CHAPITRE VINGT ET UN

LES FIBRES DE VERRE

1 - INTRODUCTION.

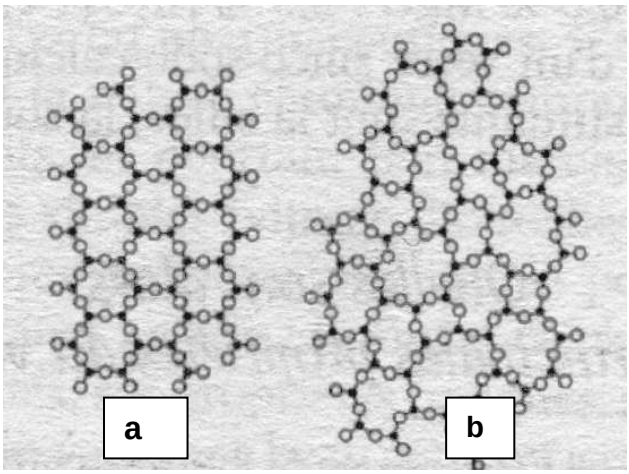
On ne saurait parler des fibres synthétiques pour usages textiles sans faire mention des fibres de verre dont la production mondiale annuelle est de plus de deux millions de tonnes. Ces fibres, outre leurs utilisations spécifiques, permettent également de réaliser des étoffes et des structures textiles intéressantes et totalement incombustibles.

Ce sont les Egyptiens qui, après avoir maîtrisé la fabrication du verre vers environ 3 500 avant J.C., en ont tiré bien plus tard des fibres que l'on retrouve comme "renfort" dans des vases et des amphores découverts dans des tombes de pharaons. Ce furent en fait les premières fibres artificielles de l'histoire humaine.

2 – QUELQUES RAPPELS SUR LE VERRE.

Sur la figure **21-1 a** ci-contre est schématisé la structure de la silice cristalline, le quartz. Les atomes de Si et Oxygène sont parfaitement ordonnés. Sur la figure **21-1 b** est représentée la structure de la silice amorphe. ON voit que les atomes sont bien liés entre eux, mais dans une structure désordonnées. C'est un **verre**.

Figure 21 - 1



2-1 – De la silice au verre courant.

La silice peut donc avoir la structure d'un verre. Cependant il ne s'agit pas d'un matériau d'usage courant car sa température de fusion est élevée et de 1 850°C. Un verre courant est une silice modifiée de la façon suivante :

- Pour abaisser la température de fusion jusqu'à 1 100 à 1 300°C on mélange la silice (en fait du sable) avec un fondant, le plus souvent du Na sous forme de Na_2O.
- Pour donner au verre des propriétés spécifiques (transparence, dureté, résistance, ….) on ajoute toutes sortes de constituants qui se retrouvent dans le verre sous forme d'oxydes.

On a par exemple la composition suivante pour un verre courant silico-sodo-calcique :

SiO_2	:	73,0%	NaO	:	13,7%	K_2O	:	0,4%
CaO	:	10,6%	MgO	:	0,3%	Al_2O_3	:	1,8%

2-2 – Un peu d'histoire du verre.

On pense, comme le raconte Pline l'Ancien, que le verre a été découvert fortuitement il y a environ 4 000 ans, par des marchands mésopotamiens ou égyptiens qui transportaient du nitre, un carbonate de sodium qui servait notamment à l'embaumement des momies. Ayant allumé un feu dans le désert pour chauffer leur repas, ils auraient calé leurs casseroles sur des blocs de nitre qui, au contact du sable auraient servi de fondant et permis de former un verre dont ils auraient retrouvé des gouttes solides le lendemain matin. Histoire ou légende, cette découverte est plausible.
Ce n'est que dans les premiers siècles après J.C. que sera inventée la technique du soufflage du verre en cueillant au bout d'une canne métallique creuse une grosse goutte de verre (la paraison) que l'on gonfle en la tournant. Cette technique sera utilisée jusqu'au XVIII^{ème} siècle y compris pour faire le verre plat (ou à peu près plat !) On soufflait alors un cylindre qui était fendu, encore chaud, selon une génératrice, et qui s'étalait pour devenir une plaque.

