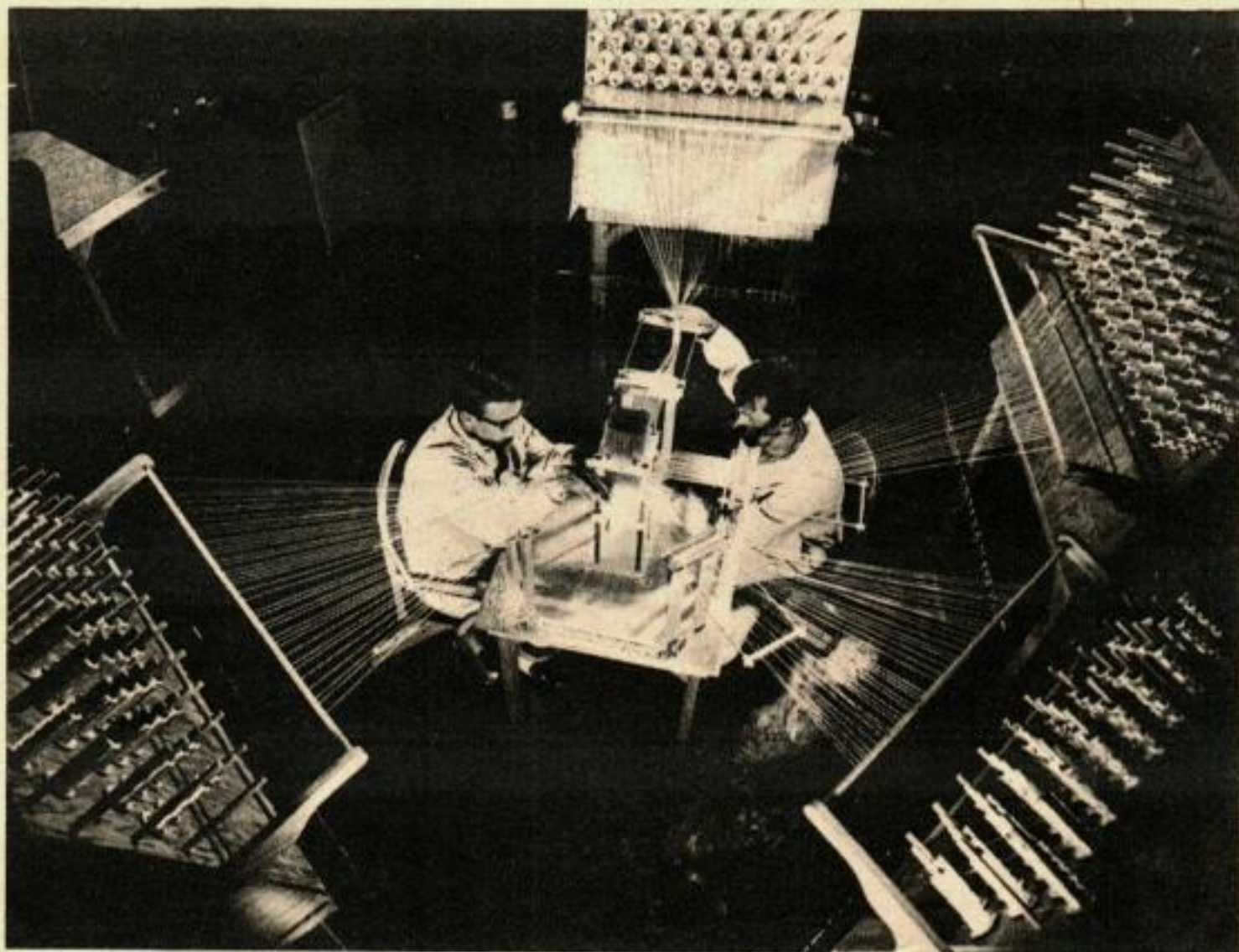




DES FIBRES QUI RENDENT TOUT PLUS SOLIDE

Des fibres minces comme des fils peuvent être tissées pour donner des matériaux légers et cependant très résistants — ouvrant pour l'homme ce que des hommes de science appellent l'âge des fibres.

par A. Freese

DANS l'avenir prévisible, un nouveau monde de matériaux vous permettra de posséder une voiture aussi grande et luxueuse qu'une Lincoln Continental, mais plus légère qu'une Volkswagen. Vous travaillerez dans des bâtiments cinq fois plus élevés que l'Empire State Building, et traversez des ponts deux fois plus longs que le pont Verrazano. Votre docteur pourra regarder votre cœur et vos vaisseaux sans avoir recours à la chirurgie. Des super aimants protégeront nos astronautes contre le danger des rayons cosmiques et permettront d'utiliser la bombe H pour un usage pacifique.

