

I.1. Introduction

Le développement de nouveaux matériaux est soumis aux besoins des utilisateurs (constructeurs). Ceux-ci veulent toujours des matériaux plus performants, plus économiques et qui durent plus longtemps. Les chercheurs sont le plus souvent amenés à optimiser les solutions déjà utilisées, mais dans certains cas, ils doivent complètement repenser le problème et envisager de " nouveaux matériaux ". En effet, on ne découvre plus de nouveaux matériaux, mais on crée plutôt des nouvelles associations de matériaux. L'un des résultats de cette association est l'aboutissement à un matériau composite, qui fait le sujet de notre étude.

I.2. Définition d'un matériau composite

Un matériau composite est constitué de l'assemblage de deux ou plusieurs matériaux de natures différentes. Leur association est complémentaire et permet d'aboutir à un matériau dont les performances recherchées seront supérieures à celles des composants pris séparément. Un matériau composite est constitué dans le cas le plus général d'une ou plusieurs phases discontinues réparties dans une phase continue. La phase discontinue, appelée renfort ou matériau renforçant, est habituellement plus dure avec des propriétés mécaniques supérieures à celles de la phase continue, appelée matrice.[2]

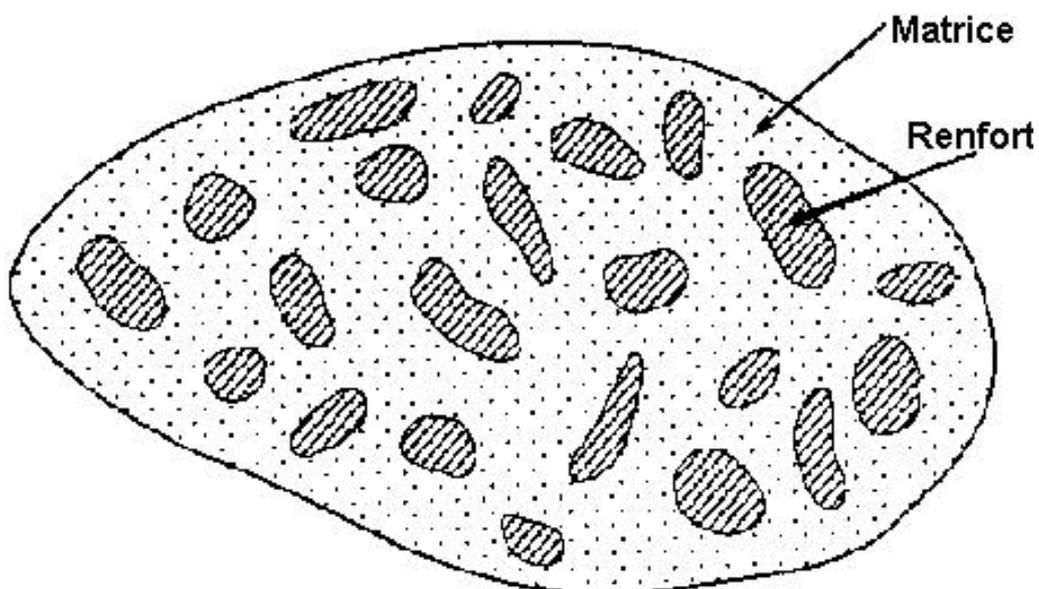


Figure.I.1 : Schéma illustratif d'un matériau composite[3].

I.2.1 La matrice

La matrice est, avec les renforts, l'un des deux principaux constituants des matériaux composites. C'est le terme désignant la résine polymérisée dont le rôle est de maintenir les renforts en place et de leur assurer la cohésion et la protection. Elle permet également la transmission des efforts mécaniques vers les renforts.

La matrice est généralement homogène et isotrope ; on distingue les matrices céramiques, les matrices métalliques, les matrices minérales et les matrices organiques[3].

