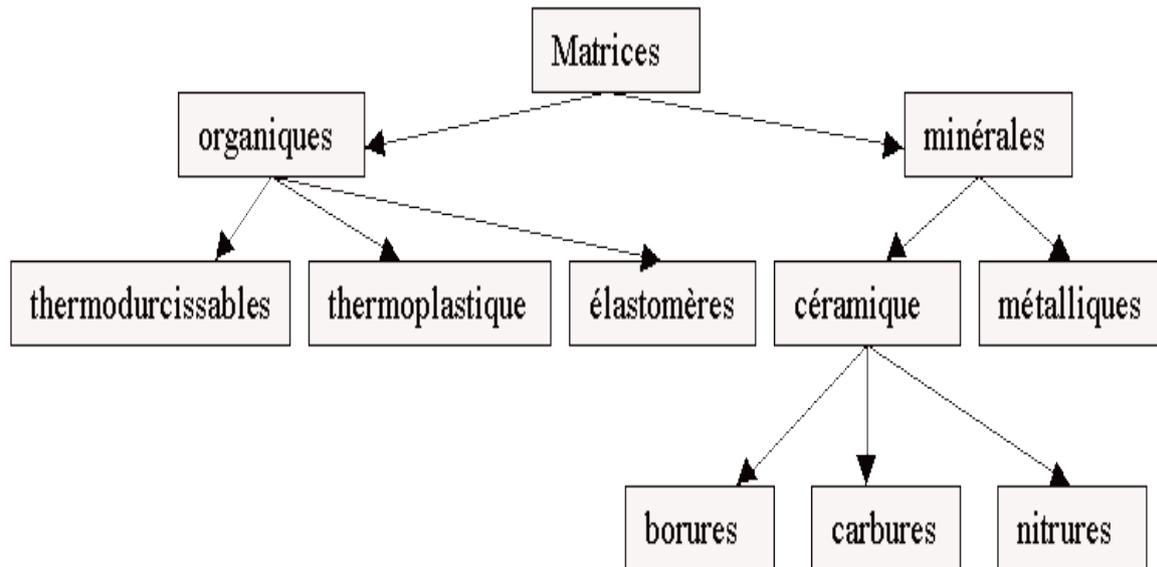


Figure I.2. Différentes familles de matrice

I.5.1.1. Les matrices organiques :

Ces matrices sont faites de matières plastiques et désignées sous le vocable beaucoup plus large de résines. Les résines utilisées dans les matériaux composites ont pour rôle de transférer les sollicitations mécaniques aux fibres et de les protéger de l'environnement extérieur. Elles doivent donc être assez déformables et présenter une bonne compatibilité avec les fibres. Les résines doivent avoir, par contre, une masse volumique faible de manière à conserver aux matériaux composites des caractéristiques mécaniques spécifiques élevées (la matrice d'un composite organique peut appartenir à différents types de polymères. [4]

Compte tenu de ces contraintes, les résines utilisées sont des polymères modifiés par différents adjuvants et additifs : agents de démoulage, stabilisants, pigments ... etc., qu'on peut subdiviser en deux familles principales : résines thermoplastiques et thermodurcissables [5]

I.5.1.2. Les résines thermodurcissables (TD)

Ce sont des polymères obtenus après un traitement thermique ou physico-chimique (catalyseur, durcisseur), se transforment en des produits essentiellement infusibles, pour obtenir des composites aux performances mécaniques plus élevées. Ces résines ont donc la particularité de ne pouvoir être mises en forme qu'une seule fois (Figure I.3) [6].

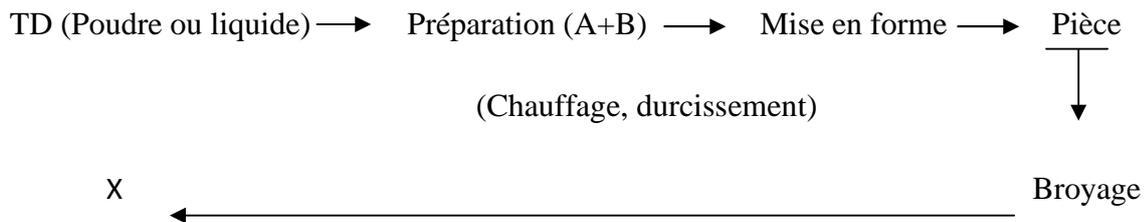


Figure I.3. Boucle de vie d'un thermodurcissable

Ces résines sont actuellement les plus employées dans les matériaux composites, telles que les polymères dont la fabrication a atteint le plus gros tonnage des matériaux plastiques et qui devient de plus en plus importante.

Les tableaux I.1 et I.2 présentent quelques caractéristiques des résines TP et TD et leurs comparaisons suivant quelques critères [7].

Critères essentiels	Matrice TP	Matrice TD
Etat de base	Solide (prêt à l'emploi : polymérisé)	Liquide visqueux à polymériser
Stockage matière de base	Illimité	Temps réduit (précautions à prendre)
Moulage	Chauffage (fusion + refroidissement fixation)	Chauffage continu
Cycle	Plus long (refroidissement)	Court
Tenue au choc	Assez bonne	Limité
Tenue thermique	Réduite	Meilleure
Chutes et déchets	Recyclables	Perdus
Mouillabilité des renforts	Difficile	Aisées

Tableau I.1. Comparaison entre quelques critères des résines TD et les résines TP.

Tableau I.2 : Caractéristiques des résines thermoplastiques et thermodurcissables.

Matrices résineuses		ρ_m Kg/ m ³	E_m MPa	G_m MPa	ν_m	σ_m MPa	A %	α 10 ⁻⁵ °C ⁻¹	Tmax °C
Thermodurcissables	Epoxyde	1200	4500	1600	0.4	130	2(100°C)	11	90 à 200
	Phénolique	1300	3000	1100	0.4	70	6(200°C) 2.5	1	120 à 200
	Polyester	1200	4000	1400	0.4	80	2.5	8	60 à 200
	Polycarbonate	1200	2400			60		6	120
	Vinylester	1150	3300			75	4	5	>100
	Silicone	1100	2200			35			100 à 350
	Uréthane	1100	700 à 7000			30	100		100
Polyimide	1400	4000 à 19000	1100	0.35	70	1	8	250 à 300	
Thermoplastiques	Polypropylène	900	1200			30	20à 400	9	70 à 140
	Polysulfure de Phénylène	1300	4000			65	100	5	130 à 250
	Polyamide	1100	2000			70	200	8	170
	Polyéther Sulfone	1350	3000			85	60	6	180
	Polyéther imide	1250	3500			105	60	6	200
	Polyétheréthercé tone	1300	4000			90	50	5	140 à 250

Tableau I.2. Caractéristiques des résines thermoplastiques et thermodurcissables.

Les principales résines thermodurcissables utilisées dans la mise en forme des matériaux composites, sont [8] :

- Les résines polyesters insaturés, polyesters condensés, vinylesters, dérivés allyliques... ;
- Les résines de condensation : phénoliques, aminoplastes, furaniques.... ;
- Les résines époxydes.

I.5.1.3. Les résines thermoplastiques (TP)

La famille des TP est très vaste qu'on peut séparer en plastiques de grande diffusion et plastiques techniques (techno-plastiques). Ce sont des polymères à chaîne linéaire, très répandus et peu coûteux (polyéthylène, polystyrène, polyéther cétone).

Ces résines peuvent être recyclées plusieurs fois suite à des chauffages et refroidissements cycliques (Figure I.4) [5].

Elles sont fréquemment utilisées seules, sans renfort et sans charges.

Leurs propriétés intrinsèques sont suffisantes pour permettre la réalisation d'objets, de pièces à fonctions diverses, supports, mécanismes, emballages. Elles sont appelées couramment les plastiques et Généralement, associées avec des fibres de carbone ou de verre.

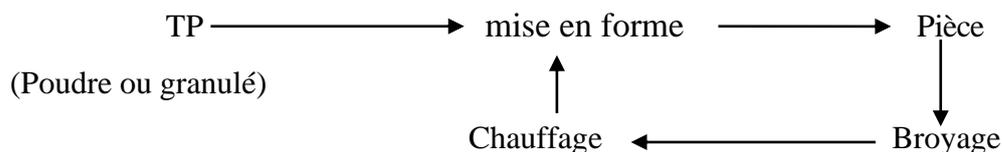


Figure I.4. Boucle de vie d'un thermoplastique

Ceux dont on observe une modification spectaculaire des propriétés lorsqu'on les additionne d'un renfort, sont appelés les techno-polymères. En général, leur mise en œuvre se fait par injection à haute pression.

I.5.1.4 Résines élastomères

Ce sont des résines renforcées par plusieurs fibres et caractérisés par une forte élasticité avec un très faible module de Young. [8]

I.5.1.2. Les matrices métalliques

La température maximale d'utilisation des polymères étant peu élevée, et le carbone risquant de s'oxyder à plus de 500°C, il faut parfois envisager d'utiliser des matrices dont l'inertie chimique est meilleure à plus haute température. Puisque certains métaux ou alliages métalliques peuvent éventuellement satisfaire à cette exigence, on a donc recours à ces matrices dans des conditions pareilles [5].

Présentent les avantages suivants :

- Propriétés mécaniques supérieures.
- Tenue en température élevée.
- Résistance à l'attaque de certains solvants.

Mais, possèdent les inconvénients tels que :

- Masse volumique est supérieure à celle d'un polymère classique ;
- Plus coûteuses

I.5.1.3. Les matrices carbonées

La production d'une matrice de carbone repose sur le même principe que celui utilisé pour fabriquer les fibres de carbone c.-à-d. carbonisation d'une matière organique à haute température. Les matrices de carbone sont constituées de grains de carbone pyrolytique qui se déposent à chaud sur les fibres, ce qui assure une liaison mécanique entre celles-ci et colmate les vides laissés entre elles. On obtient ainsi un matériau composite dont la masse volumique se rapproche de celle du carbone massif [5]

I.5.1.4. Les matrices céramiques

Grâce à leurs propriétés intrinsèques (rigidité, réfractaire, résistance et bonne stabilité chimique), les céramiques sont potentiellement des matériaux capables de bien jouer le rôle de matrice dans des matériaux composites. Dans ce cas, les fibres de renfort ont principalement pour but d'améliorer la ténacité de telles matrices, ainsi que leur résistance aux chocs thermiques.

Les techniques d'incorporation des fibres de renfort aux céramiques doivent tenir compte des procédés de fabrication spécifiques à celles-ci (en particulier, le frittage). On extrude la matrice (sous forme de poudres), qui contient un liant, et les fibres alignées dans une filière. Le liant durcit, ce qui permet d'assurer une cohésion suffisante de la matrice, ainsi que sa manipulation. On fritte ensuite cette matrice à haute température. [5]

I.5.1.5. Préparation des matrices

Les résines TD sont très souvent chargées (10% à 20%) pour leur conférer des propriétés spécifiques (stabilité dimensionnelle, diminution et équilibrage des retraits, dureté, etc. ou pour réduire leur prix de revient, parmi les charges minérales utilisées il y a :

- Carbonates de calcium (calcite, craie, dolomie) ;
- Silicate (talc, kaolin).

Et également on trouve des additifs de type :

Anti- retrait ; Anti-UV ; Pigment de colorant ; Agent de démoulage ; Catalyseur, initiateur de réaction ; Accélérateur de réaction.

I.5.2. Les renforts

Ils constituent l'armature ou le squelette du matériau composite avec une fraction volumique de (30 à 70%). Ils sont destinés à améliorer ou assurer la tenue mécanique (rigidité, résistance à la rupture, à la traction) telle que cette dernière est proportionnelle au rapport longueur /diamètre (l/d). La figure I.5 présente les principaux matériaux de renfort [9].

