Ouvrez les yeux sur les merveilles des matériaux composites modernes.

Qu’ont en commun Burt Rutan, la police et une Toyota personnalisée à l’extrême ? Une question décalée, sans aucun doute, et la réponse n’est pas celle que Benjamin Braddock a reçue dans Le Lauréat (« Je veux vous dire un mot.



Les auteurs de l’article discutent des différences entre les matériaux composites de base.





Le tissu d’arrachage est utilisé pour aider à absorber l’excès de résine dans les tissus en fibre de verre ou en fibre de carbone et contribue à créer une surface propre, mais relativement rugueuse, pour les collages secondaires.

Un seul mot. Les plastiques. »). Non, le lien ici est celui des matériaux composites, que l’on retrouve partout où l’on regarde. Burt fabrique des avions extraordinaires avec eux, il le fait depuis les années 1960 et continue encore aujourd’hui. La police porte des gilets en Kevlar, et le propriétaire qui a personnalisé sa Toyota adore l’apparence d’un ou deux panneaux en fibre de carbone sur sa voiture.

Bien sûr, vous connaissez l’utilisation des composites dans les planches à roulettes, les bicyclettes et les gilets pare-balles, et vous les avez vus dans la carrosserie des Corvette depuis 1953. Mais saviez-vous qu’ils étaient déjà utilisés il y a 5 000 ans ?

BRIQUES ET MORTIER

D’accord, revenons un peu en arrière. Qu’est-ce qu’un composite ? Réponse : il s’agit de deux matériaux ou plus qui sont liés en une structure unique dans laquelle les matériaux d’origine conservent leur identité et contribuent à la création d’un nouveau matériau. Plus simplement ? Combiner les matériaux de telle sorte qu’aucun ne se dissolve et que le résultat soit supérieur à la somme des parties.

Selon cette définition, des peluches de nombril mélangées à de la colle Elmer’s constituent un composite, même si je doute que cela soit très utilisé.

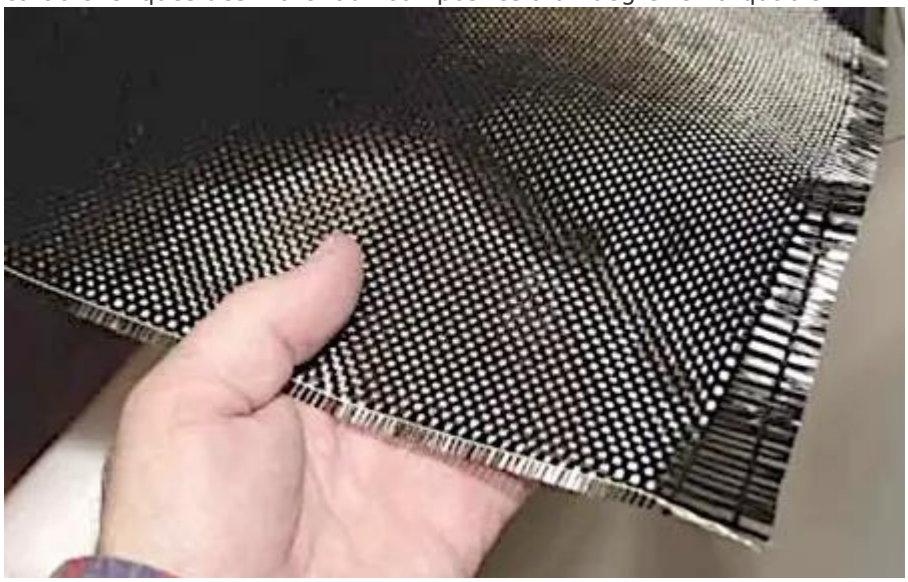
De façon plus réaliste, les composites n’ont guère évolué depuis la boue et la paille utilisées pour fabriquer des briques il y a 5 000 ans en Sumer jusqu’à ce que les Romains mettent au point le béton (ciment et gravier). L’étape suivante, bien qu’elle n’ait jamais été adoptée, fut le Pykrete. C’était un matériau remarquable composé d’eau et de sciure de bois congelées en blocs. Il s’en est fallu d’un an ou deux pour qu’il devienne le matériau à partir duquel seraient construits des navires résistants aux torpilles pour la Seconde Guerre mondiale dans l’Atlantique Nord.