I.2.2 Le renfort

Le renfort est généralement composé de matériau plus dur que la résine ; son rôle principal est d'assurer au matériau une grande résistance surtout à la traction, et qui se présente, généralement, sous forme de fibres :

- fibres longues unidirectionnelles(carbone,verre),
- fibres longues tissées,
- fibres courtes réparties aléatoirement sans directions privilégiées(mat)[3].

En fonction de la forme des renforts, on distingue deux types de composites :

- **les composites à fibres** : constitués de fibres continues ou discontinues (fibres coupées ou courtes). Leur orientation permet de moduler les propriétés mécaniques du matériau et d'obtenir des matériaux isotropes ou anisotropes[3].
- **les composites à particules** : les particules sont généralement utilisées pour améliorer certaines propriétés des matériaux[3].

Remarques

- entre le renfort et la matrice, existe une zone de liaison appelée interface.
- Des additifs, en particulier des produits chimiques, rentrent dans la composition du composite pour former des interphases etc... Cependant ils n'interviennent pratiquement jamais dans le calcul de structure composite.
- Un matériau composite est la plupart du temps hétérogène et anisotrope.

I.3 Type de matériaux composites

Selon leur taux d'utilisation, les composites sont classés en deux grandes classes: les composites à grande diffusion et les composites haute performance[2].

I.3.1 Les composites à grande diffusion

Ils occupent une portion de 95% des composites utilisés. Ce sont en général des plastiques armés ou des plastiques renforcés, le taux de renfort est de 30%. Dans 90% des cas, l'anisotropie n'est pas maîtrisée car les renforts sont des fibres courtes. Les principaux constituants de bases sont les résines polyesters avec des fibres de verre. Dans ce cas le renfort et la matrice sont à des coûts voisins [2].

I.3.2 Les composites haute performance

Ils sont principalement utilisés dans l'aéronautique et sont d'un coût élevé. Les renforts sont plutôt des fibres longues. Le taux de renfort est supérieur à 50%, et ce sont les renforts qui influent sur le coût. Les propriétés mécaniques (résistance mécanique et rigidité) sont largement supérieures à celles des métaux, contrairement aux composites à grande diffusion. Des méthodes de calculs de structures et d'homogénéisations ont été développées pour les composites haute performance [2].

I.4 Caractéristiques du matériaux composites

Les propriétés des matériaux composites dépendent de beaucoup de facteurs et sont différentes selon les divers types de matériaux composites. Ces propriétés résultent :

- des propriétés, de la nature et de la quantité des matériaux constitutifs.
- des constituants, de la géométrie et de la distribution du renfort
- de leurs interactions, de la nature de l'interface matrice-renfort, etc.

Les principales caractéristiques des pièces fabriquées en matériaux composites sont :

- le gain de masse,
- la bonne tenue en fatigue (durée de vie augmentée),
- l'absence de corrosion,
- l'absence de plasticité (leur limite élastique correspond à la limite de rupture)
- le vieillissement sous l'action de l'humidité et de la chaleur,

- l'insensibilités à certains produits chimiques courants (solvants, peinture, huiles, pétroles,...),
- tenue aux impacts et aux chocs très moyenne,
- très forte anisotropie[3].

I.5 Domaines d'application

Les excellentes performances mécaniques des matériaux composites fibres-résine en terme de caractéristiques spécifiques en font des matériaux attrayants pour l'utilisation dans les structures. En outre, l'intérêt de ces matériaux réside dans leur anisotropie aisément contrôlable par le concepteur qui peut ainsi ajuster la rigidité et la résistance en fonction des sollicitations extérieures. Ainsi l'immense avantage des matériaux composites est de pouvoir être optimisés pour chaque application : on peut placer le renfort exactement où il est nécessaire. Cette optimisation résulte en une grande performance de ces matériaux, qui sont souvent de loin les plus légers pour une résistance mécanique spécifiée. Cependant ils restent très chers à fabriquer! D'où leurs domaines d'application :

- électricité et électronique,
- bâtiment et travaux publics,
- transports routiers, ferroviaires, maritimes, aériens et spatiaux (notamment militaire),
- santé (instrumentation médicale),
- sports et loisirs (skis, raquette de tennis, planche à voile, surf, club de golf, aviron,...)[3].

