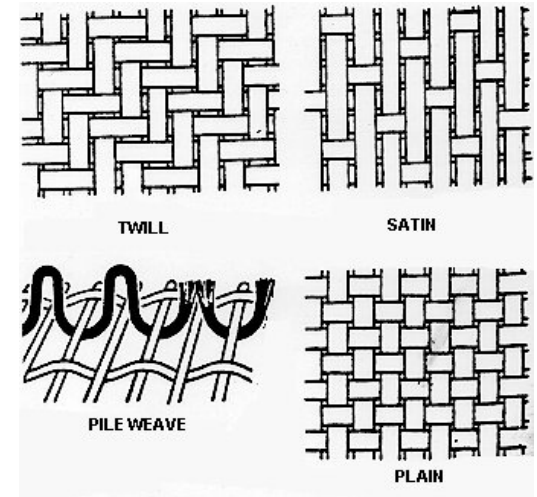


Fibres

Les fibres sont les éléments du matériau composite qui apportent généralement les propriétés mécaniques intéressantes.

Les qualités recherchées pour les renforts sont:

- bonnes caractéristiques mécaniques;
- légèreté;
- résistance thermique;
- compatibilité avec les résines;
- adaptabilité aux procédés de mise en œuvre;
- faible prix.



Elles constituent une fraction volumique comprise, le plus souvent, **entre 30 % et 70 %** dans le matériau composite (rapport du volume de fibres au volume total du composite).

Verre

Le verre appartient au groupe des matériaux inorganiques non métalliques, il n'a donc pas une structure macromoléculaire linéaire comme la plupart des autres fibres mais plutôt une structure cristalline qui lui donne une grande rigidité.



Verre

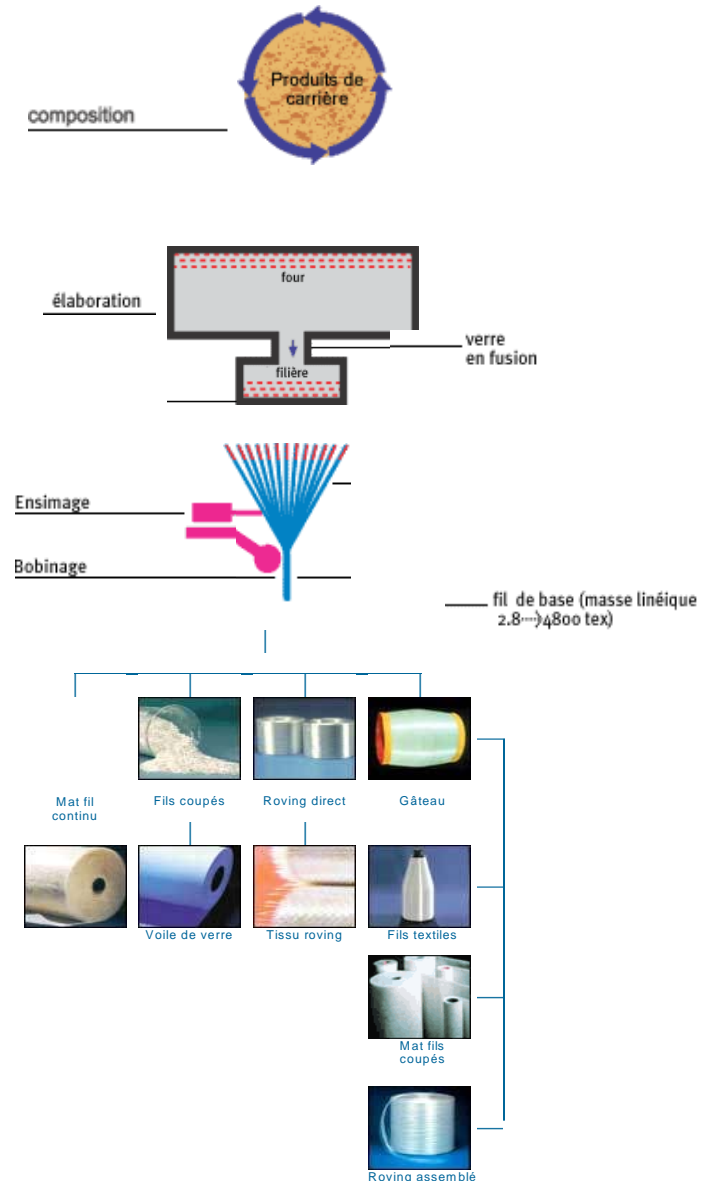
Fibre de verre

Elle est obtenue à partir de sable (silice) et d'additifs (alumine, carbonate de chaux, magnésie, oxyde de bore).

