

LES TECHNIQUES DE REALISATION DES FIBRES OPTIQUES

par F. FLORY,

Ecole Nationale Supérieure de Physique
de Marseille.

Les techniques de réalisation des fibres optiques ont énormément progressé depuis 15 ans. On est à même, maintenant, de réaliser des fibres présentant de très faibles pertes (jusqu'à 0,2 dB/km, à 1,5 μm - fig. 1), et dont le profil d'indice suit les lois choisies (fig. 2).

Voyons tout d'abord quels sont les phénomènes provoquant les pertes lors de la propagation de la lumière dans les fibres. Ils sont de deux types : la diffusion et l'absorption (fig. 3).

La diffusion peut avoir de multiples causes. C'est d'abord la diffusion Rayleigh, intrinsèque du matériau, due à des fluctuations d'indice ou à la présence de microdéfauts dont la taille est de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde. La dépendance caractéristique des pertes en fonction de la longueur d'onde λ est en λ^{-4} .

D'autre part, les bulles, les microfractures, les zones dévitrifiées, vont aussi jouer le rôle de centres diffusants.

Cette diffusion introduit une atténuation par couplage avec les modes non guidés.

Le verre pur présente deux mécanismes principaux d'absorption d'énergie lumineuse :

- Les interactions entre les photons et les vibrations ou rotations moléculaires donnent des bandes d'absorption dans l'infrarouge. On donne sur la fig. 4 quelques valeurs de fréquence vibrationnelle de SiO_2 . Les flèches indiquent la direction et le sens du déplacement des atomes.
- Dans l'ultraviolet, l'énergie est suffisante pour exciter des transitions d'électrons vers des niveaux plus élevés.

Mais la plupart des verres contiennent des impuretés créant des sources supplémentaires de pertes provenant des transitions d'électrons entre de nouveaux niveaux d'énergie. On obtient de

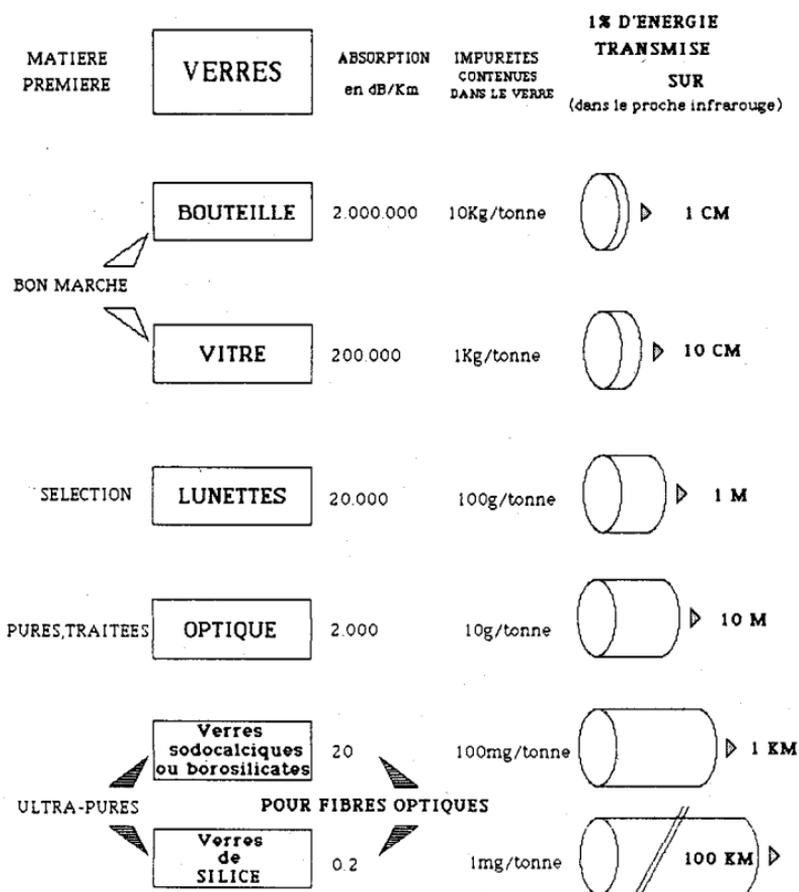


Fig. 1. — Performance des verres pour fibres optiques.

larges bandes d'absorption, en particulier lorsqu'on est en présence d'ions métalliques (fig. 5).

