

Chapitre 2 : matériaux composites

1. Définition

Un composite est l'assemblage de plusieurs matériaux non miscibles de nature différente et dont les qualités se complètent afin d'obtenir un matériau hétérogène dont les performances sont supérieures à celles de ses composants.

Dans un matériau composite, on distingue:

- **le renfort** qui constitue le squelette de la pièce et qui supporte l'essentiel des efforts;
- **la matrice** qui assure la liaison de l'ensemble, répartit les efforts et joue un rôle de protection des renforts

Il existe aujourd'hui un grand nombre de matériaux composites que l'on identifie généralement par trois familles en fonction de la nature de la matrice :

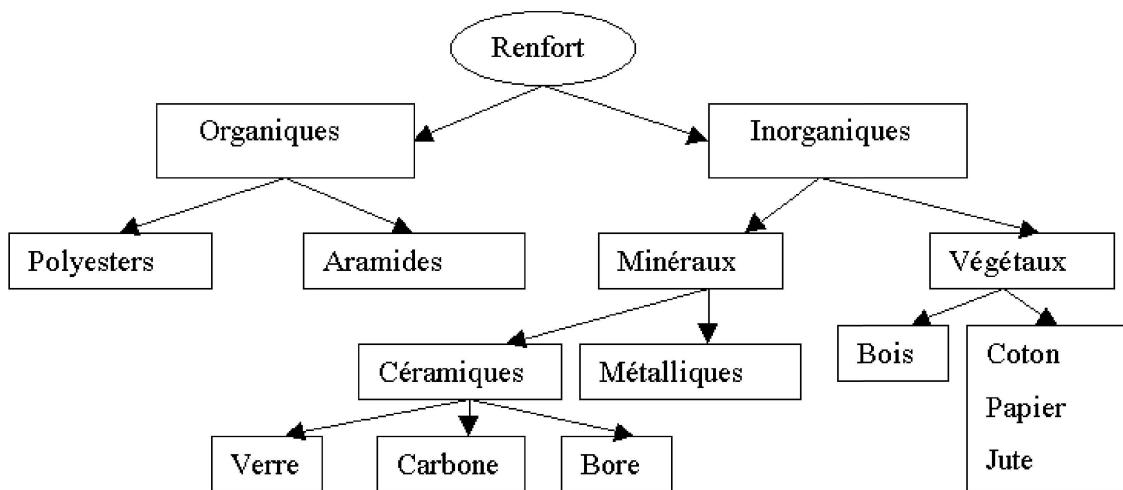
- **les composites à matrices organiques (CMO)** qui constituent, de loin, les volumes les plus importants aujourd'hui à l'échelle industrielle,
- **les composites à matrices céramiques (CMC)** réservés aux applications de très haute technicité et travaillant à haute température comme le spatial, le nucléaire, le militaire, et le freinage (freins carbone)
- **les composites à matrices métalliques (CMM)** réservés aux applications aéronautiques et spatiales à cause de leur coût de mise en œuvre élevé.

2. Renforts

Les rôles des renforts consistent à :

- supporter les efforts appliqués;
- conférer au composite sa rigidité élastique et sa résistance à la rupture, éventuellement à haute température.

Ils doivent également être compatibles avec la matrice du composite sur le plan chimique, c'est-à-dire assurer une adhérence inter faciale renfort-matrice suffisante et stable dans le temps.



2.1. les Principaux Matériaux de Renforts sont :

2.1.1 Fibre de verre :

a. Type de fibre de verre

Suivant leurs compositions, différents types de verres peuvent être obtenus. Dans la pratique, les verres de type E constituent la presque totalité du tonnage de verre textile produit actuellement. Les autres verres, représentant globalement une faible quantité (environ 1 %), sont réservés à des applications spécifiques :

Leur procédé d'élaboration par filage du verre en fusion permet d'obtenir des fibres de 5 à 15 µm de diamètre. Leur résistance à la rupture en traction ou flexion est d'autant plus élevée que leur diamètre est faible. Un diamètre de quelques microns autorise un rayon de courbure de quelques dixièmes de millimètres.

* Les verres de types E

Composition

| | | |
|---------------|-------------------------|--------|
| Silice | SiO_2 | → 55% |
| Alumine | Al_2O_3 | → 15% |
| Chaux | CaO | → 18% |
| Magnésie | MgO | → 3% |
| Soude | Na_2O | → 0,8% |
| oxyde de bore | B_2O_3 | → 7% |
| oxyde de fer | Fe_2O_3 | → 0,3% |
| Potasse | K_2O | → 0,2% |

-**Silice** = sable très pur (98% quartz) ou de quartz naturel broyé

-**Alumine** = feldspath exempts de fer ou alumine hydratée provenant des bauxites

-**Oxydes alcalins** = Carbonates ou KOH ou NAOH

-**Chaux** = Calcaire pur

-**Magnésie** = Dolomie



Propriétés

- ✓ Isolant électrique
- ✓ Facilité de fibrage
- ✓ Propriétés mécaniques
- ✓ Coût modéré

* Les verres de types R

Composition

| | |
|-------------------------|-------|
| SiO_2 | → 60% |
| Al_2O_3 | → 25% |
| CaO | → 9% |
| MgO | → 6% |

Propriétés

- ✓ Résistance aux milieux acides
- ✓ Propriétés mécaniques renforcées
- ✓ Tenue à la fatigue
- ✓ Tenue à la température



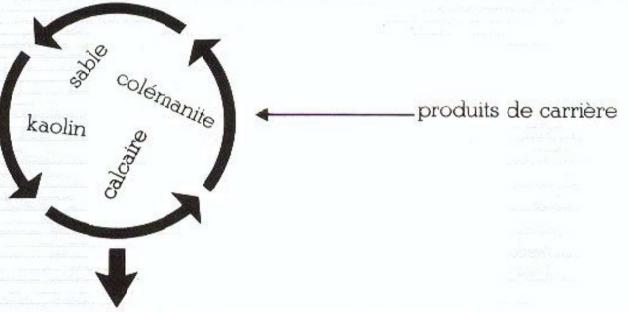
* Les verres de types AR

| Composition | Propriétés |
|--|-----------------------------------|
| $\text{SiO}_2 \rightarrow 62\%$ | ✓ Résistance aux milieux basiques |
| $\text{Al}_2\text{O}_3 \left\{ \begin{array}{l} \\ \end{array} \right. 0,4\%$ | |
| $\text{B}_2\text{O}_3 \left\{ \begin{array}{l} \\ \end{array} \right. \text{oxyde de zirconium}$ | |
| $\text{ZrO}_2 \left\{ \begin{array}{l} \\ \end{array} \right. 16,8\%$ | |
| $\text{CaO} \left\{ \begin{array}{l} \\ \end{array} \right. 5,8\%$ | |
| MgO | |



b. Fabrication de fibres de verre

1. Composition du verre
(mélange des oxydes)



Four

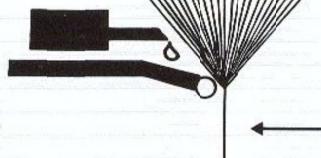
3. Fibrage-1 à 2 µm
(1250°C)