Vous avez probablement déjà rencontré des termes tels que E-glass, S-glass, Kevlar, fibre de carbone, céramique et toute une série d’options qui déconcertent le débutant et font saliver l’entrepreneur. Ces matériaux sont devenus courants dans les avions de construction amateur parce qu’ils offrent au concepteur une grande liberté dans le choix des formes, tant pour l’esthétique que pour l’aérodynamique, mais aussi parce qu’ils sont relativement plus faciles à utiliser que les matériaux traditionnels. Nous disons relativement parce que, bien que la construction en composites soit le plus souvent utilisée sous forme de grandes pièces, ce qui réduit le nombre total d’éléments dans une cellule donnée, ce matériau exige son propre ensemble de compétences et une compréhension spécialisée.

LA PROGRESSION



Les tissus en fibre de verre existent dans une variété de grammages et de tissages. Ces variations répondent non seulement à différentes exigences de résistance, mais aussi aux façons dont la structure composite finale devra être résistante ; il est possible d’ajuster très finement les caractéristiques des matériaux composites à un degré remarquable.



La fibre de carbone, mystérieusement noire, est nettement plus résistante que la fibre de verre, mais considérablement plus coûteuse.

Dans cette série, nous examinerons ces options telles qu'elles s'appliquent aux aéronefs de construction amateur et nous dissiperons une partie du mystère qui les entoure. Nous définirons les termes, expliquerons les différentes options et proposerons quelques indications, conseils et recommandations. De plus, pour ce premier volet, nous avons réalisé un petit projet en composites afin de vous donner, à travers des photographies, une vue d'ensemble du sujet.

Au fil de cette série, nous relierons les différents éléments de manière plus approfondie et vous ferons profiter de l'expérience et du savoir-faire provenant de plusieurs sources, notamment Dave Saylor, propriétaire d'Aircrafters à Watsonville, en Californie, un atelier prospère d'assistance à la construction qui effectue également des inspections et des réparations sur les aéronefs expérimentaux.

Commençons par les matériaux : que sont-ils, pourquoi les utiliser et comment choisir lesquels utiliser ? En réalité, cette décision est prise pour vous par le fabricant du kit, mais examinons certains des éléments qui ont guidé sa réflexion. Pour l'utilisation aéronautique, nous commençons par ce que l'on appelle communément la fibre de verre. Il en existe deux types de base : l'E-glass et le S-glass.

Le plus courant est l'E-glass. Il est résistant, résiste à l'eau, se façonne facilement et se répare aisément. Il est peu coûteux à fabriquer et a été initialement optimisé pour ses propriétés électriques, d'où le E. On le retrouve aujourd'hui dans les planches de surf et les bateaux.

Le S-glass : Les spécialistes de la science des matériaux voulaient conserver leur emploi, alors ils ont légèrement modifié la formule. Ce qu'ils ont obtenu, c'est le S-glass. Il est un tout petit peu plus léger, mais possède 20 % de résistance à la traction en plus, d'où le S pour « résistance ».

Excellent matériau ! Cependant, comme pour toute chose scientifique, il existe toujours une version meilleure qui attend juste au coin de la rue.

La fibre de carbone : Dans ce cas, le matériau miracle était la fibre de carbone. Les fibres elles-mêmes sont plus rigides que l'acier et ne représentent qu'environ 25 % du poids de ce métal gris. Mais le matériau de matrice dans lequel les fibres sont incorporées réduit le module d'élasticité (terme d'ingénieur désignant la rigidité) à une valeur égale ou inférieure à celle de l'acier, sans perdre l'avantage du poids. Le résultat est une pièce finie qui pèse un quart du poids de l'acier tout en se situant dans la même gamme de résistance.

