

Les matériaux composites dans l'aéronautique sont-ils bénéfiques ou nuisibles ?

Sujet 30 de NP90

Rouyer Rémy
Boquillon Alexandre
Sengel Nicolas

Université de Technologie de Compiègne
A2024



Table des matières

1	Introduction	2
2	Qu'est ce qu'un matériau composite ?	3
2.1	Définition	3
2.2	De quoi se compose un matériau composite ?	3
2.3	L'histoire du matériau composite :	4
3	Avantages et inconvénients théoriques	5
3.1	Les avantages :	5
3.2	Les inconvénients :	5
4	Mesures	7
4.1	Méthodologie	7
4.2	Analyse des résultats	7
4.2.1	Résistance à la traction (force maximale avant rupture)	8
4.2.2	Allongement maximal avant rupture	9
4.3	Perspectives avec la masse des matériaux	9

Chapitre 1

Introduction

L'industrie aéronautique est en constante recherche de performance, de légèreté et d'efficacité dans tous les domaines. Elle s'appuie sur des avancées technologiques majeures pour repousser les limites de l'innovation. Parmi ces avancées, les matériaux composites se sont imposés comme des éléments essentiels dans la conception aéronautique moderne. Utilisés pour leur résistance exceptionnelle, leur légèreté et leur durabilité, ils permettent de réduire significativement le poids des appareils et, par conséquent, leur consommation de carburant. Cependant, ces matériaux ne sont pas que bénéfiques : leur fabrication, leur recyclabilité et leur comportement en cas de défaillance suscitent des interrogations. Cela soulève une question cruciale : les matériaux composites dans l'aéronautique représentent-ils un atout indéniable ou une source de défis potentiellement nuisibles pour l'avenir de l'industrie ?

Chapitre 2

Qu'est ce qu'un matériau composite ?

2.1 Définition

Un matériau composite est un matériau composé d'au moins deux matériaux différents. Lorsque l'on combine ces deux matériaux cela en crée un plus performant (plus résistant aux chocs ou encore à la chaleur), la combinaison de ces deux matériaux pour créer notre matériau composite permet l'utilisation des meilleures caractéristiques techniques de chaque matériau. Un exemple simple de matériau composite est un manteau d'hiver, en effet on utilise un tissu imperméable et une matière isolante comme de la laine, la combinaison de ces deux matériaux permet de créer un manteau imperméable et qui tient chaud.

2.2 De quoi se compose un matériau composite ?

- La Matrice ou résine :
 - La matrice entoure les renforts, leur donne forme désirée, les protège des agressions extérieures (comme l'érosion) et assure le bon transfert des efforts mécaniques entre les fibres du renfort.
 - Il existe trois types de matrice :
 - Les matrices polymères (ou organiques) :
 - Ce sont les matériaux les plus répandus, on retrouve notamment les thermoplastiques et les thermodurcissables comme la résine Epoxy ou encore le polypropylène. Ils sont utilisés pour des composites légers et résistants notamment pour faire des matériaux en aéronautique ou dans le domaine automobile.
 - Les matrices métalliques :
 - Ces sont des matrices composées de matériaux tels que l'aluminium ou le titane. Ils sont utilisés pour renforcer la résistance mécanique à haute température. Ils sont donc utilisés pour construire des moteurs ou des turbines.
 - Les matrices céramiques :
 - Ce sont des matrices constituées de matériaux comme l'oxyde d'aluminium ou le carbure de silicium. Ils résistent à des températures très élevées et à des environnements corrosifs. Ils sont donc utilisés pour des moteurs de fusées ou encore pour faire des boucliers thermiques dans les navettes spatiales.
 - Les renforts
 - Un renfort, dans un matériau composite, consiste en un élément structural (fibres, particules, tissus, etc.) qui est conçu pour apporter des propriétés spécifiques au matériau final, comme la résistance, la rigidité ou la légèreté.
 - Concrètement, il est constitué d'un matériau de haute performance, tel que :
 - Fibres : longues ou courtes, elles confèrent au composite des propriétés mécaniques précises. Exemple : fibres de carbone pour leur légèreté et leur solidité.

- Particules : elles augmentent la résistance à l'usure ou renforcent la matrice dans des domaines spécifiques. Exemple : les particules métalliques qui peuvent servir à augmenter la résistance mécanique et la conductivité thermique
- Tissus ou trames tissées : utilisés pour optimiser les propriétés dans plusieurs directions (multiaxialité). Exemple : Le tissu en fibre de verre utilisé dans des composites à matrice polymère pour des applications comme les carénages, les coques de bateaux ou les pales d'éoliennes.