Cette nouvelle catégorie de matériaux protège la vie des soldats au Vietnam et des policiers de New York. Ces substances servent à fabriquer des tubes de bazooka en plastique, faciles à remplacer, et d'autres armes d'infan-

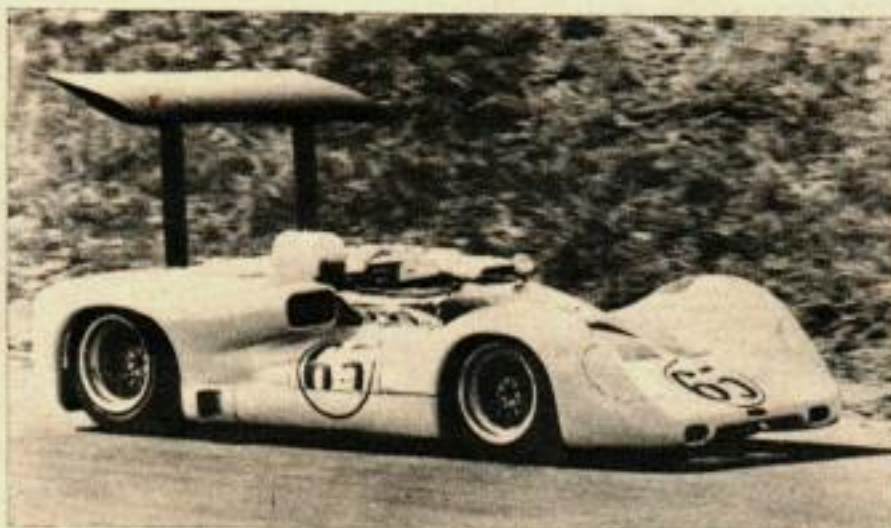
terie. Elles permettent de fabriquer des bateaux qui combattent sur les eaux du Vietnam et augmentent la durée de nos pneus de plus de 50 pour cent. A l'aide de ces matériaux, la lumière est canalisée sur des trajets compliqués et permet de photographier aussi bien en couleur qu'en noir et blanc, l'intérieur de l'estomac des malades. Ces substances sont aussi utilisées dans l'« espace interne », le monde sous-marin. Le 9 novembre 1967, une capsule Apollo inhabitée, à la fin d'un voyage de 17.000 kilomètres dans l'espace, pénétra dans l'atmosphère à la vitesse de 10 km à la seconde. Le véhicule spatial était protégé de la chaleur de 3.000 degrés par l'épaisseur de 5 cm de son bouclier de protection thermique fabriqué à partir de ces matériaux.

En 1964, le général Bernard Schriever, commandant l'Air Force Systems Command, dit de

LA FIBRE DE VERRE : SON USAGE VA DU FEU A L'EAU



1



2



3

La fibre de verre est utilisée dans des milliers de produits. 1. Un pompier porte un vêtement en fibre de verre qui le protège contre des températures atteignant 870°. 2. Voiture de course en fibre de verre. 3. Cal-40 Thunderbird, yacht de 12 mètres de long, construit en fibre de verre. 4. Le champion de ski Jean-Claude Killy sur ses skis en bois et fibre de verre. 5. Salle de bains entièrement en fibre de verre.