Comparée à l'aluminium, la fibre de carbone conserve encore son avantage. Cette pièce en fibre de carbone est presque deux fois plus rigide que l'aluminium pour environ la moitié du poids. Ce matériau semble avoir été conçu spécialement pour les avions, jusqu'à ce que l'on découvre son coût.

Le Kevlar : L'étape suivante dans cette progression est le Kevlar. Fabriqué par DuPont, le Kevlar possède une résistance cinq fois supérieure à celle de l'acier à poids égal, représente 60 % du poids de la fibre de verre, résiste au feu, est électriquement isolant, amortit le bruit et, comme Superman, peut même arrêter une balle lancée à grande vitesse. Mais, hélas, chacun de ces produits est plus coûteux que le précédent, et le Kevlar n'est réellement envisageable que si vous souhaitez un avion blindé pour vous emmener jusqu'à votre banque suisse.

À LA BASE DE TOUT : LA TECHNIQUE

Ces matériaux miracles comportent des compromis. Tous doivent être manipulés avec soin lors de la fabrication du produit fini afin d'éviter que de l'air ne soit emprisonné entre les couches, et aucun n'est particulièrement résistant à l'abrasion.


Une table dédiée à la préparation de la résine et de l'époxy.

Ils émoussent tous rapidement les outils de coupe, la fibre de carbone est moins performante que les autres en résistance aux chocs, aucun n'est aussi résistant à la chaleur que le métal et même le matériau miracle qu'est le Kevlar, également appelé aramide, est moins performant que les autres lorsqu'il est soumis à la compression.

Une brève explication s'impose ici : la traction consiste à tirer sur une fibre individuelle ; la compression correspond à une situation où une extrémité de la fibre est poussée directement vers l'extrémité opposée ; le cisaillement est ce que l'on fait subir à une fibre avec des ciseaux. Gardez à l'esprit qu'un tissu composé de fibres doit être considéré comme un ensemble de fibres individuelles, chacune étant soumise séparément à la traction, à la compression ou au cisaillement.

Cela étant dit, le rapport résistance/poids, la facilité de fabrication et la capacité à mouler ces matériaux en formes à courbures composées en font le premier choix pour les cellules des avions les plus rapides de dernière génération.

Alors, de quoi sont constitués ces matériaux miracles ? En termes modernes, les deux composants sont le liant, également appelé matrice, et le renfort. C'est le renfort (les fibres) qui fournit la résistance, tandis que le liant maintient les fibres en position et transmet les charges entre elles.



À l’aide d’une pompe spécialisée, proportions exactes de résine et de durcisseur nécessaires au travail.



Le mélange s’effectue dans un gobelet sans cire à l’aide d’abaisse-langues en bois pour émulsionner la résine et le durcisseur. L’objectif est de mélanger soigneusement les deux composants de manière à introduire le moins de bulles d’air possible.



Des agents épaississants, tels que le flox, le cabosil ou les microballons, peuvent fournir un collage solide qui ne s’écoule pas entre les couches.

Simplifions un peu. Comme vous pouvez le voir sur les photographies, le renfort n’a rien d’impressionnant ; l’image d’une nouille molle vient à l’esprit. Mais c’est dans la résistance à la traction que les composites excellent. D’une manière générale, la capacité à résister à la rupture lorsqu’on les tire est appelée résistance à la traction, et c’est une caractéristique essentielle de ces matériaux.

« Mais dans un avion, on ne les tire pas, on les plie », direz-vous. Ah, mais justement, on les tire. Essayez ceci : prenez quatre planches semblables, chacune d’une épaisseur de 1/2″, empilez-les sans les fixer sur une paire de tréteaux, puis montez dessus.