2.3 L'histoire du matériau composite :

Les matériaux composites ont une longue histoire remontant à plusieurs milliers d'années.

En effet les premières traces de matériaux composites ont été retrouvés pendant l'Antiquité chez les Égyptiens utilisaient de la boue mélangée avec de la paille pour fabriquer des briques. La paille agissait comme un renforcement, réduisant les fissures et augmentant la durabilité. De plus ils utilisèrent des boîtes en carton et des couches de lin ou de papyrus imbibées de plâtre pour fabriquer des masques mortuaires.

Par la suite c'est en Asie sur les arcs médiévaux en Asie, comme les arcs composites mongols, qui combinaient différentes couches de bois, de corne et de tendons. Chaque matériau apportait des propriétés spécifiques, comme la flexibilité et la résistance à la traction.

Grace à la révolution industrielle les évolutions en terme de matériaux composites ont fortement avancées, en effet en 1849 Joseph Monier, un jardinier français, a inventé le béton renforcé avec des barres d'acier, donnant naissance à l'un des matériaux composites les plus utilisés. De plus en 1907 Léo Baekeland invente la première résine synthétique, la Bakélite, elle fut la première matière plastique fait de polymères synthétiques, cela a permis d'ouvrir la voie à des composites modernes.

Le développement rapide des sciences des matériaux et des matériaux modernes pendant le 20 siècle a permis la création de composites plus complexes. La fibre de verre ****dans les années 1930 utilisée avec des résines polymères pour produire des matériaux légers et résistants. Ensuite les fibres de carbone arrivées dans les années 1950 introduites pour des applications exigeant une résistance et une légèreté extrêmes, comme dans l'aéronautique. Par la suite les composites avancés, combinant des matrices polymères avec des fibres haute performance comme le Kevlar ou la céramique sont arrivées pour faire des matériaux encore plus résistants et efficaces.

Aujourd'hui les matériaux composites sont présents partout et de tous les niveaux d'exigences possibles, on peut en retrouver dans l'aéronautique, l'aérospatiale, l'automobile, la construction ou encore dans les sports et loisirs.

Chapitre 3

Avantages et inconvénients théoriques

3.1 Les avantages :

Les matériaux composites comportent de nombreux atouts qu'ils sont devenus indispensables dans notre quotidien :

- Flexibilité de conception :

En effet, les composites peuvent être façonnés en presque toutes les formes, ce qui permet une grande liberté dans la conception de pièces complexes. Ils est ainsi beaucoup plus simples et moins onéreux de construire une pièce sur mesure en matériau composite que de commander une pièce en matériau métallique par exemple c'est à dire en soudant plusieurs pièce ou en assemblant à l'aide de vis et boulons. De plus le fait de n'avoir qu'une seule pièce cela augmente sa résistance.

- La durabilité :

Les matériaux composites ont une longue durée de vie grâce à leur résistance à l'usure, ce qui réduit les coûts de maintenance. Par ailleurs les matériaux composites ne sont pas soumis à la corrosion ainsi nous pouvons nous en servir dans des conditions humides (à l'extérieur, au contact de l'eau,...) sans risque de voir notre matériau se dégrader. Au contraire des matériaux plus standard tels que le fer qui a tendance à rouiller est plus contraignant car il demande plus d'entretien. En effet il faut régulièrement le contrôler et le traiter à l'aide de peinture pour limiter la corrosion.

- Le réemploi :

Les composites Thermoplastiques sont des composites très avantageux. En effet grâce à eux on peut assembler plusieurs thermoplastiques sans colle mais juste en les faisant légèrement fondre pour être thermosoudés entre eux. De plus ce sont des composites qui sont recyclables après broyage ou même probablement bientôt après dépolymérisation de la résine thermoplastique. Enfin, comme le matériau composite est un matériau qui subit très peu la corrosion et qu'il a une grande durabilité on pense tout de suite à réutiliser le matériau tel quel c'est à dire en s'en réservant pour une autre utilisation que celle prévue initialement.

3.2 Les inconvénients :

- Les coûts élevés et le processus de fabrication complexe :

La production de composites avancés, comme ceux à base de fibres de carbone, est souvent coûteuse, limitant leur utilisation à des applications haut de gamme tel que l'aéronautique ou les voitures à hautes performances.

La fabrication de pièces composites peut être techniquement exigeante et nécessite souvent des équipements spécialisés ce qui n'est pas à la portée de tout le monde.