Ainsi on note que les matériaux composites sont surtout utilisés pour des applications où une haute performance est recherchée et où le prix n'est pas le facteur primordial.

I.6 Procédés d'élaboration

L'élaboration d'un matériau composite consiste en trois opérations indispensables qui sont :

- Imprégnation du renfort par le système résineux.
- Mise en forme à la géométrie de la pièce.
- Durcissement du système :

- ◆ soit par polycondensation et réticulation pour les matrices thermodurcissables,
- ◆ soit par simple refroidissement pour les matières thermoplastiques.

Le moulage reste le procédé le plus utilisé dans l'élaboration de matériaux composites, mais Il existe d'autres procédés aussi importants[2] :

I.6.1 Moulage au contact

Le principe consiste à imprégner manuellement les renforts disposés dans un moule. C'est peu onéreux et des pièces de formes quelconques peuvent être réalisées mais à cadence très faible. Cette technologie est plus réservée à la réalisation de pièces prototypes ou de simulation[2].

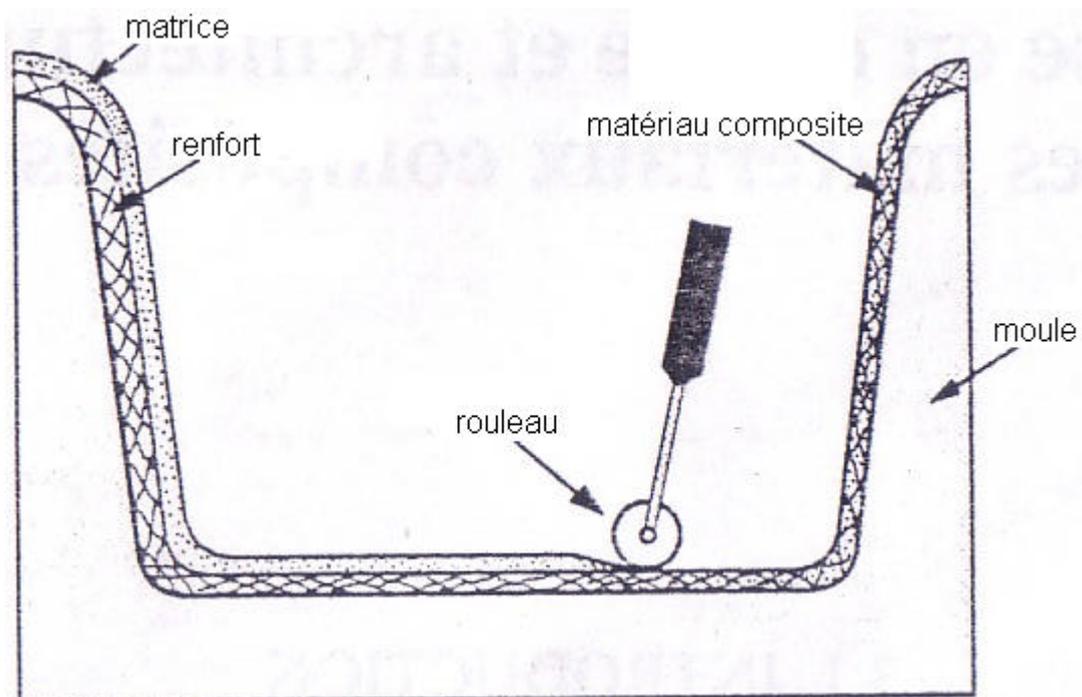


Figure.I.2 :Principe du moulage au contact[3].

I.6.2 Moulage par projection simultanée

C'est une technologie similaire à la précédente mais les fibres coupées sont projetées au pistolet[2].

