

Matériaux composites.



ES composites sont des matériaux très anciens dans leur principe. Il a cependant fallu attendre l'apparition des matières plastiques pour qu'ils connaissent une évolution significative. L'idée de base est très simple : en associant deux matériaux complémentaires et compatibles, on profite des qualités des composants en atténuant leurs défauts. Le verre ne « casse » plus lorsqu'il se présente sous forme de fibres noyées dans une matrice.

Le CETIM* a entrepris la publication d'une étude en trois volumes consacrée aux matériaux composites, à leur évolution et à leurs aspects technico-économiques. Nous lui sommes redevables des définitions qui suivent :

Pour qu'un matériau puisse être qualifié de « composite », il faut qu'il obéisse aux deux critères suivants :

- être constitué d'au moins deux matériaux distincts¹ séparés par un interface bien défini mais dont les deux constituants doivent être liés entre eux, l'un devant pouvoir transmettre à l'autre les contraintes qui lui sont appliquées,

- les constituants doivent être mélangés dans les deux ou trois directions, ce qui exclut les matériaux sandwich (stratifiés collés) et les structures nid d'abeilles.

Dans une structure composite, on distingue :

- le renfort qui apporte la résistance mécanique, en particulier à la traction, sous forme d'une armature qui constitue le squelette du produit réalisé ;

- la matrice plastique qui lie entre elles les fibres du renfort et répartit les efforts ; elle participe également à la résistance en compression, flexion, et joue un rôle de protection ;

- l'interface qui assure la compatibilité des constituants (cohésion entre renfort et matrice). La matière de l'interface est de la plus haute importance : c'est par elle que les contraintes mécaniques seront transmises de la matrice au renfort. Les constituants ne doivent pas subir de déplacement l'un par rapport à l'autre car, dans ce cas, la matrice dont les propriétés sont généralement inférieures à celles du renfort pourrait entraîner la fracturation de l'ensemble du matériau. C'est la raison pour laquelle les renforts subissent un traitement (dit ensimage pour le verre) qui les rend aptes à établir de solides liaisons avec la matrice dans laquelle ils seront noyés.

La présence d'un grand nombre de micropores à la surface d'une fibre est un facteur important qui favorise la cohésion de celle-ci avec la matrice.

COMPOSITES : HP ET GD

Le terme « composites hautes performances » concerne des matériaux syntactiques, constitués d'un assemblage de couches ayant une matrice métallique ou plastique (élastomère) renforcés (partiellement ou totalement) par des fibres continues, dont les propriétés mécaniques spécifiques (résistance spécifique R/d et module spécifique E/d) sont nettement supérieures à celles des matériaux métalliques conventionnels. Ces propriétés dépendent du type de renfort utilisé, du taux (volumique) dans la matrice, de l'orientation des fibres de renfort dans les différentes couches, du type de matrice utilisé et de la direction dans laquelle ces propriétés sont caractérisées. A l'opposé des matériaux techniques traditionnels, le matériau composite doit au niveau de ses propriétés s'adapter aux exigences de conception, alors qu'habituellement la conception se trouve adaptée aux possibilités des matériaux.

Le terme « composite grande diffusion » concerne les matériaux composites n'entrant pas dans la catégorie « hautes performances ».

Cette distinction est quelque peu arbitraire dans la mesure où tous les composites renforcés par des fibres longues obéissent aux mêmes lois physiques et sont réalisés par des techniques sensiblement identiques au niveau de leur principe. Toutefois, la dénomination « composite H.P. » (Hautes Performances) implique systématiquement les caractéristiques d'une pièce composite étant hautement anisotropes, que les efforts locaux aux différents points de la pièce soient connus. Par ailleurs, l'emploi de composites H.P. permet de retenir des coefficients de sécurité relativement faibles sous réserve d'essais systématiques (par exemple de l'ordre de 1,5 et

moins pour certaines structures aéronautiques militaires), alors que les coefficients de sécurité utilisés pour des composites de grande diffusion (par exemple cuve bobinée polyester — verre pour la chimie) sont beaucoup plus importants (6 et plus).

En général, les composites H.P. sont des matériaux relativement chers (coût au kilo d'une pièce réalisée de l'ordre de 500 F et plus), alors que les composites grande diffusion peuvent atteindre des coûts de structure (pièce) finie du même ordre de grandeur que ceux des pièces ou structures métalliques.