Fabrication de fibres de verre

1. Composition (mélange des oxydes)
2. Fusion (1500°C)
3. Fibrage - 1 à 2 mm (1250°C)
4. Etirage : diamètre de 3 à 20 mm
5. **Ensimage**
6. Bobinage
7. Tissage

Fil de verre - Fabrication



Verre

Ensimage des fibres de verre

Composition et rôle de l'ensimage

Désigne les traitements de surface appliqués aux fibres de renfort en sortie de filière.

L'ensimage est une émulsion aqueuse contenant 0.05-10% en poids de composés organiques. Parmi ces composés organiques, on distingue des silanes, des agents lubrifiants, des agents collants, des agents mouillants et des émulsifiants.

Principaux type d'ensimages

L'ensimage "textile" appliqué sur les filaments, en sortie de filière consiste à déposer un agent de liaison assurant la cohésion des filaments entre eux, diminuant l'abrasion et facilitant les manipulations ultérieures (tissage) et évitant la formation de charges électrostatiques.



Il est en général incompatible avec les systèmes de résine d'imprégnation.

L'ensimage "plastique" appliqué sur les tissus consiste à déposer un agent de pontage dont les rôles sont d'assurer une liaison physico-chimique entre les fibres et la résine et de protéger la fibre de son environnement.

L'ensimage "textilo-plastique" assure un compromis entre les propriétés textiles et plastiques (compatibilité résine).

Verre

Type de fibre de verre

Type	Indications générales
E	À usage général ; bonnes propriétés électriques
D	Hautes propriétés diélectriques (appareillages électroniques à très hautes performances, ex: râdome)
A	Haute teneur en alcali
C	Résistance chimique (séparateurs de batterie)
S	Haute résistance mécanique
R	Haute résistance mécanique (aérospatiale, aéronautique ou armement)
AR	Résistant en milieu basique
E-CR	Pour usage en milieu acide

Verre

Composition des principaux types de fibre de verre de renforcement

Compositions des principaux types de fibres de verre de renforcement									
Principaux constituants		Composition massique (%)							
		Verre E	Verre D	Verre A	Verre C	Verre R	Verre S	Verre AR	Verre E-CR
Silice	SiO ₂	53 à 56	73 à 74	70 à 72	60 à 65	58 à 60	64 à 65	60 à 63	52 à 56
Alumine	Al ₂ O ₃	12 à 16	Traces	0,5 à 2,5	2 à 5,5	23,5 à 25,5	24 à 25	0,3 à 0,7	10 à 16
Chaux	CaO	} 21 à 24 {	} 0,5 à 0,6 {	5 à 10	12 à 14	} 14 à 17 {	.....	0,6 à 5,2	18 à 25
Magnésie	MgO			1 à 4	1 à 3		10 à 11	0,05	0 à 5
Oxyde de bore	B ₂ O ₃	5 à 9	22 à 23	0 à 0,5	2 à 5,5	.....	.....	0,05	
Fluor	F	0 à 1							
Oxyde de sodium	Na ₂ O	} ≈ 1 {	1,3	12 à 15	8 à 10	.....	} 0 à 1 {	14,8 à 15,8	} ≈ 1 {
Oxyde de potassium	K ₂ O		1,5	1 à 2,5	.....	.....		0,3 à 2,5	
Oxyde de zirconium	ZrO ₂	.....	.....	.....	.....	.....	.....	15,8 à 19,5	
Oxyde de fer	Fe ₂ O ₃	} 1 {	0,1 à 0,2	Traces	.....	.....	.....	0,05	0 à 0,5
Oxyde de titane	TiO ₂		.....	.....	.....	.....	.....	0,05 à 0,07	0 à 3

Verre

□ Propriétés des fibres

Propriétés mécaniques

Contraintes et allongement mesurés sur composites unidirectionnels		
	Verre E	Verre R
Contrainte à la rupture en traction ¹ (MPa)	2 400 à 2 600	3 000 à 3 600
Taux d'allongement à la rupture en traction (%)	3	4