De plus, les dopants qui, comme on va le voir, sont indispensables pour contrôler le profil d'indice, constituent des liaisons nouvelles, et par-là même, font apparaître de nouvelles bandes d'absorption (tableau, fig. 6).

Si les techniques de réalisation peuvent nous permettre de faire disparaître pratiquement totalement les impuretés métalliques, il reste difficile d'en faire autant avec les ions OH^- qui proviennent des molécules d'eau.

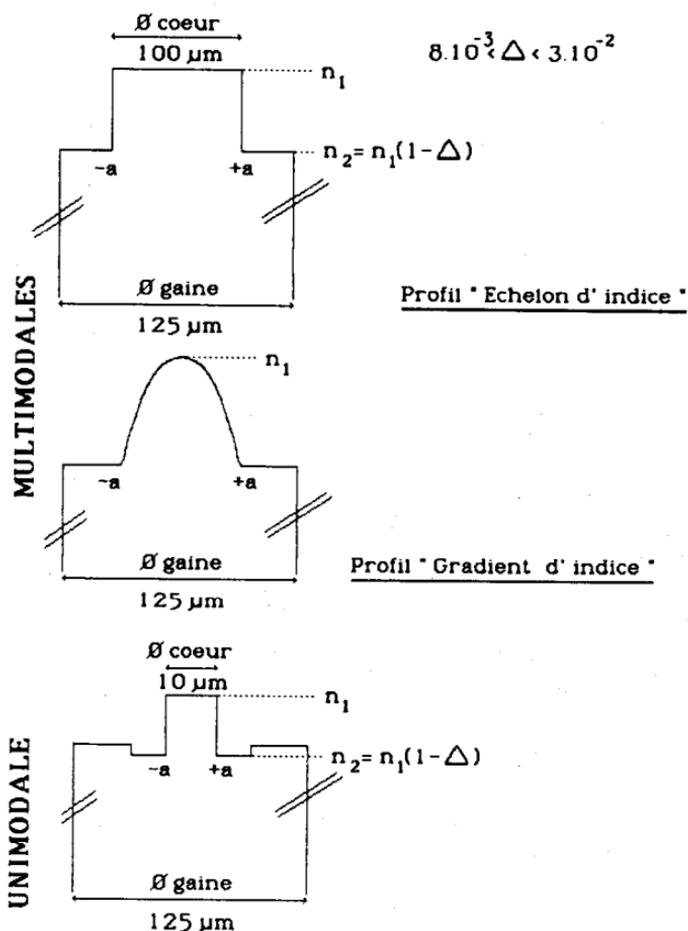


Fig. 2

C'est le spectre d'absorption de l'ion OH^- qui a guidé le choix des longueurs d'onde actuellement prévues pour les télécommunications : 0,8 μm , 1,33 μm et 1,5 μm correspondent en effet à des minimums dans le spectre d'absorption de l'ion OH^- (fig. 3).

Pour réaliser les profils d'indice que l'on désire, on introduit dans le verre des dopants qui changent la vitesse de propagation de la lumière dans ces verres, c'est-à-dire qui en changeant l'indice de réfraction.