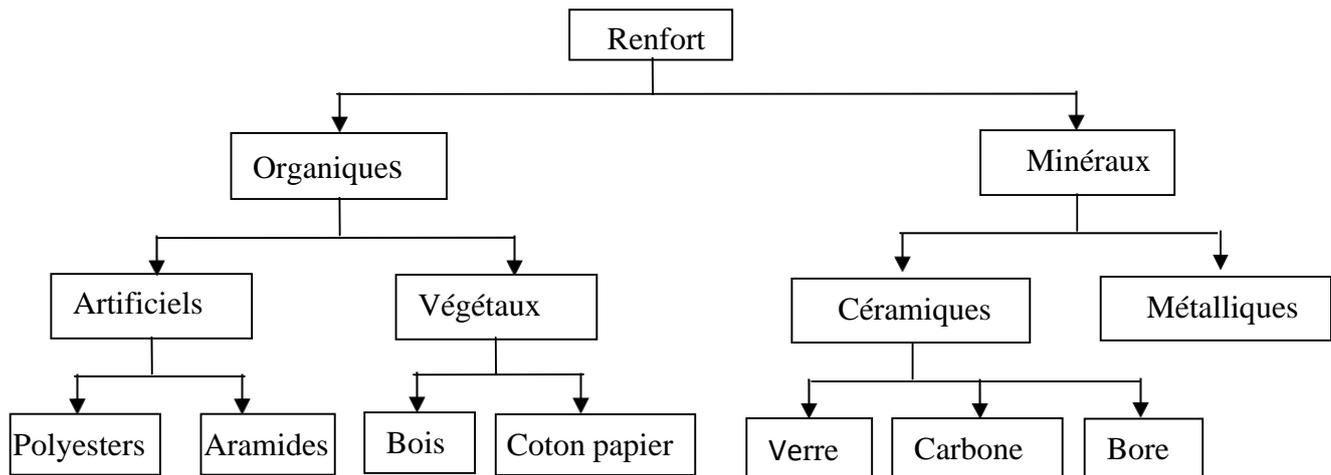


Figure I.5. Les différents types de renfort de base

I.5.2.1. Les fibres

Les fibres se présentent sous forme de filaments de longueur plus ou moins grande, dont les qualités recherchées sont les suivantes :

- Bonnes caractéristiques mécaniques ;
- Légèreté, résistance thermique, compatibilité avec les résines ;
- Adaptabilité aux procédés de mise en œuvre ;
- Faible prix. Les fibres se présentent sous diverses formes commerciales :
- Linéiques (fils, mèches, ... etc.) ;
- Tissus surfaciques (tissus simples, mats, ... etc.) ;
- Multidirectionnelles (tresses, tissus complexes, ...etc.).

Il existe également des fibres courtes de 1 à 2 mm qui sont dispersées dans la matrice, ou encore des fils coupés de 15 à 50 mm de longueur. Leur utilisation est encore limitée en raison des difficultés de fabrication [3].

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.

I.5.2.1.1 Les formes linéiques

Les fibres sont élaborées suivant un diamètre de quelques microns seulement (filaments élémentaires); trop petites pour l'utilisation unitaire, elles sont par conséquent réunies en fils ou en mèches de différentes formes (Figure I.6) [8] :

- Fil de base (ensemble de filaments élémentaires) ;
- Fil simple (ensemble de fils de base unitaires continus ou discontinus, maintenus ensemble par torsion) ;
- Fil retors (ensemble de fils simples retordus ensemble) ;
- Fil câblé (ensemble de fils retors, avec éventuellement des fils simples retordus une ou plusieurs fois ensemble) ;
- Mèches (ensemble de fibres élémentaires discontinues) ;
- Stratifié (ensemble de fils de base continus).

L'unité de masse linéique est le tex (1 tex = 1 g/Km)

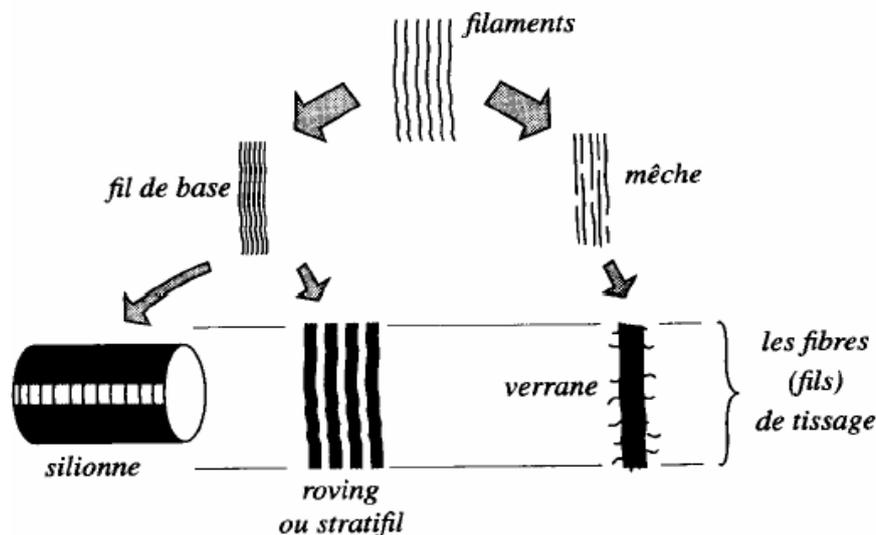


Figure I.6. Les différentes formes de présentation de la fibre de verre.

I.5.2.1.2. Formes surfaciques

Les fils peuvent être utilisés pour réaliser les formes surfaciques suivantes :

I.5.2.1.2.1 Les mats

C'est des nappes de fils continus ou discontinus, disposés dans un plan sans aucune orientation préférentielle, et maintenus ensemble par un liant soluble ou non dans les résines. L'absence d'orientation préférentielle des fibres conduit à une isotropie des propriétés mécaniques du mat dans son plan [8].

Il existe deux types de mats : mats à fibres courtes (figure I.7) ; et mats à fibres continues (Figure I.8).

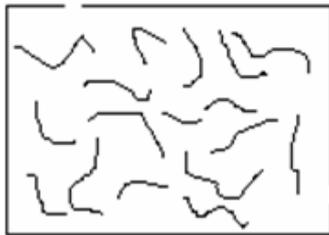


Figure I.7. Mat à fibres courtes

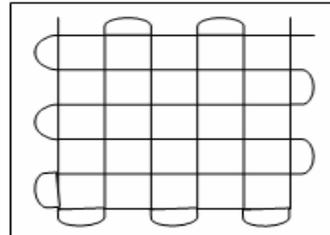


Figure I.8. Mat à fibres continues

I.5.2.1.2.2 Les tissus et rubans

Ensemble de fils, stratifiés ou mèches réalisés sur un métier à tisser, composé d'une chaîne et d'une trame (Figure I.9) [3].

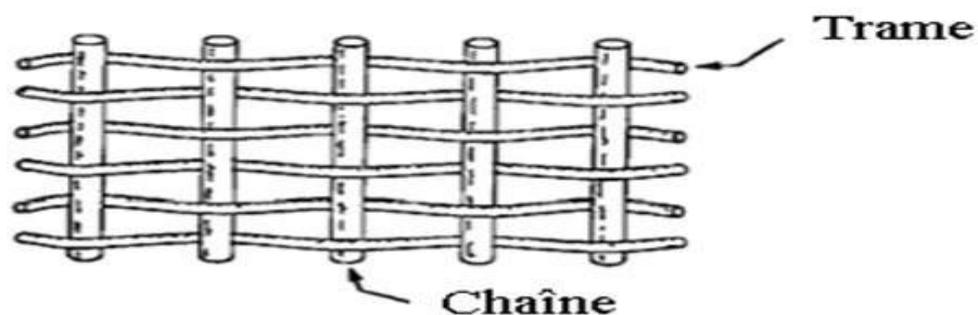


Figure I.9. Chaîne et trame d'un tissu

Selon le schéma d'entrecroisement des fils de chaîne et les fils de trame, que l'on nomme du l'armure tissu, on distingue plusieurs types de tissage :

- Armure toile ou taffetas
- Armure satin ;
- Armure sergé ;
- Armure à haut module ;
- Armure unidirectionnelle.

Les principaux types d'armure utilisés pour le tissage des tissus sont présentés dans la figure I.10 [3].

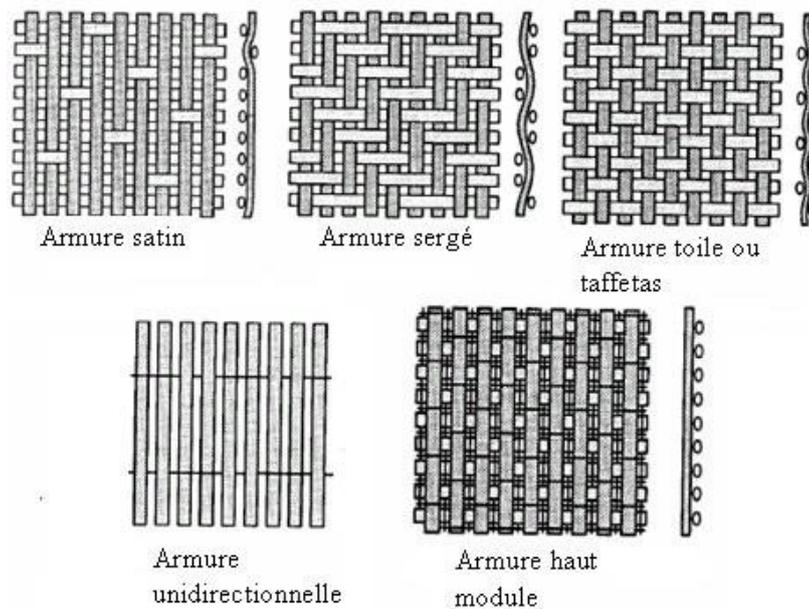


Figure I. 10. Les principaux types d'armures utilisés pour le tissage des tissus

I.5.2.1.3. Forme multidirectionnelle

I.5.2.1.3.1 Tresses et préformes

Tissage cylindrique ou conique avec des entrecroisements réguliers des fils qui a la particularité d'être modulable en diamètre. Les fils s'entrecroisent en hélice. Le diamètre de la tresse est lié au pas de l'hélice, par conséquent à l'angle que font les fils entre eux.

Ce tissage nous permet des révolutions très résistantes ayant un diamètre variable le long de l'axe. [3].

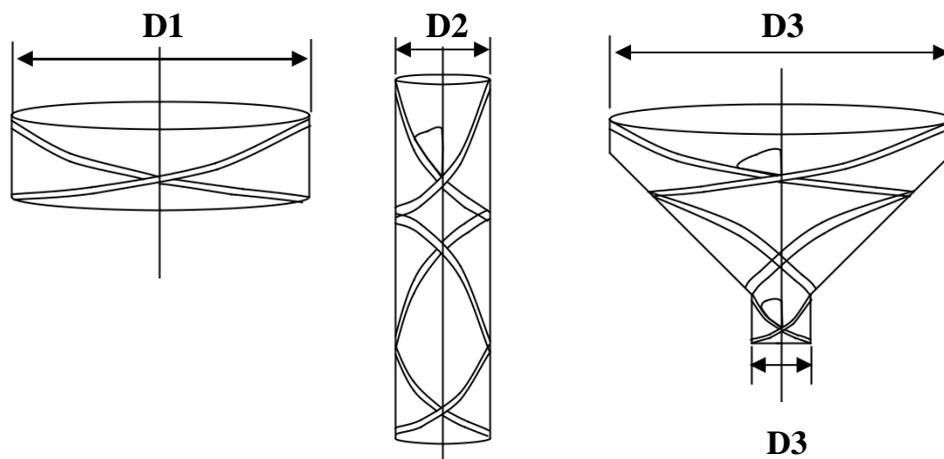
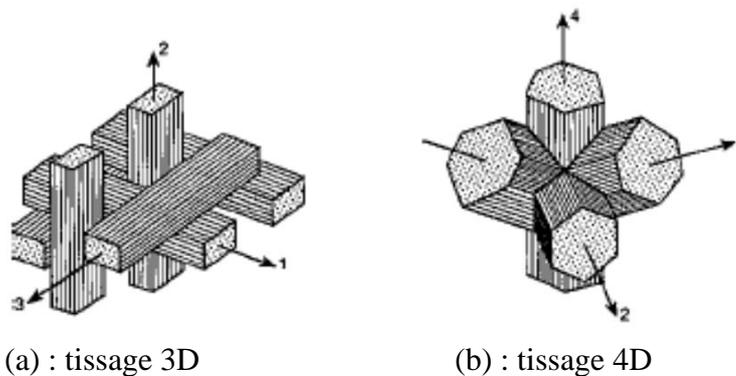


Figure I.11. Tissage cylindrique et conique

I.5.2.1.3.2 Tissus multidirectionnels

Les fibres sont tissées dans plusieurs directions. Ceci permet d'obtenir un tissu très dense et épais mais par conséquent peu souple, il est utilisé par exemple pour la réalisation de tuyère. Des tissages 3D et 4D sont montrés respectivement par les figures I.5 (a) et I.5 (b) [3]



(a) : tissage 3D

(b) : tissage 4D

Figure I.12 : Tissus multidirectionnel

I.5.2.1.3.3 Nids d'abeilles

Utilisés dans les structures sandwich tel que le rapport rigidité/poids soit important, ces structures sont composées d'une peau- âme et matériau de couplage (figure I.13) [3].

