

# Télécommunications optiques

## Gigabits/s et ppb

**Christian Le Sergent\*** responsable groupe Fibres composants, Alcatel

**Summary :** *The present optical fiber Telecom boom has been made possible by the progress made since the early seventies in terms of high purity – ultratransparent silica glass synthesis. Chemical vapor deposition from chloride precursors has proved to be the most efficient.*

**Mots clés :** *Ultrapurité, verre de silice, fibres optiques.*

**Key-words :** *Ultra purity, silica glass, optical fibers.*

L'avènement des télécommunications optiques est largement responsable de l'actuelle explosion des échanges d'informations à travers le monde.

Les signaux sont maintenant transmis sous forme d'impulsions infrarouges dans des fibres de verre ultratransparentes de 125 µm de diamètre, sur des milliers de kilomètres, avec des débits de plusieurs Gbit/s (environ 100 000 conversations simultanées).

La réamplification du signal nécessaire après une cinquantaine de kilomètres est elle-même réalisée par un court tronçon de fibre, dopé avec  $\text{Er}^{3+}$ .

Cette évolution majeure a été rendue possible par les progrès parallèles réalisés à partir des années 70 dans le domaine des lasers semi-conducteurs et dans celui des verres ultratransparents, c'est-à-dire ultrapurs.

La suite de ce texte essaie de mettre en lumière quelques points essentiels de notre marche vers l'ultra transparence. On y trouvera une unité familière aux analystes, la ppb et une unité « télécom », le dB/km (DO = 1 pour 10 dB !)

### L'ultra transparence

Il s'agit de transmettre le signal aussi loin que possible, et non de l'atténuer par des processus d'absorption ou de diffusion ; au début de cette aventure, l'atténuation des bons verres d'optique

\* Centre d'Alcatel, 91460 Marcoussis.  
Tél. : 01.69.63.12.57. Fax : 01.69.63.15.39.  
E-mail : Christian.Lesergent@ms.alcatel.fr

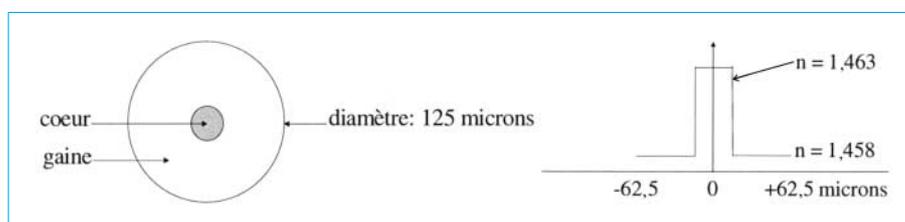


Figure 1 - Fibre optique : structure radiale d'indice de réfraction (exemple).

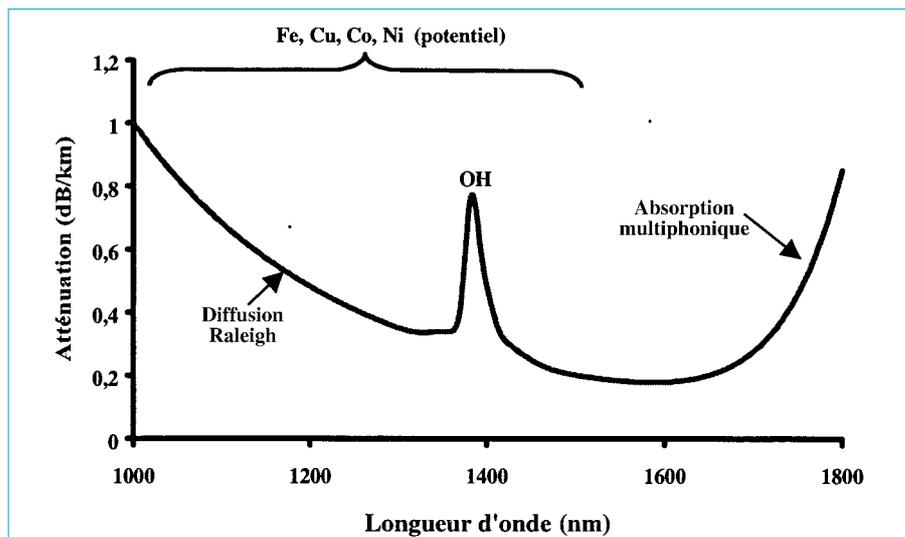


Figure 2 - Spectre d'atténuation d'une fibre en verre de silice dopée  $\text{GeO}_2$ .

est d'environ 2 000 dB/km et l'on considère que le « fil de verre » pourrait concurrencer le fil de cuivre au-dessous de 10 dB/km !

La fibre optique ne peut d'ailleurs assurer un bon guidage des photons que si elle présente une zone centrale, le cœur, d'indice de réfraction un peu plus élevé que la zone externe, la gaine (figure 1).