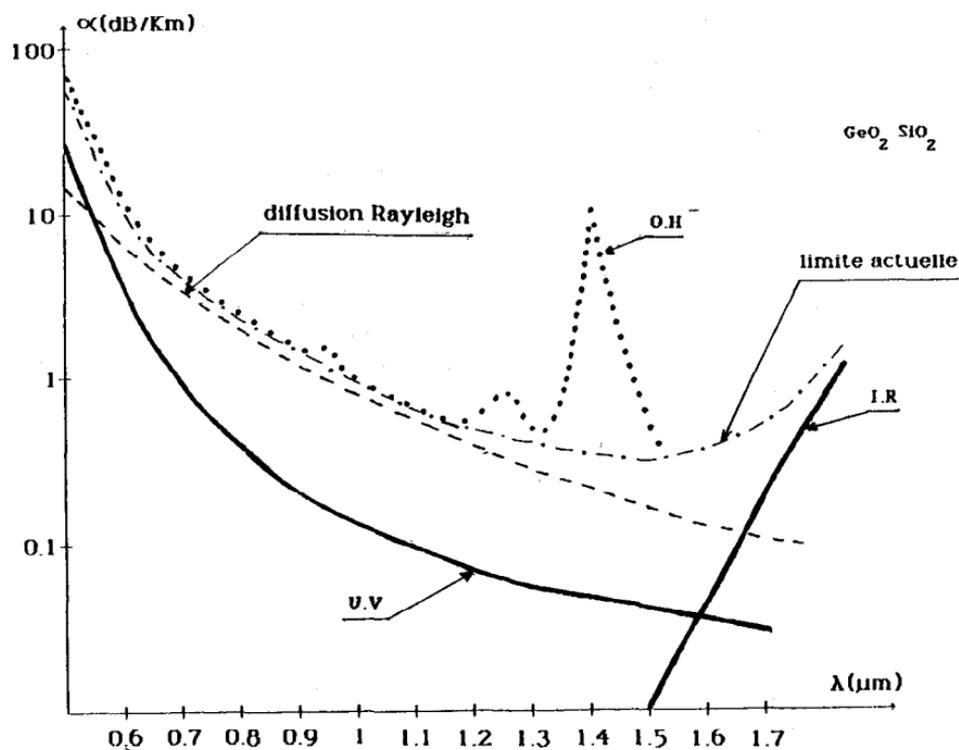


Fig. 3

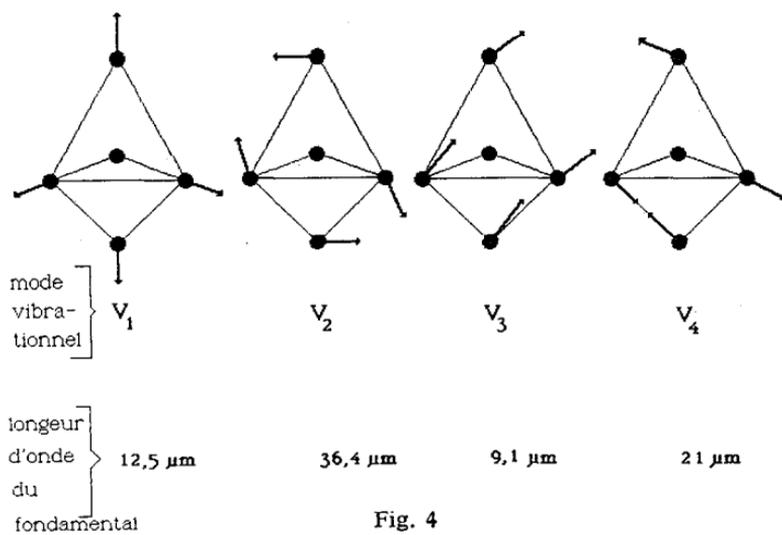


Fig. 4

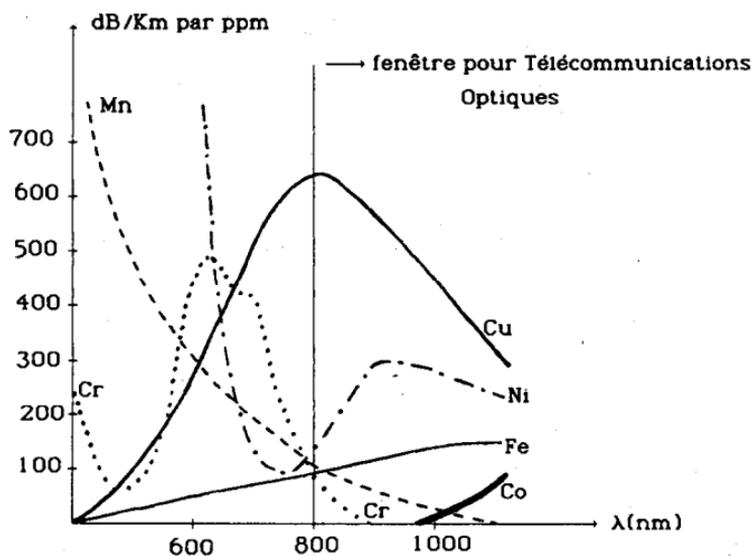


Fig. 5. — Atténuation due aux impuretés métalliques.