2. Fusion du verre
(1500°C)



4. Etirage : diamètre de 3 à 20 µm

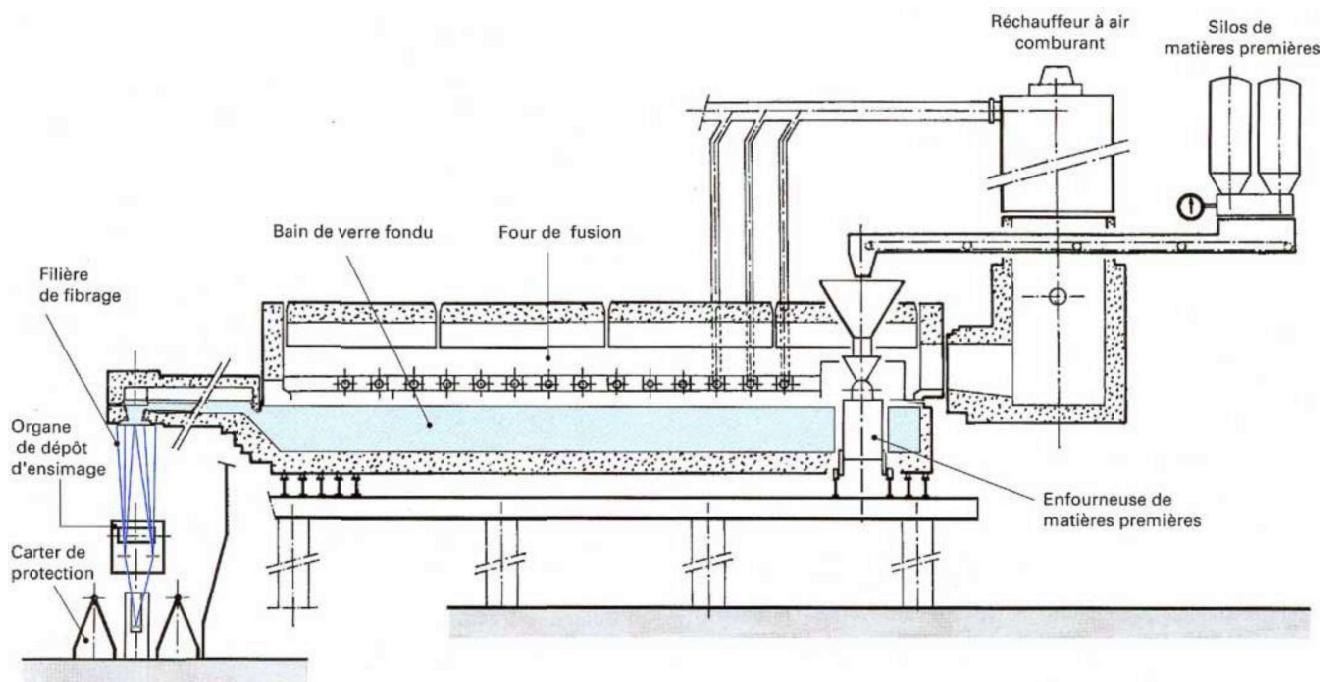
5. Ensimage



fil de base
masse linéique 2,5 à 4800 tex

Vue détaillée de la machine

La fusion du mélange vitrifiable et l'élaboration du verre fondu réclament des températures élevées (1 550 à 1 600 °C pour les verres de type E, et plus encore pour ceux de type R ou AR). Ces températures impliquent l'usage de réfractaires spéciaux (oxydes de chrome, de zirconium, etc.).



c. Fibrage. Étirage. Ensimage

- **Fibrage:** Il s'effectue au moyen de filières. Ces filières sont en alliages de platine pour résister aux températures de fibrage qui sont de l'ordre de 1 250 °C pour les verres de type E. On réalise le chauffage par effet Joule, réglé avec la plus grande précision possible. Le verre fondu arrivant du four remplit la filière et s'écoule par gravité à travers des orifices calibrés (tétons), de 1 à 2 mm de diamètre, pratiqués dans le fond de filière.

- **Étirage:** À la sortie des tétons, le verre est simultanément étiré à grande vitesse et refroidi. L'étirage est généralement réalisé mécaniquement par enroulement sur la broche d'un bobinoir et donne naissance à des filaments continus.

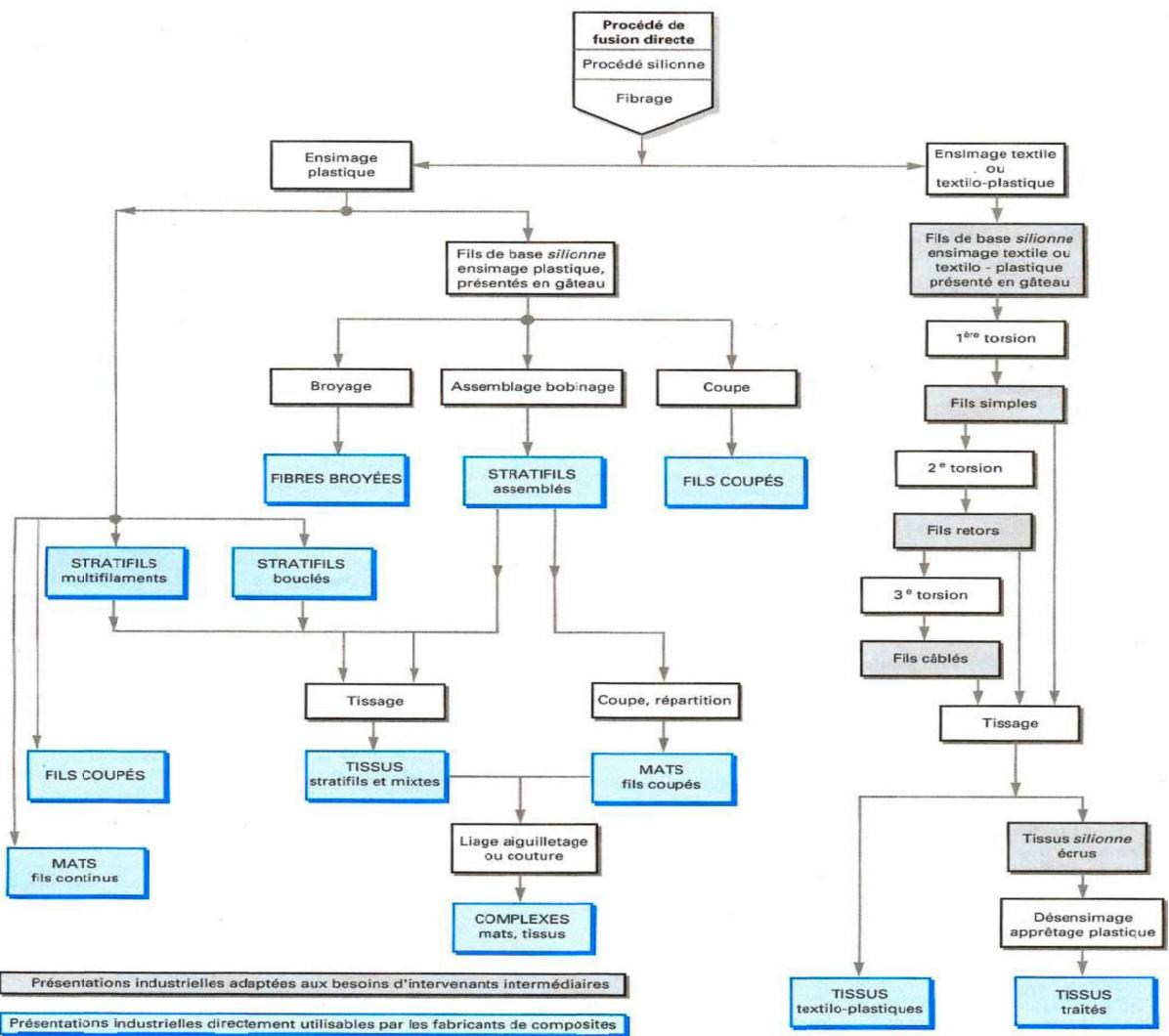
Le diamètre des filaments désiré est obtenu par le réglage des paramètres suivants :