Le domaine de longueur d'onde *a priori* le plus favorable se situe bien entendu dans l'infrarouge proche,

domaine spectral où la somme des pertes par diffusion Rayleigh et absorption multiphonique peut être minimisée (figure 2).

C'est aussi là, malheureusement, que sévissent des espèces absorbantes comme OH, et différents éléments de transition (Fe, Cu, Cr, Co, etc.) caractérisés par des coefficients d'extinction de 0,05 à 1 dB/km/ppb.

Une vingtaine de laboratoires de par le monde ont cherché la meilleure réponse à toute une liste de questions :

- Quelle composition de verre ? sodocalcique ? borosilicate ? ou silice ?

- Quels précurseurs pour les différents constituants du verre et de dopant ?

- Quelles techniques de purification, d'analyse ?

- Quelle technique de préparation du verre et de la fibre ?

L'objectif étant bien sûr l'ultratransparence, mais aussi la facilité de réaliser des profils d'indice variés, le faible coût, etc.

Deux facteurs essentiels concernant l'analyse et la synthèse des matériaux ont successivement contribué à la construction des réponses actuelles.

### Les techniques analytiques

Les possibilités de doser les traces métalliques au niveau ppb se sont considérablement élargies au début des années 70 avec l'apparition de l'absorption atomique four graphite, puis de l'ICP ; ces techniques se sont substituées à la spectrométrie de masse à étincelle ou à l'activation neutronique beaucoup plus lourdes à mettre en œuvre.

Elles ont été appliquées au niveau 1-10 ppb au contrôle des différents précurseurs considérés et en particulier à  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{SiCl}_4$ , au cours de leurs traitements de purification par échange d'ion, extraction, distillation, hydrolyse, etc.

Est ainsi apparue la première génération de verres ultrapurs de composition sodocalcique ou borosilicate synthétisés par technique de fusion verrière en creusets de platine ou de silice dans des conditions opératoires rigoureuses ; l'atmosphère d'affinage des verres est

choisie de façon à favoriser les états de valence les moins absorbants des impuretés ( $\text{Cu}^+$ , mais  $\text{Fe}^{3+}$  !). La différence d'indices est obtenue en intervenant sur les proportions respectives des composants.

Ces verres ont permis de réaliser la première génération de fibres « crédibles télécom » au niveau 5-10 dB/km par étirage d'ensembles barreau-tube ou bien de verres fondus dans un double creuset percé.

Ce succès sera relativisé, dès 1974, par les premiers résultats de techniques CVD.

### Les techniques CVD (chemical vapor deposition)

Ces techniques utilisent des précurseurs qui sont des chlorures liquides et, en particulier,  $\text{SiCl}_4$  et  $\text{GeCl}_4$  (pour le dopage du cœur).

Ces réactifs ont des tensions de vapeur élevées et sont faciles à transférer avec un gaz porteur.

La technique la plus simple qui est appelée modified chemical vapor deposition (figure 3) réalise l'oxydation des précurseurs à l'intérieur d'un tube de silice vitreuse qui constituera lui-même la partie externe de la future fibre.

Le tube est chauffé à 1 800 °C suivant un protocole de dépôt passe par passe qui permet un ajustement très commode du profil de composition.

Après dépôt d'une vingtaine de couches de silice vitreuse, d'une épaisseur totale de quelques centaines de microns, le tube est retreint (réduction de diamètre) par chauffage au-dessus de 2 000 °C et l'on obtient un barreau, la préforme, qui sera étiré pour donner la fibre.

On peut citer des variantes externes suivant lesquelles les précurseurs réagissent directement dans la flamme oxydrique ou le plasma pour former un dépôt de silice dopée plus ou moins poreux sur une cible animée de mouvements de rotation et de translation (exemples : outer vapor deposition, vapor axial deposition, etc.).

Tous ces procédés, après des étapes éventuelles de densification, aboutissent à la préforme barreau de quelques centimètres de diamètre, qui a le même profil de composition-indice que la fibre après étirage.

Les techniques CVD ont donné, dès leurs balbutiements, des atténuations largement inférieures à 10, voire 1 dB/km, ce qui correspond à des teneurs de quelques ppb en éléments de transition et quelques centaines de ppb en OH.

### Quelques définitions

#### Fibre optique (cf. figure 1)

- Cheveu de verre utilisé pour transmettre la lumière, en particulier dans les domaines du médical et des télécommunications.

- Comporte un cœur et une gaine optique (diamètres respectifs en télécommunications 8 et 125 microns).

- Guidage de la lumière sur le principe d'une réflexion totale par la différence d'indice à l'interface cœur-gaine.

#### Diffusion Rayleigh

- Diffusion de lumière provoquée par des inhomogénéités électroniques, de dimensions bien plus petites que la longueur d'onde de la lumière.