Notre projet d’exercice est un point d’ancrage, en l’occurrence une vis n° 10 incorporée dans une structure sandwich en mousse, mais les techniques utilisées s’appliquent à de nombreux types de construction en matériaux composites. Ici, la mousse est imprégnée d’époxy pur.

Elles se courbent considérablement. Maintenant, enfoncez quelques clous à travers elles et montez dessus. Elles sont beaucoup plus rigides, n’est-ce pas ? C’est parce qu’elles ne peuvent plus glisser les unes contre les autres ; les deux planches du bas sont étirées (chargées en traction) et les deux planches du haut sont comprimées (chargées en compression). Les clous combinent la résistance des planches, tout comme une planche massive de 2″ d’épaisseur est plus résistante qu’un groupe de quatre planches de 1/2″. Remplacez maintenant l’empilement de planches et les clous par un empilement de fibres et de résine époxy, et vous comprenez le mécanisme de la traction.

ALIGNÉS SUR LA CHARGE

Pour tirer parti de la résistance à la traction du matériau, nous devons aligner les fibres avec la charge. Un avion est soumis à des contraintes dans de nombreuses directions ; nous devons donc également disposer les fibres dans de nombreuses directions.

Il existe plusieurs façons de procéder.

Vous pouvez construire le fuselage comme dans les ateliers de très haute technologie, avec le fuselage entier monté sur un dispositif rotatif et une machine qui dépose un ruban s’enroulant autour de la circonférence en se dirigeant vers la queue, puis qui ramène ce même filament jusqu’au nez.



L’étape suivante consiste à étaler une fine couche de mélange à base de microballons.

Cette méthode est utilisée pour les formes cylindriques parce qu’elle offre un rapport résistance/poids exceptionnel pour les récipients sous pression. L’équipement coûte quelques millions de dollars ; ainsi, si le fuselage de votre avion n’est ni cylindrique ni pressurisé, ce n’est pas une option pour le constructeur amateur, ni même pour un fabricant de kits extrêmement bien financé, si tant est qu’une telle chose existe.

La méthode pratique pour les constructeurs amateurs est le stratifié réalisé à la main. Lorsqu’il est bien exécuté, il peut être tout aussi résistant qu’une structure obtenue par enroulement filamentaire. Cela prend un peu plus de temps, mais ne nécessite que quelques outils de base et un format approprié pour les fibres, lequel est généralement un tissu.



Les deux pièces de mousse peuvent ensuite être assemblées. La préoccupation essentielle à ce stade est de vérifier qu'il y a suffisamment de matière expulsée au niveau du joint, afin de s'assurer que les surfaces disposent d'une quantité suffisante de mélange microballons/époxy pour obtenir un bon collage.

Avant de commencer cette étude, définissons quelques termes :

- **Poids :** exprimé en onces par yard carré de tissu sec.
- **Épaisseur :** elle dépend principalement du poids et du type de fibre, mais aussi du tissage.
- **Filament :** une fibre unique, parfois appelée monofilament.
- **Toron ou extrémité :** un groupe de monofilaments.
- **Roving ou tow :** un groupe de monofilaments tous parallèles les uns aux autres. Ils sont généralement désignés par le nombre de filaments, par exemple 3K ou 12K.
- **Fil :** un groupe de monofilaments torsadés pour maintenir les fibres ensemble. La torsion réduit légèrement la résistance des fibres.
- **Denier :** le poids, en grammes, de 9 000 mètres de fil. Plus le nombre est faible, plus le fil est fin.
- **Chaîne ou ends :** ce sont les fils qui s'étendent dans le sens du rouleau de matériau.
- **Trame ou picks :** ces fils sont plus courts parce qu'ils traversent le rouleau.
- **Count :** ce terme désigne le nombre de fils de chaîne (ends) et de fils de trame (picks) par pouce. Par exemple, un tissu 24 x 22 possède 24 fils de chaîne dans chaque pouce de direction de trame et 22 fils de trame dans chaque pouce de direction de chaîne.
- **Drapabilité :** notion quelque peu subjective qui décrit la facilité avec laquelle le tissu épouse une forme non plane. Le papier d'aluminium, par exemple, présente une faible drapabilité puisqu'il doit être plié pour envelopper une sphère.
- **Armure :** elle décrit la manière dont les fils de chaîne et de trame sont entrelacés pour former ce que nous percevons comme un tissu. Elle détermine la drapabilité et la direction de résistance maximale du tissu lorsque celui-ci présente une préférence pour la direction de la chaîne ou de la trame.