Caractéristiques mécaniques sur composites

Caractéristiques mécaniques des filaments vierges						
	Types de verre					
	E	D	A	C	R	S
Contrainte à la rupture en traction (MPa)	3 200 à 3 400	2 500	3 100	3 300	4 400	4 600
Module d'élasticité en traction (GPa)	72 à 73	55	71	70,3	86	87
Taux d'allongement à la rupture en traction (%)	4,6 à 4,8	4,5	4,4	4,8	5,2	5,4

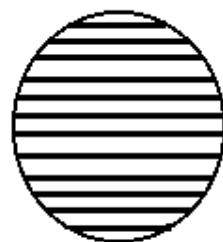
Caractéristiques mesurées sur filaments vierges

Verre

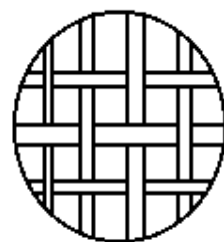
Présentation industrielle des renforts en verre textile

Pour améliorer les caractéristiques mécaniques des structures en composites, il faut jouer sur la texture des renforts (leur architecture) pour créer une charpente résistante adaptée aux contraintes mécaniques. En fonction des propriétés recherchées, on rencontre plusieurs architectures de renforcements :

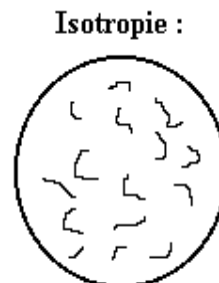
- unidirectionnelle,
- multidirectionnelle aléatoire,
- orientée,
- multidimensionnelle.



Résistance unidirectionnelle

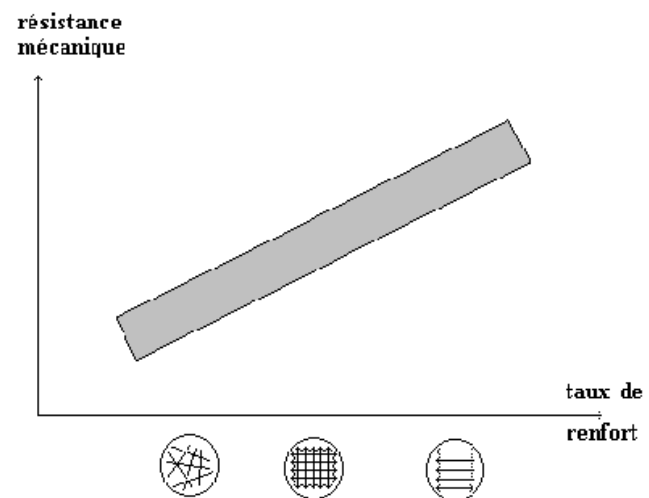


Résistance dans des directions privilégiées



résistance multidirectionnelle

La résistance mécanique dépend-elle à la fois du taux de renfort et de la nature de ce renfort.



Verre

Stratifils (ou roving)

Le roving est un Assemblage de fils de base parallèles groupé sans torsion.

Cette forme de matériaux ne s'applique qu'à quelques procédés comme l'enroulement filamentaire et la pultrusion. Avec ces procédés, on peut fabriquer des tubes et des profilés extrêmement résistants.



Stratifil (roving)

Stratifils bouclés (ou spun roving)

Une partie des fils de base ou des filaments constitutifs forme des boucles.

Les boucles améliorent la résistance interlaminaire des composites

Moulage par pultrusion



Stratifil (roving) bouclé

Verre

Fils coupés

Fils de base coupés en longueur relativement faibles (3, 4, 5, 6, 12 et 25 mm)

Moulage au contact, renforcement des résines thermoplastiques par extrusion/injection et le renforcement des BMC)



Fils coupés

Fibres broyées

Elle sont obtenus par broyage de fils de base (0,1 à 0,5 mm).

13, 4, 5, 6, 12 et 25 mm)

Renforcement des résines thermoplastiques, R-RIM



Fibres broyées

Verre

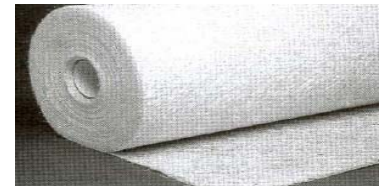
Mats

Le mat se présente sous forme planaire comme un tissu mais l'orientation des fibres est aléatoire. Les fibres sont maintenues ensemble par un liant.

