FIBRES DE CARBONE 2014

MATIERES PREMIERES :

Elles sont fabriquées à partir de précurseurs chimiques (fibres synthétiques, brai de charbon ou de pétrole). La plus grande partie de la production, environ 97 %, est réalisée à partir de polyacrylonitrile (PAN : $(CH_2\text{-}CH\text{-}CN)_n$).

Les fibres de polyacrylonitrile sont préparées par polymérisation, par voie radicalaire, d'acrylonitrile obtenu à partir de propylène selon la réaction suivante :

$$2\ CH_2CH_3CH + 2\ NH_3 + 3\ O_2 = 2\ CH_2CHCN + 6\ H_2O$$

FABRICATION ET PROPRIETES :

Fibres issues de PAN :
Les fibres de PAN sont d'abord oxydées, à l'air, vers 200-300°C pendant de 30 minutes à 3 heures. La carbonisation a lieu entre 700 et 1500°C, sous atmosphère de diazote, pendant quelques minutes. Le produit obtenu, amorphe, contient 90 % de carbone et de l'ordre de 8 à 10 % d'azote, environ 1 % d'oxygène et moins de 1 % d'hydrogène. Il possède une résistance mécanique en traction élevée (3000 à 6000 MPa) mais un module élastique moyennement élevé (200 à 330 GPa) et peut être, après traitement de surface, utilisé.
Un traitement complémentaire de graphitation entre 2000 et 3000°C, pendant 1 à 2 minutes, donne des fibres, cristallisées sous forme graphite, à 99 % de carbone et possédant un module élastique élevé (350 à 600 GPa) et une résistance moindre (2000 à 5000 MPa). Les traitements thermiques sont réalisés sous tension longitudinale. Afin de faciliter la liaison future des fibres avec leur matrice, un traitement d'oxydation de surface, généralement électrolytique, est réalisé.

Pour produire 1 kg de fibres de carbone il est nécessaire de fournir 286 MJ.

Les fibres ont un diamètre compris entre 5 et 7 micromètres avec une masse volumique comprise entre 1,74 et 1,95 g/cm^3. Elles sont produites de façon continue et sont regroupées sous forme de fils contenant de 1 000 à 48 000 fibres ou plus. Leur module élastique est compris entre 200 GPa et 600 GPa.

Ces fibres sont destinées plus particulièrement à l'élaboration de matériaux composites destinés à des applications en aéronautique et pour des équipements sportifs.

Fibres issues de brais de charbon ou pétrole : elles ne représentent qu'environ 3 % de la production mondiale.

Les brais de charbon ou de pétrole sont constitués d'un mélange d'hydrocarbures aromatiques qui sans orientation particulière sont isotropes. Un traitement thermique, entre 350 et 450°C, sous atmosphère inerte, permet aux molécules aromatiques de moins d'une dizaine de cycles de grossir par condensation et d'entraîner une structure orientée de cristal liquide (mesophase). On distingue ainsi les fibres isotropiques des fibres anisotropiques.
Après filage du précurseur, celui-ci subit des traitements thermiques identiques à ceux pratiqués pour les fibres de PAN.

Les fibres isotropiques, discontinues, ont un diamètre compris entre 12 et 18 micromètres et une masse volumique de 1,6 g/cm^3. Leur module élastique est faible, 40 GPa. Elles ont une très bonne conductibilité thermique et sont, en particulier, utilisées pour tisser des textiles pour isolation haute température.

Les fibres anisotropiques, continues, ont un diamètre compris entre 7 et 10 micromètres et une masse volumique comprise entre 1,7 et 2,2 g/cm^3. Elles sont formées de façon continues et regroupées sous forme de fils contenant de 1 000 à 12 000 fibres. Leur module élastique varie de très faibles valeurs, 6 GPa, à des très élevées, 950 GPa. Celles à module élastique très élevé, donc très rigides, sont, en particulier, employées dans les équipements sportifs.

PRODUCTIONS : capacités annuelles de production, en 2013. Monde : 104 600 t/an.

Etats-Unis	31 100 t	Hongrie	6 400 t
Japon	20 700 t	Allemagne	5 800 t
Taïwan	8 800 t	France	5 200 t
Mexique	7 600 t	Royaume Uni	4 000 t

Source : Reinforced plastics, nov-dec 2014

La production japonnaise est, en 2014, de 19 270 t, à 79,1 % exportée.
En 2013, la production chinoise est de 3 000 t pour une capacité de production de 18 000 t/an.