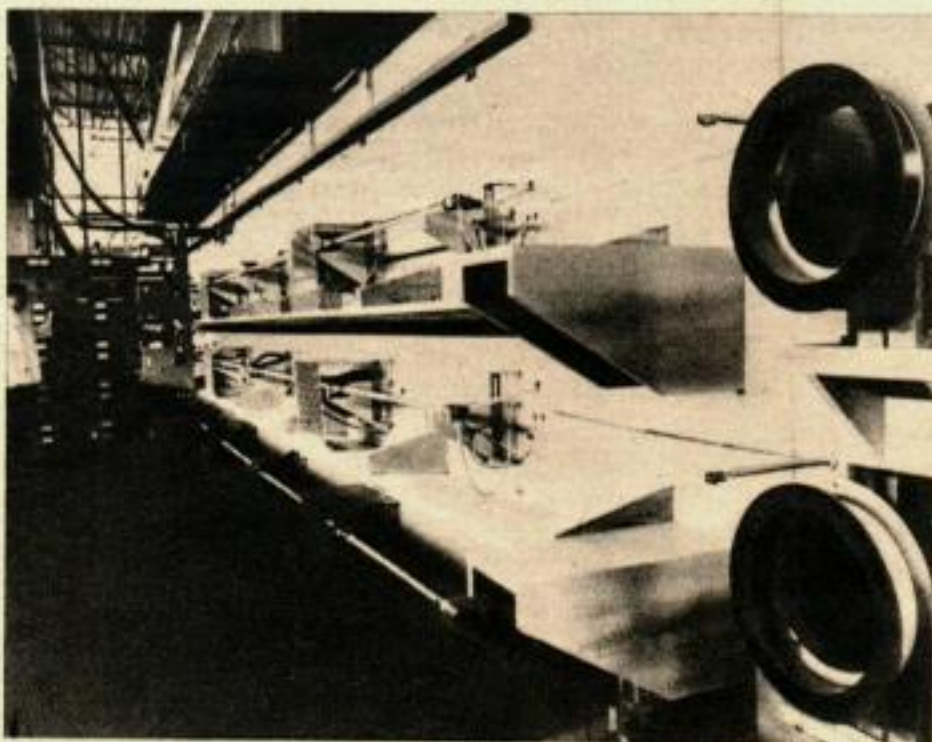
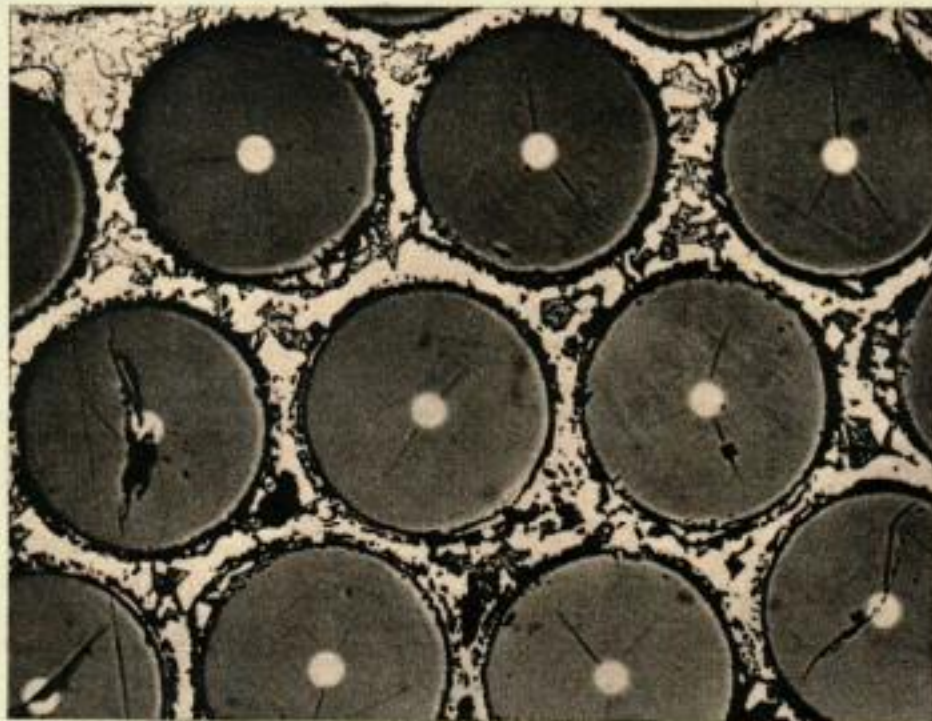
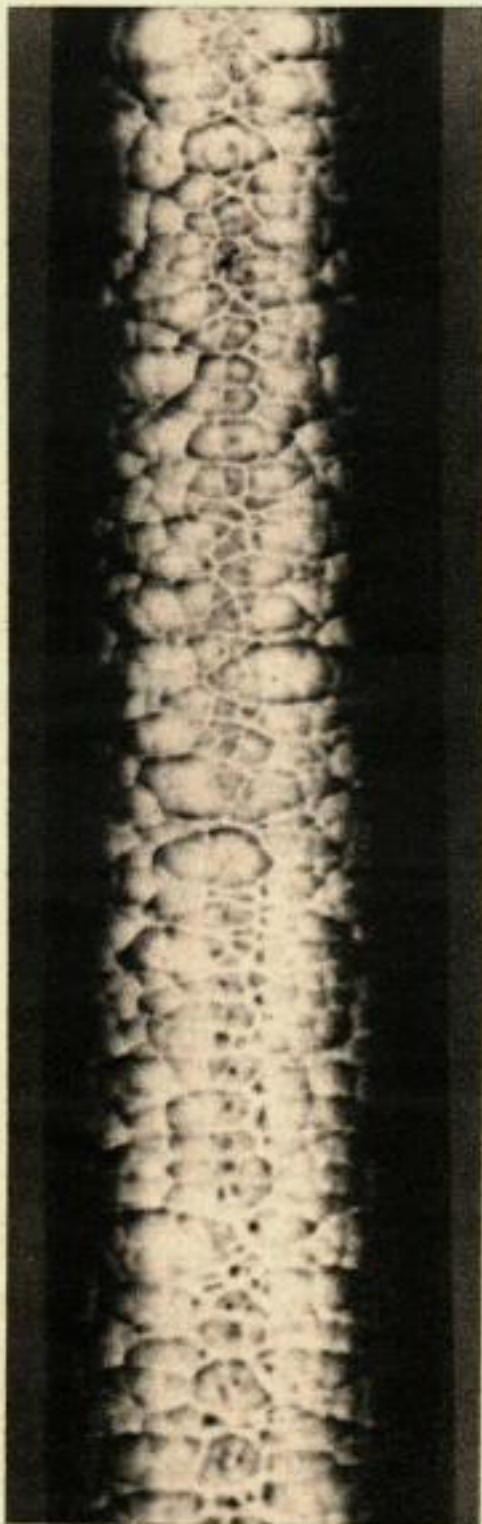