En 1666, Colbert et Louis XIV, n'acceptant pas le monopole des verriers vénitiens dans la production des verres pour miroirs, créent la Manufacture Royale des Glaces qui allait devenir la **Compagnie de Saint Gobain.** C'est dans l'usine du village de Saint Gobain que sera développée une nouvelle technique de fabrication du verre plat : la coulée sur table (laminage suivie de refroidissement de verre liquide étalé sur une table métallique). La galerie des glaces du château de Versailles est la première réalisation marquante de la Compagnie Royale des Glaces.

2-3 – Principales propriétés du verre.

Une propriété importante est l'existence d'une phase visqueuse, sans fusion franche. Cela a pour conséquence que dans une plage de température, certes élevée, au dessus de 1 000°C, mais large de quelques dizaines de degrés, il est possible de donner au verre la forme que l'on veut, un peu comme de la pâte à modeler. Les procédés verriers relèvent

tous de cette même approche : on chauffe vers 1 200 à 1 400°C un mélange de matières premières pour former un verre liquide puis on laisse refroidir ce liquide vers 1 100°C pour procéder au formage (bouteilles, plaques, fibres, …) Par ailleurs le verre possède de nombreuses propriétés :

- Il est généralement transparent et il peut être coloré en de nombreuses teintes.
- Il est dur, ce qui signifie que sa surface est difficile à rayer.
- Il est fragile et il se casse facilement. Cette fragilité du verre n'est pas due à sa structure amorphe qui serait plutôt résistante, **mais à l'existence de microfissures à** la surface du verre, qui, en se propageant, conduisent à la rupture du verre. On peut d'ailleurs rendre un verre très résistant aux chocs en bloquant la propagation de ces fissures par un traitement phisico-chimique approprié …. mais cher !
- Le verre est inerte chimiquement ou plutôt très faiblement attaquable.

En ce qui concerne plus particulièrement la transparence les progrès ont été énormes depuis l'antiquité où les verres étaient opaques du fait de la présence de nombreuses impuretés dans leur composition. Les verriers ont appris à faire des verres de plus en plus transparents, tout d'abord pour faire des miroirs puis des lentilles d'optique. En 1959 l'invention du laser fut suivie de peu par l'idée que de l'information pourrait être transportée par de la lumière circulant dans de très fines fibres de verre : les fibres optiques
Cependant cela ne devient possible que si la transparence des fibres permet à la lumière de circuler sans atténuation sur des dizaines, voire des centaines de kilomètres. C 'est ce que permettent aujourd'hui les fibres optiques qui sont faites dans un verre tellement transparent qu'une vitre de plusieurs dizaines de km d'épaisseur resterait parfaitement transparente.

3 - PRINCIPES DU PROCÉDÉ D'OBTENTION DES FIBRES DE VERRE.

Les fibres de verre sont obtenues à partir des matières premières traditionnelles nécessaires à l'élaboration du verre commun : essentiellement la silice, la chaux, l'oxyde d'aluminium et l'oxyde de magnésium. Ces matériaux proviennent de sites et de carrières soigneusement sélectionnés pour la pureté des produits extractibles.

A ces matières premières de base sont ajoutés des doses très précises d'autres oxydes afin d'obtenir la composition désirée selon l'usage final.

Le mélange est très finement broyé et mélangé pour obtenir une poudre homogène qui est introduite dans un four à environ 1550°C. Le mélange passe à l'état liquide et est alors maintenu alors à 1250°C.

Le verre fondu s'écoule par simple gravité au travers d'une filière en alliage de platine ou de rhodium, percée de plusieurs centaines de trous de 1 à 2 mm. de diamètre. Il n'y a pas de pompes de titrage comme dans le filage de polymères fondus. Les filaments de verre sont refroidis par des jets d'air humide ou par un brouillard d'eau. Ils sont étirés à l'état pâteux et renvidés en gâteaux à une vitesse de 1 000 à 3 000 m./ min. de façon à obtenir des filaments de 0,5 à 25 µm. selon les applications finales. Il n'y a évidemment pas d'étirage complémentaire pour faire évoluer la structure.