- Évolue en  $\lambda^{-4}$ .
- Phénomène exacerbé par le désordre intrinsèque des verres.

#### Absorption multiphonique

- L'énergie électromagnétique du photon est convertie en énergie mécanique de vibration du « réseau vitreux » (phonons).

#### Dopage de cœur

- Modification de composition permettant d'avoir un cœur d'indice un peu plus élevé que celui de la gaine optique pour assurer le guidage de la lumière.

Cette modification est de l'ordre de quelques % de la masse du verre.

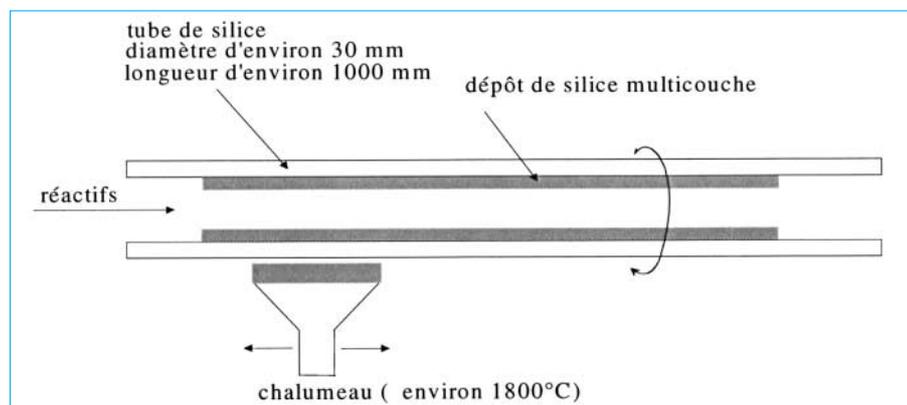
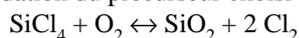


Figure 3 - Réalisation d'une préforme par MCVD (phase de dépôt).

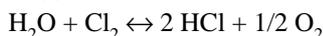
Comment un tel résultat peut-il être obtenu dans des conditions d'expérimentation aussi « ordinaires » incluant l'utilisation de circuits métalliques pour les précurseurs corrosifs et n'excluant pas systématiquement et explicitement toute présence de vapeur d'eau ?

Apparaît ici le rôle particulièrement bénéfique du chlore :

- chlore produit par la réaction d'oxydation du précurseur choisi :



- chlore qui décompose  $\text{H}_2\text{O}$  au-dessus de  $500^\circ\text{C}$  :



- chlore qui forme des chlorures volatils avec des éléments comme le fer.

Il suffit donc de se placer en atmosphère chlorée pour éliminer l'essentiel des impuretés les plus gênantes.

Dans le cas particulier de variantes techniques comportant des étapes finales sans génération de chlore, on ajoutera délibérément un composé chloré ou fluoré à l'atmosphère de traitement à haute température !

**La supériorité des techniques CVD**, s'est ainsi établie au cours des années, basée en particulier sur l'absence de creuset, la disponibilité de précur-

seurs volatils chlorés et le rôle purificateur du chlore.

Les fibres actuelles ont des atténuations inférieures à  $0,2 \text{ dB/km}$  et l'heure est à la production de centaines de millions de kilomètres... avec l'interrogation récurrente : quel est le niveau de pureté strictement nécessaire ?

L'heure est aussi aux compositions exotiques pour applications spéciales, en verres fluorés, sulfures, vitrocéramiques, etc...

« *Mère Nature* » nous sera-t-elle aussi favorable ?

### La Société de Secours aux Ingénieurs Chimistes

Créée en 1937, la Société de Secours aux Ingénieurs Chimistes a pour but de venir en aide à des ingénieurs chimistes ou à leur famille dans le besoin. Elle peut attribuer un secours non remboursable ou un prêt sans intérêt jusqu'à 20 000 francs sur une période de deux à trois ans.

La présentation de la demande est faite de préférence par l'intermédiaire de l'association des anciens élèves de l'école de chimie de l'intéressé.

Conditions d'obtention d'un secours ou d'un prêt sans intérêt :

- être de nationalité française,
- avoir exercé pendant plusieurs années la profession d'ingénieur chimiste ou de chimiste,
- être privé d'emploi ou traverser une période difficile, souhaiter développer ou créer une activité nouvelle même en dehors de la chimie,
- ou être dans le besoin pour d'autres raisons.

Vous pouvez aider la Société de Secours :

- en la faisant connaître à des camarades en difficulté (les demandes sont étudiées avec la plus grande discrétion) ;
- en y adhérant. La cotisation annuelle minimale est de 150 francs (un reçu fiscal est envoyé).

**Société de Secours aux Ingénieurs Chimistes, Maison de la Chimie, 28, rue Saint-Dominique, 75007 Paris.**