Si-O	9 μm
B-O	7,3 μm
P-O	8 μm
Ge-O	11 μm

Fig. 6. — Fréquence vibrationnelle liée aux dopants.

Les dopants comme le germanium ou le phosphore augmentent l'indice, alors que le bore ou le fluor le diminuent.

Ces effets sont, bien sûr, plus ou moins marqués suivant la concentration de ces dopants.

Les techniques de réalisation partent toutes du principe de l'homothétie de la concentration en dopant d'une fibre par rapport à un volume plus grand, la fibre étant obtenue par tirage du matériau près de son point de fusion.

Une des premières machines à fibrer est basée sur la méthode du double creuset (fig. 7). On place le verre de gaine dans le creuset extérieur et le verre de cœur dans le creuset intérieur. On peut réaliser un gradient d'indice en ménageant une zone où les verres de gaine et de cœur sont en contact ; il y a alors échange de dopants.

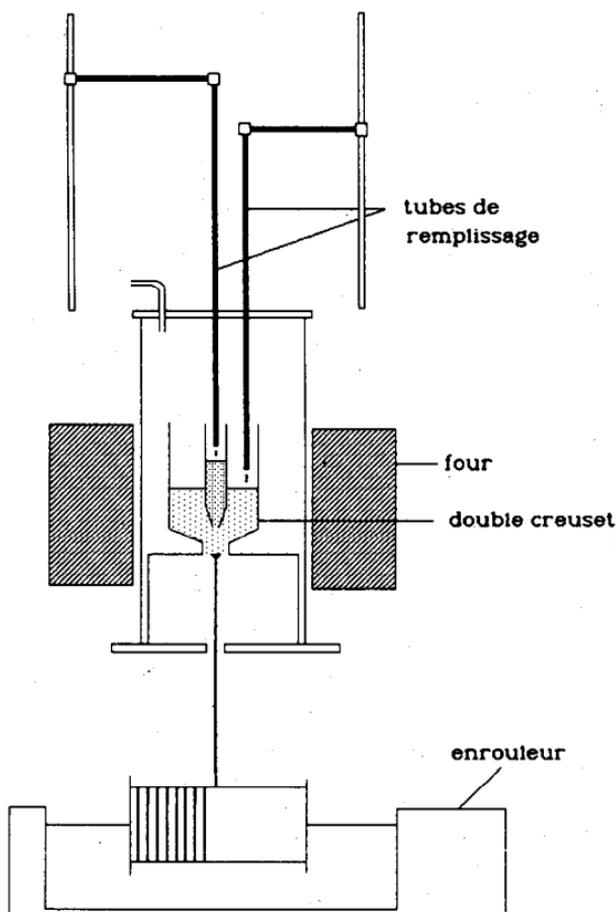
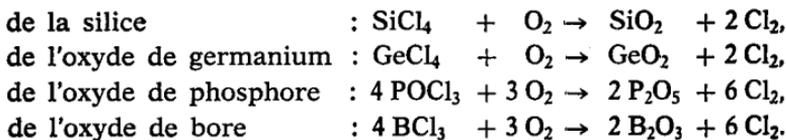


Fig. 7. — Fabrication des fibres optiques par la méthode du double creuset.

La fibre obtenue à la sortie inférieure du système est enroulée sur un tambour qui la tire à une vitesse soigneusement contrôlée pour lui assurer un diamètre constant (paramètre important pour minimiser les pertes).

Un ensemble d'autres méthodes est basé sur la synthèse de matériaux par oxydation en phase vapeur. En effet, on peut ainsi obtenir :