Il est cependant absolument indispensable, avant le renvidage, de déposer un ensimage, sous forme d'émulsion, qui assure la cohésion des brins et surtout les protège de l'abrasion interbrins et du contact avec les éléments solides du métier de filage. Sans cette protection les fibres de verre ne sont absolument pas manipulables et se brisent instantanément. Ce dépôt est très délicat et constitue un point-clé du procédé.

*** Fibres à usages textiles** : Ces fibres, dont le diamètre varie de 5 à 18 µm. et plus particulièrement entre 9 et 11 µm, reçoivent un ensimage proche d'un ensimage pour fibres synthétiques. Elles sont retordues de 20 à 40 tours par mètre avant d'être déposées sur cops. Elles peuvent ensuite être "voluminisées" pour leur donner un certain gonflant.

La force de rupture des fibres de 9 à 11 µm est comprise entre 1 000 et 1 400 N./mm^2, l'allongement est de 2 à 3% et le module varie de 45 000 à 50 000 N./mm^2.(45 à 50 Gpa)

*** Fibres plus particulièrement destinées aux renforcements de matières plastiques.**
Elles reçoivent des agents couvrants qui permettent de bonnes performances au moulage et une bonne compatibilité entre le verre et la résine. On peut également réaliser une enduction avec du polytétrafluoroéthylène (PTFE) pour abaisser l'adhésivité et améliorer les résistances à la chaleur, à l'inflammation et aux agents chimiques.

La figure **21 - 2** montre le schéma de procédé et les différents types de produits primaires que l'on peut fabriquer.

3 - LES DIFFÉRENTS TYPES DE VERRE POUR FIBRES.

Il existe classiquement 4 types de verre pour la réalisation de fibres, chacun correspondant à une composition précise.

- Verre type A. Sa composition a été définie dans les années 30. Ce type de verre couvre la plus grande parties des usages et il représente environ 90 % de la production.

***** Masse volumique = 2 600 kg./ m^3
***** Allongement rupture = 4,5%
***** Point de ramollissement = 846°C
***** Conductivité thermique = 1,0 W./ m.K
***** ε à 1 MHz = 6,4 à 6,7

- Verre type D. Il présente de très bonnes caractéristiques diélectriques. Les fibres sont destinées au renfort de matières plastiques devant être perméables aux radiations électromagnétiques : radômes de radar ou supports de circuits imprimés par exemple.

* Masse volumique = 2 140 kg./ m^3 * Point de ramollissement = 775°C

* Allongement rupture = 4,5% * **ε** à 1 MHz = 3,85

- <u>Verre type R</u>. Ce verre est plus particulièrement destiné aux fibres de renfort de structures auxquelles on demande de hautes performances. Il présente un bon comportement à la fatigue, en température et à l'humidité. Les fibres ont été tout d'abord utilisées dans les pales d'hélicoptères, les planchers de cabines d'avions, les réservoirs de carburant et les corps de missiles, ...mais les applications se sont étendues aux articles de sport / loisir et à l'automobile. Les propriétés mécaniques du verre sont très complémentaires de celles des plastiques et les produits dits composites remplacent de plus en plus les matériaux traditionnels.