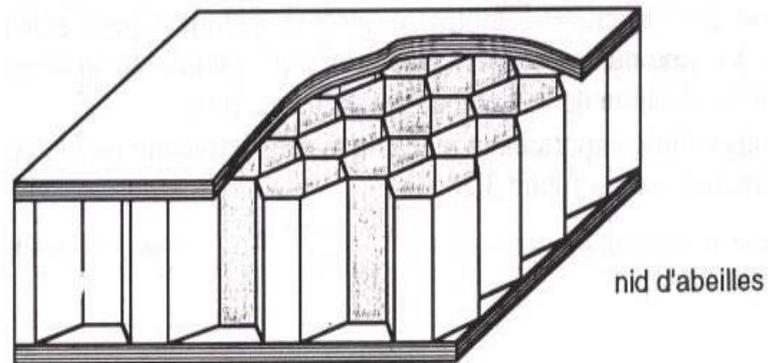


Figure I.13. Nid d'abeilles

Chapitre II :

**Principaux type de renforts des matériaux
composites**

II.1. introduction

Un matériau composite est défini comme une combinaison de deux ou plusieurs matériaux avec des propriétés physiques et chimiques et une interface distinct, Les matériaux composites ont une plage magnifique et différente des applications, Les avantages importants des matériaux composites sont la rigidité spécifique très élevée, haute dureté, résistance à la corrosion, une faible densité et l'isolation thermique.

Dans la plupart des matériaux composites, une phase est généralement continue, appelée la matrice et l'autre phase est appelée phase dispersée.

II.2. Les principales fibres

II.2.1. Fibres de verre

C'est la fibre la plus utilisée vu son excellent rapport performances mécaniques/Prix, sa place Est au premier rang des renforts utilisés dans les matériaux composites.

Les fibres de verre sont fabriquées à partir d'un mélange à base de silice (SiO_2), Qui est fondu à une température $1200^{\circ}C$ puis passé dans une filière en platine, et les Filaments sont étirés avant refroidissement à un diamètre de 5 à 13 μm à une vitesse de 60m/s. En faisant varier la composition du mélange (silice, kaolin, chaux...etc.) on peut Obtenir différents types de verre comme montre le tableau ci-dessous [1].

Principaux constituants (%)	Type de verre		
	E	D	R
Silice SiO_2	53-54	73-74	60
Alumine Al_2O_3	14-15	-	25
Chaux Cao- Magnésie M_{go}	20-24	0.5-0.6	9
Oxyde de bore B_2O_3	6-9	22-23	6

Tableau II.1: Types de verres

Les différents types de verre cités dans le tableau, se distinguent par leurs propriétés et leurs utilisations (fig. II.1).

- Verre E : La plus couramment utilisée ;
- Verre D : Utilisé pour les circuits imprimés (en raison de leurs propriétés Diélectriques) ;
- Verre R : Utilisés dans la réalisation de pièces de haute performance en raison de leurs Hautes Résistances mécaniques.



Figure II.1. Différents types de verre pouvant se présenter en poudre et en fibres courtes

II.2.1.1. Les avantages de fibres de verre [10]

- Rapport performances mécaniques/prix.
- Bonne résistance spécifique (pour verre R).
- Bonne adhérence avec toutes les résines (existence d'ensimage).
- Tenue à température élevée.
- Dilatation et conductivité thermique faibles.
- Bonne propriétés diélectriques.

II.2.1.2. Les inconvénients de fibres de verre

- Faible module (par rapport à la fibre de carbone ou d'aramide).
- Vieillissement au contact de l'eau.

II.2.2. Fibre de carbone [11].

Les fibres de carbone sont fabriquées d'une matière organique de base (appelée Précurseur) constituée de fibre acrylique à partir du poly acrylonitrile (PAN). En raison de la diversité des techniques de fabrication et de nombre de paramètres entrant en jeux.

Les Fibres produites ont des propriétés plus au moins différentes. On distingue deux groupes:

- Les fibres à haut ténacité (HT) ou haute résistance (HR) $\sigma_{tr} = 3000$ MPA.
- Les fibres à haut module (HM) de module en traction élevé $e_{tr} = 400000$ MPA.

II.2.2.1. Les avantages de fibres de carbone [10]

- excellentes propriétés mécaniques (ténacité, élasticité et module de Young).
- très bonne tenue en température.
- dilatation thermique nulle.
- bonne conductibilité thermique et électrique.
- bonne tenue à l'humidité.
- usinabilité aisée.
- faible densité.

II.2.2.2. Les inconvénients de fibres de carbone [10]

- prix très élevé.
- tenue limitée aux chocs et à l'abrasion.
- mauvais comportement avec l'oxygène (à partir de 400°C), avec les acides oxydants
À chaud et avec les métaux (corrosion galvanique).
- adhésion difficile avec les résines.

II.2.3. Les fibres de bore

Elles sont obtenues par le dépôt chimique de chlorure de bore (BCI) et de L'hydrogène (H₂) sur un fil de tungstène de diamètre 13um, chauffé à une température Comprise entre 1100 et 1300° C par effet joule.

II.2.4. Les fibres de carbure de silicium [8].

Le principe d'élaboration est analogue à celui de fibres de bore, le dépôt résulte de la décomposition chimique à 1200°C du méthyle trichlorosilane en présence d'hydrogène.

II.2.5. Les fibres d'aramide (Kevlar)

Ce sont des polyamides des aromatiques (ou polyamide) dont la structure est Composée de noyaux Benzéniques reliés par des groupe CO et HN ; Elles résistent très bien aux chocs, aux vibrations, excellente résistance à la traction mais sa résistance est très faible à la compression.

Kevlar : marque déposée de leur société créative.

II.2.5.1. Les avantages des fibres d'aramide [10].

- Grande résistance au choc, à l'impact et à la fatigue.
- Résistance à la rupture en traction spécifique.
- Bon comportement chimique vis-à-vis des carburants.
- Dilatation thermique nulle.
- Très faible densité (1,45).

II.2.5.2. Les inconvénients des fibres d'aramide [10].

- Prix élevés.
- Faible résistance avec les résines d'imprégnations.
- Faible résistance à la compression.
- Sensibilité à l'UV.
- Usinabilité difficile.
- Reprise d'humidité importante (4%) résistant à l'étuvage avant imprégnation.
- Décomposition à 400°C.

II.2.6. Les fibres céramiques [3].

Elles sont obtenues par dépôt chimique en phase vapeur sur un fil support, leur prix de revient est très élevé.

On peut résumer les caractéristiques de ces fibres dans le tableau suivant :[8].

Fibre	ρ Densité en Kg/m ³	Charge de rupture en traction MPa	en compression MPa	Allongement à la rupture En%	d'élasticité longitudinale en MPa	Diamètre du filament élémentaire μm
Verre R	2.48	4400	1300	5.4	86000	3 – 30
Carbone	1.8	2200	1300	-	400000	8
Bore	2.63	3500	3500	0.8	400000	100 – 200
Acier XC10	7.85	1000	-	-	210000	-
Aluminium	2.63	358	-	-	69800	-

Tableau. II.2 : Principales caractéristiques mécaniques des fibres de base

II.3. Les charge [10].

Les matériaux composites peuvent être renforcés par un autre matériau se présentant sous forme de fines particules : ce sont les charges. Elles apportent des propriétés particulières ou complémentaires, qui ont pour rôle de modifier les caractéristiques des matériaux et permettent un abaissement du prix de revient. Elles sont utilisées surtout dans les composites de grande diffusion, et peuvent remplir différentes fonctions.

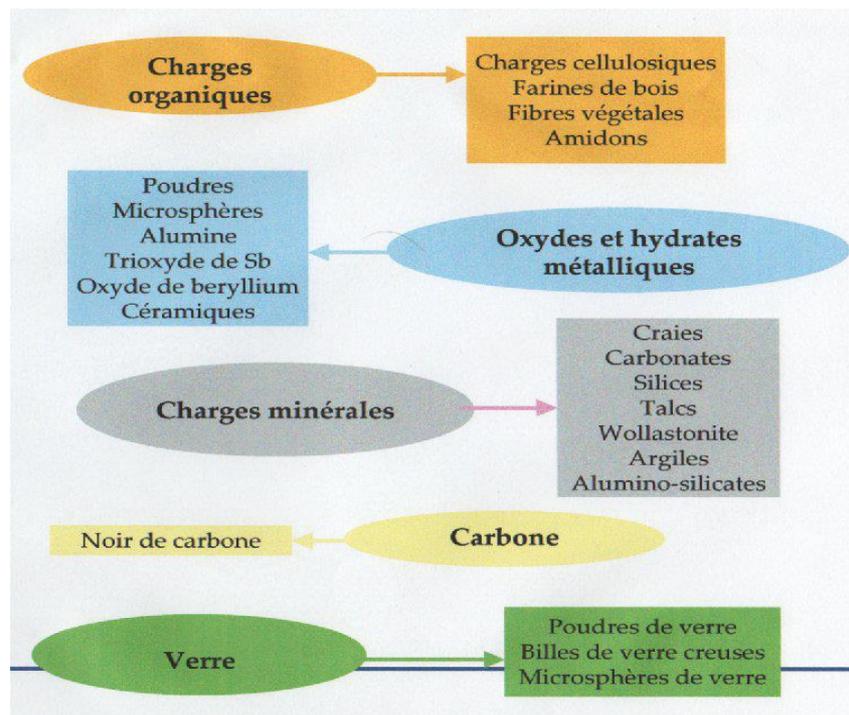


Figure II.2. Différents types de charges

II.3.1 Chargés renforçantes

- Des sphères pleines ou creuses généralement en verre, en carbone ou en époxydes leur intérêt est de répartir régulièrement les efforts et éviter les concentrations de contraintes dans la masse du composite
- Non sphériques ou des écailles de dimension transversal 100 à 500 μm et d'épaisseur de 10 à 20 μm . Généralement elles sont ajoutées à des résines dans des applications électriques ou électroniques leurs rôles est d'améliorer les propriétés diélectriques, la rigidité mécanique, mais aussi la tenue aux agents chimiques

II.3.2. Charges non renforçantes

Permettent de diminuer le coût des résines tout en gardant les performances. Les principales charges sont en carbonates et silicates (les silices).

On a aussi les charges ignifugeantes qui ont pour rôle de réduire ou d'empêcher les phénomènes de combustion. Par exemples l'hydrate d'alumine, l'oxyde d'antimoine.

II.3.3. Charges conductrices et antistatiques

- Poudre ou paillettes métalliques en cuivre, fer, aluminium
- Des microbilles de verre métallisées (cuivre argent)
- Des particules de carbone (noir de carbone)
- Des filaments métalliques

II.4. Additifs

Ils sont ajoutés à faibles quantités, et interviennent comme :

- Accélérateurs de polymérisation ;
- Lubrifiants et agents de démoulage ;
- Agents anti-retraits ;
- Agents anti-ultraviolets
- Pigments et colorant

II.5. Le rôle des charges et des renforts

Les charges et les renforts favorisent la pénétration des réactifs chimiques ; la fibre de verre E et la fibre de Kevlar en particulier favorisent la pénétration par capillarité, souvent c'est la charge ou le renfort qui est attaqué par le réactif avant la résine, ainsi que le verre et le Kevlar en particulier sont sensibles à l'hydrolyse.

II.6. Architecture des matériaux composites [12]

Les définitions suivantes sont utilisées pour comprendre les différentes architectures Des composites.

- **Renfort unidirectionnel** : Fibres de renforcement longues disposées dans une Seule direction (sauf indication contraire, le renfort est supposé continu).
- **Tissus** : Assemblage de mèches entrelacées.
- **Renfort dispersé** : Fibres disposées sans direction préférentielle, ou réparties Aléatoirement sur une surface (sauf indication, les fibres sont supposées coupées et de Quelques centimètres de longueur) – autre dénomination mat.
- **Pli** : Nappe élémentaire dans la constitution d'un stratifié.
- **Couche** : Ensemble de plis identiques empilés dans la même direction.

