

<b>Zeitschrift:</b>	Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe
<b>Band:</b>	57 (1979)
<b>Heft:</b>	7
<b>Artikel:</b>	Câbles à fibres optiques et éléments de couplage
<b>Autor:</b>	Benoît, Pierre / Zürcher, Jean-François
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-875563">https://doi.org/10.5169/seals-875563</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 16.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Câbles à fibres optiques et éléments de couplage

Pierre BENOÎT et Jean-François ZÜRCHER, Cortaillod

621.315.21:621.315.68:621.316.541:621.391.63:681.7.068

## Glasfaserkabel und Verbindungs-elemente

Zusammenfassung. Die Bedeutung der Lichtleiter in künftigen Fernmelde-netzen und bei anderen Anwendungen wird gestreift. Danach sind die verschiedenen Herstellungsmethoden der Glas-faser sowie jene der Glasfaserkabel be-schrieben. Abschliessend werden Kabel-verbindungsprobleme erörtert und die von der Firma Cabloptic dazu passenden Kopplungselemente behandelt.

Résumé. La signification des conducteurs de lumière dans les futurs réseaux de télécommunications et pour d'autres applications est brièvement abordée. Les différentes méthodes de fabrication des fibres et câbles optiques sont ensuite décrites. Pour terminer, les questions touchant le raccordement de ces derniers, ainsi que les éléments de couplage proposés par Cabloptic, sont examinées.

## Cavi di fibre ottiche e elementi di accoppiamento

Riassunto. Si accenna all'importanza dei conduttori di luce nelle future reti delle telecomunicazioni e ad altre possibilità d'impiego. In seguito vengono descritti diversi metodi di produzione per fibre e cavi ottici. Per concludere gli autori trattano questioni inerenti alla giunzione dei cavi e esaminano i rispettivi elementi di accoppiamento proposti dalla ditta Cabloptic.

## 1 Introduction

Actuellement, la plupart des liaisons transmettant une information sont assurées par la circulation d'un courant électrique dans un milieu métallique conducteur, à l'exception des liaisons radioélectriques. Ce mode de transmission, parfaitement connu et utilisé dans tous les domaines, présente un certain nombre d'inconvénients inhérents au principe physique appliqué.

L'utilisation d'un milieu diélectrique comme moyen de transmission d'une onde porteuse lumineuse détermine un nouveau mode de pensée pour les ingénieurs chargés d'étudier et de réaliser des systèmes, où des informations doivent être acheminées sur quelques mètres ou jusqu'à plusieurs kilomètres. En effet, l'utilisation d'un milieu diélectrique permet de s'affranchir des perturbations électromagnétiques extérieures.

Cet avantage est valable aussi bien pour une ligne courte, placée par exemple dans un laboratoire à haute tension ou un poste de couplage, que pour une liaison longeant une ligne de transport d'énergie ou une ligne de chemin de fer sur plusieurs kilomètres. Il en va de même pour les liaisons de mesure montées dans des transformateurs, des alternateurs et des locomotives électriques. Cet avantage permet de réaliser des émetteurs et des récepteurs qui ne nécessitent pas de systèmes de filtrage ou d'extraction d'information très sophistiqués.

La silice, utilisée comme diélectrique, est un très bon isolant et, de ce fait, les instruments, appareils ou systèmes reliés par fibres optiques peuvent se trouver à des potentiels très différents les uns des autres ou par rapport à la terre. Les problèmes de masse existant entre des appareils reliés galvaniquement entre eux disparaissent. Les transformateurs d'isolation intermédiaires, ainsi que les dispositifs de protection évitant les boucles de masse, peuvent être supprimés. De ce fait, les circuits électroniques sur lesquels viennent se brancher les câbles de liaison peuvent être grandement simplifiés.

L'influence parasite (diaphonie) d'un conducteur de lumière sur une autre fibre voisine est nulle. En effet, même en admettant hypothétiquement qu'une fibre soit dénudée à l'intérieur d'un câble et que, de plus, elle émette de la lumière (défaut de géométrie, cassure, etc.), cette lumière parasite doit tout d'abord passer à travers la gaine relativement opaque qui protège la fibre voisine puis arriver sur le manteau de verre avec une incidence telle qu'elle puisse y pénétrer. Cette lumière

peut, à la limite, traverser le cœur de la fibre, mais ne restera pas prisonnière de ce dernier et en ressortira. La fibre ne présente donc aucun effet de guidage pour cette lumière parasite. En outre, la lumière contenue dans le cœur de la fibre ne peut en sortir. Il n'est donc pas possible de détecter clandestinement les informations transmises sur une ligne optique sans la détériorer.

Les câbles et guides d'ondes métalliques traditionnels présentent des défauts de géométrie entraînant des réflexions, lorsqu'ils servent à transmettre des signaux de fréquence élevée. En général, les sources doivent être protégées contre ces réflexions (par exemple par des circulateurs), et les signaux reçus par les récepteurs sont perturbés. Dans le cas de l'utilisation d'une fibre optique, les émetteurs sont insensibles aux rayonnements lumineux reçus et les échos éventuels détectés par les récepteurs sont d'un niveau négligeable.

Le fait d'assurer une isolation électrique parfaite entre les émetteurs et récepteurs est un avantage déterminant lorsqu'une liaison assure une communication entre une électronique de commande relativement délicate, sensible aux parasites, et une électronique de puissance chargée de commuter des courants importants. L'utilisation de la fibre optique pour assurer de telles liaisons fait l'objet d'études par les fabricants de composants de puissance à semi-conducteurs.