4

5



FIBRES DE BORE ET DE SAPHIR



Les filaments et fibres de bore sont les plus perfectionnés et parmi les plus solides, rigides et légers. Les filaments de saphir et les « whiskers » permettront de faire des lames de rasoir durant une vie entière. 1. Vue de la surface d'un filament de bore grossi 500 fois. 2. Vue en coupe de filaments de bore grossis 750 fois. Ils sont ici enrobés dans de l'aluminium. 3. Usine fabriquant les filaments de bore. Les chaînes de fabrication sont montées verticalement sur le mur, elles sont actionnées et approvisionnées au fond de la salle. 4. Les filaments de saphir ont à peu près l'épaisseur d'un cheveu humain. Les cristaux de saphir se développent selon une variété de formes, ainsi qu'il est montré sur la photo.



ces nouvelles substances : « Dans le champ des nouveaux matériaux... nous sommes maintenant au début du plus grand progrès réalisé depuis 3.000 ans. »

Depuis cette déclaration, nous avons passé la porte de ce nouveau monde des fibres.

Le secret de la force dans la nature est la conjugaison de fibres légères et flexibles et d'un cadre rigide, afin de combiner les avantages opposés : nos muscles et os sont construits selon ce principe. Il y a 3.000 ans, les Egyptiens ignoraient qu'ils utilisaient cette théorie lorsqu'ils mettaient de la paille dans leurs briques. Le bambou en est un exemple excellent : les longues fibres de cellulose, allongées parallèlement à l'intérieur d'une mince gaine, lui donnent une telle solidité, légèreté et souplesse qu'une canne à pêche en bambou de 60 grammes permet de tirer une truite de trois livres qui résiste de toutes ses forces.

La technologie des matériaux a toujours été d'une telle importance, que les différents stades de la civilisation ont été définis par le nom de leur nouveau matériau le plus important. D'abord l'âge de pierre, celui du bronze, du fer puis de l'acier. Beaucoup de savants pensent que nous entrons maintenant dans l'âge des fibres. Cette nouvelle époque verra une révolution dans les matériaux — des fibres ultra résistantes et légères, résistant aux hautes températures seront contenues dans des gaines de plastique ou de métal pour donner des matériaux aux caractéristiques très différentes de celles des composants. Il a été estimé que depuis l'âge du bronze, il y a 5.000 ans, le rapport poids-résistance des matériaux a pratiquement doublé — les nouveaux matériaux composites à base de fibre peuvent tripler ce rapport en une décade.

Les fibres dans le passé

Il y a des milliers d'années, les nomades du désert fabriquaient les premières fibres lorsqu'ils plongèrent un bâton dans le sable fondu sous leurs feux de camps et en retirèrent des filaments de verre. Au cours

de la Foire mondiale de 1893, à Chicago, la danse « Hootchie-Kootchie » de « Little Egypt » fut présentée dans la première robe en tissu de verre. Ceux qui se précipitèrent pour voir furent désappointés, la robe était opaque, raide et laide. Cela était pourtant l'ancêtre de la fibre de verre. Au début des années 40, les ingénieurs de l'armée développèrent des méthodes permettant d'enrober un tissu de verre dans une résine plastique, ce qui donna ce que nous appelons la fibre de verre.