II.6.1. Composite Stratifiés [3].

Les stratifiés sont constitués de couches successives de renforts (fils, stratifiés, mats...etc.) Imprégnées de résine, orientées de façon quelconque les unes par rapport aux autres (Figure II.3)

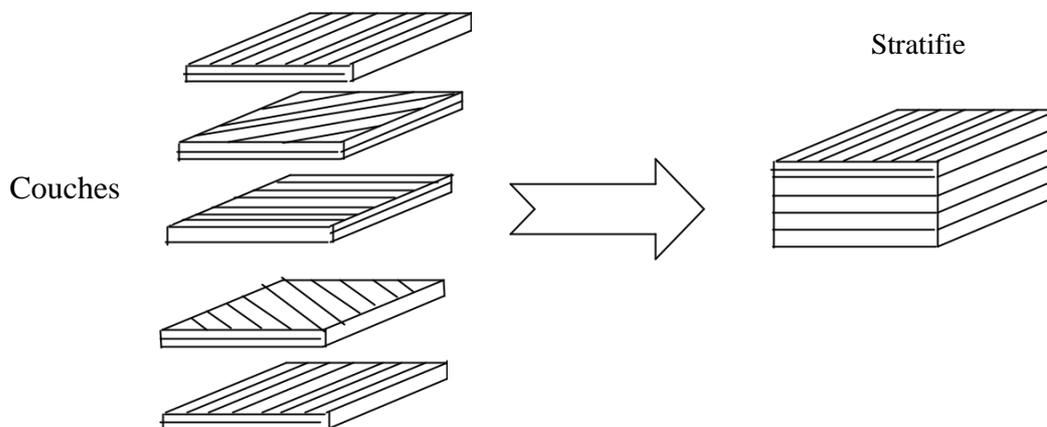


Figure. II.3 : Constitution d'un stratifié

Les avantages des stratifiés résident dans la possibilité d'adopter et de contrôler l'orientation des fibres pour que le matériau résiste à des sollicitations déterminées dans des meilleures conditions.

I I.6.1.1. Plan moyen

C'est par définition le plan qui sépare en deux moitiés l'épaisseur du stratifié Le Plan moyen a par convention pour côté $Z = 0$ (Figure II.4)

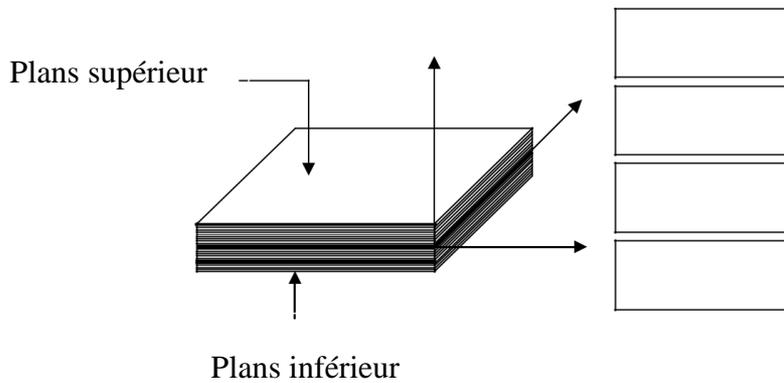


Figure. II.4 : Repérage du plan moyen

I.6.1.2. Code de représentation d'un stratifié

Le codage se fait comme suit : depuis le pli extrême de coté $Z < 0$ jusqu'au pli extrême Décoté $Z > 0$

- Chaque pli est repéré par son orientation
- Les plis successifs sont séparés par (/)
- Lorsque plusieurs plis de même direction sont groupés, un chiffre en indice Indique le nombre de plis identiques

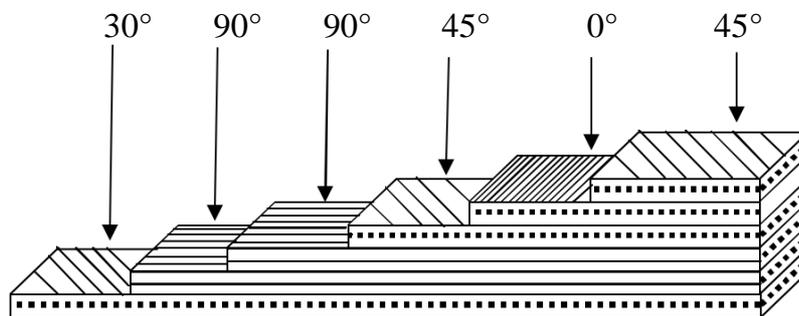


Figure II.5 : Désignation d'un stratifié

II.6.2. Stratifié hybride

Ce dernier comporte au moins deux renforts de nature différente par exemple verre et carbone ou tissus mixtes à tissage de fils de natures différentes : verre et aramide. Dans l'ensemble, leurs propriétés sont plus avantageuses que celles des composites à un seul type de fibres.

II.6.3. Composites sandwichs [13]

Le principe de la technique sandwich consiste à appliquer sur une âme (constituée d'un matériaux ou d'une structure légère possédant de bonnes propriétés en compression),

Deux « feuilles » ou peaux (possédant de bonnes caractéristiques en traction) ; l'objectif

D'un tel procédé est de constituer une structure permettant de concilier légèreté et rigidité.

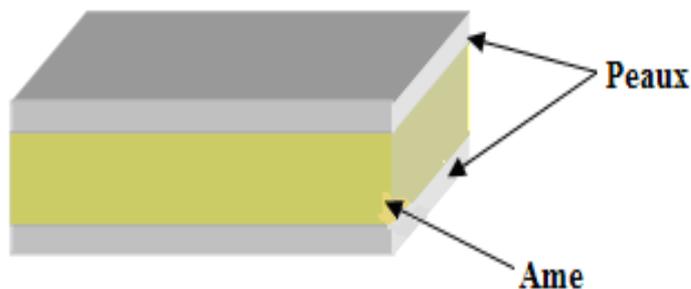
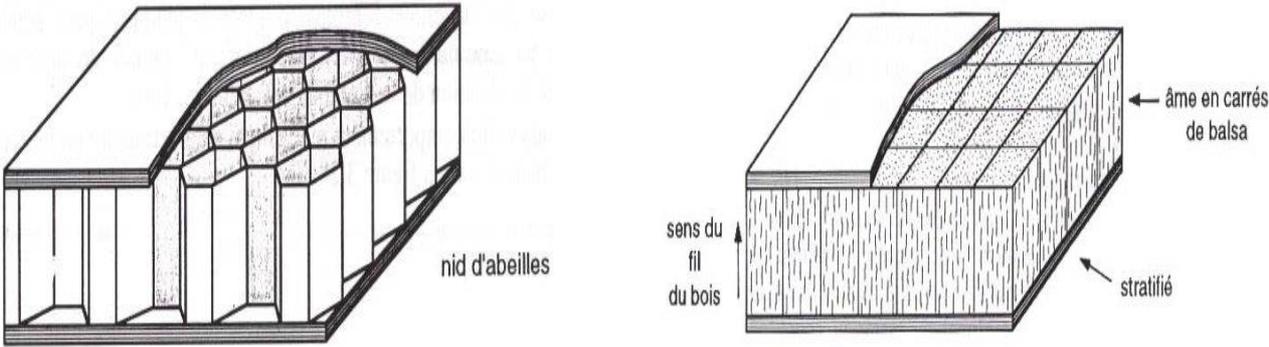


Figure II.6.Structure en sandwich

Les âmes peuvent être pleines (bois, mousse, ... etc.) ou creuses (alliages métalliques, léger, Papier, ... etc.). Les peaux sont des stratifiés ou des feuilles d'alliages légers.

Il existe encore d'autres architectures :

- Les plastiques renforcés (avec des fibres courtes, des billes ou des poudres)
- Les composites volumiques (élaborés à partir de tissages volumique)



a) creuse

b) pleine

Figure II.7.Sandwich à âme

Chapitre III :

Simulation numérique d'un essai de traction

III.1. Introduction

Les matériaux composites occupent une place de plus en plus importante dans la réalisation de structures à hautes performances mécaniques (aérospatiale, aéronautique, automobile, biomécanique,...). De telles utilisations doivent nécessairement s'accompagner d'une bonne connaissance du comportement du matériau, de manière à déterminer et à choisir le type de renforcement qui permet d'avoir des propriétés mécaniques de façon optimale. A cet effet, nous avons effectué une étude comparative entre deux matériaux composite, alliage d'aluminium type AU4G et fibre de carbone type AS4C (3000 filaments).

III.2. simulation numérique sur une éprouvette d'aluminium

Sur solide Works on a effectué un test de compression sur une éprouvette d'aluminium type AU4G selon les mesure suivant (L=250mm, l=30mm, e=10mm) on' à applique une pression de 30 MPA sur l'axe OX.

Propriétés du matériau :

Propriétés	Valeurs	Unité
Module d'élasticité	73000	N/mm ²
Coefficient de poisson	33000	MPA
Module de cisaillement	28000	N/mm ²
Masse volumique	2800	Kg/ m ³
Limite de traction	186.13	N/mm ²
Limite de compression		N/mm ²
Limite d'élasticité	75.83	N/mm ²
Coefficient de dilatation Thermique	2.3e-005	/K
Conductivité thermique	140	W/(M.k)
Chaleur spécifiques	800	J/(Kg.K)

Tableau.III.1 : Les principales propriétés d'aluminium AU4G

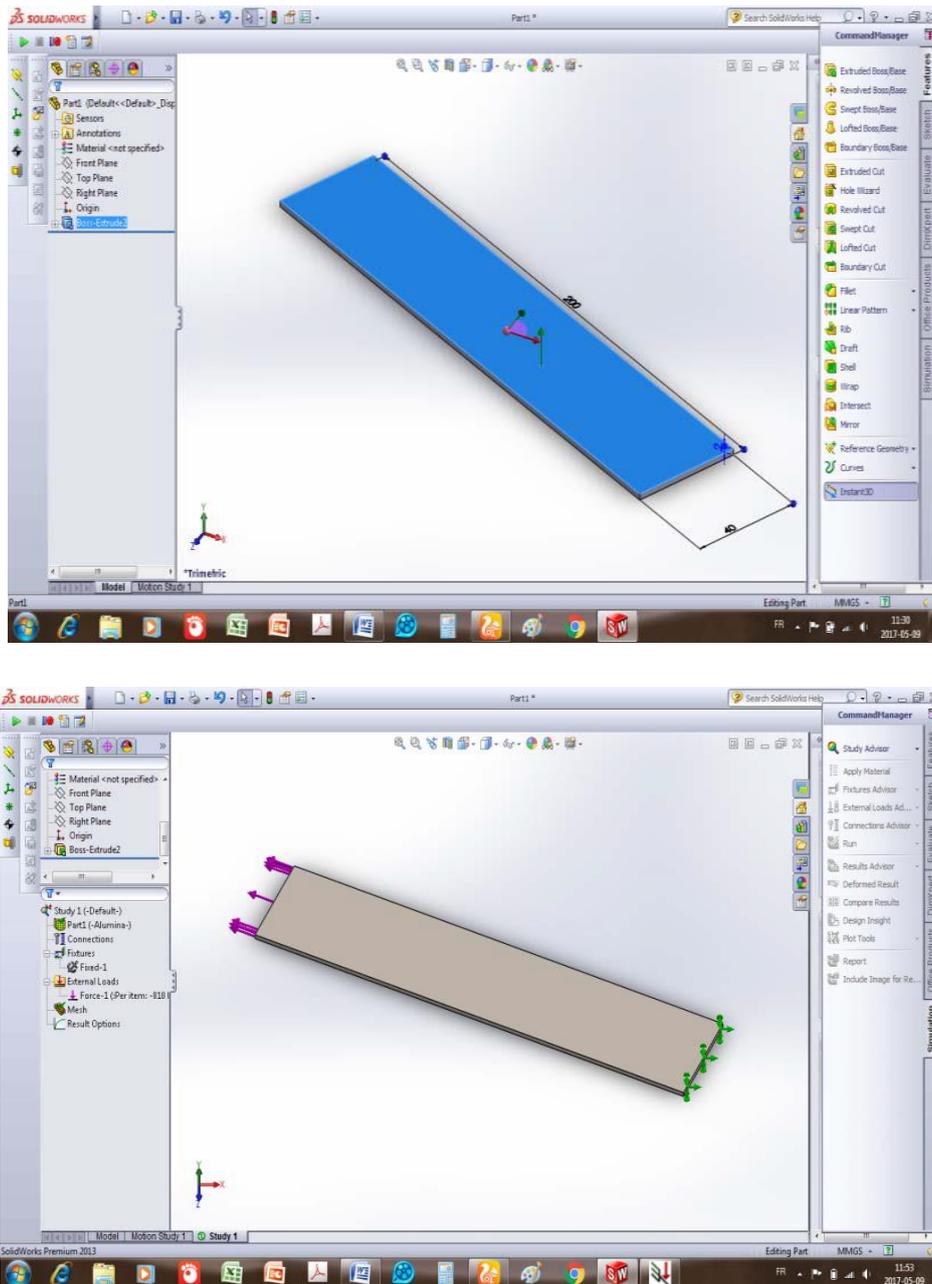


Figure.III.1 : simulation sur solide Works d'une éprouvette en alliage d'aluminium type AU4G