- ✓ le diamètre des tétons et les températures de filière lors du fibrage ;
- ✓ la vitesse d'étirage et la vitesse de refroidissement lors de l'étirage.

-Ensimage: L'ensimage est un produit de traitement que l'on applique à la surface des fibres de verre après leur sortie de la filière. C'est un constituant indispensable à la fabrication des fibres et à leur utilisation, aussi bien lors de la mise en œuvre que pour optimiser les performances des composites.

- Lors de la fabrication des fibres de verre, l'ensimage :
 - ✓ protège le fil de verre de l'abrasion tout au long des diverses étapes de l'élaboration du renfort ;
 - ✓ assure la cohésion des filaments constitutifs du fil.
- Pendant la mise en œuvre du composite : l'ensimage apporte le glissant des fils, leur raideur, les propriétés antistatiques, son niveau et sa vitesse de solubilisation dans la matrice.
- Rappelons également l'intérêt le plus évident de l'ensimage : assurer la compatibilité entre le verre et la matrice pour obtenir les meilleures caractéristiques mécaniques du composite avant et après vieillissement (tenues à l'eau, en température, etc.).

d. LE CONDITIONNEMENT DES FIBRES DE VERRE



Les fils textiles



Les bobines



Les fils coupés



Les mats



Les voiles de verre



2.1.2 Fibres de carbone

a. Propriétés des fibres du carbone

L'utilisation des fibres de carbone s'est développée dans les matériaux composites utilisés comme matériaux à « hautes performances ». Ces composites à propriétés anisotropes nécessitent un calcul poussé des structures à réaliser afin de placer les fibres de carbone de renfort selon les sollicitations appliquées aux pièces envisagées.

Les fibres de carbone sont des fibres d'environ 5 à 10µm de diamètre composées majoritairement d'atomes de carbone. Les principales propriétés de ces fibres sont:

- une forte résistance en traction et en compression
- un module d'élasticité élevé (une forte rigidité)
- une faible densité
- une excellente résistance chimique
- une excellente tenue à la température
- une bonne conduction électrique

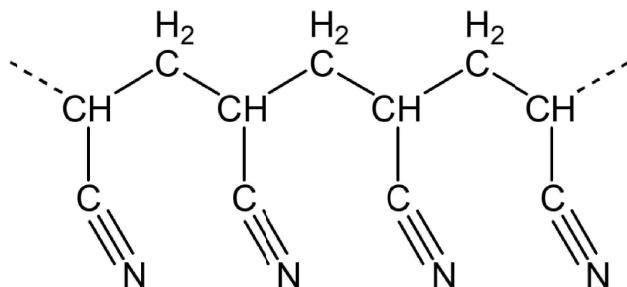
b. Précurseurs des fibres de carbone

Trois types de précurseurs :

- ✓ rayonne : fibre textile artificielle en viscose, 1^{er} précurseur utilisé,
- ✓ brai : mélange d 'hydrocarbures aromatiques issu de résidus de houille et de pétrole, utilisé pour les fibres à très haut module (800 GPa),
- ✓ PAN (polyacrylonitrile) : le plus utilisé dans l 'industrie.

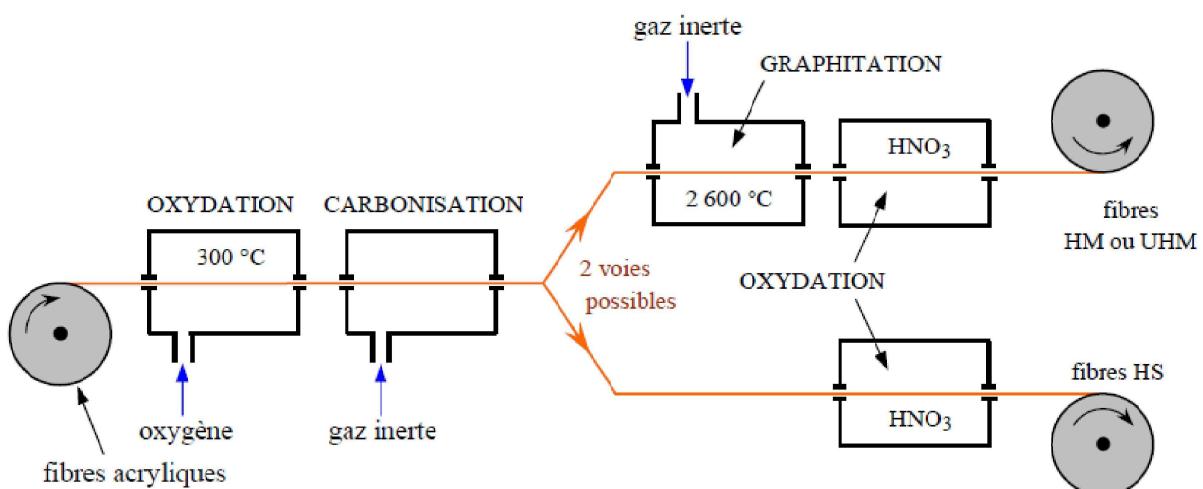
Le précurseur PAN

- ✓ Fils de polyacrylonitrile fabriqués par polymérisation et filage comme les fibres acryliques textiles.
- ✓ Etirage des fils (environ 80 %) → orientation axiale préférentielle.