Dans un mat, les fibres peuvent être continues ou coupées.

Mats à fils coupés (50mm)

- Mats avec liant en poudre très solubilisables
- Mats avec liant en poudre peu solubilisables
- Mats avec liant liquide



Mat à fils coupés

Renforcement des résines polyester et à un degré moindre les résines époxydes

Mats à fils continus

Ces mats sont constitués de fils continus, disposés sous forme de boucle (RTM, SMC, compression des plaques).



Mat à fils continus

Mat de surface (ou voile de surface),

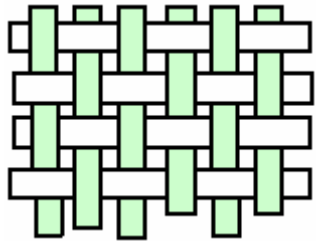
Une couche mince et compacte de fibres discontinues ou de fils liés entre eux.

Verre

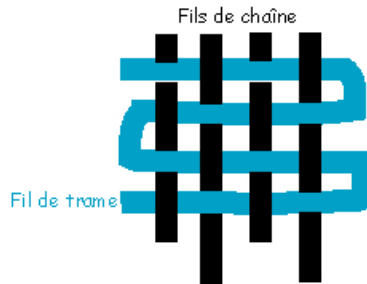
Tissus

Armure (Weave)

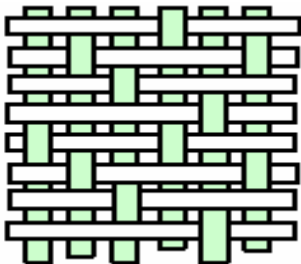
Terme de tissage désignant le mode d'entrecroisement des fils de chaîne et des fils de trame dans un tissu. Suivant le motif d'armure, le tissu obtenu est plus ou moins souple et déformable.



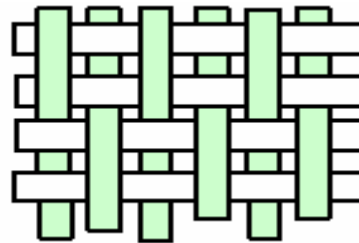
Armure toile ou taffetas



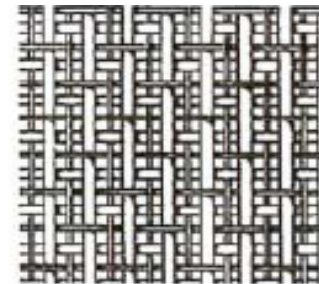
Armure unidirectionnelle



Armure satin



Armure sergé



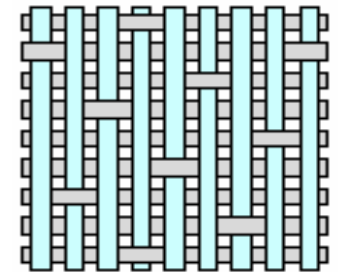
Armure haut module

Verre

Satin (Satin weave)

Un tissu est dit "satin de n" lorsqu'il est constitué de fils de chaîne flottant au-dessus de (n-1) fils de trame (n est appelé rapport d'armure).

Les tissus à armure satin sont beaucoup plus déformables qu'une toile ou taffetas. Les tissus de satin de 8, très déformables, sont les plus couramment utilisés, notamment pour les formes complexes.

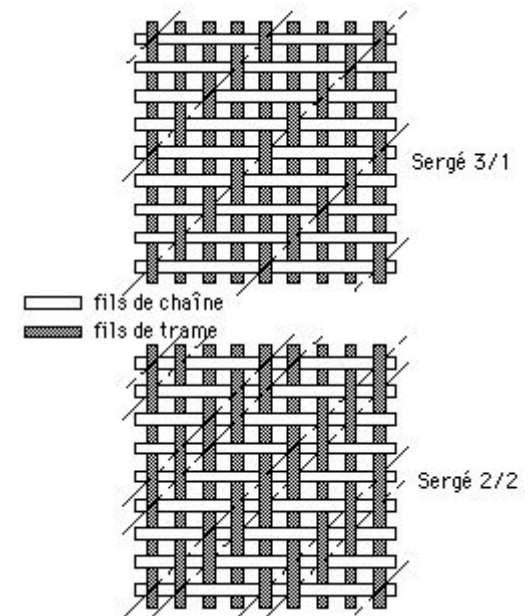


Satin de 8

Sergé (Twill - Twill weave)

Désigne un type d'armure de produits textiles tissés pour lesquels chaque fil de chaîne flotte au-dessus de plusieurs fils de trame. C'est l'armure la plus dense.