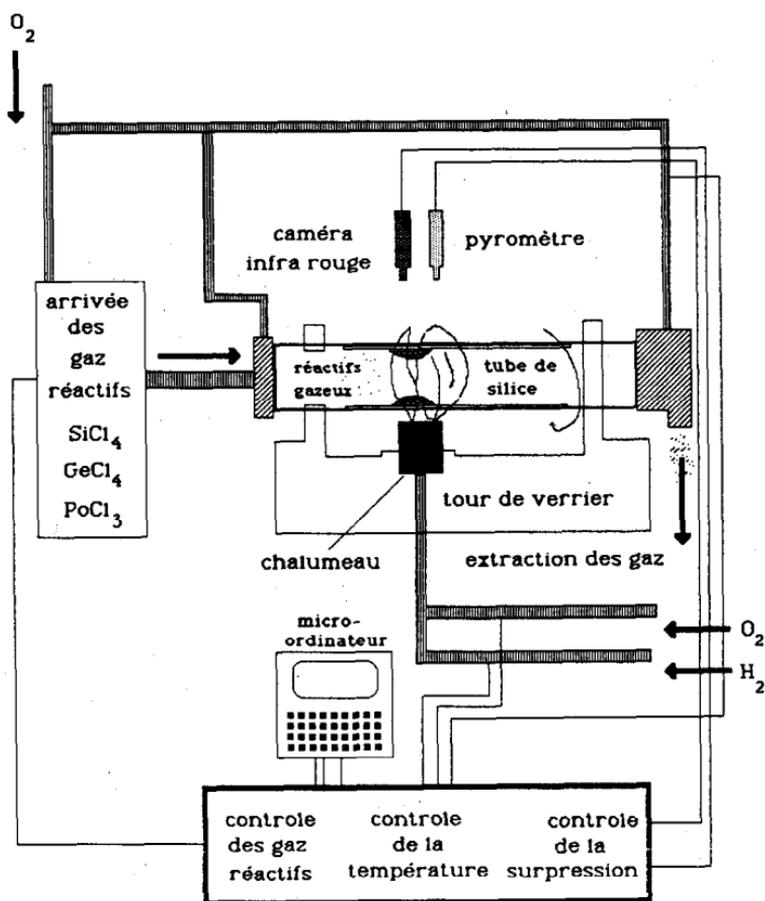


Fig. 8. — Installation de réalisation de préforme.

Cette technique de dépôt s'appelle CVD (chemical vapor deposition = dépôt en phase vapeur - fig. 8 et 9).

On peut chauffer le gaz réactif dans un tube de silice tournant autour de son axe et, suivant les gaz que l'on introduit dans le tube, on obtiendra une silice dopée de la façon souhaitée.

Par déplacement en passes successives du chalumeau dont la température est soigneusement contrôlée, on dépose des couches dont on peut faire varier l'indice. Il faut utiliser un tube de silice de grande qualité : concentration faible en OH^- , en impuretés, en infondu et homogène en géométrie.

Il faut, de même, des chlorures très purs et de l'oxygène très sec.

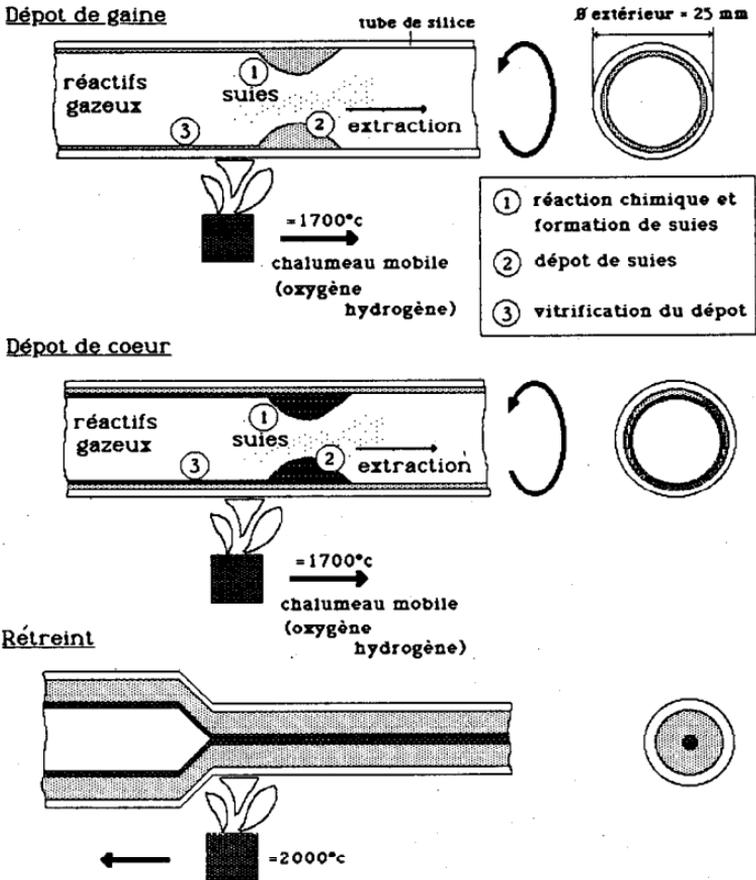


Fig. 9. — Réalisation de la préforme.