Ces définitions des matériaux composites étant extrêmement larges, un classement en fonction des fibres et des matières constitutives a été adopté.

LES FIBRES.

La principale fibre utilisée est *la fibre de verre* : 45 000 t en France, 800 000 t dans le monde. Les produits qu'elle permet de fabriquer sont d'usage courant et correspondent à des composites de grande diffusion (GD). La fibre de verre est intéressante pour son bas prix et sa bonne résistance spécifique. En revanche, elle ne bénéficie que d'un faible module d'élasticité, ce qui peut conduire à des déformations dans les pièces.

La fibre d'aramide a été développée par son module d'élasticité élevé et donc sa bonne tenue au choc. Elle est commercialisée sous le nom de Kevlar et constitue un quasi-monopole de DuPont de Nemours. La consommation mondiale s'élève à 10 000 tonnes par an.

La fibre de carbone est encore peu utilisée (1 500 tonnes/an). Son coût reste important pour les applications élémentaires (300 F/kg), ce qui limite son emploi essentiellement aux composites hautes performances (H.P.).

La fibre de bore, les fibres céramiques seront développées dans les prochaines années, leur emploi reste pour l'instant marginal.

LES RÉSINES

Les polyesters constituent la résine de base pour les composites grande diffusion. La France en consomme près de 70 000 tonnes annuellement. Les polyesters sont faciles à mettre en œuvre, ne coûtent pas cher, se marient bien avec les fibres de verre. Leurs inconvénients restent un retrait important lors de la mise en œuvre et une mauvaise tenue à la chaleur.

*Les epoxy*s offrent des caractéristiques supérieures aux polyesters dans la quasi-totalité des utilisations. Leur prix, plus élevé (20 à 30 F/kg contre 8 à 9 F) restreint leur emploi. Elles sont traditionnellement réservées aux composites haute performance.

Les résines phénoliques et polyimides sont intéressantes pour leur comportement en température. Leur mise en œuvre est plus délicate.

LA FABRICATION DES PIÈCES.

L'utilisation optimale des composites passe obligatoirement par un stade de conception plus ou moins délicat, selon le type d'utilisation finale. L'agencement des fibres joue en particulier un rôle capital dans le comportement futur des réalisations.

L'imprégnation est destinée à améliorer la transmission des efforts entre la matrice et les renforts. C'est une étape cruciale qui peut s'effectuer au moment de la transformation (on parlera de voie humide) ou lors de l'élaboration de tissus pré-imprégnés (on parlera de voie sèche).

Les techniques de fabrication sont nombreuses. Citons :

- le moulage simple (il est peu productif et peu fiable) ;
- la projection ;
- les techniques moule contre moule ;
- le drapage, qui consiste à assembler plusieurs couches de pré-imprégnés dans un autoclave, mais ne permet que de faibles cadences ;
- la compression à partir de produits prémixés (BMC) ou pré-imprégnés ;

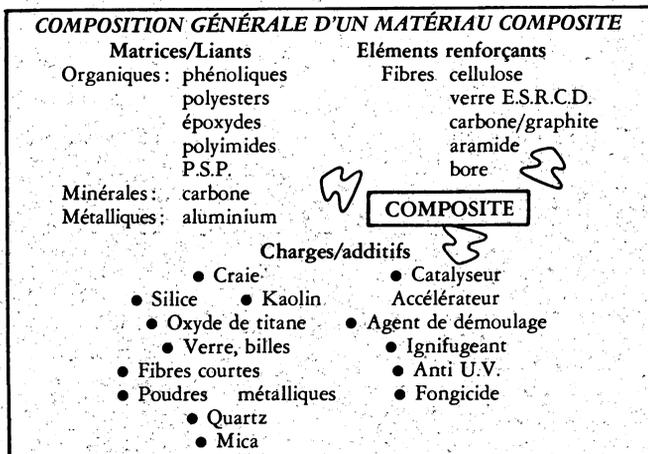
- l'injection;
- la stratification en continu (polymérisation à l'avancement);
- la pultrusion (passage au travers d'une filière puis polymérisation);
- la centrifugation;
- le bobinage filamenteux pour les pièces à haute valeur ajoutée.