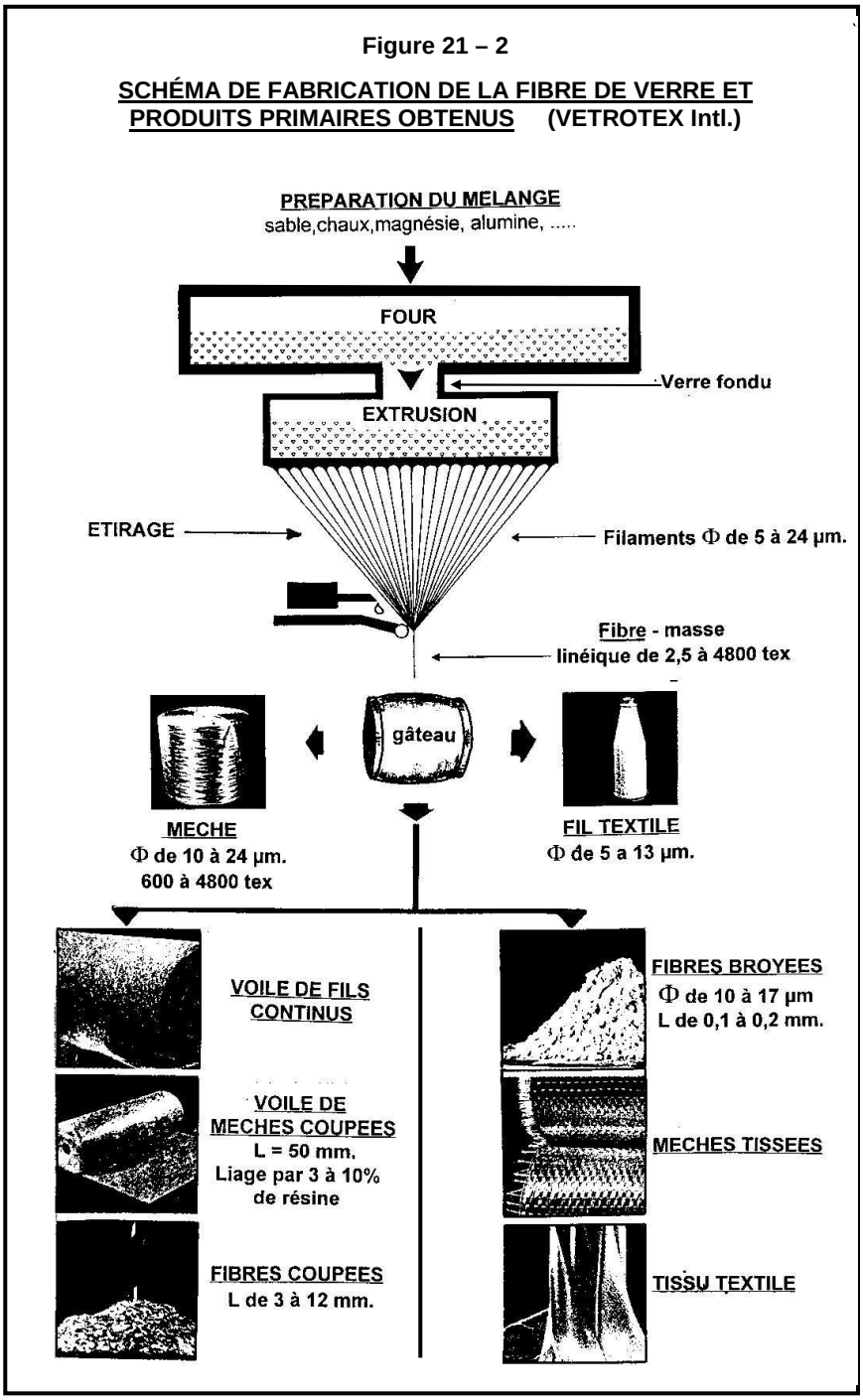
* Masse volumique = 2 530 kg./ m^3 * Point de ramollissement = 985°C

* Allongement rupture = 5,2% * **ε** à 1 Mhz = 6,0

- <u>Verre type AR (Alkali Resistant)</u> Ce type a été spécialement développé pour le renforcement des ciments et bétons. La bonne résistance aux produits alcalins dégagés durant la prise, est obtenue par une forte teneur en oxyde de zirconium. Les fibres en verre AR sont principalement destinées au remplacement de l'amiante dans ses applications de renfort et d'isolation.