Les savants savent depuis longtemps que beaucoup de matériaux sont plus résistants sous forme de fibres que sous leur forme habituelle. Déjà, il y a 50 ans, les spécialistes en cristallographie avaient des connaissances assez complètes sur la structure de l'atome pour calculer que la résistance de certaines céramiques était théoriquement près de 12 fois celle de l'acier. Mais les tests pratiques ne prouvèrent jamais la justesse de ses calculs.

La raison de cette contradiction se révéla être particulièrement simple. Il vous est impossible de déchirer un celluloid épais avec vos seules mains ; mais faites une légère encoche dans le celluloid et il se déchire facilement. De la même manière, la moindre imperfection dans ces céramiques réduit leur résistance, et à l'état de masse, il y a pratiquement toujours des défauts. Sous forme de fibres, la diminution de surface réduit sensiblement les chances de fissures, et le matériau approche de sa résistance théorique.

Le matériau composé est formé de fibres et d'une gaine, chacun des éléments ayant son importance. La fibre idéale doit être résistante, rigide, résistant à la température et peu coûteuse, dans la mesure où elle doit permettre une économie en comparaison avec les matériaux qu'elle doit remplacer. Des ingénieurs auraient dit que construire le train d'atterrissage du Boeing 707 en or massif serait une bonne affaire si cela permettait un gain de poids de 50 %. Actuellement, la gamme des prix des fibres va de moins de 5 F la livre de fibre de verre, jusqu'à 60.000 francs la

Vocabulaire de l'ère des fibres

Fibre. Matériaux présentés sous forme de fils, ce terme concerne aussi bien les filaments, brins et « eutectics ».

Filaments. Une fibre longue et continue.

Bitords. Fil tressé.

« **Whiskers** ». Filaments très courts formés d'un cristal pur (ne s'étire pas).

« **Eutectic** ». Alliage qui, en se solidifiant après sa fonte, forme un composé de fils et de matière compacte, ou gaine.

Gaine. Matériau qui maintient les fibres.

Composé. En réalité, tout ce qui est fait de deux ou plus matériaux différents ; mais

dans cet article, concerne les matériaux renforcés de fibres.

FRP. Fibre - reinforced - plastic (plastique renforcé de fibres).

Céramique. Combinaison d'un ou plusieurs métaux avec un élément non métallique, habituellement l'oxygène. Ces matériaux sont très résistants aux agents chimiques.

Résistance à la traction. Mesure la résistance du matériau, traction maxima qu'il peut supporter sans se déchirer.

Module d'élasticité. Il s'agit d'un ratio : plus le module est élevé, plus le matériau est rigide.

Les « Whiskers », cristaux minuscules, sont d'une résistance considérable ; certains sont 10 fois plus forts que les aciers les plus résistants.

livre de fibre de saphir, et même plus encore pour certaines fibres.

La gaine doit être plastique et adhésive ; un savant a comparé la façon dont elle doit tenir les fibres, à la façon dont la boue s'attache à vos pieds lorsque vous marchez dedans. La gaine ne doit pas rayer les filaments, ni réagir avec eux ; par contre, elle doit les maintenir et les empêcher de s'échapper. La gaine doit aussi distribuer des charges et tensions et doit pouvoir maintenir les fibres qui se brisent : les plastiques, l'aluminium, le nickel, le cuivre, le beryllium et le titanium sont tous utilisés. Pour définir un matériau composite, à base de fibres, il faut spécifier la nature de la gaine, des filaments et l'orientation des fibres.

Les matériaux composites dont les fibres sont toutes orientées dans le même sens ne résistent que dans un seul plan (plan longitudinal des fibres) ; ce phénomène est connu sous le nom de « anisotropie ». Lorsque vous plantez un clou dans une planche et qu'elle se fend, vous faites l'expérience de la faiblesse d'un composite unidirectionnel ; le bois à fil droit est le plus courant des matériaux renforcés par les fibres. Lorsque l'on assemble des couches successives de matériaux à fibres unidirectionnelles, en plaçant les fibres de chaque couche à 90° de la précédente, on obtient un composé bidirectionnel, résistant sur deux

directions. Si les épaisseurs sont combinées en trois directions, à 60° les unes des autres, on obtient une « pseudo-isotropie ». L'« isotropie » est obtenue lorsque les propriétés de résistance sont les mêmes dans toutes les directions, comme dans le contre-plaqué, formé de très minces épaisseurs de bois dont les fibres droites sont combinées sous des angles différents pour donner une excellente résistance.

