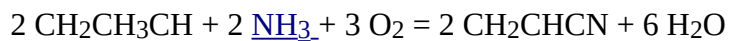


FIBRES DE CARBONE 2023

Matières premières

Elles sont fabriquées à partir de précurseurs chimiques (fibres synthétiques, brai de charbon ou de pétrole). La plus grande partie de la production, environ 96 %, est réalisée à partir de polyacrylonitrile (PAN : $(\text{CH}_2\text{-CH-CN})_n$).

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



Fabrication et propriétés

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 (3 000 à 6 000 MPa) mais un module élastique moyennement élevé (200 à 330 GPa) et peut être, après traitement de surface, utilisé.

Un traitement complémentaire de [graphitisation](#) entre 2 000 et 3 000°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 (2 000 à 5 000 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/cm³. 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 pour des applications en aéronautique et des équipements sportifs.

Fibres issues de brais de charbon ou pétrole : elles ne représentent qu'environ 4 % 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 (mésophase). 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/cm³. 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/cm³. 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

En 2021, la production mondiale est estimée à 114 100 t dont 20 645 t au Japon en 2020 et 19 250 t en Chine, en 2021. En 2022, la capacité mondiale de production est de 160 000 t/an.

Capacités annuelles de production de fibres de carbone

En t/an, en 2019, sur un total mondial de 150 900 t/an

en t/an			
États-Unis	45 300	France	7 400
Japon	27 100	Hongrie	6 200
Chine	17 300	Allemagne	5 800
Mexique	10 000	Royaume Uni	5 000
Taipei chinois	8 800	Turquie	3 600
Corée du Sud	8 600	Inde	2 500

Source : Carbon composites.

Principaux producteurs, en capacités de production en 2023 :

- [Toray](#) produit, avec une capacité de production de 63 770 t/an, des fibres de carbone au Japon à Ehime, avec 8 970 t/an, aux États-Unis, à Decatur, dans l'Alabama, St-Charles, dans le Missouri et Abilene, au Texas, avec 9 900 t/an, en Corée du Sud, à Gumi avec 4 700 t/an, en France, à Abidos (64), avec 5 200 t/an, et sous le nom de Zoltek, acquis en février 2014, au Mexique, à Guadalajara, avec 20 000 t/an et en Hongrie, à Nyergesujfalu, avec 15 000 t/an. En 2023, les ventes du groupe sont destinées pour 66 % à diverses applications industrielles, 21 % à l'aéronautique et l'espace, 13 % aux articles de sport.
- [Jilin Chemical Fiber Group](#) (JCFG) produit des fibres de carbone à Changchun dans la province de Jilin avec une capacité de production de 49 000 t/an.
- [Mitsubishi Chemical Carbon Fiber and Composites](#), produit, avec une capacité de production de 15 100 t/an, des fibres de carbone à Otake, au Japon, avec 8 100 t/an et Sacramento, en Californie, aux États-Unis, avec 5 000 t/an. En 2017 a acquis l'usine SGL de Evanston dans le Wyoming, aux États-Unis, avec 2 000 t/an.
- Toho Tenax, filiale du groupe japonais [Teijin](#), produit, avec une capacité de production de 14 500 t/an, des fibres de carbone à Mishima, au Japon, avec 6 400 t/an, Heinsberg, en Allemagne, avec 5 100 t/an et Rockwood, dans le Tennessee, aux États-Unis, avec 3 000 t/an.

- Aksa (filiale de [Akkök Holding](#), Turquie) : n°1 mondial pour la production de PAN, avec des capacités de production de 330 000 t/an. Aksa exploite, en association 50-50 avec [Dow](#), à Yalova, en Turquie, une usine de production de fibres de carbone, avec 13 500 t/an.
- [SGL Group](#) (Allemagne), avec une capacité de production de 13 000 t/an, produit 4 000 t/an à Muir of Ord, au Royaume Uni et en association avec BMW (51 % SGL, 49 % BMW dans la société [SGL ACE](#)), exploite à Moses Lakes, dans l'état de Washington, aux États-Unis, une usine de production de fibres de carbone, d'une capacité de 9 000 t/an, destinées, jusqu'en 2022, 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.
- [Hexcel](#) (États-Unis) produit, avec une capacité de production de 12 500 t/an, des fibres de carbone à Salt Lake City, dans l'Utah, aux États-Unis, Illescas, en Espagne, avec une capacité de production de 7 300 t/an et depuis 2018, à Roussillon, en France, avec 5 200 t/an. Les fibres de PAN sont produites à Decatur, dans l'Alabama, aux États-Unis et en France, depuis 2018, à Roussillon (38).
- [Hyosung](#) (Corée du Sud) produit des fibres de carbone à Jeonju, en Corée du Sud, avec une capacité de 9 000 t/an.
- [Formosa Plastics](#) (Taipei chinois) produit des fibres de carbone dans son complexe chimique de Mailiao, à Taipei chinois, avec 7 650 t/an.
- Cytec (États-Unis), devenu, en décembre 2015, filiale de [Solvay](#) et actuellement de [Syensqo](#), issue de Solvay, produit des fibres de carbone à Greenville et Rock Hill, en Caroline du Sud, aux États-Unis, avec 7 000 t/an.
- [Kuhara](#) (Japon), possède 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.