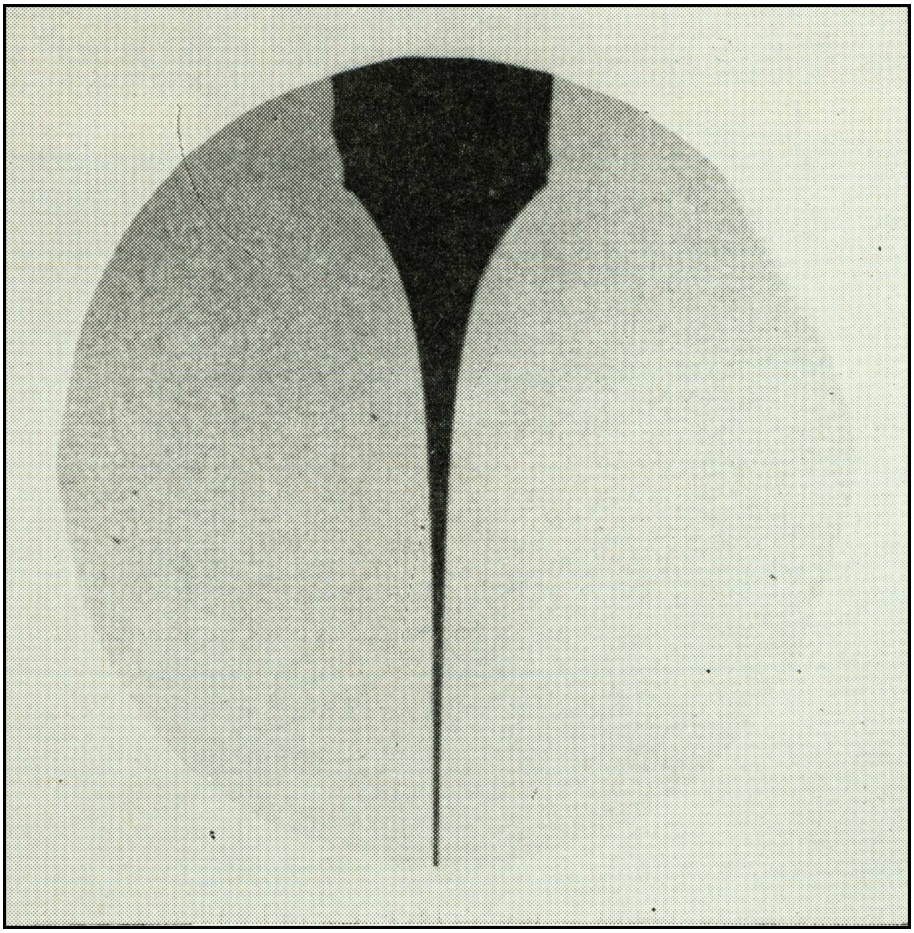
Figure 21 – 2

<u>SCHÉMA DE FABRICATION DE LA FIBRE DE VERRE ET PRODUITS PRIMAIRES OBTENUS</u> (VETROTEX Intl.)



4 – LA LAINE DE VERRE.

La laine de verre se rapproche beaucoup des produits textiles. Elle est utilisée pour l'isolation thermique et phonique des bâtiments. Le principe de l'isolation est ici qu'un matelas de fils très fins de verre entremêlés, emprisonne l'air et bloque tant le transfert de chaleur que les transmissions acoustiques . Ces matelas de laine de verre sont produits par un procédé de filage centrifuge très analogue à celui utilisé pour fabriquer la barbe à papa dans les foires …. sauf qu'il est réalisé avec du verre chaud aux environs de 1 200°C : un filet de verre s'écoule dans une sorte de panier tournant à grande vitesse et dont les bords sont percés de plusieurs milliers de trous. Le verre est éjecté par ces trous puis étiré par des brûleurs qui le projettent vers le bas.
Sous ce dispositif, la laine de verre ainsi produite est recueillie par un tapis roulant puis formée en plaques ou en rouleaux. Ce sont ces plaques ou rouleaux qui sont utilisés dans les murs ou les combles des bâtiments pour assurer l'isolation thermique et acoustique.

AMINCISSEMENT D'UN FILAMENT DE VERRE A LA SORTIE D'UN TROU DE FILIÈRE

Le verre fondu ne possède pas, comme les polymères, de propriétés visco-élastiques. Il n'y a donc pas formation d'un bulbe à la sortie du trou de filière.