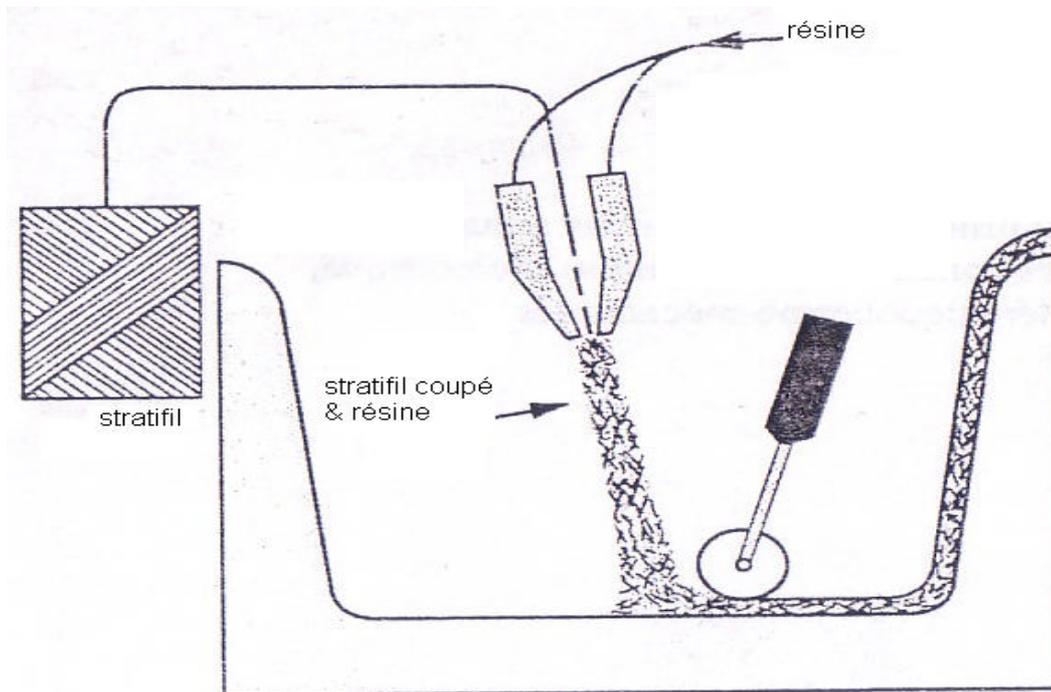


Figure.I.3 :Principe du moulage par projection simultanée[3].

I.6.3 Injection thermodurcissable BMC (Bulk Molding Compound ou préimprégné en vrac).

Procédé discontinu haute pression (100 bars). Alimentation et dosage du Compound, Injection-pression, maintien et polymérisation, puis éjection. Les avantages sont : réalisation de grande série, faible coût matière, peu de finition, temps de cycle. Les limites sont : le taux et la longueur des renforts et les propriétés mécaniques du composite obtenu[2].

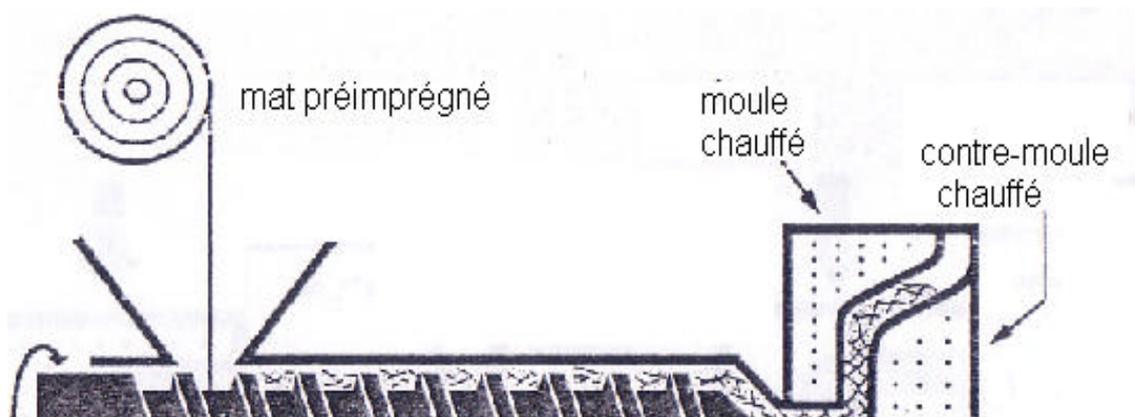


Figure.I.4 :Principe du moulage par injection[3].

