

Introduction

Les matériaux composites sont de plus en plus utilisés dans l'industrie grâce à leur rapport performance/masse élevé. Ceci est évidemment particulièrement vrai en aéronautique et en spatial au vu de l'importance cruciale du critère masse de telles structures (figure I.1). Ce rapport performance/masse élevé est dû à l'utilisation de matériaux ayant des caractéristiques mécaniques spécifiques élevées, tels que le carbone, le verre ou le Kevlar. Ce type de matériau présente néanmoins l'inconvénient majeur d'être fragile et doit donc être utilisé en mélange avec un matériau moins fragile de type résine. C'est le concept de base des composites qui va être d'adjoindre à un matériau de renfort performant et fragile, typiquement sous la forme de fibres plus ou moins longues selon les applications, une matrice moins performante mais moins fragile, typiquement une résine. N'oublions pas néanmoins qu'il se crée alors une interface entre ces deux matériaux qui jouera également un rôle sur le comportement global du composite.

La structure même du composite est donc plus complexe qu'un matériau standard plus ou moins homogène, de type métallique, et impose alors une conception à part entière. La conception d'une structure composite suppose alors de concevoir en même temps un matériau et une structure ; c'est la différence fondamentale entre la conception d'une structure métallique et d'une structure composite. Cette conception composite nécessite, en plus des itérations classiques de conception d'une structure métallique sur la géométrie, des itérations sur la conception du matériau ; ces deux types d'itérations étant étroitement liés. Pratiquement, s'ajouteront aux étapes classiques de choix de la géométrie d'une structure, les choix sur le drapage ou le process d'élaboration du composite.

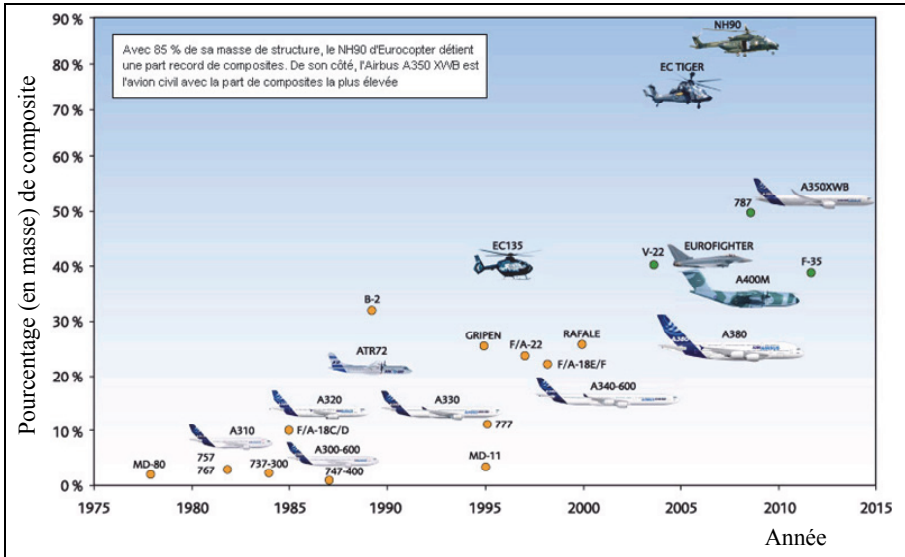


Figure I.1. Pourcentage de composite dans la structure des avions du groupe Airbus et de quelques autres (d'après www.airbus.com)

La majorité des matériaux composites présente une anisotropie importante (les caractéristiques dépendent de la direction considérée) ; ils se présentent en effet souvent sous la forme de fibres unidirectionnelles, c'est-à-dire toutes orientées dans la même direction. Les performances du composite seront évidemment bien meilleures dans la direction des fibres et, comme dans la réalité, une structure est en général sollicitée de façon différente suivant les directions, un choix judicieux des directions des fibres permettra de fabriquer un matériau sur mesure adapté aux sollicitations réelles. Cette optimisation de la direction des fibres permettra alors un gain de masse important et donc un rapport performance/masse élevé. Ce gain nécessitera néanmoins un processus d'optimisation de la direction des fibres aux sollicitations extérieures, sollicitations extérieures qui vont également dépendre de la géométrie de la structure, ce qui imposera de concevoir en même temps la structure et le matériau.

Un autre point important des structures composites est la possibilité d'obtenir en une seule fois (*one shot*) des formes complexes, grâce, par exemple, à la fabrication couche par couche et l'utilisation de moules et contre-moules ou à partir de préformes sèches. L'avantage est alors de diminuer la masse et la complexité d'assemblage de la structure en réduisant le nombre de pièces et de vis ou rivets. On peut citer la dérive du transporteur Tristar (Lockheed-USA) qui était composée de 175 éléments et 40 000 rivets avec une construction classique et de 18 éléments et de 5 000 rivets

avec une construction composite [GAY 97]. Encore une fois, cela permet des gains de masse en réduisant le nombre de pièces et d'éléments d'assemblage mais oblige, dans le même temps, à un processus de conception plus complexe et à intégrer la conception de la structure et du matériau. Évidemment, les composites ne présentent pas que des avantages, l'un de leurs plus gros inconvénients reste le prix, à la fois du matériau, mais aussi celui du processus de fabrication. On peut évoquer la durée de péremption des résines époxy, les appareils de cuisson des stratifiés (autoclaves), les dispositifs d'injection de résine, la mise en forme à l'aide de moules et contre-moules ou encore la nécessité du contrôle non destructif afin de garantir la santé matière qui complexifient le processus de fabrication et en augmentent le prix.

Leur fragilité à l'impact leur est très préjudiciable car elle conduit à des surdimensionnements et donc à une diminution du gain potentiel afin de garantir leur tenue résiduelle après impact. Cette fragilité s'associe à une complexité de réparation de ces dommages d'impact. Celles-ci sont en effet complexes et les méthodes de réparation sont souvent mal adaptées et nécessitent encore d'être éprouvées sur de grandes structures soumises à l'impact, telles que les fuselages d'avion comme ceux du Boeing 787 ou de l'Airbus A350.

L'objectif de ce cours est de présenter les principes de dimensionnement des structures composites et, en particulier, ceux utilisés dans le domaine aéronautique. Le but est à la fois de montrer le dimensionnement de structures composites simples, telles que des plaques, mais aussi d'apporter à l'ingénieur les éléments nécessaires afin de mener et d'interpréter des calculs de structures composites réalisés sur un code de calculs par éléments finis. La complexité des structures réelles rend impossible un dimensionnement à la main, tel que présenté ici, mais la compréhension des cas d'école est obligatoire à l'interprétation de résultats aussi complexes que ceux obtenus par éléments finis, ou même simplement par essais expérimentaux.

Avant d'entamer ce cours, il est conseillé au lecteur d'avoir eu connaissance des différents matériaux composites existants, aussi bien des renforts, des résines, que des semi-produits employés tels que les pré-imprégnés, ainsi que de leurs principaux avantages et inconvénients. En effet, seule la présentation de quelques composites unidirectionnels utilisés en aéronautique sera effectuée dans le premier chapitre mais un grand nombre d'ouvrages plus complets existe dans ce domaine [GAY 97, BAT 13, BER 99, CAS 13, DEC 00, SES 04, etc.].