c. Élaboration des fibres de carbone

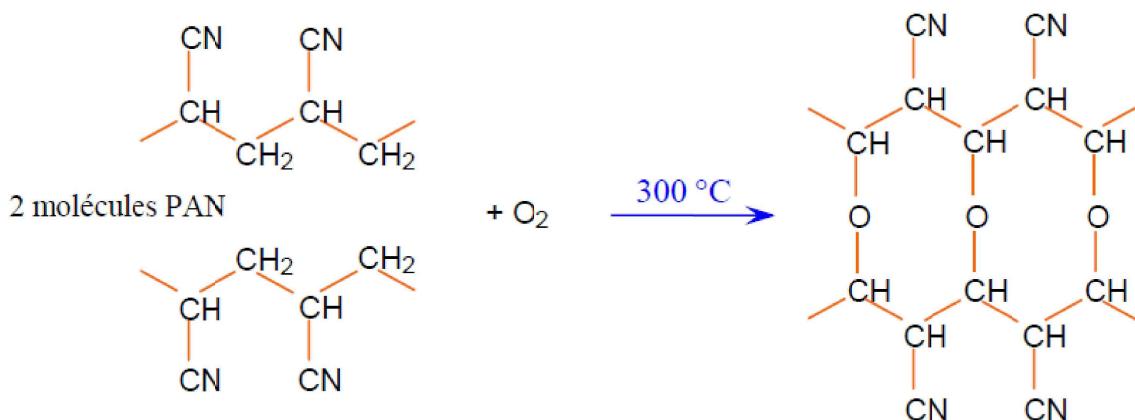
Les procédés actuels utilisent des mèches de filaments acryliques assemblés sans torsion (généralement 500, 1 000, 6 000, 10 000, etc. filaments), et leur font subir quatre traitements successifs: une oxydation, une carbonisation, une graphitation et un traitement de surface



L'oxydation.

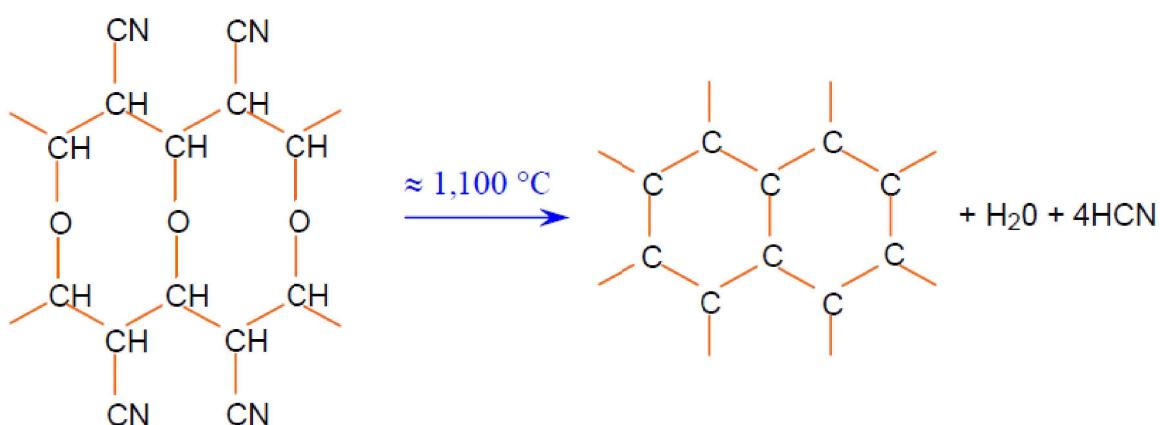
Les fibres acryliques étant fusibles, la phase d'oxydation a pour but de supprimer artificiellement le point de fusion.

Cette opération est effectuée en chauffant les fibres à environ 300 °C en atmosphère d'oxygène. Il se produit alors une oxydation conduisant à une réticulation des chaînes moléculaires et à la création d'un réseau tridimensionnel :



La carbonisation.

La deuxième phase consiste à chauffer progressivement les fibres réticulées de 300 °C à 1 100 °C environ, en atmosphère inerte. Il y a alors élimination de l'eau et de l'acide cyanhydrique, seuls les carbones étant conservés dans la chaîne :



Les fibres obtenues après cette phase ont de bonnes caractéristiques mécaniques et peuvent être utilisées après traitement de surface. Les fibres sont alors dénommées fibres HR (haute résistance) ou fibres HT (haute ténacité).

La graphitation.

La phase de graphitation est utilisée lorsque l'on souhaite obtenir des fibres à module d'Young élevé. Cette phase consiste à effectuer à la suite de la carbonisation, une pyrolyse des fibres, en atmosphère inerte, jusqu'à 2 600 °C ou à des températures supérieures.

Suivant le taux de graphitation, on obtient des fibres HM (fibres à haut module) ou des fibres THM (à très haut module).

Le traitement de surface.

La dernière phase de l'élaboration consiste en un traitement de surface, par oxydation ménagée en milieu acide (nitrique ou sulfurique).

Cette phase a pour objet d'accroître la rugosité des filaments ainsi que la nature des liaisons chimiques, afin d'améliorer la liaison fibre-résine.

d. Propriétés mécaniques

Les plus importantes sont les propriétés en traction. Les fibres sont classées en fonction de leur module d'Young ou de leur résistance à la traction.

- ✓ Usage général (UG) : $E < 200 \text{ GPa}$
- ✓ haute résistance (HR) : $200 < E < 250 \text{ GPa}$
- ✓ module intermédiaire (MI) : $250 < E < 400 \text{ GPa}$
- ✓ haut module (HM) : $400 < E < 600 \text{ GPa}$
- ✓ très haut module (THM) : $E > 600 \text{ GPa}$

Il convient de distinguer celles obtenues sur les fibres elles-mêmes de celles obtenues sur les matériaux composites. Dans le premier cas, les valeurs obtenues sont propres à la fibre, alors que, dans le second, l'influence de la matrice peut être déterminante.

Exemples de fibres commerciales

Tableau III. – Propriétés en traction comparées des fibres de carbone commercialisées (1) (suite et fin).

| Fabricant | Nom commercial | Classe (2) | Module (GPa) | Résistance à la rupture (MPa) | Allongement à la rupture (%) | Précureur |
|----------------------------------|--|--|----------------------------------|--|--|-----------|
| Amoco Performance Products (USA) | <i>Thornel</i> { T-300 T-650/35 T-650/42 T-40 T-50 | HR HR MI MI HM | 231 241 290 290 390 | 3450 4550 5030 5650 2900 | 1,4 1,7 1,7 1,8 0,7 | PAN |
| Mitsubishi Rayon (Asie) | <i>Pyrofil</i> (3) (Asie) <i>Grafil</i> (USA) | AS30 TR40 MR40 MR50 SR40 34-700 | HR HR MI MI HM HR | 206 235 289 289 475 234 | 3140 4710 4400 5100 4200 4500 | PAN |
| Kureha Chemical (Asie) | <i>Kureca</i> | T 101 F T 201 F | UG UG | 33 33 | 800 700 | Brai |
| Amoco Performance Products (USA) | <i>Thornel</i> | P-55 S P-75 S P-100 S P-120 S | HM HM THM THM | 390 520 755 825 | 1900 2100 2350 2350 | Brai |

2.1.3 Fibre d'aramide :

a. Domaines d'applications

La fibre d'aramide est employée dans divers vêtements, accessoires et équipements pour renforcer leur sécurité et leur résistance aux coupures. Elle est à la fois légère, durable et extrêmement résistante. Plus connue pour son usage dans les armures résistantes aux projectiles et aux coups. La fibre est également présente dans différentes industries comme:

L'industrie aéronautique et navale.