III.3. Les résultats des Simulation:

Simulation de la traction avec une force de $F=30\text{MP}$ sur l'éprouvette. On a obtenu les résultats suivants:

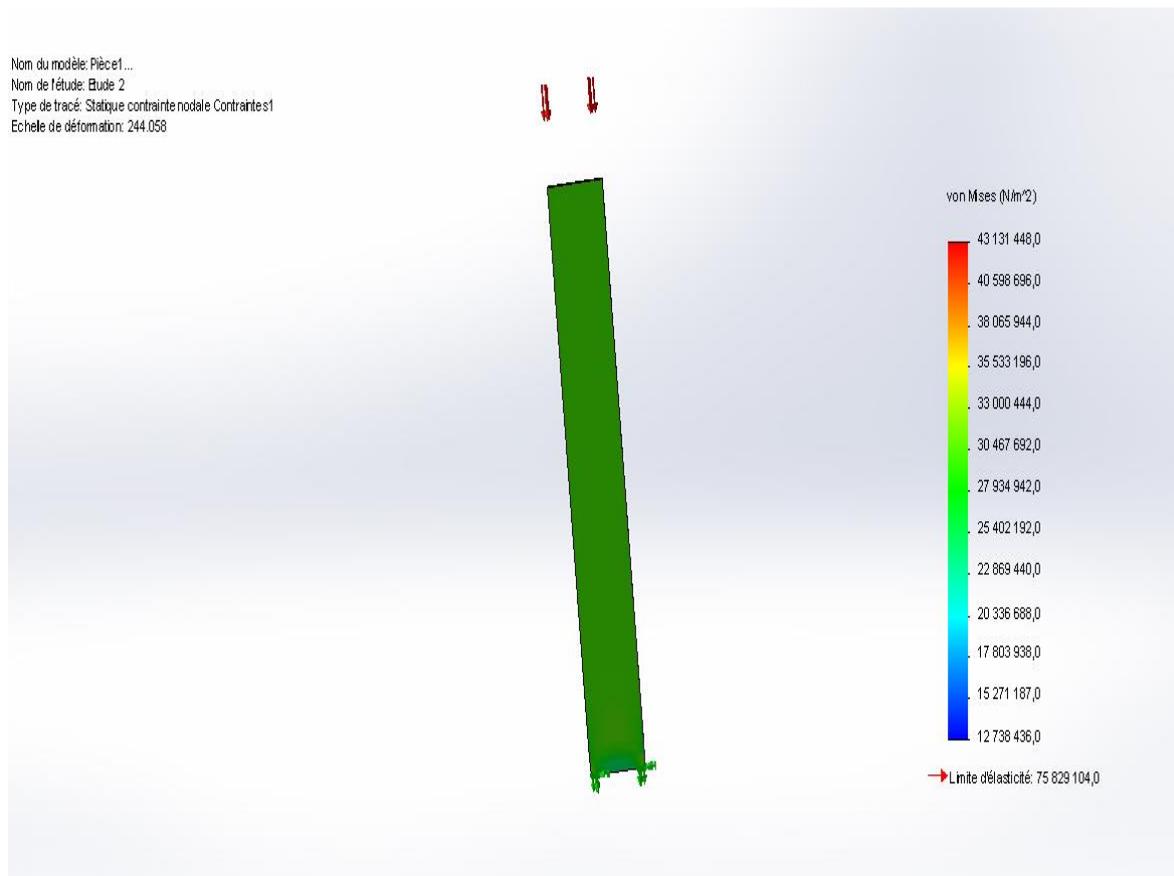


Figure.III.2: Simulation des contraintes du matériau sous l'effet des forces appliquées.

La répartition des contraintes équivalentes sont représentées dans le schéma central de la Figure. III.2, pour les nœuds de la structure situés aux bords arrondis de l'éprouvette.

Les Flèches vertes représentent les points de fixation de l'éprouvette et les flèches roses représentent le chargement de charges externes de 30 MPA

La contrainte de Von Mises minimale est de 1.3 MPA et 43.13 MPA pour la contrainte maximale, notre éprouvette est comprise dans un intervalle de tolérance très large alors il Supporte toute les contraintes et les charge appliquent par notre force car la limite d'élasticité du matériaux et de 75 MPA.

D'après les caractéristiques du matériau utilise on a conclue que notre éprouvette reste dans le domaine élastique vu que 43 MPA est inferieur a 75 MPA (limite d'élasticité du matériau).

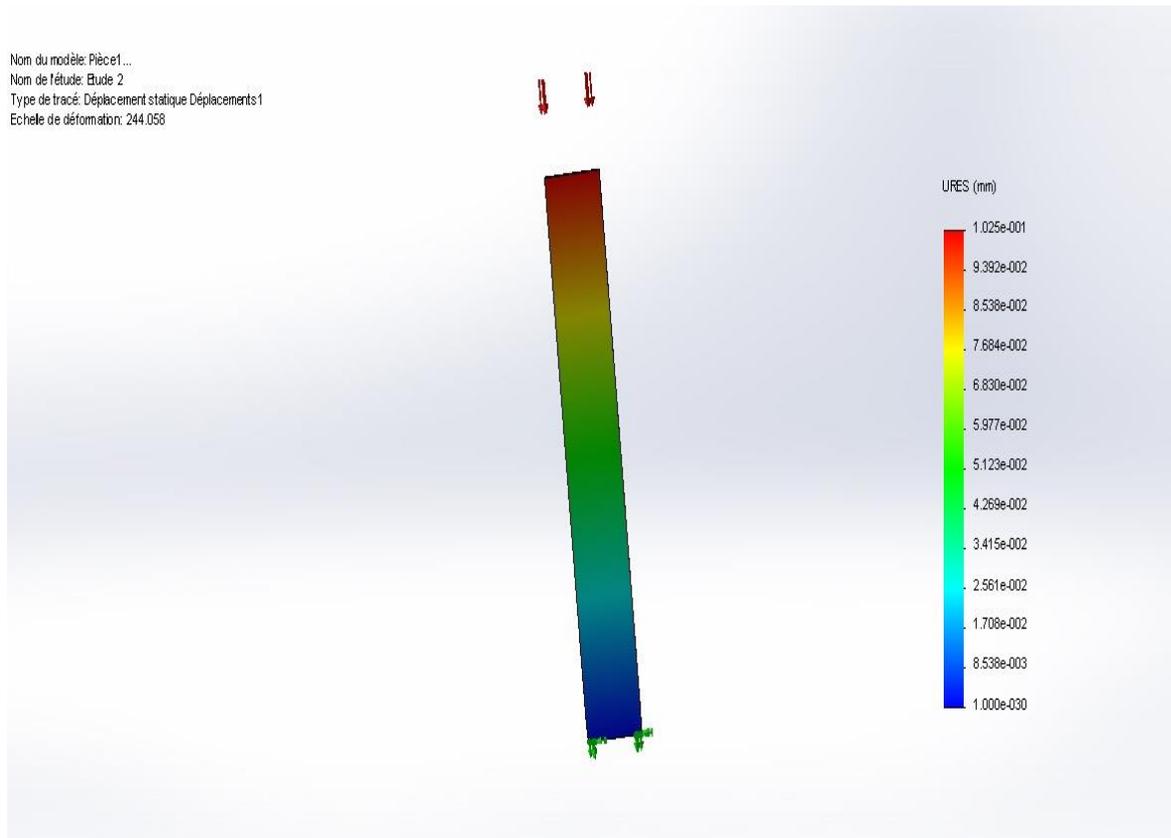


Figure.III.3:Simulation des déplacements du matériau sous l'effet des forces appliquées.

La répartition du déplacement selon l'axe ox est représentée en Figure.III.3, le déplacement maximal de l'éprouvette est $1,025 \times 10^{-1}$ mm dans la zone rouge le déplacement minimale est près que nulle avec 1×10^{-3} sur la zone bleu la partie de fixation de l'éprouvette.

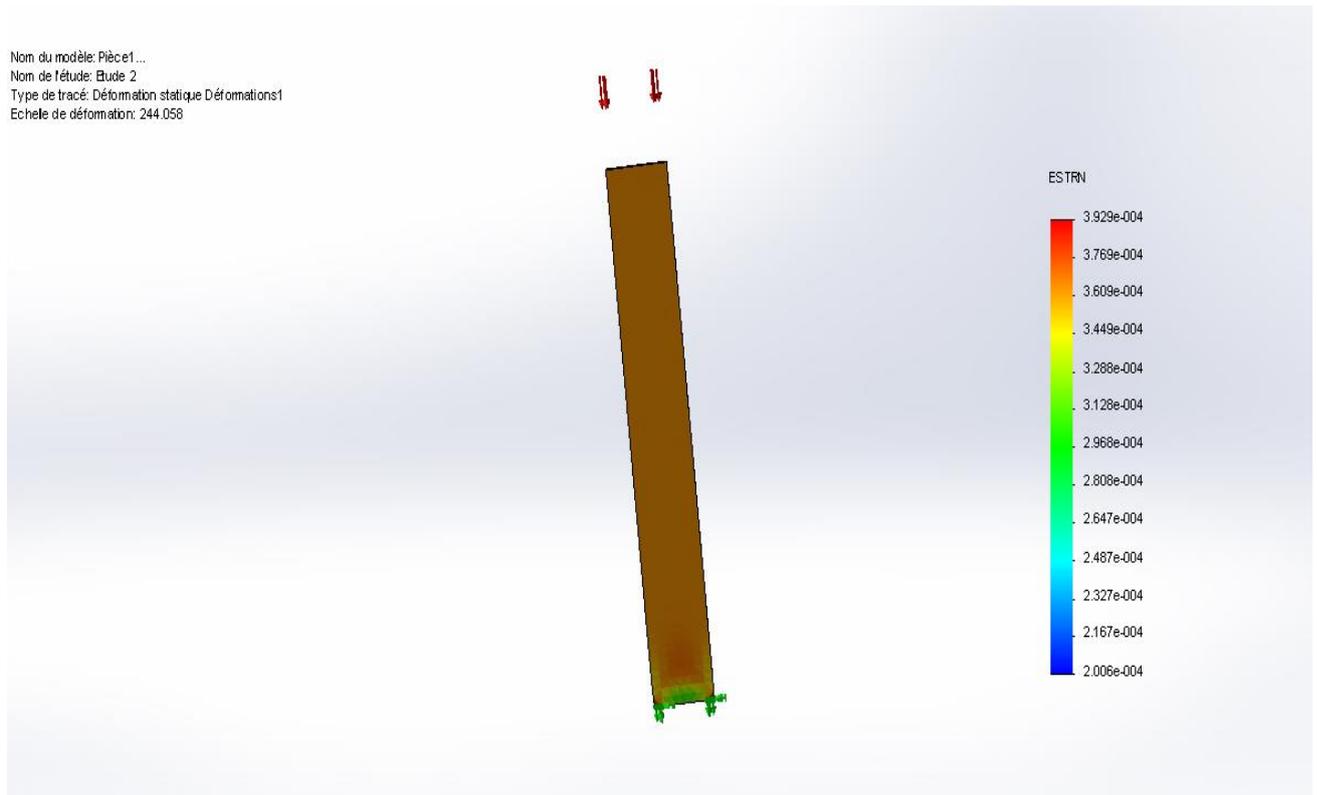


Figure.III.4:Simulation des déformations du matériau sous l'effet des forces appliquées.