La tige filetée est maintenant placée dans le trou et entourée d’un mélange épais de flox et d’époxy.

Pour compliquer davantage les choses, il existe trois catégories de renforts :

- les particules,
- les fibres discontinues
- les fibres continues.

Un exemple de composite à particules serait le béton, dans lequel le gravier constitue la phase particulaire.Si la clé de la résistance des composites réside dans la résistance à la traction des fibres, alors des fibres plus longues sont préférables, car elles offrent davantage de points où la résine époxy peut adhérer, permettant ainsi de solliciter chaque fibre jusqu’à sa capacité maximale. C’est pour cette raison que l’on place dans le béton des barres d’acier longues plutôt que courtes.

La construction à fibres discontinues utilise des fibres courtes et est donc plus résistante qu’un composite à particules. Cependant, comme les fibres sont courtes, leur résistance n’est pas pleinement exploitée. Au lieu de cela, la charge est transmise le long d’une fibre puis passe, par l’intermédiaire de la résine époxy, à la fibre suivante. Ce procédé peut néanmoins être appliqué par pulvérisation pour réaliser le stratifié, comme cela se fait pour les coques de bateaux.

La pulvérisation signifie également que les fibres sont orientées aléatoirement ; la résistance n’est donc pas dépendante d’une direction particulière.

Le dernier groupe, celui des fibres continues, est celui que nous recherchons pour obtenir la résistance maximale. C’est notre très longue corde de tir à la corde sur laquelle suffisamment de personnes peuvent

prendre prise pour exploiter pleinement sa résistance.

TISSU, VOICI TON LIANT !

L’analogie des personnes tirant sur une corde peut être étendue à l’autre moitié de ce matériau : le liant.



Le flox peut être lissé à l’aide d’un pinceau trempé dans de l’époxy pur.

Il ne sert à rien d’avoir une corde solide tenue par des personnes faibles, et plus il y a de mains sur la corde, mieux c’est. Si nous comparons deux équipes, l’une appelée résine vinylester et l’autre résine époxy, et que nous observons leur manière de saisir la corde, il devient évident que l’équipe de la résine époxy est la plus forte.

Les molécules de la résine vinylester sont de longues structures qui s’enroulent autour de la fibre, tandis que les molécules de résine époxy se lient non seulement à la fibre en de nombreux points, mais également entre elles. L’avantage est que les molécules de résine époxy placent davantage de « mains » sur la fibre. C’est comme si une équipe disposait de joueurs supplémentaires tirant sur les ceintures de ceux qui tiennent la corde.

Les « mains » de la résine époxy sont également beaucoup plus fortes. En fait, elles sont environ quatre fois plus résistantes que celles de la résine vinylester. De plus, la résine époxy peut lier des matériaux différents ou déjà polymérisés, alors que la résine vinylester rencontre parfois des difficultés dans ce domaine. La véritable cerise sur le gâteau est que la résine époxy présente aussi une meilleure résistance à la microfissuration.

Quel est l’inconvénient de la résine époxy ? Elle est un peu plus difficile à utiliser car, pour obtenir autant de liaisons tridimensionnelles que possible, il faut mélanger ses composants constitutifs avec une très grande précision. Dans le cas contraire, l’excédent de matériau reste simplement incorporé au mélange sans trouver de partenaire de liaison et affaiblit le produit fini.

La résine vinylester, en revanche, est constituée de longues chaînes qui peuvent être prolongées, ce qui rend le mélange un peu plus tolérant. Ai-je mentionné que son coût est environ deux fois inférieur à celui de la résine époxy ?