Producteurs : en capacités annuelles de production, en 2013 :

Toray (Japon)	21 100 t	Formosa Plastics (Taïwan)	8 750 t
Zoltek (Etats-Unis)	17 400 t	Hexcel (Etats-Unis)	7 200 t
Toho Tenax (Japon)	13 900 t	Cytec (Etats-Unis)	4 000 t
Mitsubishi Rayon (Japon)	10 200 t	Hyosung (Corée du Sud)	2 000 t
SGL (Allemagne)	9 000 t	Aksa (Turquie)	1 800 t

Source : Reinforced plastics, nov-dec 2014 et rapports des sociétés

- Toray produit des fibres de carbone au Japon, à Ehime, avec 8 300 t/an, aux Etats-Unis, à Decatur, dans l'Alabama, avec 5 400 t/an, en Corée du Sud, à Gumi avec 2 200 t/an et en France, à Abidos (64), avec 5 200 t/an. Les ventes du groupe sont destinées pour 51 % à l'aéronautique et l'espace, 40 % à diverses applications industrielles, 9 % aux articles de sport. A acquis, en 2014, la société Zoltek.

- Zoltek (Etats-Unis), devenu, en février 2014, filiale de Toray, produit des fibres de carbone aux Etats-Unis, à St-Charles, dans le Missouri et Abilene, au Texas, avec 2 500 t/an, au Mexique, à Guadalajara, avec 5 000 t/an et en Hongrie, à Nyergesujfalu, avec 8 100 t/an.

- Toho Tenax, filiale du groupe japonais Teijin, produit des fibres de carbone à Mishima, au Japon, avec 6 400 t/an, Oberbruch, en Allemagne, avec 5 100 t/an et Rockwood, dans le Tennessee, aux Etats-Unis, avec 2 000 t/an.

- Mitsubishi Rayon, produit des fibres de carbone à Otake, au Japon, avec 8 100 t/an et Sacramento, en Californie, aux Etats-Unis, avec 2 000 t/an puis 4 000 t/an mi-2016.

- SGL Group (Allemagne), produit 2 000 t/an à Evanston, dans le Wyoming, aux Etats-Unis et 4 000 t/an à Muir of Ord, au Royaume Uni. En association avec BMW (51 % SGL, 49 % BMW dans la société SGL ACF), exploite à Moses Lakes, dans l'état de Washington, aux Etats-Unis, une usine de production de fibres de carbone, d'une capacité de 6 000 t/an, destinées à la BMW i3, véhicule électrique de BMW. Les fibres de PAN sont produites d'une part par une joint venture avec Mitsubishi, dans MRC-SGL Precursor Co. (66,66 % pour Mitsubishi et 33,33 % pour SGL) à Otake au Japon et d'autre part par la société Fisipe, à Lavradio, au Portugal, achetée par SGL Group en 2012.

- Formosa Plastics (Taïwan) produit des fibres de carbone dans son complexe chimique de Mailiao, à Taïwan.

- Hexcel (Etats-Unis) produit des fibres de carbone à Salt Lake City, dans l'Utah, aux Etats-Unis et Illescas, en Espagne, avec une capacité de production de 7 200 t/an. Les fibres de PAN sont produites à Decatur, dans l'Alabama, aux Etats-Unis.

- Cytec (Etats-Unis), devenu, en décembre 2015, filiale de Solvay, produit des fibres de carbone à Greenville et RockHill, en Caroline du Sud, aux Etats-Unis.

- Hyosung (Corée du Sud) produit des fibres de carbone à Jeonju, en Corée du Sud.

- Aksa (filiale d'Akkök Group, Turquie) : n°1 mondial pour la production de PAN, avec des capacités de production de 315 000 t/an, soit 17 % des capacités mondiale et une production, en 2014, de 304 000 t. Aksa exploite, en association 50-50 avec Dow, à Yalova, en Turquie, une usine de production de fibres de carbone d'une capacité de 1 800 t/an.

- Kuhera (Japon), 1 800 t/an de capacité de production de fibres isotropiques, à partir de brai de pétrole, à Iwaki au Japon et à Shanghai, en Chine.