La répartition des déformations spécifiques ESTRN est représentée dans le diagramme de la Figure. III.4, et leurs valeurs sont entre $2.005 \cdot 10^{-4} \mu\text{m}/\text{mm}$ et $3,929 \cdot 10^{-4} \mu\text{m}/\text{mm}$. en remarque que la rupture de l'éprouvette se fera au niveau de la zone rouge le lieu de la force appliquée

III.4. simulation numérique sur une éprouvette de fibre de carbone

un test de compression $f=30$ MPA est effectuée sur une éprouvette de fibre de carbone avec un renfort de type AS4C (3000 filaments) selon les mesures suivantes : (L=250mm, l=30mm, e=10mm) avec différents nombres de plis (4,6,8) d'épaisseur de 0,10mm sur l'axe OX.

Propriétés du matériau :

Propriété	Valeur	Unité
Module d'élasticité	70000	N/mm ²
Coefficient de poisson	10000	MPA
Module de cisaillement	5000	N/mm ²
Masse volumique	1600	Kg/ m ³
Limite de traction	600	N/mm ²
Limite de compression		N/mm ²
Limite d'élasticité	90	N/mm ²
Coefficient de dilatation Thermique	2.1	/K
Conductivité thermique	6	W/(M.k)
Chaleur spécifiques	1386	J/(Kg.K)

Tableau.III.2 : Les principales propriétés de fibre de carbone

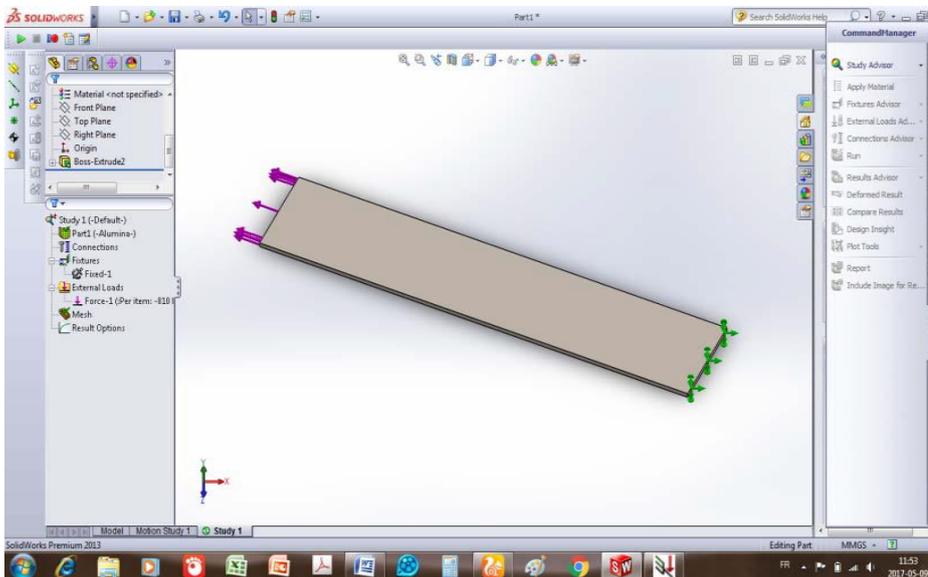
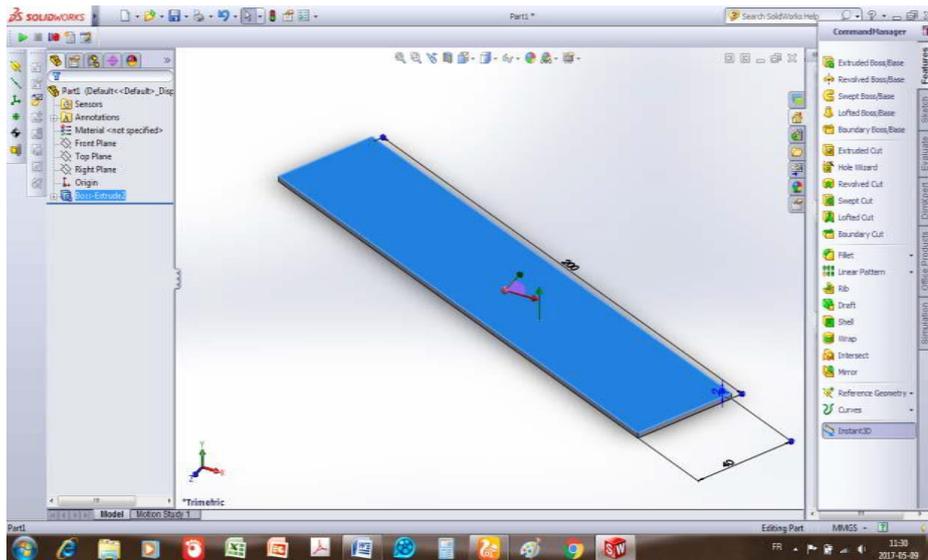


Figure.III.5 : simulation sur solide Works d'une éprouvette en fibre de carbone

Etape 1 : Pour un nombre de plis (4) on obtient les résultats suivants :

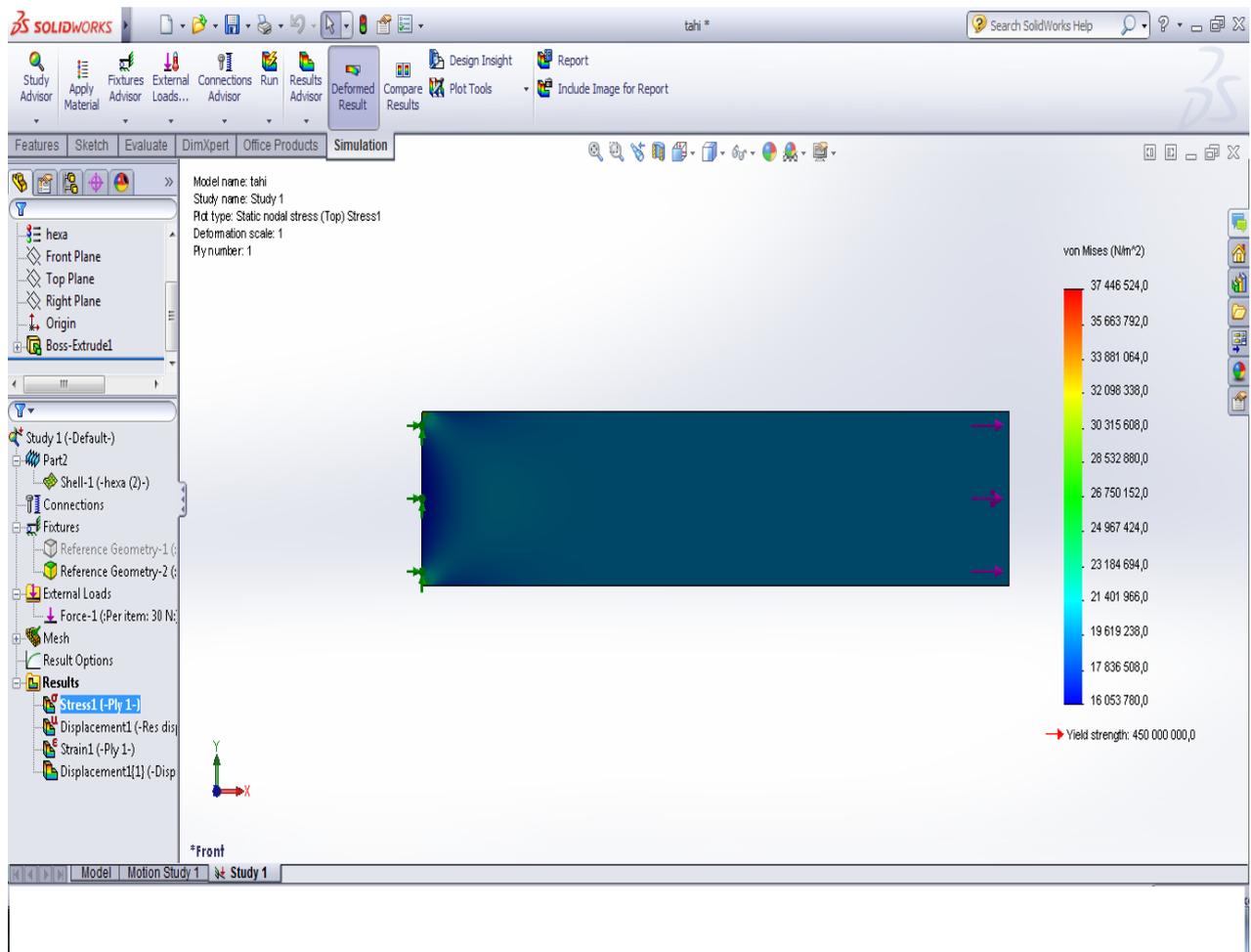


Figure.III.6: Simulation des contraintes du matériau sous l'effet des forces appliquées.

La répartition des contraintes équivalentes est représentée dans le schéma central de la Figure. III.6, pour les nœuds de la structure situés aux bords arrondis de l'éprouvette.

Les flèches vertes représentent les points de fixation de l'éprouvette et les flèches roses représentent le chargement de charges externes de 30 MPa.

La contrainte de Von Mises minimale est de 16.05 MPa et 37.44 MPa pour la contrainte maximale, notre éprouvette est comprise dans un intervalle de tolérance très large alors il

supporte toutes les contraintes et les charges appliquées par notre force car la limite d'élasticité du matériau est de 450 MPa.

D'après les caractéristiques du matériau utilisé, on a conclu que notre éprouvette reste dans le domaine élastique vu que 37,4 MPa est inférieur à 450 MPa (limite d'élasticité du matériau).

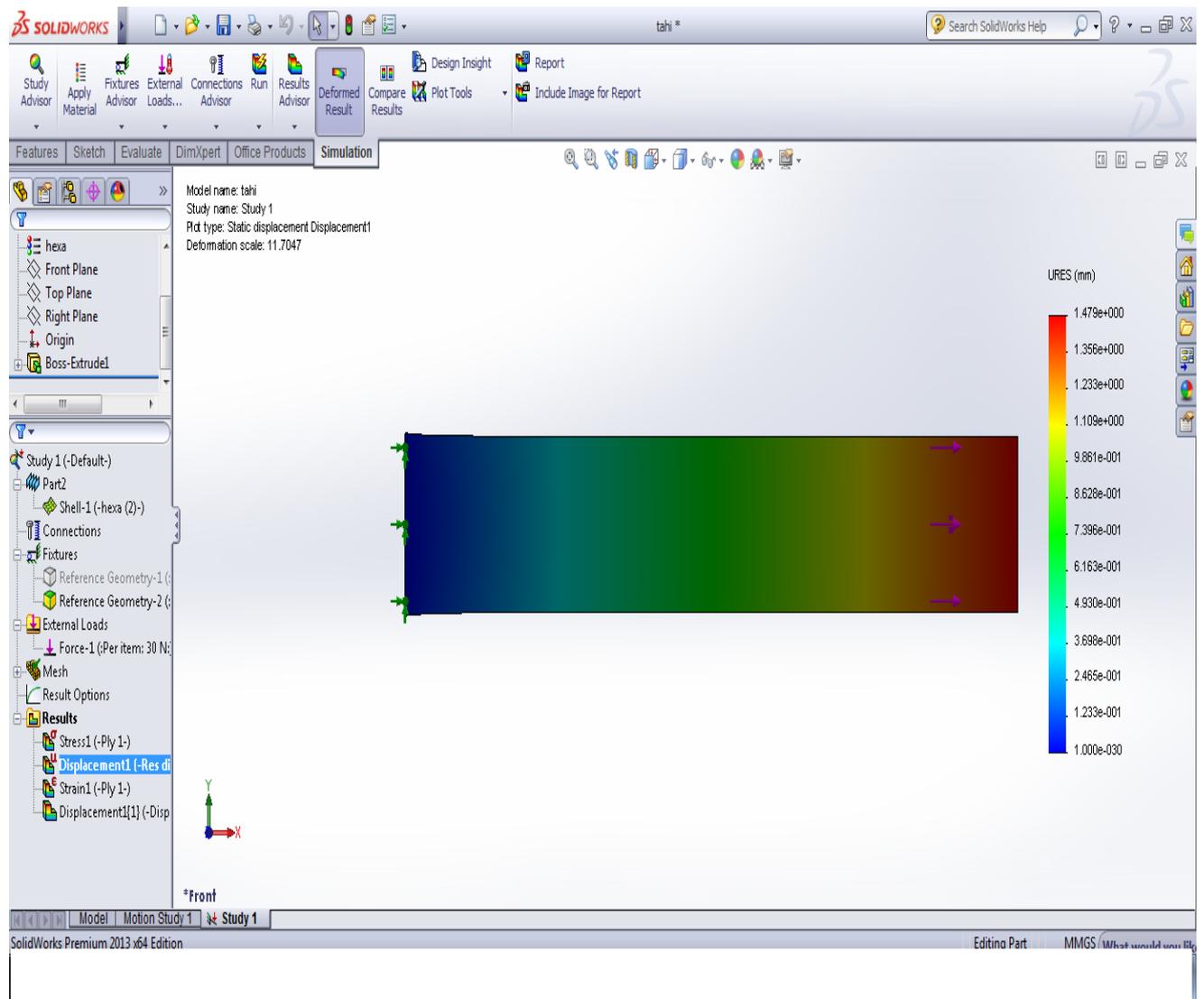


Figure.III.7:Simulation des déplacements du matériau sous l'effet des forces appliquées

La répartition du déplacement selon l'axe ox est représentée en Figure.III.7, le déplacement maximal de l'éprouvette est $1,479 \times 10^{-1}$ mm dans la zone rouge le déplacement minimale et perçe que nulle avec 1×10^{-3} sur la zone bleu la partie de fixation de l'éprouvette.