Les fibres optiques apportent également des solutions particulièrement intéressantes aux problèmes posés par la présence de conducteurs métalliques parcourus par des courants électriques à l'intérieur de zones dangereuses; cela est particulièrement vrai pour les dispositifs de contrôle de processus dans l'industrie, où les risques d'incendie, voire d'explosion, sont importants (par exemple, fabriques de produits chimiques, de matières plastiques, de colorants, de munitions, etc.).

Jusque-là, seules les applications de transmission par fibres optiques, faisant plus particulièrement appel à leurs propriétés diélectriques, ont été citées. Voyons maintenant quelles sont leurs caractéristiques de transmission.

## 2 Caractéristiques de transmission

Les fibres de silice proposées actuellement par Cabloptic ont un affaiblissement inférieur à 5 dB/km. Cet affaiblissement linéaire est dû à l'absorption de la lumière par le verre. Il ne dépend que de la longueur

d'onde de la lumière utilisée et non de la fréquence du signal utile transmis.

Il s'agit là d'une caractéristique importante des fibres optiques, lorsqu'on les compare aux lignes coaxiales ou aux paires téléphoniques traditionnelles. L'affaiblissement linéaire est très faible, ce qui permet d'espacer considérablement les répéteurs lors de la réalisation de liaisons à longue distance. Cet avantage peut être déterminant pour les transmissions à courte distance également.

La bande passante d'une fibre optique est limitée par la dispersion modale qu'entraînent les différences de parcours des rayons lumineux dans le cœur de la fibre. Cette dispersion est de l'ordre de 2 ns/km pour les fibres à gradient d'indice fabriquées actuellement. Les fibres optiques produites industriellement aujourd'hui permettent de transmettre des signaux à très large bande, tout en introduisant des affaiblissements très faibles.

Les dimensions, ainsi que le poids des fibres et câbles optiques, sont d'un intérêt certain pour bien des applications (avions, canalisations déjà utilisées par d'autres câbles, etc.). A titre de comparaison, un câble à 8 fibres ne pèse que 30...40 kg/km pour un diamètre de 7 mm, alors qu'un câble classique comprenant 12 tubes coaxiaux pèse entre 9 et 12 kg par mètre, selon l'armure utilisée. Son diamètre atteint 60 mm.

Finalement, il est possible de résumer les principales caractéristiques des transmissions optiques de la manière suivante:

- capacité de transmission potentielle énorme
- insensibilité aux influences électromagnétiques
- isolation électrique complète
- atténuation très faible, pratiquement indépendante de la température
- matière de base abondante et peu coûteuse
- câbles très petits, légers et souples
- interception très difficile, voire impossible, du message
- diaphonie négligeable (due à la constitution de la fibre)

Remarquons encore que, si le prix du système de transmission optique à haut débit est plus faible que celui qui utilise un moyen classique, il existe également maintes applications à très bas niveau hiérarchique, où le système optique est plus économique. En outre, vu la technologie utilisée, la fibre optique est très résistant aux contraintes mécaniques.

### 3 Domaines d'application

Un résumé sommaire des domaines d'application des fibres optiques peut s'établir de la manière suivante:

- systèmes à très haut débit d'information, à courte ou longue distance, tels que liaisons entre ordinateurs, ou entre ordinateurs et terminaux, lignes PTT, transmission de données
- systèmes perturbés par des champs extérieurs, dans les centrales électriques, commandes de machines et de systèmes industriels, télécommandes des barrages, descentes d'antennes, applications militaires
- transmissions sur lignes à haute tension, mesures entre deux points à potentiels différents, transmissions

en milieu explosif, dans l'industrie chimique et pétrolière, par exemple

- systèmes permettant la suppression d'amplificateurs ou de répéteurs intermédiaires. Réseaux de câbles pour la distribution à domicile des programmes de télévision (faible atténuation, absence de TOS), liaisons à longue distance
- pose de câbles dans des lieux difficilement accessibles, par exemple, dans des caniveaux encombrés, avionique, studios TV
- systèmes de transmission confidentiels dans lesquels les informations ne doivent pas pouvoir être interceptées

Cette liste n'est pas complète, car le recensement de toutes les utilisations de ce nouveau support de transmission, qui présente des avantages ne pouvant pas être offerts par les autres moyens de communication, n'est pas terminé, tant s'en faut.

### 4 Normalisation

En ce qui concerne la normalisation des fibres, des câbles et du matériel annexe sur le plan international, le CCITT cherche actuellement à définir les différents paramètres physiques, dont la mesure précise est importante tant du point de vue du producteur que de celui de l'utilisateur.

Du côté de la Commission Electrotechnique Internationale (CEI), les travaux préliminaires de normalisation dans le domaine des fibres optiques ont débuté à la suite de la réunion générale, qui s'est tenue à la fin du mois de juin 1978. De toute façon, une normalisation est encore quelque peu prématuée, étant donné qu'un recensement des applications en transmissions optiques ainsi qu'une première classification des produits ne sont pas suffisamment avancés à ce jour.

### 5 Perspectives, prix

Aujourd'hui, les liaisons de qualité par fibres optiques peuvent paraître chères. Cela n'est pourtant déjà plus le cas et certaines applications (dans le domaine de la vidéo, par exemple) sont déjà plus économiques qu'une liaison traditionnelle assurée par un câble coaxial, lorsque la distance à couvrir est inférieure à 5 km. Les fibres optiques deviennent encore nettement plus intéressantes, du point de vue du prix, lorsque les débits d'informations transmis sont plus élevés. En outre, une part non négligeable d'économies supplémentaires est due à l'espacement des répéteurs qui sont coûteux, ainsi qu'à la simplification des circuits électroniques, étant donné que des mesures de protection et de traitement des informations ne sont plus nécessaires.