SITUATION FRANÇAISE :

L'usine Toray à Abidos (64), fabrique des fibres à partir de PAN. La capacité de production est, en 2015, avec 5 lignes de production, de 5 200 t/an. La France est le 1er consommateur en Europe (son aéronautique représente 30 % du marché européen). Une usine de fabrication de PAN, à Lacq (64), a été inaugurée en septembre 2014.

UTILISATIONS :

En général, les fibres de carbone sont classées en fonction de leurs propriétés mécaniques en traction : résistance à la rupture, module d'élasticité (module de Young), allongement à la rupture. La résistance mécanique à la rupture en traction varie de 700 MPa pour des fibres issues de brai isotrope à plus de 6000 MPa pour des fibres issues de PAN. Le module d'élasticité en traction varie de 33 GPa pour les fibres issues de brai isotrope à plus de 800 GPa pour les fibres issues de brai mesophase.
Les fibres de carbone sont à la base de matériaux composites de faible densité et de hautes performances mécaniques. Dans ces matériaux elles sont associées soit à des matières plastiques, soit à des métaux, céramiques, ou même à du carbone (composites carbone-carbone, avec une production mondiale de 72 000 t en 2013).

Part de revenus générés, dans le monde, en 2013, par les divers matériaux composites renforcés avec des fibres de carbone :

Polymères	64 %	Métaux	8 %
Carbone	13 %	Hybrides	5 %
Céramiques	10 %		

Source : Reinforced plastics, nov-dec 2014

Dans les matériaux composites à matrice métallique, en 2009, les fibres de carbone sont associées, en valeur, pour 42 % des utilisations à de l'aluminium, 23 % du magnésium, 13 % du cuivre, 12 % du nickel.

Consommations : dans le monde, en 2013, 46 800 t.

Secteurs d'utilisation :

Répartition du marché des fibres de carbone, en 2013.

Aéronautique et défense	30 %	Automobiles	11 %
Éoliennes	14 %	Récipients sous pression	5 %
Sport	14 %	Ingénierie civile	5 %
Moulage	12 %	Marine	2 %

Source : Reinforced plastics, nov-dec 2014

Aéronautique, espace et défense :

Les matériaux composites à base de fibres de carbone sont employés dans les freins (composites carbone-carbone), déflecteurs, capotages, gouvernes, dérives d'avions, pales d'hélicoptères, tuyères des propulseurs à poudre d'Ariane V... En 2012, la fabrication de structures d'avions commerciaux en matériaux composites à base de fibres de carbone a consommé 4 000 t de fibres.

Le premier avion commercial contenant des matériaux composites à base de fibres de carbone est le Boeing 767, mis en service en 1983, qui en renfermait 6 % de son poids.
- Le Boeing 777 mis en service en 1995 renferme 11 % de son poids en matériaux composites.
- L'Airbus A340, mis en service en 1993, a 12 % de son poids, en matériaux composites à base de fibres de carbone.
- L'Airbus A380 renferme 35 t de fibres de carbone et 23 % de son poids en matériaux composites.
- Le Boeing 787 renferme 30 t de fibres de carbone et 50 % de son poids, en matériaux composites, 20 % en aluminium, 15 % en titane, 5 % en acier.
- Tous les avions militaires ont leur structure constituée principalement de matériaux composites à base de fibres de carbone.

Éolien : dans la fabrication des pales. Ce secteur a consommé, en 2012, 15 000 t de fibres.

Génie civil : dans la fabrication de câbles d'amarrage de plate-forme off-shore, de haubans... Par exemple, la passerelle de Larouin (64) de 120 m de long, sans pile intermédiaire, est soutenue par 16 haubans en composite de fibres de carbone.

Industries diverses : les fibres de carbone sont utilisées dans les plaquettes de frein, les trains TGV, les prothèses de hanche, les réservoirs haute pression, les ultracentrifugeuses pour la séparation isotopique de l'uranium...

- Les composites à base de fibre de carbone sont plus transparents aux rayons X que l'aluminium et sont utilisés dans les appareillages d'analyses médicales (tables de radiographie).

Équipements sportifs : skis, raquettes de tennis, vélos, bateaux de compétition, voitures de Formule 1, perches, deltaplanes... Les clubs de golf représentent une part de 38 % des revenus pour les matériaux composites dans le domaine sportif, les raquettes de tennis, 21 %, les bicyclettes, 14 %.