On obtient ainsi un tube creux (préforme) que l'on va chauffer plus fortement en plusieurs passes du chalumeau pour obtenir un barreau plein (rétréint). Cette opération est elle aussi très critique. Il faut en particulier éviter que de l'air pénètre dans le tube au moment de sa fermeture pour diminuer la contamination par les OH^- . Il faut, de plus, éviter la formation d'un trou d'indice lors de cette opération (diffusion du Ge) qui diminuerait la bande passante de la fibre.

Lors de la réalisation des couches qui constitueront le cœur de la fibre, on peut faire varier la pression dans le tube. On arrive ainsi à donner au cœur des sections qui peuvent être ovales.

Les fibres ainsi constituées présentent des biréfringences telles que la polarisation de l'onde lumineuse peut se maintenir tout au long de son parcours.

Ce type de fibre a un grand intérêt pour la réalisation de capteurs (capteur de courant basé sur l'effet Faraday, par exemple). La biréfringence d'une fibre peut être aussi augmentée par des effets de contraintes.

Comme dans la technique du double creuset, la fibre est alors obtenue par tirage (fig. 10).

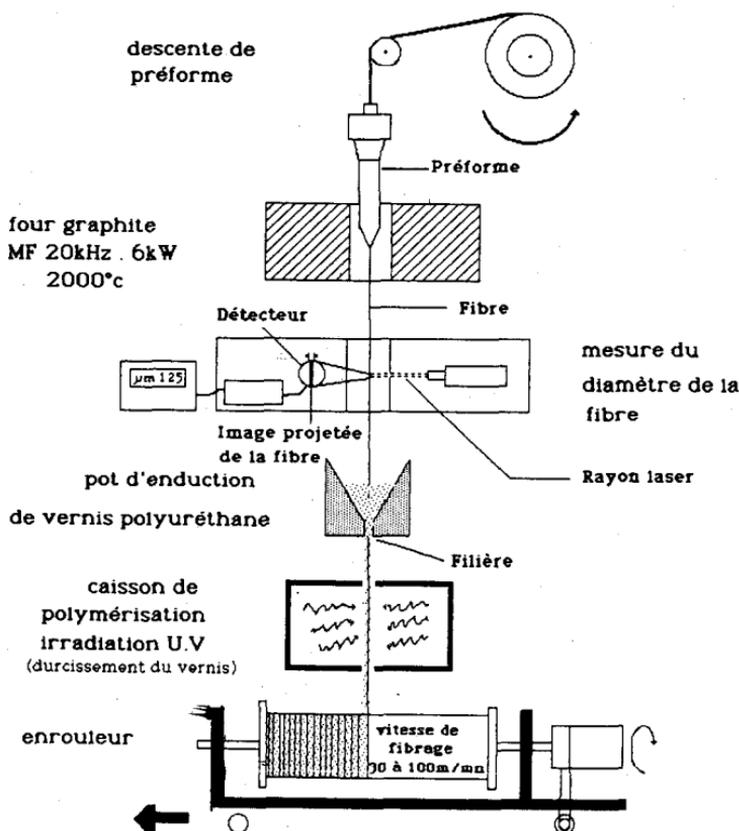


Fig. 10. — Installation de fibrage.

Une autre technique (fig. 11) consiste à envoyer les gaz réactifs directement dans des torches (VAD = Vapor axial déposition). Les particules de silice dopées sortant de ces torches vont se déposer sur une embase en silice. On obtient ainsi une crois-