L'étape suivante consiste à réaliser un congé en mélange microballons/époxy à l'endroit où les deux pièces de mousse se rejoignent. Le tissu en fibre de verre n'aime pas épouser les angles vifs ; cette transition est donc importante.

Par conséquent, les fabricants de kits utilisent la résine époxy là où la résistance est indispensable. La résine vinylester est le liant privilégié pour les séries Glasair, Glastar et Van's, cette dernière l'utilisant autour d'une structure métallique. Lancair, ne comportant aucun métal, a opté pour la résine époxy. C'est ce qui rend possibles tant de grands avions : le choix.

En résumé, si nous disposons de très longues fibres de verre et les associons à une résine, nous obtenons un avion abordable, doté d'une résistance phénoménale, d'un faible poids et, parce que le tissu est, eh bien, un tissu, pouvant être facilement façonné en courbures composées qui épousent l'air au lieu de simplement le repousser.

À ce stade, vous avez probablement l'impression que quelqu'un vient de vider sur la table un puzzle de 1 000 pièces. Ne vous inquiétez pas. Dans les prochains volets, nous vous montrerons l'image de la boîte et nous vous indiquerons toutes les pièces de bordure. Vous constaterez que la manipulation de ces matériaux est en réalité beaucoup plus simple que vous ne l'imaginez.

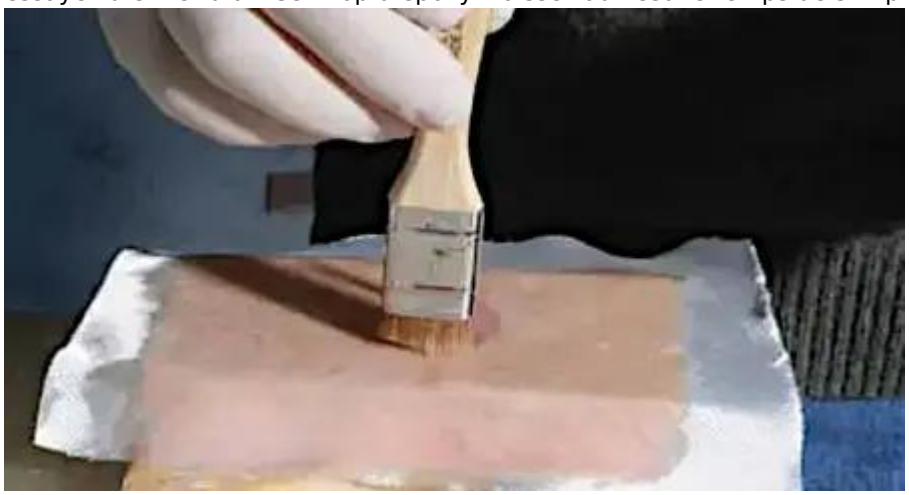
En fait, cela va être amusant.



Après avoir lissé le congé à l’aide d’un pinceau trempé dans l’époxy, il est temps de poser la première couche de tissu.



Une fois le tissu mis en place, il peut être imprégné à l’aide d’un pinceau. Travaillez du centre vers l’extérieur et essayez d’éviter d’utiliser trop d’époxy. Laissez au tissu le temps de s’imprégner correctement.



Un pinceau aux poils raccourcis est efficace pour éliminer, par tapotement, les bulles d’air indésirables.



Le tissu d’arrachage peut être utilisé pour absorber l’excès de résine. Appliquez-le comme une couche supplémentaire de fibre de verre.



L’un des secrets pour réaliser un bon travail en fibre de verre, et cela vaut aussi pour la fibre de carbone et le Kevlar, consiste à savoir quand arrêter d’y toucher. Le tissu d’arrachage de ce projet est pratiquement imprégné à la perfection. Arrêtez-vous maintenant, prenez une tasse de café et laissez-le polymériser.