### 6 Méthodes de fabrication de fibres optiques

#### 61 Méthode du double creuset

La méthode du double creuset est utilisée pour les verres à bas point de fusion ( $\sim 1000^\circ \text{C}$ ), tels que les silicates doubles de sodium et de calcium et les borosilicates de sodium. Dans ce procédé, on utilise un creuset central, généralement en platine, contenant le verre en

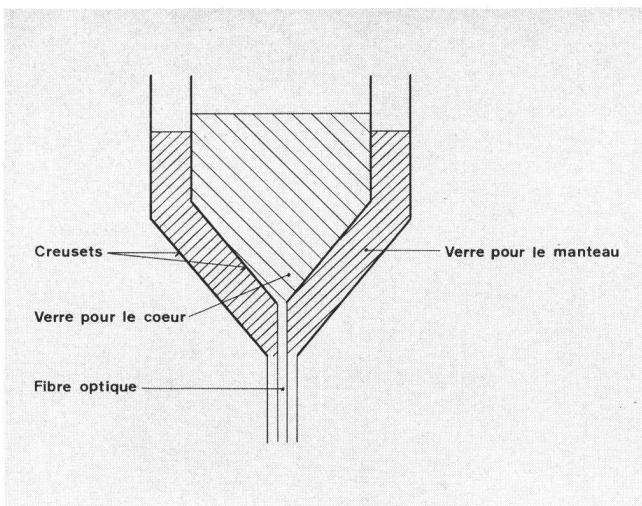


Fig. 1  
Productions des fibres par la méthode du double creuset

Fig. 3 →  
Principe de l'étrage et du prégainage de la fibre

fusion destiné au cœur. Ce creuset débouche dans un récipient concentrique, en platine également, qui renferme le verre destiné au manteau (fig. 1).

En étirant rapidement le verre à la sortie des creusets, on obtient une fibre à saut d'indice. On peut obtenir des fibres multimodes à gradient d'indice par un choix

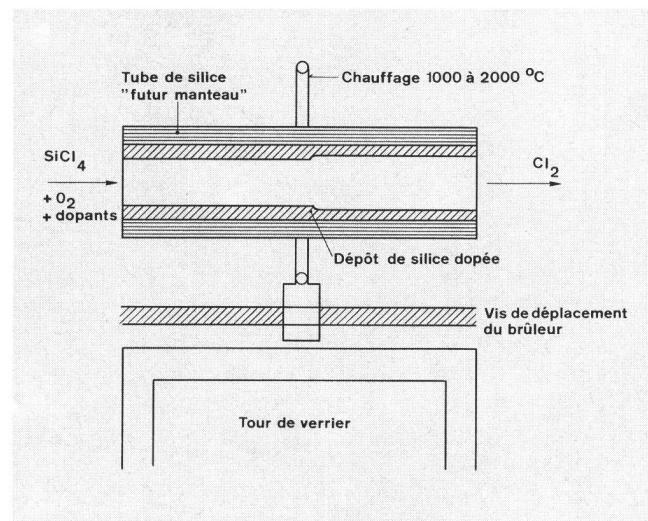
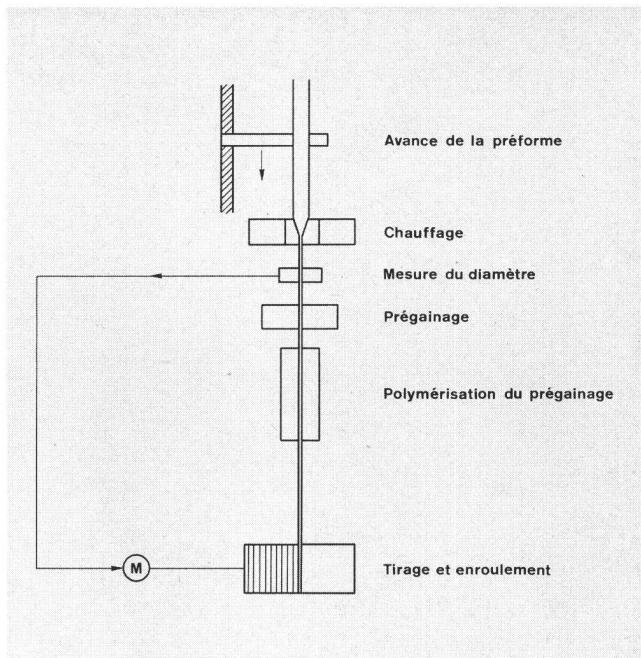
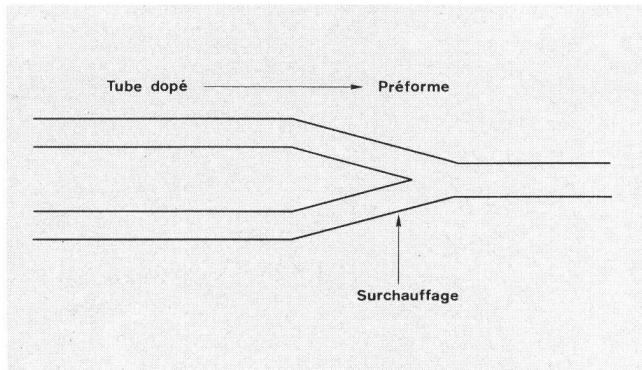


Fig. 2  
Principe de la déposition en phase vapeur du cœur de la fibre  
a) Fabrication du cœur



b) Rétraction homothétique du tube

convenable des matières et en provoquant la diffusion du dopant d'un verre dans l'autre, dans l'espace séparant les deux buses des creusets. Avec cette méthode, il est cependant très difficile de contrôler la teneur en impuretés métalliques et en ions  $\text{OH}^-$ . Elle est utilisée principalement pour des fibres à saut d'indice, dont l'atténuation est généralement supérieure à 10 dB/km.