- Difficulté de recyclage :

Les composites, surtout ceux à matrice polymère thermodurcissable, sont difficiles à recycler en raison de leur structure chimique stable. Le recyclage des matériaux composites est encore un défi majeur, mais les progrès technologiques et les innovations offrent des perspectives prometteuses. À mesure que la demande pour ces matériaux augmente, des solutions plus durables et économiquement viables devront être adoptées pour limiter leur impact environnemental.

En effet de nos jours les moyens de recycler sont plutôt restreint, il est possible d'incinérer les matériaux usagers pour produire de l'énergie (ce qui n'est pas une manière viable de traiter les déchets et de produire de l'énergie).

Il est également possible de réduire les matériaux composites en les broyant pour pouvoir les réutilisés lors de la fabrication de matériaux composites, c'est ce que l'on appelle le recyclage mécanique. En effet, le recyclage mécanique consiste à broyer le matériau et à récupérer des broyats qui pourront ensuite être intégrés à une matrice polymère. Dans certains cas, lorsque le matériau issu du recyclage est destiné à une application à haute valeur ajoutée, cette solution se révèle économiquement intéressante.

— Réparabilité et dégradation sous certains environnements

Le matériau composite est certes très avantageux, il est légers, résistant aux chocs, durable, il reste néanmoins possible de la casser et il subit aussi une forme d'usure. Ainsi, il faut parfois le changer notamment dans des milieux très exigeants tels que l'aéronautique. Or, le matériau composite à un indice de réparabilité très faible voir inexistant, c'est à dire qu'il faut changer une pièce entière alors qu'avec un matériau plus standard il est parfois possible de réparer. Néanmoins, il est possible de réparer les matériaux en thermoplastique car comme dit plus tôt nous pouvons les thermosouder entre eux.

Par ailleurs, bien qu'ils soient résistants à la corrosion chimique, certains composites peuvent se détériorer sous l'effet des rayons UV, de l'humidité ou des températures extrêmes. Ainsi, il est donc impossibles d'utiliser certains matériaux dans des conditions extrêmes, par exemple on ne va pas utilisé un matériau en fibres végétales dans des cas de chaleur extrême.

Chapitre 4

Mesures

4.1 Méthodologie

4.2 Analyse des résultats

Matériau	Force maximale avant rupture (N)	Allongement maximal avant rupture (%)
Fibre de carbone	$21\,149 \pm 106$	$0,673 \pm 0,003$
Fibre de verre	$10\,286 \pm 52$	$1,84 \pm 0,01$
Aluminium	$9\,584 \pm 48$	$9,54 \pm 0,05$