L'armement.

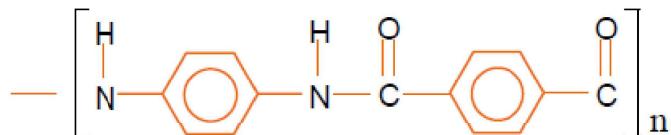
Les articles de sport.

La conception de composites multifibres (hybrides)

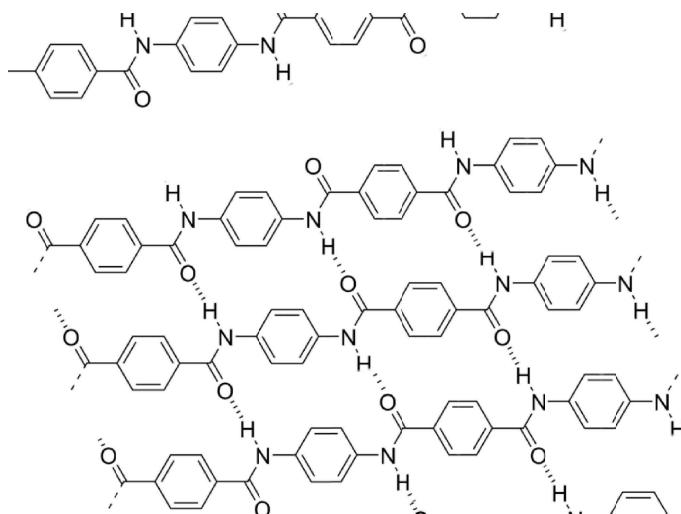
Soit 5 % de la consommation totale de fibres

b. La fibre d'aramides

Les fibres aramides sont des fibres polyaramides ou polyamides aromatiques de synthèse dont la structure est constituée de noyaux benzéniques reliés par des groupes CO et HN :



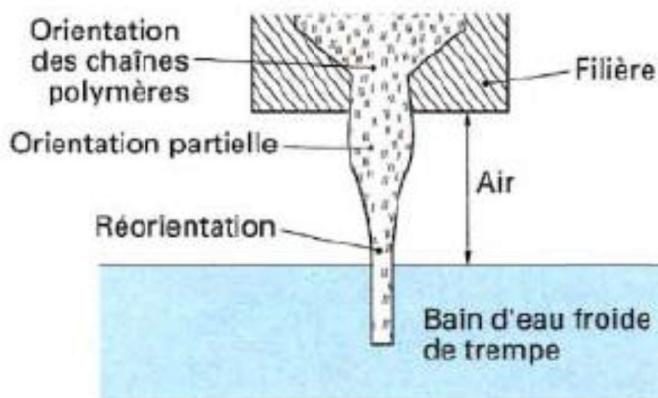
Liaisons hydrogène



c. Procédé de fabrication

L'élaboration des fibres aramides est effectuée par synthèse à basse température (-10°C), puis par filage en solution. Les fibres sont ensuite étirées et traitées thermiquement pour augmenter leur module d'élasticité.

Procédé de filage humide en jet sec



En sortie de trempe : lavage, séchage, bobinage

→ fibre (de bas module) constituée de filaments de 12 μm .

d. Propriétés mécaniques des fibres

Masse volumique : 1.44 g/cm³

Les 2 types de fibres de Kevlar

- ✓ La fibre dite de bas module (Kevlar 29)
ou de haute résistance

- ✓ La fibre dite de haut module (Kevlar 49)
 - obtenue par étirement à chaud d'une fibre bas module
 - plus haut module d'élasticité.

Module de traction et allongement à la rupture :

- Bas module : E=60 GPa -- A=3.3%
- Haut module : E=120 GPa -- A=2.4%

Résistance en traction : ≈ 3000 MPa

Grande anisotropie : E_{axial} = 120 GPa E_{trans} = 7 GPa

Limites d'utilisation

- ✓ Très faible résistance en compression.

- ✓ Usinabilité délicate : la fibre aramide est de nature non cassante, non abrasive.
 - Mise au point d'un outillage particulier par du Pont

- ✓ Sensibilité aux UV
 - Changement de couleur voire perte des propriétés physiques.

Les raisons de l'emploi de cette fibre

- ✓ Faible densité

- ✓ Bonne résistance en traction

- ✓ Bon allongement à la rupture

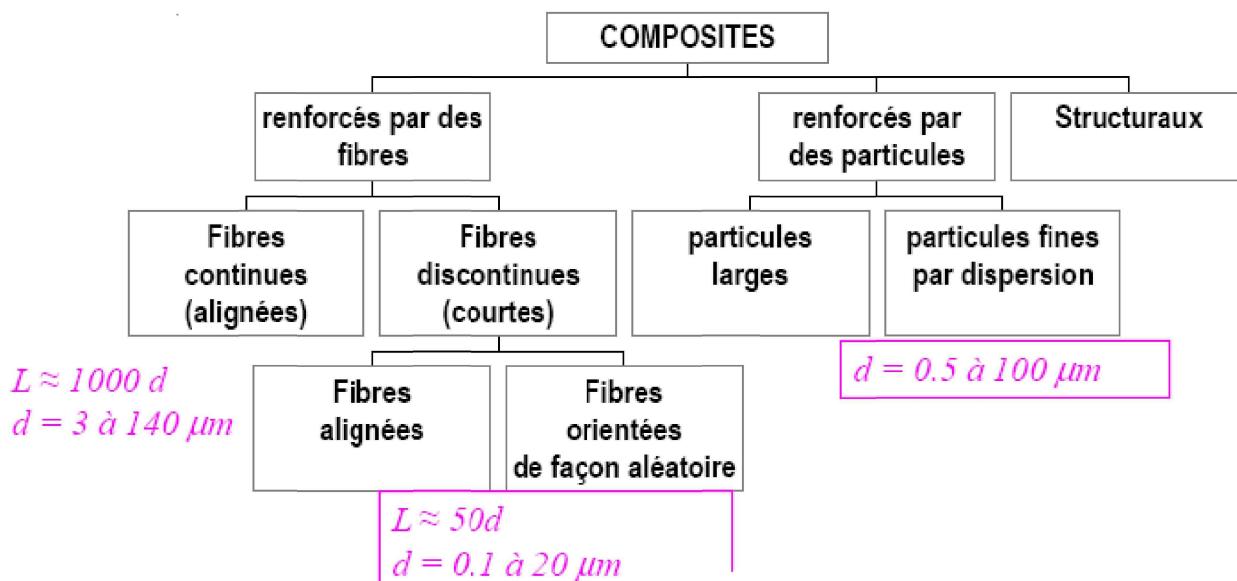
- ✓ Bonne résistance aux chocs, au fluage et à la fatigue