## 62 Méthode de déposition en phase vapeur

La méthode de déposition chimique en phase vapeur du cœur de la fibre permet d'atteindre des atténuations très faibles, car on utilise le futur manteau comme four de réaction. Cela permet d'éviter une pollution par des ions métalliques et par l'ion hydroxyde. On peut produire des fibres à saut et à gradient d'indice monomode et multimodes en partant de silices à haut point de fusion (1700° C).

En principe, on fait passer dans un tube de silice très pure un courant de tétrachlorure de silicium ( $\text{SiCl}_4$ ) et d'oxygène, avec les additifs nécessaires, qui, en présence d'un apport de chaleur, produira un dépôt de silice dopée à l'intérieur du cylindre. En jouant sur la concentration des dopants, on peut réaliser le profil d'indice choisi. Une fois que l'épaisseur des dépôts est suffisante, on procède à la rétraction du tube, qui se produit sous l'effet des forces de tension superficielle, en augmentant sensiblement le chauffage (fig. 2). Le barreau obtenu est alors placé sur une tour d'étrage où il est porté à la température requise, étiré puis muni d'un pré-gainage de quelques microns qui protégera la fibre du milieu environnant (fig. 3).

## 63 Production des fibres de silice à manteau de matière plastique

On peut également produire aisément une fibre à manteau de matière plastique PCS (Plastic Clad Silica), en partant d'un barreau de silice que l'on étire au moyen de la tour d'étrage. Dans ce procédé, on ne fait qu'augmenter sensiblement l'épaisseur de pré-gainage, qui joue alors le rôle de manteau.

## 7 Fibres produites par Cabloptic SA

En Suisse, les câbleries de Broug, Cortaillod et Cossigny ont créé une communauté d'intérêts, *Cabloptic SA*, en vue de développer leurs activités dans le domaine des transmissions optiques<sup>1</sup>. Actuellement, cette société est en mesure de livrer les deux types de conducteurs de lumière suivants:

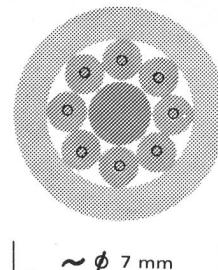
- Des fibres à gradient d'indice, ayant une atténuation typique de 4 dB/km, une dispersion typique de 2 ns/km et une ouverture numérique égale à 0,22. Le diamètre du cœur est de 50 µm, celui de manteau de 125 µm. Ces fibres, en silice dopée, sont gainées à 1 mm de diamètre. Elles supportent une force de traction de 40 N et leur élongation est de 1 % sous une contrainte de 10 N. Le rayon de courbure admissible est de 5 mm.
- Des fibres à saut d'indice. Leur atténuation est inférieure à 10 ou 20 dB/km, suivant le type, et leur dispersion est de l'ordre de 35 ns/km. Leur ouverture numérique est d'environ 0,3. Ces fibres ont un cœur de 150 µm et un manteau de 270 µm, elles sont aussi gainées à 1 mm de diamètre. Leur cœur est en silice et leur manteau en plastique.

## 8 Types de câbles

On peut distinguer trois catégories de câbles optiques:

- La première est constituée par les câbles où le conducteur de lumière est formé par la juxtaposition en faisceau d'un certain nombre de fibres qui transmettent toutes la même information. Cette construction facilitait le couplage avec la source lumineuse qui, il y a quelque temps encore, avait une très grande surface d'émission. En revanche, l'atténuation du système est importante (entre 100 et 1000 dB/km); elle est limitée vers le bas par suite des ruptures aléatoires des fibres du faisceau.

Il faut remarquer que, contrairement au sentiment courant, le câble en faisceau offre une fiabilité plus mauvaise que les câbles de structure traditionnelle. En



- 8 fibres gainées
- Élément de traction central

Fig. 5  
Câble à fibres toronnées et élément de traction central

effet, lorsqu'une fibre du faisceau est cassée, les déchets de verre et le mouvement relatif des fibres qui se touchent amorcent de nouvelles ruptures. En outre, la dispersion est très élevée, d'où une capacité de transmission faible.

Avec l'apparition sur le marché de sources lumineuses mieux adaptées et de fibres de qualité de grandes dimensions, il est très probable que le champ d'application, déjà limité de ces câbles, sera de plus en plus réduit:

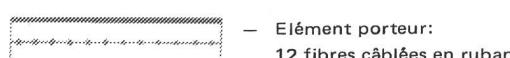
- La deuxième catégorie comprend les câbles de télécommunications formés par l'assemblage d'une certain nombre de fibres optiques non gainées, où chacune transmet une information spécifique. Suivant la structure choisie, ces câbles permettent l'assemblage d'un nombre élevé de fibres par unité de surface (fig. 4).
- Les câbles de la troisième catégorie sont formés par l'assemblage de fibres optiques gainées. Ces dernières, dont le diamètre extérieur est porté à 1 mm environ par la gaine plastique qui les enrobe, ont une tenue mécanique et des dimensions suffisantes pour permettre leur manipulation sans précautions extraordinaires. On distingue, dans ce cas, les câbles à fibres tubées et ceux à fibres gainées comme des fils électriques classiques (fig. 5).