Commerce international : en 2023.

Principaux pays exportateurs, sur un total de 75 755 t :

en tonnes

États-Unis	13 924	Mexique	6 044
Corée du Sud	10 034	Allemagne	4 991
Japon	9 911	Royaume Uni	3 309
Hongrie	8 353	Taipei chinois	1 473
France	8 108	Roumanie	1 317

Source : ITC

Les exportations des États-Unis sont destinées à 27 % à l'Allemagne, 15 % au Danemark, 12 % à la France, 10 % à la Chine, 7 % au Royaume Uni.

Principaux pays importateurs, sur un total de 97 572 t :

en tonnes

Pays Bas	22 543	France	5 656
États-Unis	16 880	Italie	5 009
Allemagne	8 978	Royaume Uni	3 951
Chine	6 868	Espagne	3 067

Danemark 5 938 Corée du Sud 2 446

Source : ITC

Les importations des Pays Bas proviennent à 96 % d'Allemagne.

Situation française

En 2023.

Productions :

- L'usine [Toray](#) à Abidos (64), fabrique des fibres à partir de PAN. La capacité de production est, avec 5 lignes de production, de 5 200 t/an et devrait atteindre 6 000 t/an en 2025. Une usine de fabrication de PAN d'une capacité de 12 000 t/an a été inaugurée, à Lacq (64), en septembre 2014.
- Le groupe [Hexcel](#) a construit une usine de fabrication de PAN et de fibres de carbone à Roussillon (38) qui est opérationnelle depuis 2018, avec une capacité de 5 200 t/an de fibres de carbone.

La France est le 1^{er} consommateur en Europe (son aéronautique représente 30 % du marché européen).

Commerce extérieur :

Les exportations étaient de 8 108 t avec comme principaux marchés à :

- 36 % l'Allemagne,
- 16 % l'Italie,
- 11 % le Royaume Uni,
- 4 % la Chine.

Les importations s'élevaient à 5 656 t en provenance principalement à :

- 31 % des États-Unis,
- 24 % de Corée du Sud,
- 14 % du Japon,
- 9 % d'Allemagne,
- 6 % d'Espagne.

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 mésophase.

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.

Part de marché, en volume et en valeur, dans le monde, en 2018, par les divers matériaux composites renforcés avec des fibres de carbone, sur un total de 128 500 t et 23,15 milliards de \$.

	en masse	en valeur		en masse	en valeur
Polymères	82,7 %	71,2 %	Métaux	1,2 %	3,5 %
Céramiques	9,7 %	20,1 %	Hybrides et divers	6,4 %	5,2 %

Source : Carbon composites

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 de fibres de carbone :

Dans le monde, en 2021, 113 800 t. Répartition par régions, en 2018 :

Chine	33 %	Japon	5,5 %
États-Unis	28 %	Corée du Sud	3,3 %
Europe de l'ouest	21 %	Taipei chinois	2,2 %

Source : IHS Markit

Secteurs d'utilisation

Répartition du marché des composites de carbone, en 2018, en masse sur un total de 154 700 t et en valeur sur un total de 23,15 milliards de dollars.

	en masse	en valeur		en masse	en valeur
Aéronautique, espace et défense	36 %	57 %	Sport et loisirs	13 %	11 %
Automobiles	24 %	18 %	Construction	5 %	2 %
Éoliennes	13 %	8 %	Autres	9 %	5 %

Source : Carbon composites

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...

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.

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 %.