50.000 usages pour la fibre de verre

Les fils de verre sont enrobés dans du plastique pour former un matériau bien connu, la fibre de verre (Fiberglass en un seul mot est un nom de marque commerciale) qui, dans les trois quarts des cas, utilise le polyester comme gaine ; la résine epoxyde est habituellement choisie pour les hautes performances. Ce matériau est utilisé dans presque 50.000 articles différents : marteaux, cannes à pêche, clubs de golf, bateaux, skis, votre automobile et ses pneus.

Des fils de verre presque aussi fins qu'un cheveu humain, servent à véhiculer la lumière — même des filaments plastiques comme le « Crofon » de Dupont servent au même usage. Enroulés, tordus, même noués, ces filaments conduisent la lumière émise à leur extrémité, exactement comme un tuyau d'arrosage conduit l'eau lorsque le robinet

Matériau	Forme	Résistance à la traction (en millions)	Module d'élasticité (en millions)	Utilisation
Verre Type E	Filaments	500	10,5	Produits de consommation, espace, armement, aviation, océanographie, industrie, agriculture.
— Type S	Filaments	650	12,6	
Bore	Filaments	400	55	Espace, aviation, militaire, industrie, construction.
Carbone-graphite ..	Filaments	320	62	Mêmes usages que le bore mais peut-être supérieur.
	« Whiskers »*	2.845	170	
Carbure de silicone .	Filaments	300	67	Mêmes usages que le bore.
	« Whiskers »	3.000	70	
Nitrite de bore	Filaments	200	18,8	Mêmes usages que le bore.
Tungstène	Filaments	580	59	Généralement comme le bore.
Molybdène	Filaments	320	52	
Acier	Filaments	600	29	Antistatique dans les tapis.
Béryllium	Filaments	185	35	
Saphir	Filaments	300 (à 2.000)	25 (à 70)	Comme le bore, mais aussi usage en optique. Lames de rasoir inusables.
	« Whiskers »	3.000	62	
Nitrite de silicone ..	« Whiskers »	2.000	55	
Fer*	« Whiskers »	1.900	29	

* Il y a beaucoup d'autres substances utilisées dans les recherches sur les filaments, mais ceux qui figurent sur cette liste à l'exception des Whiskers de graphite et de fer, sont commercialisés.

IMPORTANCE DE CES NOUVEAUX MATERIAUX DANS L'INDUSTRIE, LES AFFAIRES ET LES METIERS

Agriculture. Le FRP de fibre de verre réduit les coûts d'entretien des tuyaux réservoirs et silos soumis au contact d'agents corrosifs, solides ou liquides, y compris les engrais. Ce FRP est étanche et imputrescible. Il résiste à la rouille.

Automobile. La fibre de verre, dont on a utilisé 110 millions de livres en 1967, devra fournir 784 millions en 1970. Utilisée pour la fabrication d'éléments complets, ce matériau sert aussi à protéger les carrosseries et les châssis de la rouille, il augmente la durée des pneus de 50 %.

Aviation et Espace. La seconde génération de composés ultra-résistants et ultra-légers, tels le bore et le graphite, apporte une révolution dans ce domaine. On prévoit pour l'avenir l'avion entièrement constitué de matériaux composés. Les pièces d'avion en FRP de fibre de verre vont augmenter de 15 à 20 % par an.

Produits de consommation. En 1967, la fibre de verre devait remplacer 30 millions et demi de kilos d'acier et autres métaux, dans des articles tels que les clubs de golf, les skis, les cannes à pêche, les caravanes de camping, les sièges et une variété d'outils.

Construction. Quand les fibres de la deuxième génération seront commercialisées à un prix raisonnable, les buildings s'élèveront dans le ciel, les ponts seront plus gi-

gantesques. L'architecture trouvera de nouvelles dimensions.

Monde sous-marin. Un certain nombre de submersibles de grandes profondeurs ont une couche de fibre de verre sur leur coque, certaines superstructures de sous-marins sont en fibre de verre.

Marine et nautisme. 75 % des coques de hors-bords sont en fibre de verre, mais un nouveau domaine s'ouvre pour les bateaux de pêche et commerciaux jusqu'à une taille de 25 mètres. Les ingénieurs maritimes envisagent la construction de bâtiments de 90 mètres de long en fibre de verre.

Médecine. Les fibres optiques, verre et plastique, permettent aux docteurs de voir à l'intérieur du corps sans recours à la chirurgie.