Le choix de la structure du câble fait par le producteur dépend des fibres qu'il a à sa disposition. Elles ne se prêtent pas toutes à un câblage traditionnel, et certaines structures rendent la réalisation pratique de connexions très compliquée.

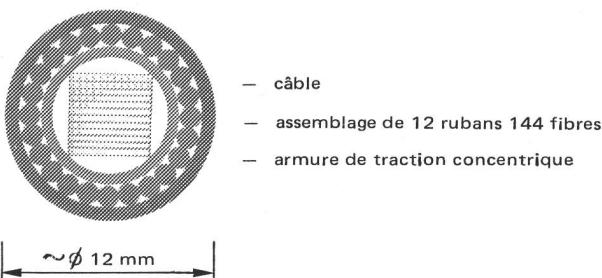
## 9 Câbles produits par Cabloptic SA

Cabloptic SA fabrique plusieurs types de câbles. L'un d'eux est de structure classique. Il est constitué d'un corps de traction central en acier ou en Kevlar, entouré de 8 fibres gainées, le tout étant enrobé de polyéthylène.

Il est possible de remplacer des fibres par des bourrages ou des conducteurs de cuivre, ce qui permet la fabrication de câbles à 2, 4, 6 ou 8 fibres optiques, les conducteurs de cuivre éventuels pouvant être utilisés pour la téléalimentation de répéteurs, par exemple. Ces câbles ont une atténuation typique de 5 dB/km et une dispersion typique de 2 ns/km. Le corps central est en acier ou en Kevlar et la force de traction admissible est de 1200 N. Le rayon de courbure est de 2,5 cm et le poids de 40 kg/km, pour la variante avec corde acier, de



- Élément porteur:  
12 fibres câblées en ruban



- câble
- assemblage de 12 rubans 144 fibres
- armure de traction concentrique

Fig. 4  
Câble en faisceau constitué par l'assemblage de 12 rubans comportant chacun 12 fibres non gainées

<sup>1</sup> Voir article p. 277

35 kg/km pour celle avec âme en Kevlar. Le diamètre extérieur du câble est de 7 mm (fig. 6 et 7).

En outre, un câble monofibre, dans lequel le conducteur de lumière est entouré de filaments de Kevlar, puis d'une gaine, est également fabriqué. Ses caractéristiques optiques sont les mêmes que celles du câble à 8 fibres. En revanche, l'âme du système est en Kevlar et la force de traction admissible devient supérieure ou égale à 600 N. Le rayon de courbure est de 200 mm, le poids de 4 kg/km et le diamètre de l'ensemble est de 2,3 mm.

De plus, des câbles à deux ou trois fibres constitués par un assemblage de câbles monofibres sont livrables.

## 10 Accessoires de montage

### 101 Composants

Les principaux composants constituant le système de connectique sont les suivants:

- les coupleurs Laser ou LED/fibres
- les coupleurs fibres/détecteurs
- les connecteurs
- les dérivation ou jonctions en étoile, qui permettent la distribution des informations sur plusieurs fibres différentes
- des coupleurs directionnels qui permettraient d'utiliser une seule fibre pour la transmission bidirectionnelle des informations et dont on peut envisager la mise au point à plus long terme
- des coupleurs pour le multiplexage en couleur

Cabloptic SA étudie activement tous les composants cités; cependant, seuls certains systèmes particuliers ayant atteint le stade industriel sont décrits ici.

### 102 Coupleurs Laser/ ou LED/fibre

Les coupleurs Laser/ ou LED/fibre (fig. 8) permettent d'injecter le signal lumineux dans la fibre. Le rendement du couplage dépend de quatre paramètres principaux:

- surface de la source lumineuse
- diagramme de rayonnement

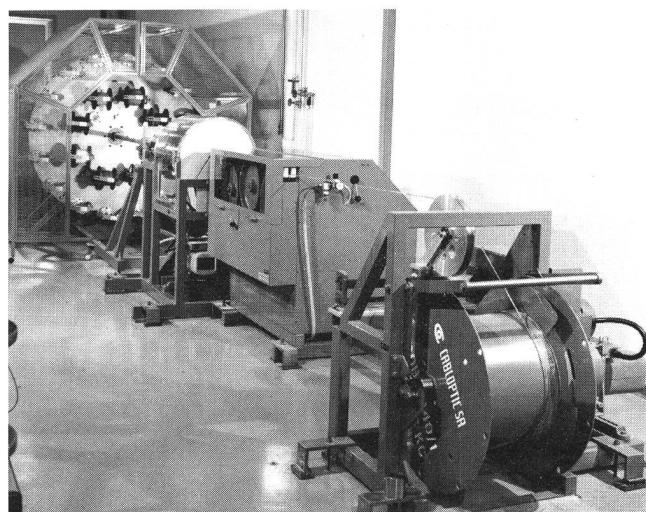


Fig. 6  
Installation de toronnage de câbles à plusieurs fibres optiques

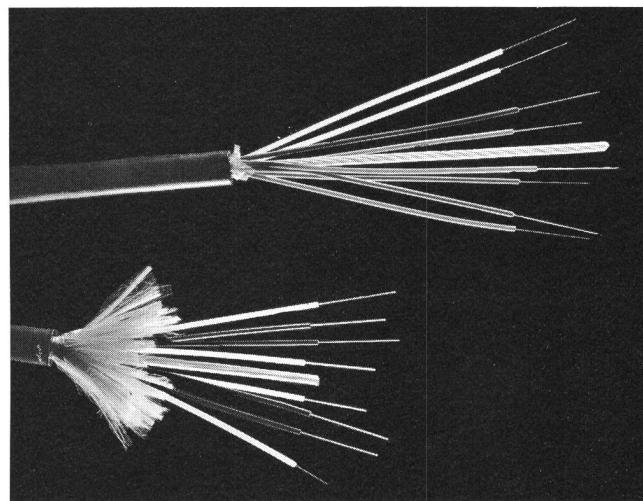


Fig. 7  
Différents câbles à fibres optiques

- surface du cœur
- ouverture numérique de la fibre

Pour comprendre le problème du couplage, il y a lieu de se souvenir que l'on ne peut pas accroître la luminance d'une source. En d'autres termes, si l'on veut diminuer la dimension de l'image d'une source, il faudra augmenter l'ouverture du faisceau et réciproquement. On peut alors distinguer deux situations:

- La surface d'émission est plus grande que la surface de réception représentée par le cœur de la fibre; le meilleur couplage sera obtenu par un ajustement, sans optique intermédiaire, du cœur de la fibre sur la surface d'émission. En effet, si une optique intermédiaire permettait de diminuer la surface de l'image de la source, on augmenterait simultanément l'angle d'incidence et une part importante du faisceau ne serait pas acceptée par la fibre. Un exemple typique de réalisation de ce genre est la diode LED, dite Burrus, avec fibre amorce.
- La surface d'émission est plus petite que celle du cœur de la fibre, ce qui est le cas pour la majorité des Lasers. On peut alors, avec une optique intermédiaire, augmenter la dimension de l'image de la source et di-

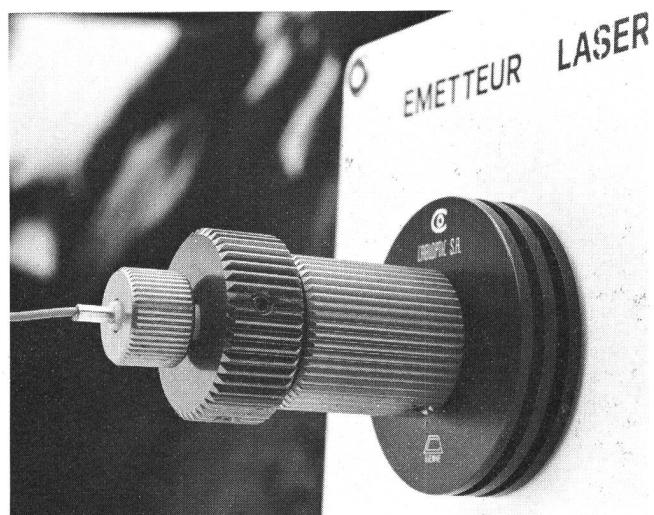


Fig. 8  
Coupleur Laser/ou LED/fibre

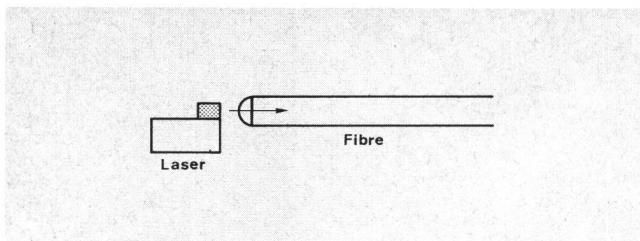


Fig. 9  
Couplage par fibre avec microlentille formée par fusion

minuer l'angle d'incidence. Dans ce cas, il faut trouver l'optimum entre la dimension de l'image et l'angle d'incidence, en relation avec l'ouverture numérique et la surface du cœur de la fibre. Ces systèmes sont réalisés au moyen de microlentilles formées sur l'extrémité de la fibre par fusion, le cas échéant au moyen de lentilles traditionnelles ou, enfin, avec des fibres macroscopiques à gradient d'indice (fig. 9 et 10).

Selon le système choisi, on peut limiter les pertes de couplage à 3, voire 1,5 dB.

### 103 Coupleurs fibres/déTECTEURS

Ces coupleurs permettent de réaliser la jonction entre la fibre et le détecteur assurant, à la réception, la transformation du signal lumineux en une grandeur électrique (fig. 11). La surface de réception du détecteur étant nettement plus grande que celle de la fibre, et son angle d'acceptance étant compris entre  $20^\circ$  et  $55^\circ$ , le couplage entre la fibre et le détecteur ne pose pas de problème particulier; les systèmes consistent à aligner, sans optique intermédiaire, le cœur de la fibre avec la surface sensible du détecteur. Les pertes du couplage dues à cet élément sont de l'ordre de 0,5 dB ou inférieures.

### 104 Connecteurs

Par connecteur, on entend un dispositif démontable permettant de relier ou, le cas échéant, de séparer deux ou plusieurs fibres optiques (fig. 12). Une autre méthode consiste à réaliser une épissure, qui correspond à une connexion à demeure sur laquelle il n'est plus possible d'intervenir par des moyens simples. Si, sur une ligne,

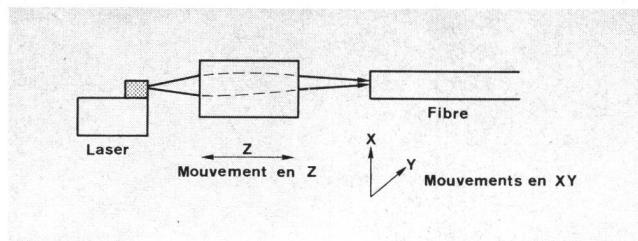


Fig. 10  
Couplage avec fibre macroscopique à gradient d'indice

on ne trouve que deux coupleurs, source-fibre et fibre-détecteur, le nombre de connecteurs ou de jonctions est généralement plus important. Les affaiblissements introduits par ces éléments peuvent, en conséquence, représenter une part non négligeable du bilan des pertes de ligne.