2.2. Principales caractéristiques mécaniques des fibres de base:

| Fibre | densité | Charge de rupture en traction en MPa | Charge de rupture en compression MPa | Allongnt à la rupture en % | Module d'élasticité longi en MPa | Diamètre du filament élémentaire En µm |
|------------------------|---------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------------|--|
| Verre E | 2.54 | 3400 | 1200 | 4.8 | 73000 | 3 - 30 |
| Verre R | 2.48 | 4400 | 1300 | 5.4 | 86000 | 3 - 30 |
| Aramidé bas module | 1.45 | 3100 | 500 | 2 | 70000 | 12 |
| Aramidé haut module | 1.45 | 3100 | 500 | 1 | 130000 | 12 |
| Carbone haute ténacité | 1.78 | 2800 | 1800 | 0.5 | 200000 | 8 |
| Carbone haut module | 1.8 | 2200 | 1300 | | 400000 | 8 |

2.3.Les principaux types de renforts

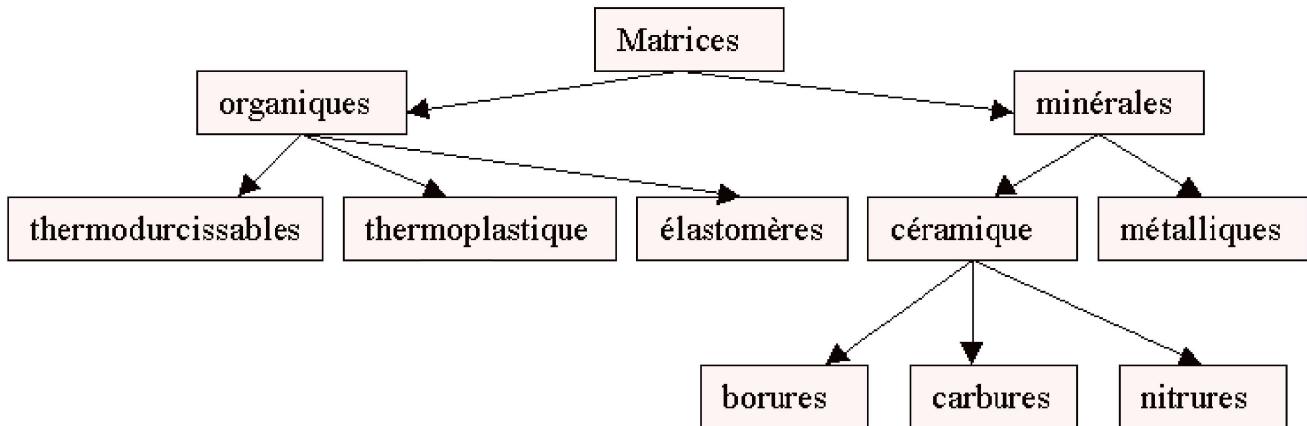
Les principaux types de renforts se distinguent par leur géométrie (particules, billes, fibres courtes, fibres longues), par leur disposition, notamment pour les fibres (aléatoire 3D, feutres, nappes de mat 2D, nappes unidirectionnelles, tissages 2D, tissages 3D) ou par leur nature



3. Matrices

La matrice d'un composite a pour rôles :

- d'enrober les renforts, les protégeant ainsi du milieu extérieur;
- d'assurer une répartition spatiale homogène des renforts;
- de transmettre aux renforts les efforts extérieurs et de les répartir;
- de conférer la forme à la pièce de matériau composite : ce sont elles qui conditionnent l'aptitude à la mise en forme du composite



3.1. Matrices organiques

3.1.1 les Principaux résines thermodurcissables :

a) Les résines polyesters insaturés (UP):

* Matrices polyesters

Ce sont actuellement, de loin, les matières plastiques les plus utilisées dans les matériaux composites renforcés. Elles rentrent dans la fabrication de **95%** des composites thermodurcis renforcés.

Elles sont constituées de trois composants:

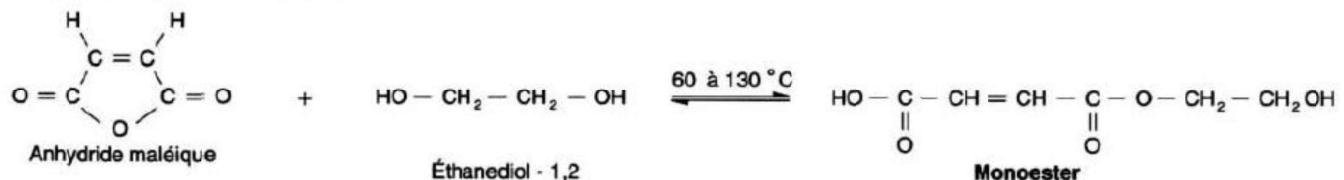
- une résine polyester non saturée;
- un monomère non saturé et réactif, qui est en général du styrène et qui copolymérise avec la résine de base;
- un inhibiteur pour assurer la stabilité de la résine pendant son stockage.

* Résine

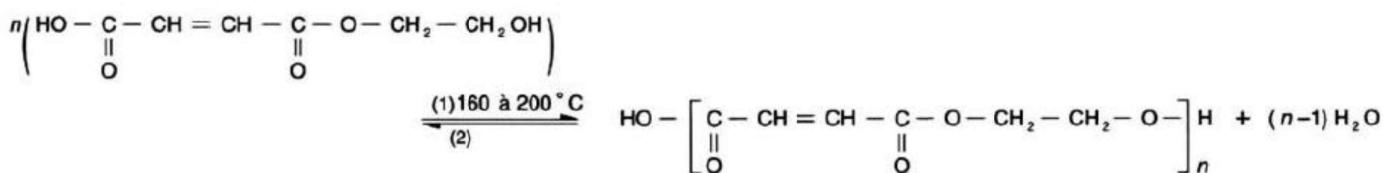
- Résine à partir de diols

Les résines polyesters sont issues de la polycondensation, à température élevée, d'acides ou d'anhydrides saturés ou insaturés (ex. : l'**anhydride maléique** avec des diols (ex. l'éthanediol-1,2).