Ces techniques permettent d'obtenir des matériaux qui présentent des caractéristiques mécaniques et une résistance remarquables, qui sont légers et dont la fabrication reste relativement économique en terme de bilan énergétique.

Le revers de la médaille, mais peut-être vaudrait-il mieux penser en termes de « problèmes de jeunesse », c'est pour l'instant :

- les difficultés au niveau de l'automatisation des procédés de fabrication, ce qui interdit les grandes séries;
- les problèmes de conception des pièces qui nécessitent encore souvent le recours à des spécialistes — et ils ne sont pas nombreux;
- les incertitudes quant au vieillissement et au recyclage de ces matériaux.

Cela n'empêche pas les matériaux composites d'avoir déjà de nombreuses applications. Les matériaux hautes performances sont surtout utilisés dans l'aéronautique et les articles de sport. Les utilisations des composites de grande diffusion sont beaucoup plus larges : transport, construction navale, pièces industrielles, bâtiment, électricité, etc. Au total, la consommation de matériaux composites de l'Europe de l'Ouest est passée de 310 000 tonnes en 1970 à 650 000 tonnes en 1980.



MÉTAL/COMPOSITES : LES GAINS DE POIDS EN MÉCANIQUE

ÉLÉMENT	TYPE COMPOSITE	POIDS (kg)		GAIN DE POIDS (%)
		MÉTAL	COMPOSITE	
Bielle		0,80	0,25 0,55	32
Cache culbuteur	verre PA		0,50	
Pédalier	verre PA	1,50	0,50	66
Arbre transmission auto camion	carbone-epoxy	5,60 74,00	2,90 22,50	48 70
Barre transmission	carbone-epoxy			
Barre direction				
Triangle	carbone-epoxy	1,75	0,76	56
Suspension	carbone-epoxy	2,90	1,35	50
Suspension arrière	verre-epoxy		7,60	38
Ressort	verre-epoxy	10,00	4,50	55
	carbone-epoxy	22,00	6,00	73
Ressort à lame		127,00	23,00 (1 lame)	82
Ressort auto		50,00	9,90	80
Ressort camion		58,50	13,50	77
Frein camion		720,00	135,00	81
Roues (5)	carbone-epoxy	66,50	42,50	36
(1)	verre epoxy	5,50	3,50	36

Note

1. Il existe des composites constitués pratiquement d'un seul élément chimique : les composites carbone-carbone composés de fibres de carbone noyées dans une matrice elle-même en carbone.

EXEMPLES DE MATÉRIAUX COMPOSITES	EXEMPLES DE CONSTITUANTS	EXEMPLES D'APPLICATIONS
1. A matrice métallique	Fibres de bore, matrice aluminium, fibre de carbone, matrice aluminium, magnésium, etc.	Aérobalistique
2. A matrice minérale Béton Béton armé Composite carbone/carbone Composite céramique/céramique	Ciment, graviers, sable Acier, béton Fibres de carbone, matrice carbone Fibres de céramique, matrice céramique	Bâtiment, génie civil Aérobalistique, bio-médical Pièces thermo-mécaniques
3. A matrice organique Papier et carton Panneaux de particules Panneaux de fibres Contreplaqués Composites de glissement Toiles enduites Non tissés Composites d'étanchéité Pneumatiques Stratifiés Sandwiches	Fibres cellulosique, charges, résines Copeaux de bois, résine Fibres de bois, résine Feuillets de bois, colle Téflon, carbone, sulfure de molybdène, tissu Tissus, résines souples Fibre de synthèse, latex Armatures textiles, bitume, élastomères Amiante, tissu, carton, caoutchouc Acier, toile, caoutchouc Fibres de cellulose, de verre, de carbone, d'aramide... résine Peaux : métaux, stratifiés... Ames : mousses, nids d'abeille, balsa, contreplaqués, plastiques	Emballage, imprimerie Menuiserie, ébénisterie Bâtiment Pièces mécaniques (paliers, coussinets) Bâtiment, sport, plein air Lingerie, travaux publics Toitures, revêtement de terrasse Joint étanchéité hydraulique Automobile Transports, électrotechnique, électronique, bâtiment, mécanique, sport et loisirs Transports, bâtiment