Avec les câbles actuels, dont l'atténuation est de 4 à 5 dB/km, un connecteur de faible performance peut représenter une perte équivalente à 1 km de ligne, ce qui rend le connecteur en réalité très coûteux. On aura donc, généralement, avantage à minimiser les pertes de connexion, ce qui permettra

- une liaison plus longue
- un espacement des amplificateurs et des répéteurs
- une diminution des coûts, car on a montré que plus les atténuations de la ligne sont faibles, plus le système est économique

Pour poser le problème, prenons l'exemple d'une liaison de 10 km, composés de 10 sections d'un kilomètre de câble à 5 dB/km, avec un gain d'amplification de 70 dB, ce qui est très élevé. Le câble introduit une perte de 50 dB, le couplage Laser/fibre, par exemple, 10 dB et il reste donc 10 dB pour les 8 connecteurs reliant les sections de câble. Si l'on néglige le couplage fibre/détecteur, on peut, en conséquence, admettre une perte maximale de 1,1 dB par connecteur ou par jonction.

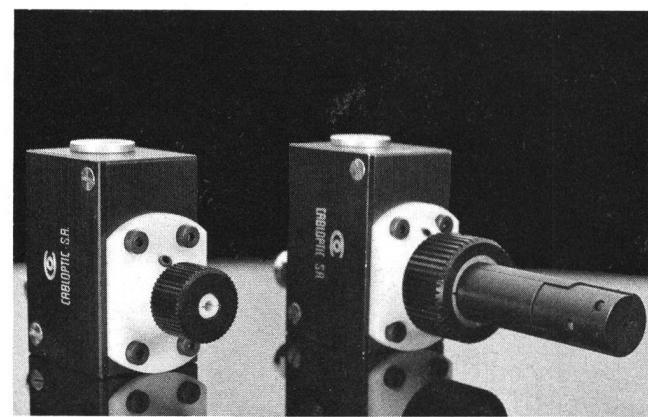


Fig. 11  
Couplage fibre/détecteur

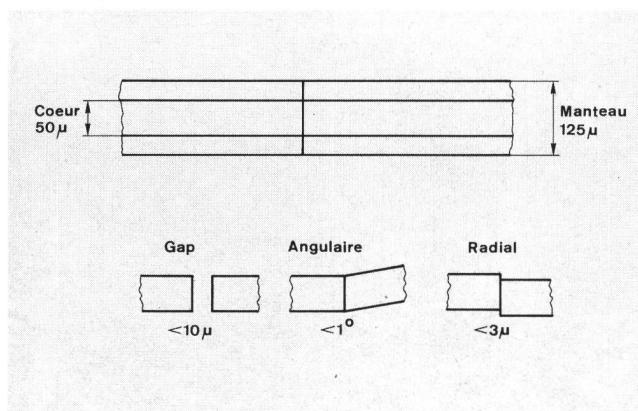


Fig. 12  
Tolérance d'alignement des fibres



Fig. 13  
Connecteur pour jonction démontable

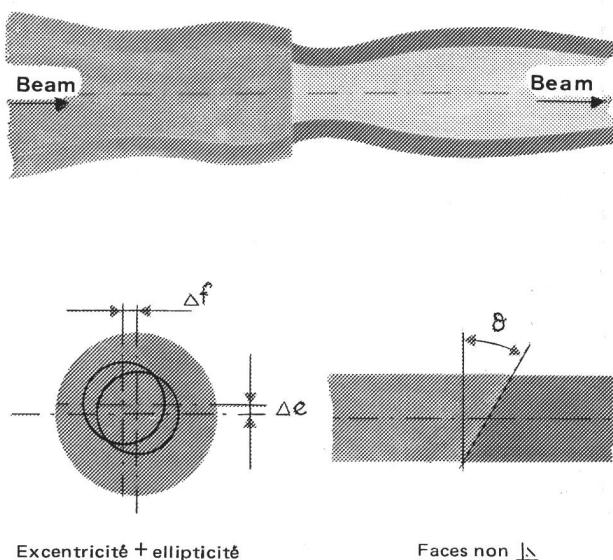
Fig. 14 →  
Représentation schématique des différents défauts de géométrie pouvant affecter les fibres optiques

Si une perte totale de 0,5 dB par connexion — correspondant à 100 m de câble — est admise, il y a lieu, pour ne pas dépasser cette valeur, de fixer des pertes de l'ordre de 0,1 dB par désalignement mécanique considéré (fig. 13).

Dans ce cas, le désalignement radial des cœurs ne devra pas dépasser 3  $\mu\text{m}$ , la distance entre les faces des fibres (en anglais gap) devra être inférieure à 20  $\mu\text{m}$ , voire 10  $\mu\text{m}$ , et le désalignement angulaire de l'axe des fibres inférieur à 1°.