- Première étape : estérification :



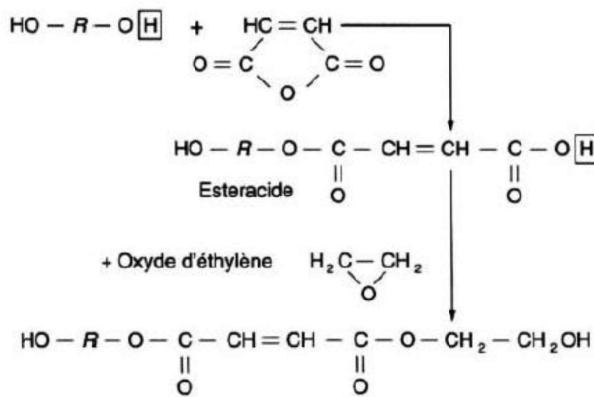
- Seconde étape : polycondensation :



Réactions d'obtention des résines de polyesters insaturés

- Résine à partir d'un époxyde

La réaction de polyaddition se produit, dans ce cas, entre des monoépoxydes (par exemple oxyde d'éthylène ou de propylène) et des anhydrides saturés ou insaturés.



Réactions d'obtention du dihydroxyester

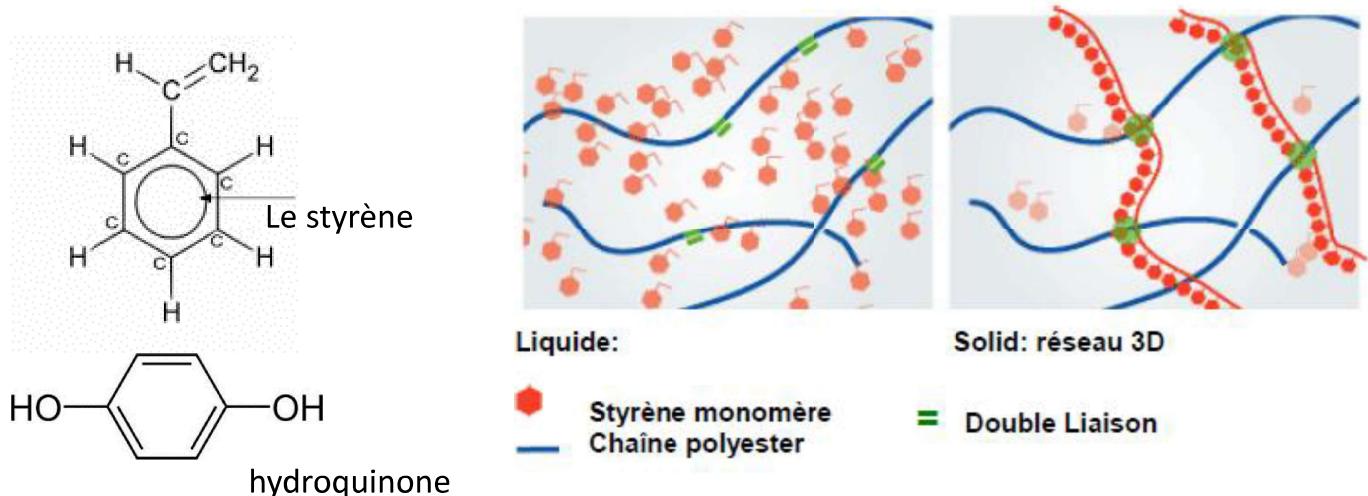
Les avantages d'un tel procédé sont une vitesse de réaction plus importante, l'absence de **formation d'eau**, un contrôle plus précis des masses molaires moyennes ; ses principaux inconvénients sont une odeur et une coloration généralement plus marquées que pour les autres procédés.

* Copolymérisation

Les résines polyesters sont des polyesters insaturés en solution dans un monomère qui agit au moment de la copolymérisation comme **agent de réticulation**.

Le **styrène** est le diluant réactif le plus couramment employé en raison de sa bonne compatibilité et de sa réactivité avec les prépolymères, de sa température d'ébullition relativement élevée et de son coût attractif. Le taux optimal de styrène varie de **30 à 45 %** en masse.

Les polyesters précédents sont **inhibés** par de l'hydroquinone ou un produit voisin avant la **dilution** par le styrène ou un autre monomère pour éviter une prise en gel prématuée.



* Principaux types de résines polyesters insaturés

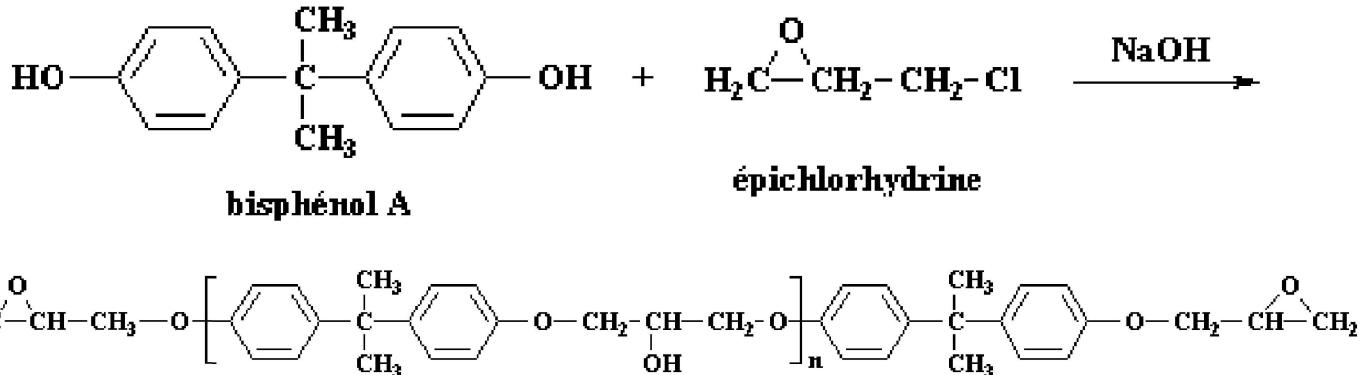
Il existe différents grades de qualité pour les résines polyesters :

- **Les résines polyesters orthophtaliques (ORTHO)** : le standard du polyester que l'on retrouve dans la carrosserie principalement
- **Les résines polyesters isophtaliques (ISO)**: de qualité un peu plus haute pour des applications soumises un peu plus aux intempéries (résistance à l'humidité et au vieillissement)
- **Les résines polyesters isophtaliques / glycol néopentyl (ISO-NPG)** : de qualité encore supérieure pour une résistance accrue aux milieux marins (UV, résistance à l'eau, tenue à l'hydrolise)
- **Les résines vinylesters** : la plus haute qualité, avec en plus une très bonne résistance aux agents chimiques, elles peuvent être utilisées dans les réservoirs, cuves

b) Les résines époxydes (EP):

Synthèse des résines époxydes: DGEBA (diglycidyl éther du bisphénol A)

C'est de loin encore les plus répandues, elles constituent à elles seules **95%** du tonnage mondiale.