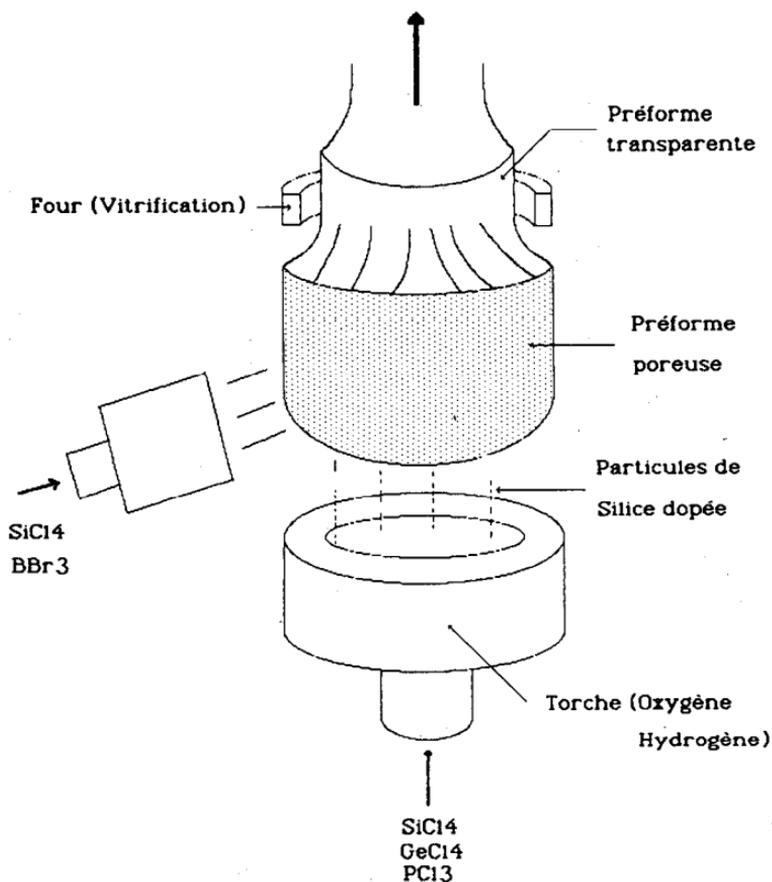


Fig. 11. — Dépôt axial (V.A.D.).

sance du matériau sous la forme d'une préforme poreuse. Par chauffage, on obtient une préforme transparente qui peut être traitée comme dans la technique précédente pour obtenir une fibre. L'avantage de cette dernière méthode est de permettre la réalisation en continu d'une préforme et par conséquent de fibres de très grandes longueurs (jusqu'à 100 km) sans trou d'indice au centre.

Dans tous les cas, il est nécessaire de contrôler avec précision le diamètre de la fibre. Il existe, pour cela, plusieurs méthodes. On peut, par exemple, asservir la vitesse d'enroulement de la fibre à une mesure de son diamètre (par ombre portée ou figure de diffraction).

Les moyens d'analyser les résultats sont multiples. On peut, par exemple, mesurer le profil d'indice de la fibre ou de la préforme par des moyens optiques. On peut aussi obtenir des mesures des profils de concentration en dopant par d'autres techniques comme l'ESCA (electron spectroscopy for chemical analysis) pour le bore et la microsonde de Castaing pour le germanium et le phosphore. On peut ainsi étalonner l'indice de réfraction en fonction de la teneur en dopants.

On n'a, bien sûr, examiné qu'une partie des dispositifs permettant de réaliser les fibres. Si le principe de ces techniques est simple, la difficulté de réaliser des fibres présentant de faibles taux d'impuretés est grande. On peut toutefois dire que le problème est maintenant bien résolu.

On sait obtenir des fibres présentant de très faibles pertes ($\approx 0,2$ dB/km à $\lambda = 1,5 \mu\text{m}$). On peut ainsi réaliser des liaisons à grande distance et grande bande passante ne nécessitant un répéteur que tous les 50 km (contre 2 km pour les câbles coaxiaux !)

BIBLIOGRAPHIE

- A. COZANNET, J. FLEURET, H. MAÎTRE et M. ROUSSEAU, *Optique et Télécommunications*, Eyrolles 1981.
 - *Principles of Optical fiber measurements* - Dietrich Marcuse - Academic Press.
 - Cours de Monsieur PACHOLLE (Thomson) à l'Ecole Nationale Supérieure de Physique de Marseille.
 - Revue technique Thomson - Volume 6 - Décembre 1974.
 - Revue technique Thomson - Volume 13 - Décembre 1981.
 - Revue technique Thomson - Volume 15 - Décembre 1983.
-