TABLE 4.1 – Comparaison des propriétés mécaniques des matériaux testés

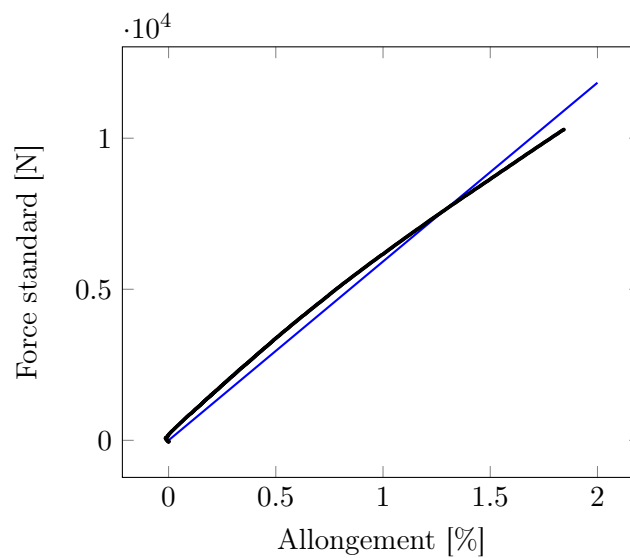


FIGURE 4.1 – Déformation de la fibre de verre

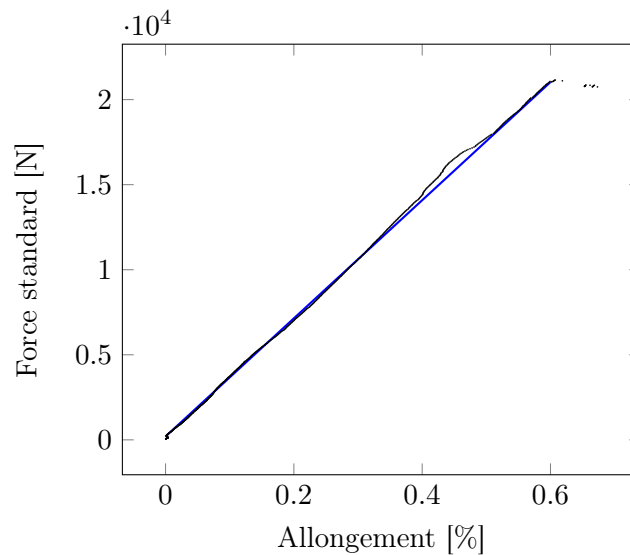


FIGURE 4.2 – Déformation de la fibre de carbone

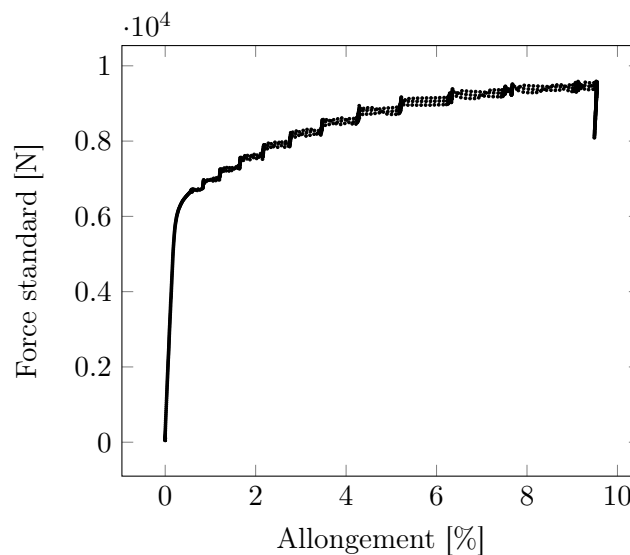


FIGURE 4.3 – Déformation de l'aluminium

4.2.1 Résistance à la traction (force maximale avant rupture)

Fibre de carbone : Avec une résistance maximale de $21\,149\text{ N} \pm 106$, la fibre de carbone se distingue par une capacité à supporter des charges élevées, soit environ **2 fois plus** que la fibre de verre et **2,2 fois plus** que l'aluminium.

Fibre de verre : La fibre de verre supporte une force maximale de $10\,286\text{ N} \pm 52$, ce qui la place au second rang, mais elle reste bien en deçà de la fibre de carbone en termes de performance.

Aluminium : L'aluminium, avec une force maximale de $9\,584\text{ N} \pm 48$, affiche une résistance légèrement inférieure à celle de la fibre de verre.

4.2.2 Allongement maximal avant rupture

Fibre de verre : L'allongement maximal de **1,84 % \pm 0,01** montre que ce matériau est plus ductile que la fibre de carbone, mais reste bien moins élastique que l'aluminium.

Fibre de carbone : Avec un allongement de seulement **0,673 % \pm 0,003**, la fibre de carbone est très rigide et casse après une faible déformation, ce qui peut limiter son usage dans des applications nécessitant flexibilité ou absorption d'énergie.

Aluminium : L'aluminium affiche une capacité d'allongement bien supérieure, à **9,54 % \pm 0,05**, témoignant d'une grande ductilité. Cela le rend idéal pour des applications où une déformation importante est nécessaire avant rupture.

4.3 Perspectives avec la masse des matériaux

La masse étant un paramètre primordial et une contrainte importante dans l'aéronautique, il est important de la prendre en compte. Ainsi, afin d'obtenir une donnée plus pertinente dans ce cadre particulier, nous avons voulu comparer le rapport entre les performances mécaniques des matériaux et leur masse volumique. Nous avons donc coupé des échantillons de composite à renfort en de fibre de verre et en fibre de carbone et mesurer leurs dimensions ainsi que leur masse :

Matériau	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Épaisseur (mm)	Masse (g)
Fibre de carbone	21,9	29	4,51	4,076
Fibre de verre	22,46	30,29	2,86	2,67

TABLE 4.2 – Dimensions et masse des matériaux analysés

A l'aide de la formule du volume :

$$V = L \cdot l \cdot h$$

Et de la masse volumique :

$$\rho = \frac{M}{V}$$

On obtient :

$$V_{carbone} = 22.46 \cdot 30.29 \cdot 2.86 = 1938.27mm^3 \quad V_{verre} = 22.46 \cdot 30.29 \cdot 2.86 = 1938.27mm^3$$