Etape 2 : Pour un nombre de plis (6) on obtient les résultats suivants :

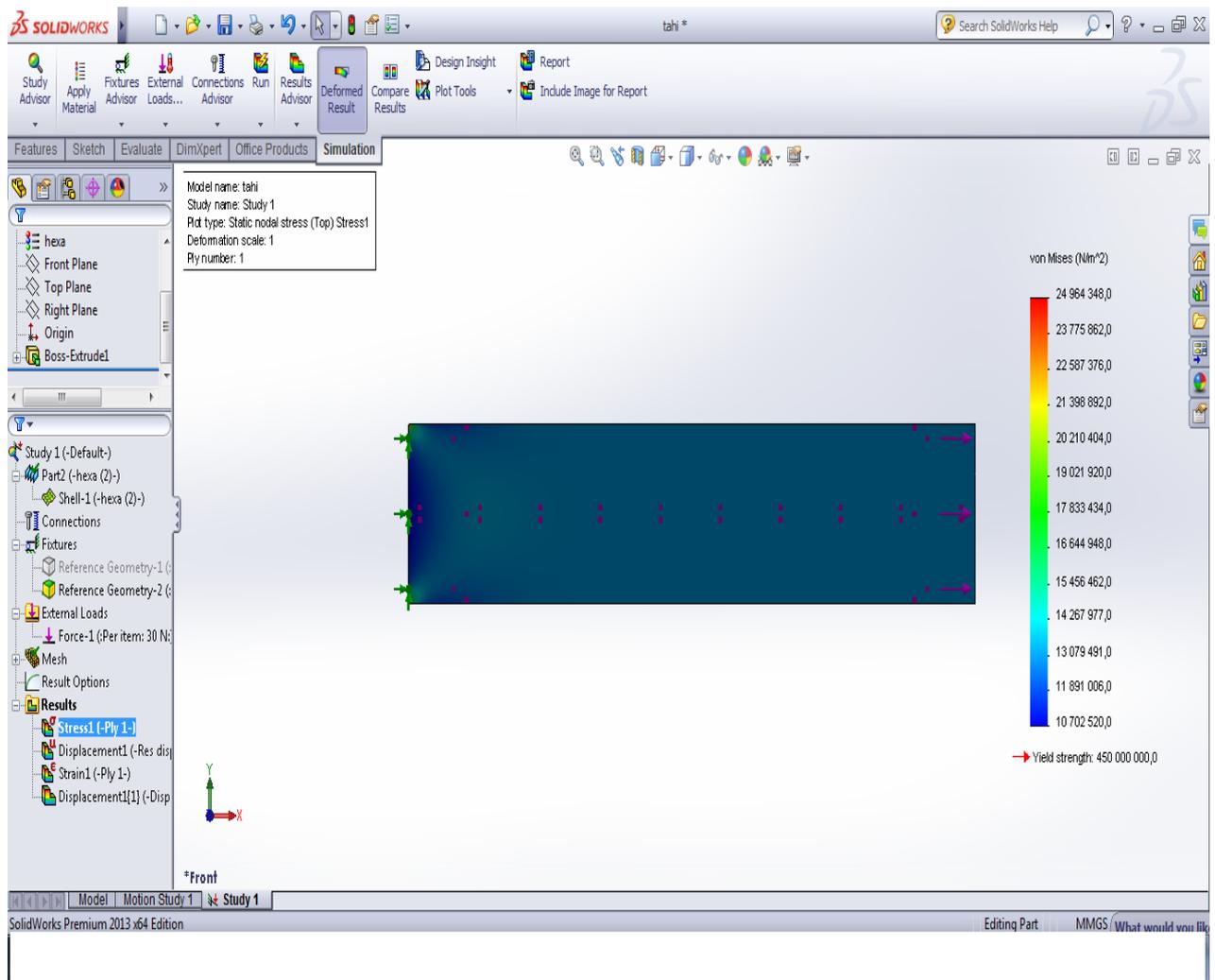


Figure.III.8: Simulation des contraintes du matériau sous l'effet des forces appliquées.

La répartition des contraintes équivalentes est représentée dans le schéma central de la Figure. III.8, pour les nœuds de la structure situés aux bords arrondis de l'éprouvette.

Les flèches vertes représentent les points de fixation de l'éprouvette et les flèches roses représentent le chargement de charges externes de 30 MPa.

La contrainte de Von Mises minimale est de 10.70 MPa et 24.96 MPa pour la contrainte maximale, notre éprouvette est comprise dans un intervalle de tolérance large alors il supporte toutes les contraintes et les charges appliquées par notre force car la limite d'élasticité du matériau est de 450 MPa. D'après les caractéristiques du matériau utilisé, on a conclu que notre éprouvette reste dans le domaine élastique vu que 25 MPa est inférieur à 450 MPa (limite d'élasticité du matériau).

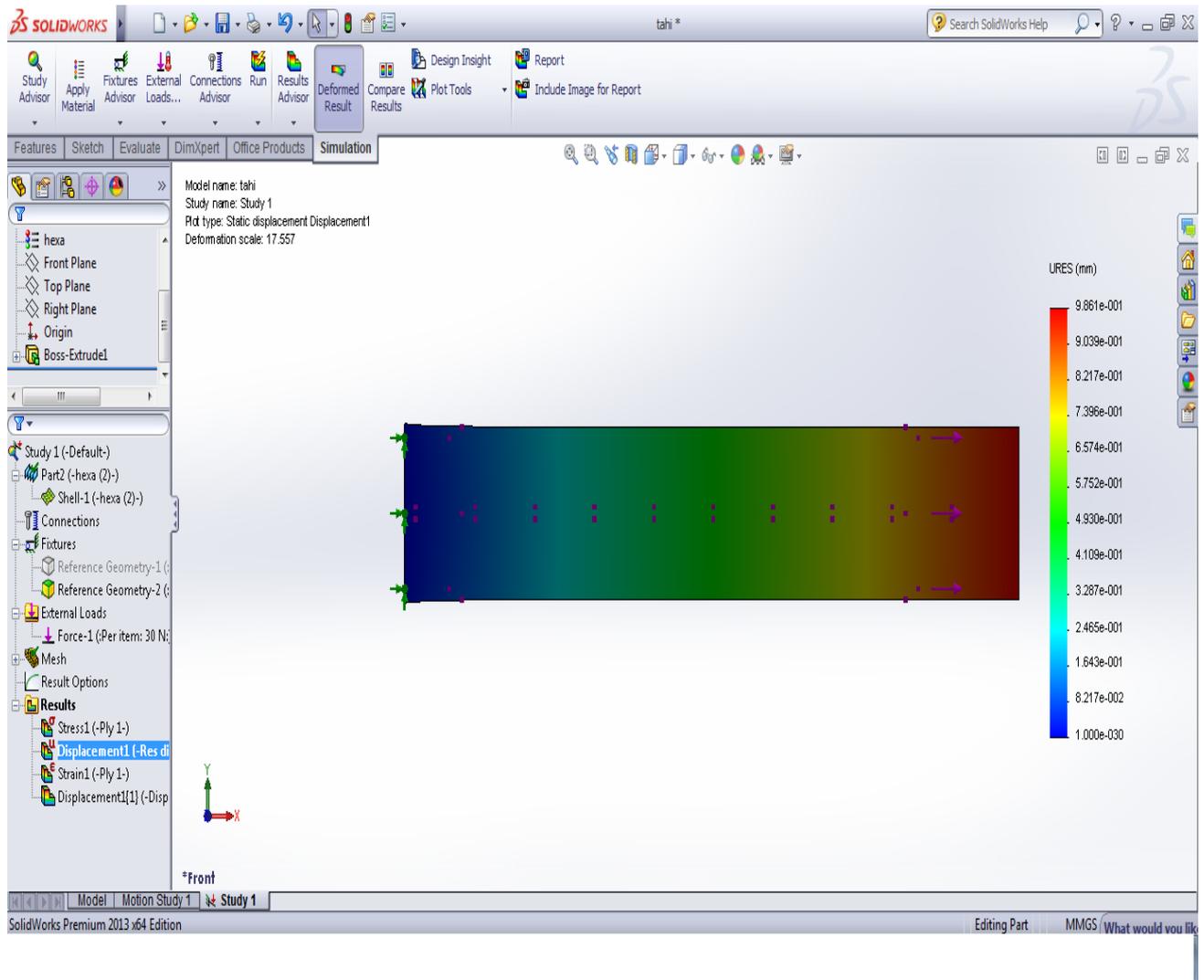


Figure.III.9:Simulation des déplacements du matériau sous l'effet des forces appliquées.

La répartition du déplacement selon l'axe ox est représentée en Figure.III.9, le déplacement maximal de l'éprouvette est $9,86 \times 10^{-1}$ mm dans la zone rouge le déplacement minimale et perçue que nulle avec 1×10^{-3} sur la zone bleu la partie de fixation de l'éprouvette.

