

Technologie de Base
2^{ème} Génie Mécanique
Cours 07

Chapitre I : Matériaux (suite5)

I.4. Matériaux composites

La technologie moderne a besoin de matériaux qui allient à la fois rigidité, résistance mécanique, ténacité élevée et une grande légèreté. Aucun matériau simple ne permet de combiner ces caractéristiques mécaniques. Pour atteindre cet objectif il faut nécessairement utiliser un matériau composite.

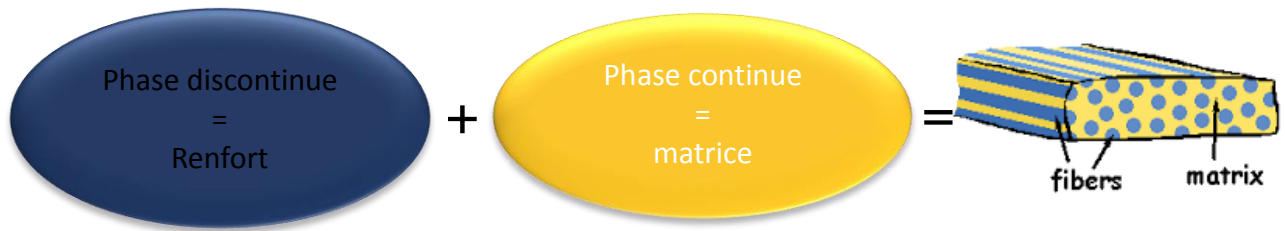


Figure I.5 : Matériaux composites dans différents secteurs industriels

Le but recherché en substituant un matériau composite à un matériau traditionnel est d'obtenir pour une même rigidité de structure, une faible masse volumique (allègement considérable des structures) qui entraîne, dans le cas du transport aérien, une réduction de la consommation de carburant et des émissions de polluants. Le secteur aéronautique n'est d'ailleurs pas le seul à s'intéresser de près à ces matériaux mais aussi l'industrie nautique, ferroviaire, spatiale, le bâtiment, les sports et loisirs (Fig. I.5).

4.1. Définition

Un matériau composite est constitué de différentes phases nommées renforts et matrice (Fig. I.6). Les renforts se présentent sous forme de fibres (continues ou discontinues) ou particules. Le rôle du renfort est d'assurer la fonction de résistance mécanique aux efforts. La matrice assure la cohésion entre les renforts de manière à répartir les sollicitations mécanique. L'arrangement des fibres, leur orientation permettent de renforcer les propriétés mécaniques de la structure.