Les tissus à armure sergé sont très déformables, possèdent un comportement similaire dans le sens chaîne et le sens trame (contrairement à l'armure satin) et présentent une densité de fils plus élevée que l'armure satin.



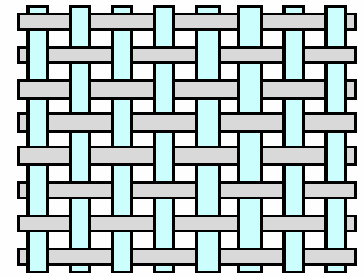
Sergé 3/1

Sergé 2/2

Verre

Taffetas (Taffeta - Taffeta Weave)

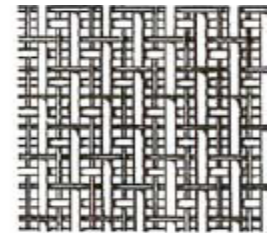
Armure de produits textiles tissés pour lesquels chaque fil de chaîne passe alternativement au-dessus et au-dessous de chaque fil de trame et réciproquement.



Taffetas

Armure haut module

L'armure haut module dans laquelle les fils de chaîne et les fils de trame ne subissent aucun entrecroisement et sont maintenus par des fils fins.



Armure haut module

Armure unidirectionnelle

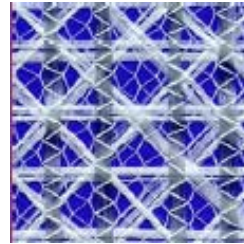
L'armure unidirectionnelle qui n'est constituée que de fils parallèles maintenus dans la direction perpendiculaire par un fil fin.



Armure unidirectionnelle

Verre

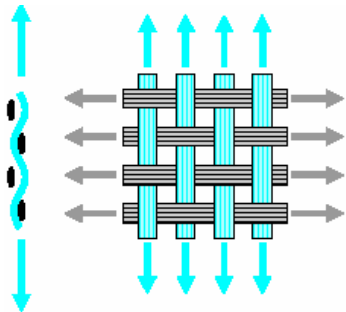
On réalise également pour des utilisations spécifiques des armures bi ou tridimensionnelles.



Tissu multiaxial



Tissu 3D ou tresse



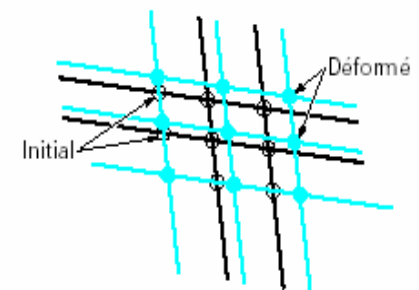
Variation d'ondulation

Remarque: la raideur obtenue avec un renfort tissé sera moindre que celle que l'on observerait en superposant deux unidirectionnels.

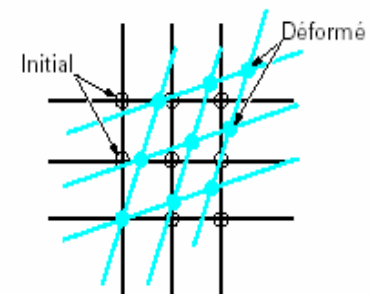
Verre

Performances comparées des différents types d'architecture

Architecture des fibres	Comportement mécanique	Orientaion de la tenue mécanique	Taux maximal de renfort	Type de fibres
Fibres coupées et broyées	Moyen	quelconque	30%	verre
Mats fibres coupées	Moyen	quelconque	30%	verre ou
Mats fibres continues	Moyen	orientée	30%	verre
Fibres continues	Intermédiaire	unidirectionnelle	50 à 70%	toutes
Tissu	Fort	bi ou tri directionnelle	30 à 70%	toutes
Nappe	Très fort	Unidirectionnelle (Bi-directionnelle)	50 à 85%	toutes



(a) allongement



(b) cisaillement

Verre

Utilisation des renforts selon leur forme de présentation