I.6.4 Compression thermodurcissable SMC (Sheet Molding Compound ou préimprégnés en feuilles)

Le principe consiste à déposer des feuilles de préimprégnés dans un contre moule chauffé, de comprimer le matériau avec un moule chauffé, polymérisation puis éjection de la pièce. Avantages : coût matière, propriétés mécaniques et thermiques. Les limites sont l'aspect, le dimensionnement des presses et la finition[2].

I.6.5 Pultrusion

Utilisation pour les composites hautes performances industrielles. Le principe est : tirage, mise en forme et polymérisation de fibres continues imprégnées. Les avantages sont la production en continue, possibilité de réaliser des sections très complexes, et d'avoir un taux de renfort élevé. Les limites sont la lenteur du procédé, uniquement des profilés droits à section constante[2].

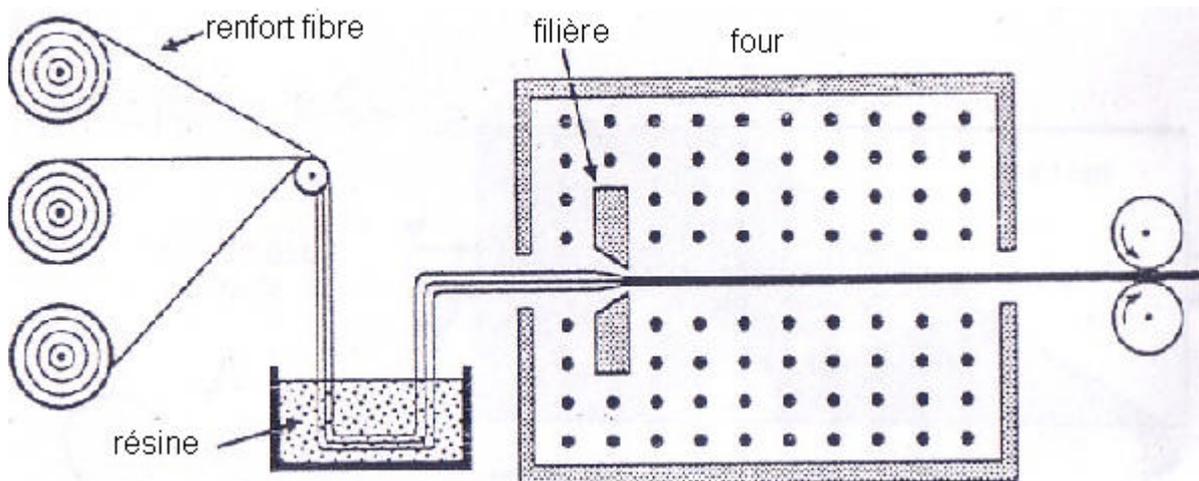


Figure.I.5 :Principe du moulage par pultrusion[3].

I.6.6 Enroulement filamentaire (ou bobinage)

Technologie pour les HP. Le principe consiste en un enroulement sous tension sur un mandrin tournant autour de son axe de fibres continues préalablement imprégnées d'un liant. Les avantages sont la disposition optimale des renforts, les très bonnes propriétés mécaniques, possibilité de réaliser des pièces de grandes dimensions avec des surfaces internes lisses. Les limites sont des formes uniquement convexes et investissements importants[2].