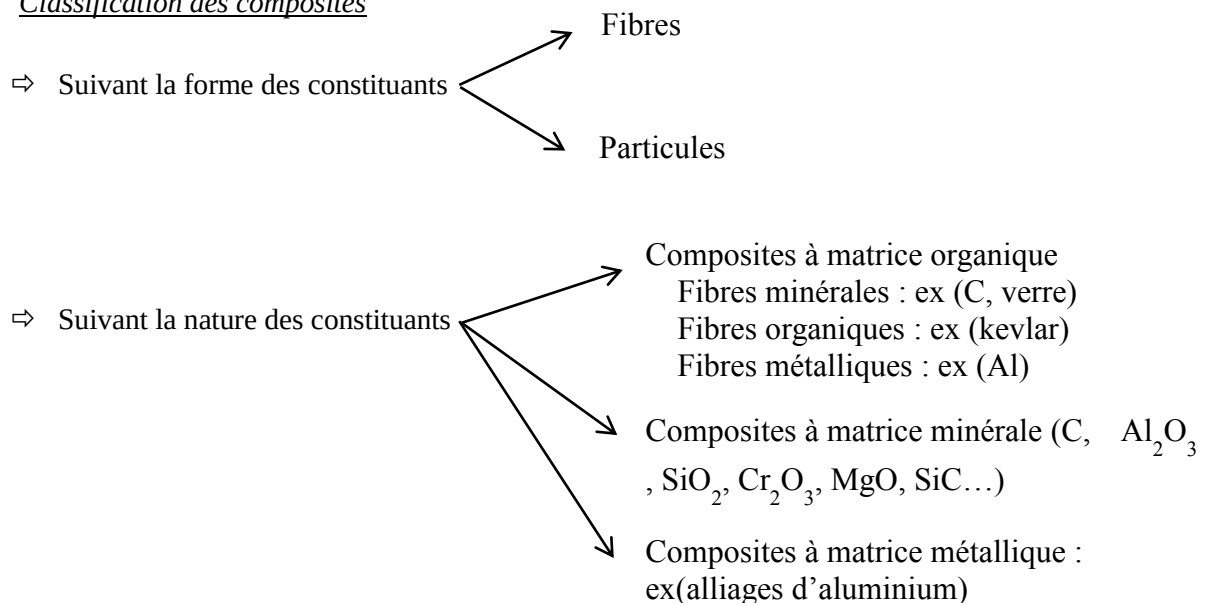
4.1.1. Matrice

Dans un grand nombre de cas, la matrice constituant le matériau composite est habituellement une résine polymère. Dans les applications aux très hautes températures, des matériaux composites à matrice métallique, céramique ou carbone sont utilisés.

La matrice d'un composite a pour rôles :

- d'enrober les renforts, les protégeant ainsi du milieu extérieur ;
- d'assurer une répartition spatiale homogène des renforts ;
- d'assurer le transfert adéquat de contraintes mécaniques appliquées aux renforts.

Classification des composites



4.1.2. Renfort

Les renforts assurent les propriétés mécaniques du matériau composite. Leurs rôles consistent à :

- supporter les efforts appliqués ;
- conférer au composite sa rigidité et sa résistance à la rupture, éventuellement à haute température.

Les principaux types de renforts se distinguent par leur géométrie (particules, billes, fibres courtes, fibres longues) (Fig. I.7), par leur disposition, notamment pour les fibres (aléatoire, unidirectionnelles, tissages 2D, tissages 3D...) ou par leur nature.



Figure I.6 : exemples des composites

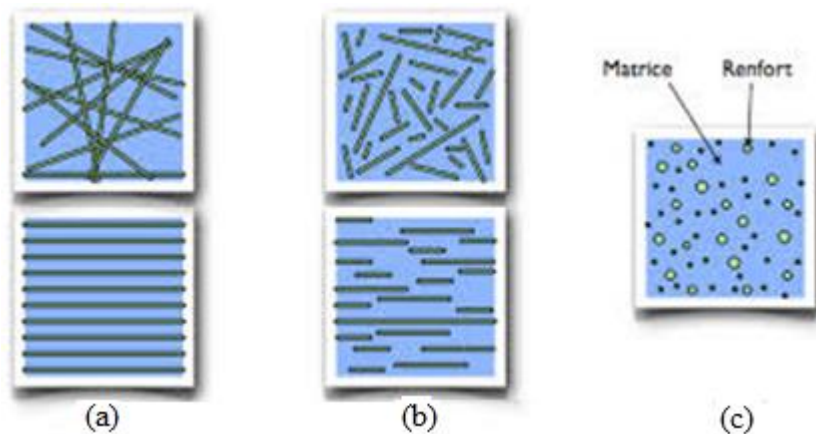


Figure I.7 : Les principaux types de renforts ; (a) fibres longues, (b) fibres courtes, (c) particules.

4.1.2.1. Fibres de verre

Résistance mécanique, caractéristiques électriques, incombustibilité, stabilité dimensionnelle, compatibilité avec les matrices organiques, imputrescibilité, faible conductibilité thermique, bonne résistance aux agents chimiques.

4.1.2.2. Fibres polymères

Les fibres polyamides (Kevlar), en particulier, présentent d'excellentes caractéristiques de rigidité et de résistance en traction, une bonne tenue à la fatigue et à l'impact, mais un comportement médiocre en compression. Elles sont le plus souvent utilisées en association avec des fibres de verre ou de carbone. Toutes les fibres organiques sont pénalisées par leur sensibilité à l'humidité et à la température.

4.1.2.3. Fibres céramiques

Les fibres de type céramiques rencontrées dans des applications où la température est très élevée entre 500°C et 2000°C. Ces matériaux sont utilisés notamment dans les parties chaudes des moteurs d'avions.

4.1.2.4. Fibres de carbone

Les fibres de carbone ont de très fortes propriétés mécaniques.

➤ Principaux avantages

Légèreté, caractéristiques mécaniques élevées en traction et compression, tenue en température excellente tenue en fatigue, faible coefficient de dilatation, bonne conductibilité thermique et électrique excellente tenue à l'humidité, non magnétique - perméable aux rayons x.