Usage militaire. Les composés de fibre de verre permettent de remplacer le métal dans la fabrication de canons, tubes et mécanisme de culasses, dans les missiles, dans la protection contre les balles des avions et du personnel.

Optique. La nouvelle technologie des fibres optiques a ouvert un nouveau monde d'applications. La lumière peut être acheminée en des endroits difficilement accessibles, sans ampoules ni prises de courant électrique. On peut seulement imaginer les possibilités — équipement de communications, publicité, contrôles électroniques, aviation, machines à voter — l'embarras du choix.

est ouvert. Une fois avalée par le patient, ces fibres permettent aux médecins de voir l'intérieur de l'estomac du malade et même d'y prendre des photographies. On a passé des filaments dans les veines ou artères d'animaux de laboratoire, jusqu'à ce que les filaments atteignent le cœur. On a pu ainsi voir et photographier l'intérieur des artères et du cœur de ces animaux, sans avoir à les opérer. Il est possible de remplacer une douzaine de lampes de tableau de bord d'une automobile par un petit nombre de fibres, et l'on peut éclairer jusqu'à 30 points séparés avec une seule source lumineuse. Cette technique sera bientôt utilisée pour une grande variété d'usages ; depuis les machines à sous, jusqu'aux appareils de détection, des jouets d'enfants aux équipements électroniques ; même pour les équipements de bureau et le « chariot lunaire » de la société Bendix.

La fibre de verre sert de bouclier de protection thermique pour le retour dans l'atmosphère des véhicules spatiaux (comme dans l'engin Apollo), et dans l'équipement de sur-

vie des marcheurs de l'espace, leurs combinaisons pressurisées, et même les pistolets à gaz qui servent à contrôler leur position dans l'espace. De même elle joue un rôle guerrier dans les missiles tels que les Polaris et Minuteman. Les aviateurs et soldats sont protégés par des armures renforcées de fibre de verre. Elle sert aussi à construire des lance-fusées, et la marine utilise des bateaux en fibre de verre pour patrouiller les rivières du Vietnam. Elle va aussi sous la mer où elle constitue la paroi externe des sous-marins capables de naviguer à des grandes profondeurs, et sert également à renforcer leurs superstructures. Son point faible réside dans la limitation de sa rigidité, due au fait qu'elle ne peut utiliser que des gaines plastiques.

Un autre plastique renforcé de fibres (Fibre Reinforced-Plastic = FRP) est actuellement à l'essai sur des avions tels que le F-111, le Bronco COIN et l'avion d'entraînement de la marine T-2 B. On prédit un gain de poids de 275 kg dans la section arrière du F-111

(Suite page 119.)

Des fibres qui rendent tout plus solide

(Suite de la page 82)

grâce à l'utilisation d'un FRP au Bore à la place de l'aluminium. On espère que l'utilisation de FRP au bore permettra de construire des pales de rotor d'hélicoptères, d'une résistance presque illimitée à la fatigue, moins vulnérables aux balles de l'ennemi et donnant plus de liberté à la conception de leurs formes.

Le nouveau monde des filaments

Ce nouveau monde se développe si vite que dans un article récent figuraient 29 matériaux à base de fibres, dont 15 seulement sont actuellement commercialisés. Il n'y a que trois filaments que l'on puisse considérer comme proches de l'idéal.

Les filaments sont fabriqués de plusieurs manières. Les fils de verre sont toujours tirés, tout à fait comme les nomades le faisaient sans s'y rendre compte il y a des milliers d'années. La combustion d'une fibre organique comme la rayonne, donne un filament de carbone. Les fibres sont aussi obtenues par la cristallisation et par la déposition. Le bore en est un bon exemple — un fil ténu de tungstène, chauffé au rouge traverse une chambre remplie de trichlorure de bore et d'hydrogène. Du bore pur se dépose sur le fil pendant la traversée de la chambre ; le filament obtenu est composé de 95 pour cent de bore pur et d'un noyau de 5 pour cent de tungstène.

Les filaments de bore, sur fil de tungstène sont les plus récents de ces matériaux. Ils ont suscité bien des rêves. La construction de ponts de très grande longueur, de bâtiments extrêmement élevés, la division par deux du poids des bateaux à aile planante ou de trains marchant sur coussin d'air. Les fibres de bore sont parmi les meilleures en ce qui concerne la solidité, la rigidité et la légèreté.

Le FRP bore-époxyde est aussi résistant et rigide que l'acier à haute résistance de l'industrie aéronautique, bien que 75 % plus léger. Les filaments de bore sur tungstène sont six fois plus rigides que la fibre de verre, mais d'un coût bien plus élevé.