Etape 3 : Pour un nombre de plis (8) on obtient les résultats suivants :

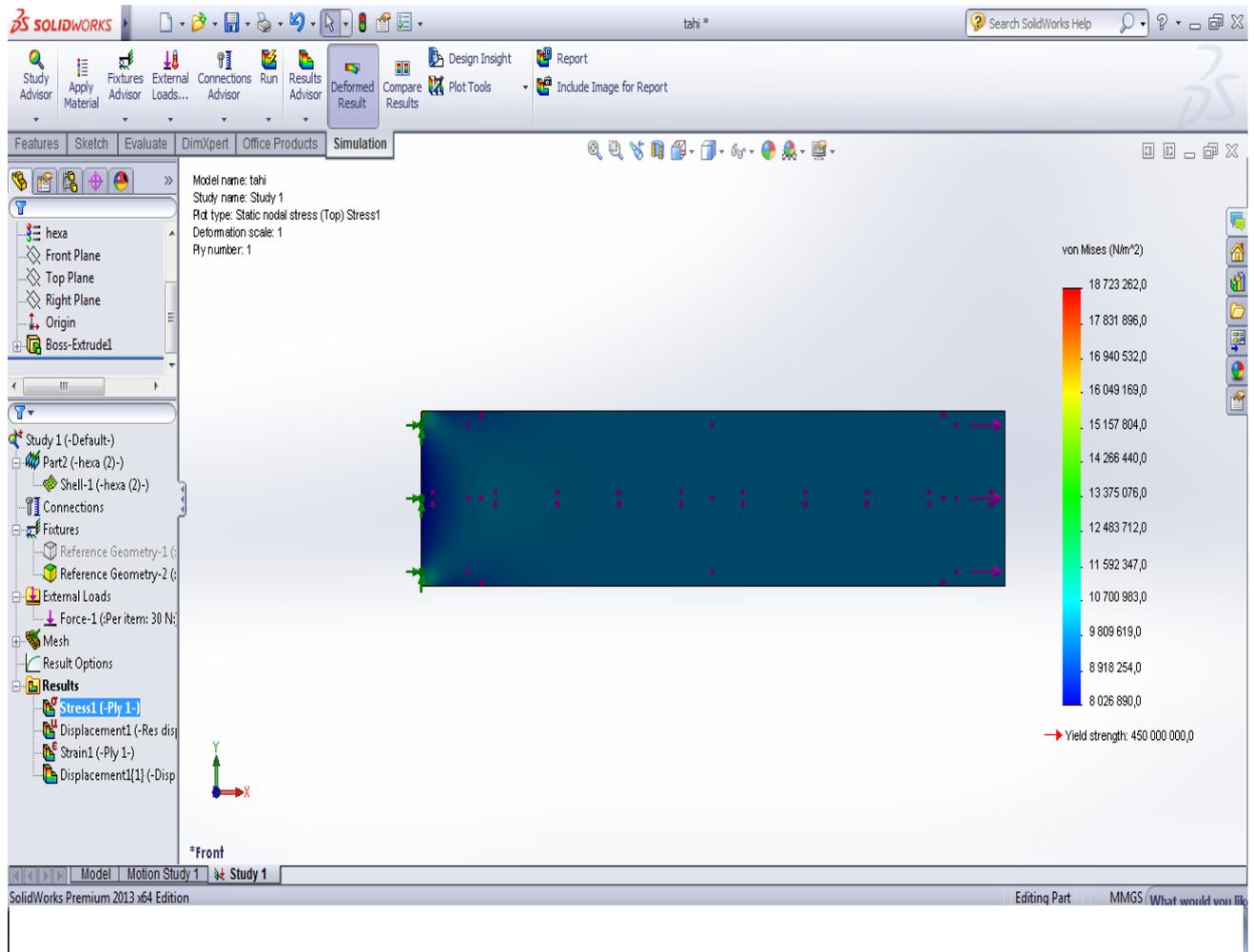


Figure.III.10: Simulation des contraintes du matériau sous l'effet des forces appliquées.

La répartition des contraintes équivalentes est représentée dans le schéma central de la Figure. III.10., pour les nœuds de la structure situés aux bords arrondis de l'éprouvette.

Les flèches vertes représentent les points de fixation de l'éprouvette et les flèches roses représentent le chargement de charges externes de 30 MPa.

La contrainte de Von Mises minimale est de 8.03 MPa et 18.72 MPa pour la contrainte maximale, notre éprouvette est comprise dans un intervalle de tolérance large alors il supporte toutes les contraintes et les charges appliquées par notre force car la limite d'élasticité du matériau est de 450 MPa.

D'après les caractéristiques du matériau utilisé, on a conclu que notre éprouvette reste dans le domaine élastique vu que 19 MPa est inférieur à 450 MPa (limite d'élasticité du matériau).

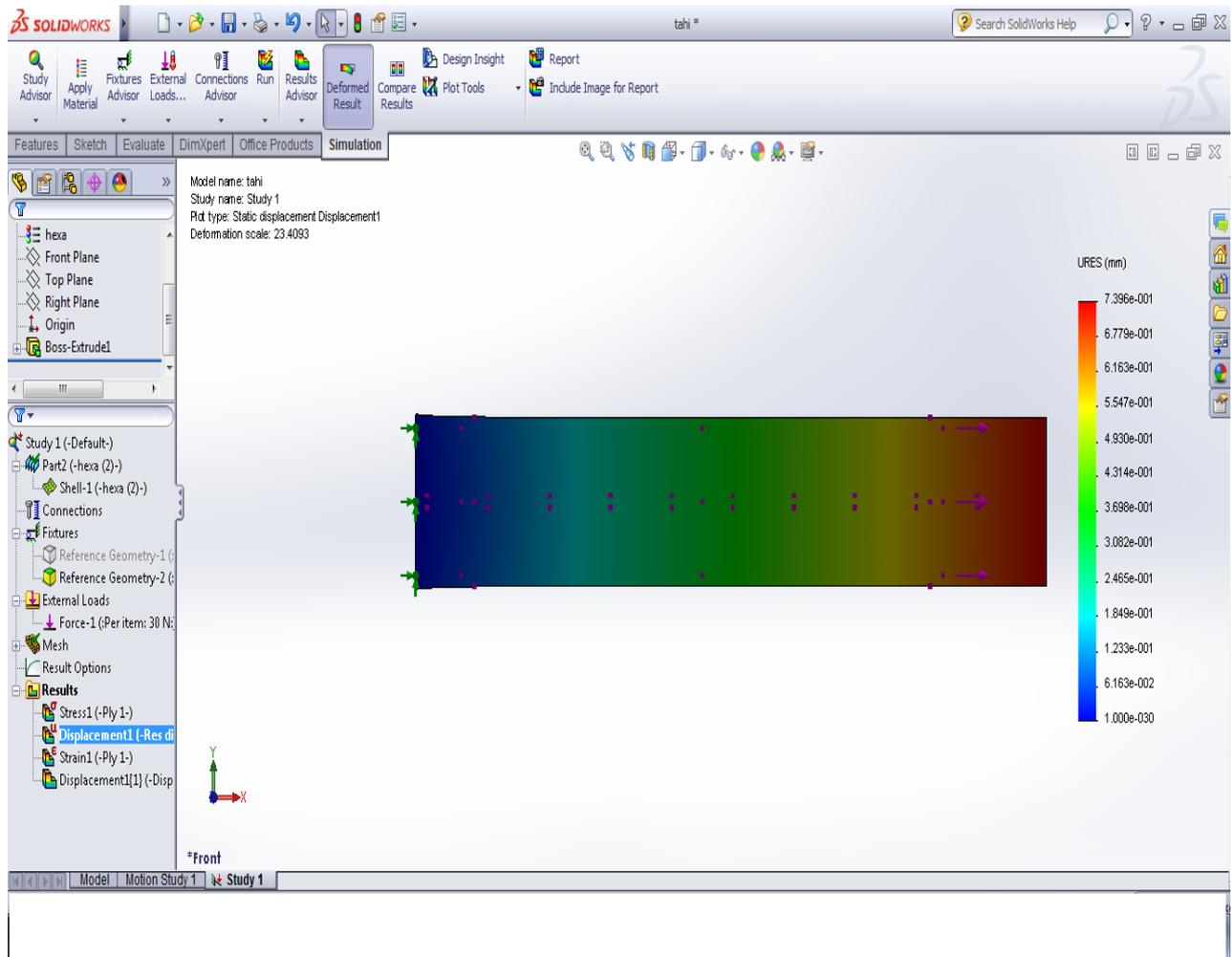


Figure.III.11:Simulation des déplacements du matériau sous l'effet des forces appliquées

La répartition du déplacement selon l'axe ox est représentée en Figure.III.11, le déplacement maximal de l'éprouvette est $7,40 \times 10^{-1}$ mm dans la zone rouge le déplacement minimale et perçe que nulle avec 1×10^{-3} sur la zone bleu la partie de fixation de l'éprouvette.

III.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les résultats expérimentaux de l'essai de traction, de la simulation avec Solide Works et par corrélation d'images.

Les résultats obtenus par simulation pour la même force nous ont permis de déduire la différence entre les deux matériaux car l'aluminium est le matériau le plus utilisé dans le domaine des orientations préférentielles d'un matériau composite pour sa faible densité et ces contraintes.

Conclusion Générale

Conclusion général

Conclusion générale

L'objectif de ce projet de fin d'étude est de traiter l'étude des orientations préférentielles d'un renfort dans un matériau composite. De ce fait, la plus grande partie de ce travail est réservée à la littérature relative au domaine (matrice+renforts) et particulièrement les fibres.

Elaboration d'une étude approfondie des charges et l'architecture de ses matériaux sur les différents types de renforts.

Une simulation numérique a été effectuée sur deux éprouvettes de différents matériaux avec le logiciel de solide Works. Les comportements mécaniques expérimentaux obtenus sont linéaires élastiques dénotant une variation légère des modules d'élasticité à la compression des éprouvettes testées. Une dispersion des résultats a été observée pour les valeurs des contraintes à la rupture et des modules d'élasticité en compression. Elle est liée principalement au mode de mise en œuvre des stratifiés, au taux de fibre et à leur disposition dans la structure des matériaux.

Enfin, nous espérons que ce modeste travail sera une référence pour d'autres projets de fin d'étude et aussi un point de départ pour entamer d'autres études dans la vie professionnelle.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] LAAZIZ. K, introduction aux modélisations et aux méthodes de calcul des matériaux composites, mémoire de magister, université des sciences et technologie d’Tizi-Ouzou, 2010
- [2] P. JACQUINET, Utilisation de matériaux composites, Ed. HERMES. Paris 1991
- [3] J-Marie BERTHLOT, Matériaux composites, Comportement mécanique et analyse des structures, 4^{ème} édition, Ed TEC&DOC, Lavoisier, 2005
- [4] G. CHRETIEN. Matériaux composites à matrice organique, Technique et Documentation, Edition EYROLLES 1986
- [5] J-Paul BAILON ET J-M. DORLOT, Des matériaux, 3eme édition, école Polytechnique de Montréal, 2000
- [6] R.QUATRE MER, J-P TRTIGNON, M.DEJANS ET H.LEHU. Construction mécanique, Edition NATHAN, 1996
- [7] D.GAY, Matériaux composites, 3^{ème} Edition revue et augmentée, HERMES, 1991
- [8] M.DJELIL, Caractérisation mécanique et physicochimique de matériaux composites à matrice organique dans les prothèses, Mémoire de magister, université des sciences et technologie d’Oran, 2006
- [9] L-B. Bertrand de Maillard, L’industrie française des matériaux composites, Etude stratégique réalisée par pour le compte de la DiGITIP / SIM. Rév. 2 du 13 mai 2002 Stanislas, Nösperger 17 décembre 2001.
- [10] M. REYNE, Technologie des composites, Ed. HERMES. Paris 1990
- [11] J-W.Claude BORD, Les matériaux composites T1 et T2, Ed. De l’usine nouvelle, 1991
- [12] J-M. BERTHELOT, Comportement mécanique et analyse des structures de matériaux composites Ed. Masson. Paris 1992
- [13] D.GAY, Matériaux composites 4e édition revue et augmentée, Ed. HERMES, 1997

Résumé

Les matériaux composites occupent une place de plus en plus importante dans la Réalisation de structures à hautes performances mécaniques (aérospatiale, aéronautique, automobile.....) L'objectif de notre travail est axé en premier lieu sur l'orientation préférentielle d'un renfort dans un matériau composite, les différentes caractéristique du matériau, la matrice, les Renforts, et les fibres.

Dans la deuxième partie nous avons essentiellement parlé sur les principaux types de renforts des matériaux composites

La dernière partie a été consacrée a' un teste de simulation numérique d'un essai de traction sur deux éprouvette de déférente matériaux a fian de détermine les qualités du matériau et leur résistance a la compression.

Summary

The composites materials occupy an increasing significant place in the realization of Structures of high material performances (aerospace, aeronautical, automobile...).

The objective of our work is focused primarily on the preferential orientation of Reinforcement in a composite material, the different characteristics of the materials, the matrix, the reinforcements, and the fibres In the second part we mainly talked about the main types of reinforcements of composite materials

The last part was devoted to a numerical simulation test of a tensile test on two specimens of different materials in order to determine the qualities of the material and their resistance to compression.

الملخص

تحتل المواد المركبة مكانة متزايدة الأهمية في تحقيق الهياكل ذات الأداء الميكانيكي العالي (الفضاء والطيران والسيارات). يتركز هدف عملنا في المقام الأول على التوجهات التفضيلية لـ تقوية في مادة مركبة، الخصائص المختلفة للمواد المصنوفة، التعزيزات، والألياف

في الجزء الثاني تحدثنا بشكل أساسي عن الأنواع الرئيسية لتعزيزات المواد المركبة

تم تخصيص الجزء الأخير لاختبار المحاكاة العددية لاختبار الشد على عينتين من مواد مختلفة لتحديد صفات المادة ومقاومتها للضغط