➤ Principales limitations

- fragilité au choc ;
- fragilité à la courbure ou au pliage ;
- coût élevé.

4.2. Structures des composites

4.2.1. Structures en stratifiées

Les structures stratifiées sont constituées de couches successives de matériaux composites. Ces couches sont également nommées plis (Fig. I.8).

Elles sont liées par de la résine. Ces pièces structurelles sont réalisées en optimisant les directions des renforts en fonction des charges qu'elles doivent subir. L'interface interlaminaire assure le transfert des déplacements et des contraintes normales d'une couche à une autre.

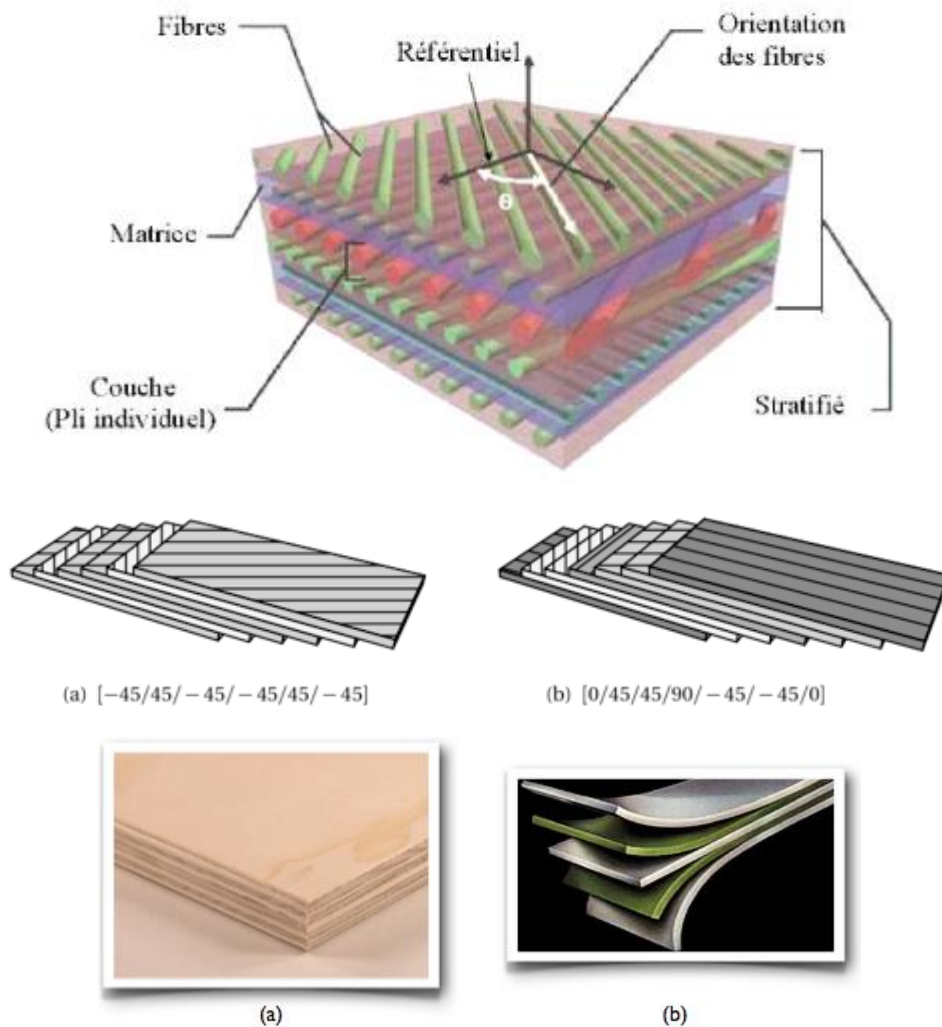


Figure I.8 : Structures en stratifiées

4.2.2. Structures en sandwich

Les structures composites subissant des sollicitations de type flexion ou torsion sont généralement construites en matériaux sandwichs. Une structure sandwich est composée d'une âme et de deux peaux en matériaux composites (Fig. I.9). L'assemblage est réalisé par collage à l'aide d'une résine. Les âmes les plus utilisées sont de type nid d'abeilles, âme ondulée ou mousse. Ces structures ont une grande rigidité en flexion et torsion.