Il faut cependant considérer, comme l'a dit L. Brian Keller, directeur de la section plastiques du département de technologie de la Hughes Aircraft, que « chaque livre de poids économisé représente une économie de 70.000 à 100.000 francs » et ensuite, parlant des composites en général :

« Je présume que l'on pourra économiser jusqu'à 30 % dans le poids des avions. »

Les applications commerciales devront attendre un abaissement du coût, même si le bore peut être encastré dans des métaux résistants mieux à la chaleur que les plastiques. Le composé au bore est anisotrope, mais a été combiné jusqu'à 50 épaisseurs. Une pièce de 36 feuilles ne dépasserait pas l'épaisseur de 4 mm 23, et égalerait la solidité de

l'acier utilisé dans la construction en une épaisseur cinq fois supérieure.

Les fibres de carbone et de graphite, les plus prometteuses après le bore, sont à poids égal, les filaments les plus résistants et les plus rigides. Ils n'existent que sous forme de bitords et leurs applications sont les mêmes que celles du bore. Tissés avec du fil de verre, ils ont servi à chauffer les sièges de la Cadillac 1966. La fibre la plus importante qui vienne ensuite est le carbure de silicone, déposé comme le bore sur un fil de tungstène. Ses propriétés sont proches de celles du bore, au point de vue mécanique mais elle est de 20 % plus lourde. Les ingénieurs prévoient pour elles les mêmes usages que pour le bore.

L'acier inoxydable existe aussi sous forme de filaments. On l'utilise dans la fabrication des tapis pour éviter qu'après avoir traversé ces tapis, on reçoive un choc électrique au toucher d'objets métalliques. L'acier est facilement mélangé au tissu lors de la fabrication des tapis. Il n'est plus nécessaire dans les hôtels et institutions d'imprégner les tapis avec des produits anti-statiques. Cette fibre permet aussi de faire des vêtements qui ne collent pas au corps.

Les fils les plus ténus ou « whiskers » sont de minuscules cristaux et sont les filaments les plus résistants. Certains sont dix fois plus forts que l'acier le plus solide et leur longueur varie de la moitié de l'épaisseur d'un cheveu humain à 2,5 cm (on fabrique couramment, maintenant, des fils de bore de près de 4 km. de long. L'épaisseur d'un « whisker » peut être du 20^e de celle d'un cheveu humain. Les « whiskers » de saphir et de carbure de silicone sont les plus utilisés. Incorporés dans du métal ou du plastique, leurs possibilités sont considérables.

Un des de niens progrès est l'utilisation de ces saphirs sous forme de filaments. Le Dr A.I. Mlavsky, vice-président de la Société Tyco Laboratories de Watham, Massachusetts, nous explique leurs possibilités : « Ils ouvrent la porte à une utilisation inégalable des matériaux composés dans une variété d'applications urgentes dans les domaines militaires, industriels et de la recherche. » Ce nouveau procédé rendra possible les lames de rasoir en saphir pouvant durer toute une vie.

Une nouvelle technique

Une nouvelle technique permet de fabriquer la fibre et sa gaine en même temps en contrôlant la fusion de certains alliages métalliques. Dans ces « eutectics » (du mot grec signifiant : d'une fonte facile), un alliage est fondu ; en se solidifiant, un de ses éléments forme des filaments « whiskers » et l'autre forme la gaine. Il en résulte un composite de grande solidité et résistant à la chaleur.

Pour la fabrication d'un composite isotrope, la Société Avco a inventé un matériau renforcé dans les trois dimensions : son procédé « 3-D ». Deux ensembles de filaments sont tissés à angle droit l'un par rapport à l'autre dans un plan horizontal et ensuite un

troisième est ajouté dans un plan vertical à 90° des deux autres. Les fibres verticales ne sont pas séparées entre elles par une distance supérieure au diamètre des fibres horizontales. Il y a donc friction entre les filaments, ce qui donne force et intégrité au matériau une fois qu'il est enlevé du métier à tisser.

A la naissance de l'ère des fibres, aucun chercheur ne veut prendre le risque de prédire l'avenir de cette nouvelle technologie des matériaux. Ce qui ressemble le plus à une prédiction a été un commentaire de Keller : « Il y a vingt-cinq ans, le matériau composite appelé fibre de verre n'existait pas. Maintenant, plusieurs millions de kilos sont utilisés tous les ans. Nous pouvons nous attendre à la même expansion de la part des composites à hautes performances. » Peut-être les vastes possibilités laissent-elles même le savant sans parole.