Si $0 < n < 1$; la résine époxyde est liquide

Si $1 < n < 1.5$; la résine époxyde est très visqueuse

Si $n > 1.5$; la résine époxyde est solide

Ce paramètre n dépend du rapport molaire entre l'épichlorhydrine et le biphenol A.

Principaux types de résines époxydes

Résines époxydes novolaques: elles sont obtenues par réaction du formaldéhyde sur le phénol ou en solution acide pour obtenir les époxydes formol phénol novolaques ou (époxydes formol crésol novolaques). Ces résines ont une bonne stabilité à haute température, mais elles sont fragiles.

Résines époxydes à base d'amines aromatiques : il s'agit principalement du TGMDA (Tetra Glycidyl Methyl DiAniline). Ces résines ont d'excellentes propriétés thermiques.

Résines époxydes à base de para-aminophénol: c'est une résine trifonctionnelle appelé le TriGlycidyl éther du Para-Amino Phénol(TGPAP). Cette résine est très utilisée pour la fabrication des préimprégnés et des adhésifs.

Résines époxydes souples: les résines époxydes souples sont caractérisées par un squelette ne comportant pas de noyau aromatique (ou un seul). Ces dernières peuvent se mélanger avec d'autres résines époxy pour améliorer leur résistance au choc.

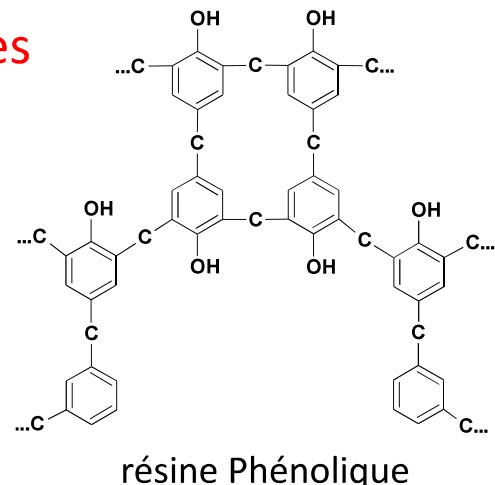
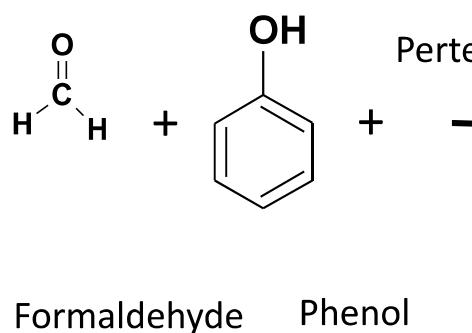
Finalement, notons aussi les résines à comportement au feu amélioré; en général, ces résines contiennent du brome.

c) Les résines phénoliques (PF):

utilisées dans les applications nécessitant des propriétés de tenue aux feu et flammes imposées par les normes dans les transports civils.

| Principaux avantages | Principales limitations |
|---|---|
| -prix réduit -bonne tenue en température | - Faible caractéristique mécanique - Coloration difficile (autre que brun et noir) |

Synthèse des résines phénoliques



résine Phénolique

3.1.2 Les Principaux résines thermoplastiques:

Ce sont les produits les plus récents, moins utilisés que les précédents pour la fabrication des composites. Cependant, du fait de leurs propriétés de devenir malléables sous l'action de la chaleur, de pouvoir ainsi être moulées ou extrudées, puis de durcir à nouveau en se refroidissant

Exemple:

- **Polycarbonates (PC)** : obtenus par condensation de phosgène et de bisphénol A, sont durs, rigides et transparents.
- **Polyesters saturés** dont les plus connus sont le polytéraphthalate d'éthylène (PET) et le polytéraphthalate de butylène (PBT).
- **Polyamides (PA)** : ces résines servent aussi à la fabrication de fibres textiles (Nylont, Rilsant).

3.1.3 Principales caractéristiques mécaniques des résines

| Résines | nom | Masse volumique (kg/m ³) | Module d'Young (MPa) | Coefficient de Poisson ν | RLimite élastique en traction (MPa) | Dilatation thermique α $\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$ |
|---------|--|--------------------------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------------------|--|
| TD | Polyester contient une ou plusieurs doubles liaisons | 1300 | 3800 | 0.37 | 88 | 100 |
| | Epoxide | 1220 | 5200 | 0.38 | 121 | 40 |
| | Phénolique | 1350 | 3000 | 0.36 | 70 | 80 |
| TP | Polyamide | 1130 | 1900 | 0.33 | 70 | 85 |
| | Polycarbonate | 1100 | 2300 | 0.33 | 60 | 70 |
| | Polyester (saturé seulement des liaisons simples) | 1310 | 2800 | 0.33 | 55 | 90 |

3.1.4 Critères essentiels des matrices TD et TP

| | TP : thermoplastiques | TD : thermodurcissables |
|-------------------------------------|--|--|
| Etat de base | Solide (prêt à l'emploi : polymérisé) | Liquide visqueux à polymériser |
| Stockage matière de base | Illimité | Temps réduit (précautions à prendre) |
| Mouillabilité des renforts | Difficile | aisée |
| Moulage | Chauffage (fusion/ramollissement +refroidissement de fixation) | chauffage continu |
| Cycle | court | plus long (polymérisation) |
| <u>Caractéristiques spécifiques</u> | | |
| Tenue au choc | assez bonne | limitée |
| Tenue thermique | réduite sauf nouveaux TP thermostables | meilleure |
| Chutes et déchets | recyclables | perdus |
| Conditions de mise en œuvre | bonnes + propreté | émanations pour méthode humide (allergie possible) |

3.2. Matrices métalliques

L'imprégnation de renforts par un alliage liquide étant une opération techniquement délicate, en pratique seuls les **alliages d'aluminium sont** utilisés dans ce type de technique, associés à des fibres ou particules de graphite ou de céramiques.

- Ils sont faciles à mettre en œuvre car leur température de fusion est relativement basse; leur masse volumique est faible et ils sont peu coûteux.
- Le compromis obtenu entre la ténacité de la matrice métallique et la rigidité des renforts donne au composite des caractéristiques mécaniques intéressantes par rapport à l'alliage seul, surtout au-dessus de 200 °C.

3.3. Matrices minérales

Des composites à matrices céramiques (C, Al₂O₃, SiO₂, Cr₂O₃, MgO, SiC...) peuvent être obtenus par imprégnation de préformes de fibres (métaux, verres, aramides, carbone, céramique) soit par des suspensions liquides, ensuite frittées en température sous haute pression, soit par des gaz réactifs permettant un dépôt entre les fibres (notamment pour les composites carbone-carbone).

| Principaux avantages | Principales limitations |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">– faible masse volumique;– réfractarité;– bonne résistance à la compression et haute rigidité, même en température;– inertie chimique. | <ul style="list-style-type: none">– sensibilité aux chocs;– mise en œuvre délicate et coûteuse;– pour les composites carbone-carbone, sensibilité à l'oxydation dès 400 °C. |