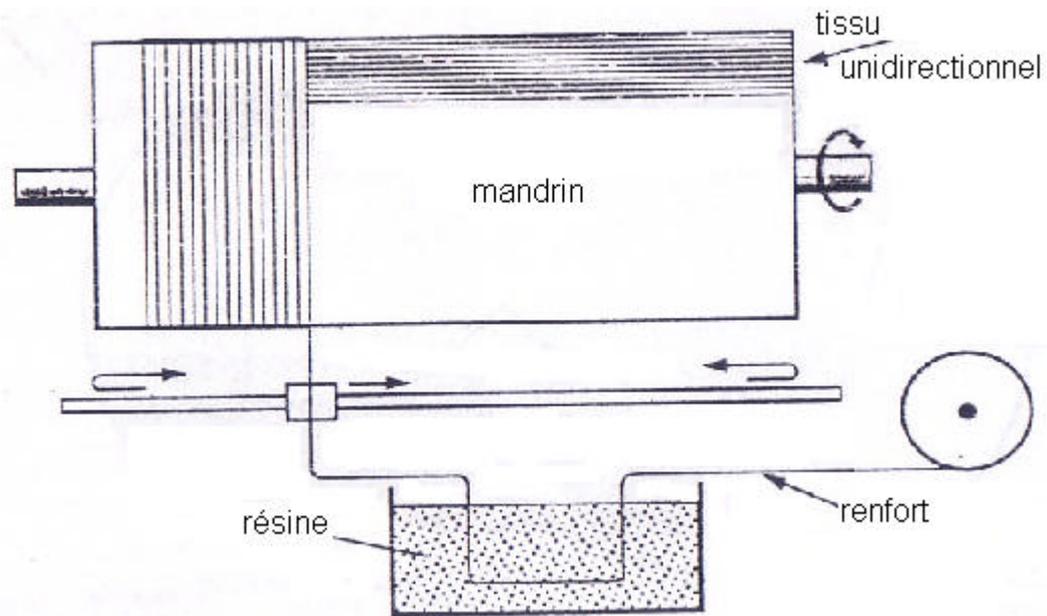


Figure.I.6 :Principe du moulage de l'enroulement circonférentiel[3].

Remarque

- Il existe d'autres procédés : drapage en autoclave, centrifugation, stratification en continu, thermoformage sous vide, estampage.

I.7 Le matériau composite stratifié

Un stratifié est constitué d'un empilement de mono-couches ayant chacune une orientation propre par rapport à un référentiel commun aux couches et désigné comme le référentiel du stratifié[2].

Le choix de l'empilement et plus particulièrement des orientations permettra d'avoir des propriétés mécaniques spécifiques.

On pourra avoir des stratifiés de type :

- Equilibré : stratifié comportant autant de couches orientées suivant la direction $+\theta$ que de couches orientées suivant la direction $-\theta$.
- Symétrique : stratifié comportant des couches disposées symétriquement par rapport à un plan moyen.
- Orthogonal : stratifié comportant autant de couches à 0° que de couches à 90° [2].

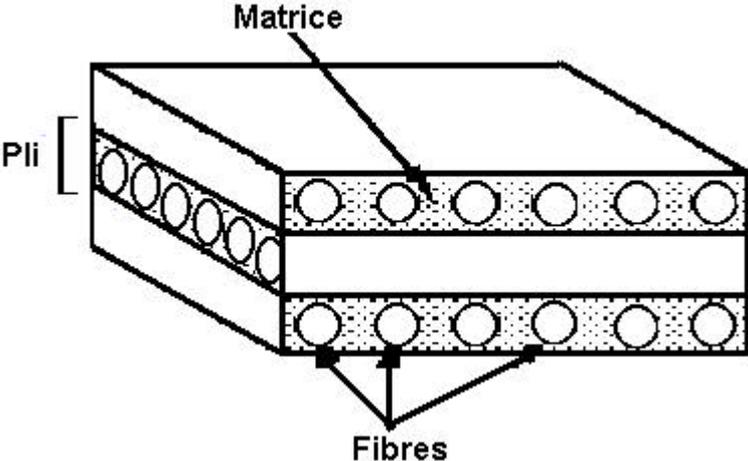


figure I.7 :Shéma illustratif d'un matériau composite stratifié.