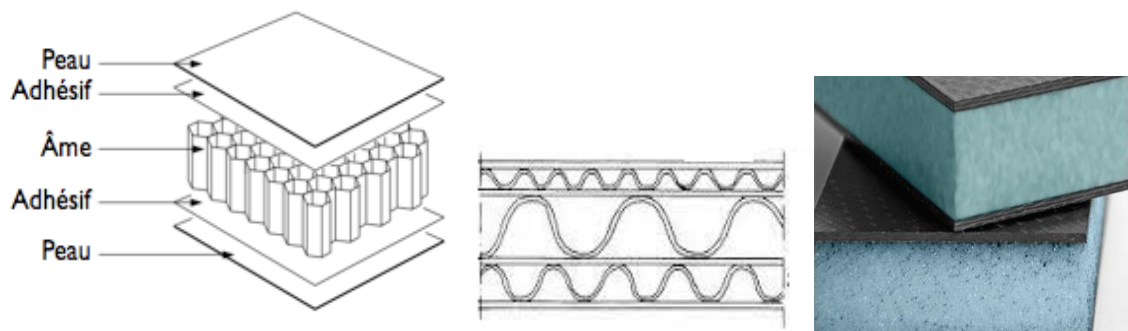


Figure I.9 : Structures en sandwich

4.3. Comportement mécanique des composites

4.3.1. Rôle des fibres

L'orientation des fibres longues parallèlement aux contraintes mécaniques, dans les composites fibreux, permet un transfert quasi-total de charges vers les fibres, ce qui rend possible la réalisation des composites légers et résistants.

Dès que la contrainte normale maximale (en traction ou compression) s'écarte de la direction des fibres, l'effet de renforcement chute très vite (Fig. I.10).

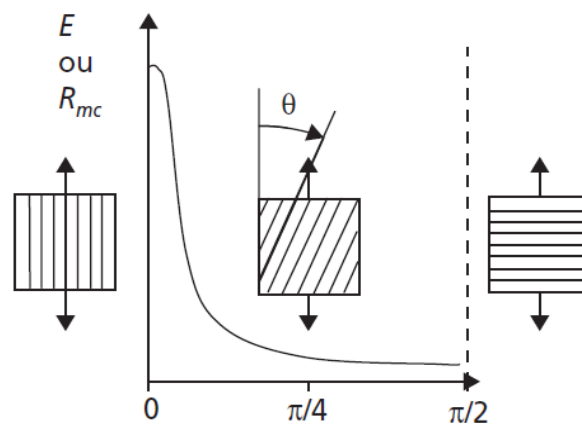


Figure I.10 : Effet de l'orientation des fibres sur le comportement mécanique des composites

4.3.2. Rôle des interfaces

Les composites étant des matériaux hétérogènes, ils possèdent des *interfaces*, ce terme utilisé dans le domaine des matériaux composites, pour décrire la surface ou la zone qui sépare la fibre et la matrice (discontinuité macroscopique).

C'est dans cette zone que s'effectue précisément le transfert de charge de la matrice vers le renfort (ou vice versa) et elle est également le siège de concentration de contraintes résiduelles lors de la préparation du composite.

Les interfaces ont la propriété de dévier les fissures : lorsqu'une fissure se propage dans la matrice et atteint l'interface, elle ne traverse pas les renforts mais elle change de direction et suit l'interface. En d'autres termes, au lieu d'une rupture brutale, on observe plutôt une décohésion, c'est-à-dire un décollement progressif entre les renforts et la matrice (Fig. I.11).

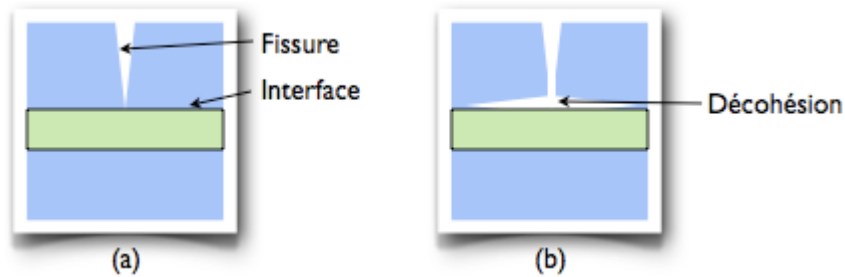


Figure I.11 : Effet de l'interface Fibre/matrice sur la propagation de fissure