A ces pertes s'ajoutent celles de Fresnel, dues à la désadaptation des indices de réfraction à l'interface, qui sont de l'ordre de 0,4 dB si l'on n'utilise pas un fluide adaptateur. D'autres pertes additionnelles proviennent des défauts géométriques de fibres, telles que les variations du diamètre extérieur des fibres et du cœur, l'excentricité cœur/manteau, les pertes dues à une coupe qui n'est pas perpendiculaire à l'axe des fibres, bien que les faces des deux fibres soient parallèles (fig. 14).

## Défauts de géométrie



## Concepts de base

Bien qu'il ne soit déjà pas des plus simples de satisfaire aux contraintes d'alignement, il y a lieu d'imposer encore d'autres conditions au système, afin qu'il ne devienne pas un petit monstre de mécanique merveilleuse, inutilisable en pratique. C'est ainsi que tous les prototypes et systèmes produits industriellement doivent répondre aux exigences suivantes:

- ils doivent permettre un montage et un nettoyage simples, en 30 minutes environ, dans les conditions habituelles de travail sur des câbles traditionnels, par du personnel formé, mais non spécialisé
- le connecteur doit permettre le montage simultané de plusieurs fibres, sans qu'il soit nécessaire de procéder à des réglages ou de toucher les fibres dénudées. En outre, le corps central du connecteur doit être utilisable sur tous les types de câbles optiques existants

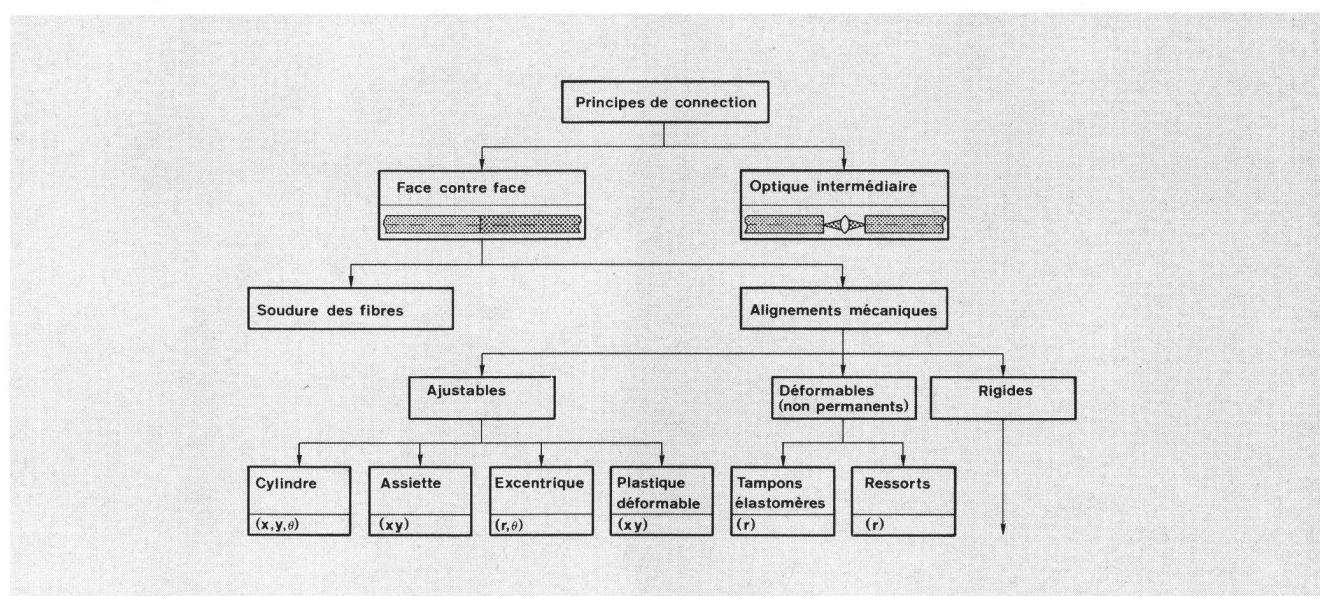


Fig. 15  
Aperçu des différents principes de connexion de fibres optiques

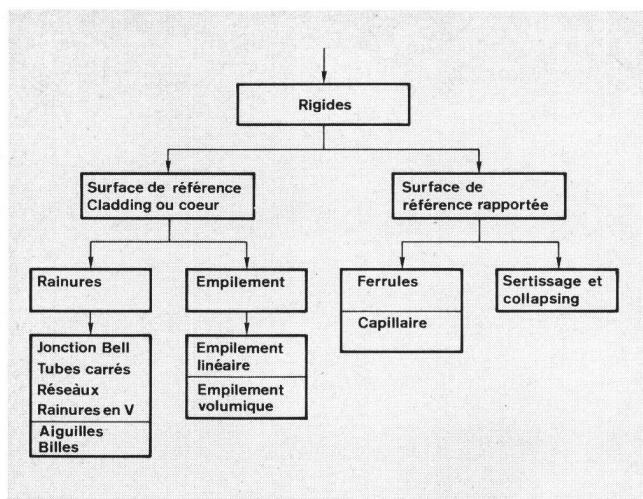


Fig. 16  
Différentes possibilités de réalisation de connexions rigides des fibres optiques

- les pertes doivent être inférieures à 1 dB, avec des fibres de 30 µm de cœur à gradient d'indice
- les dimensions du connecteur seront les plus petites possible

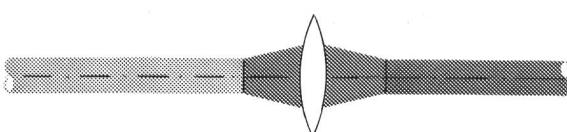
#### Principes de couplage

Parmi les principes de couplage envisageables, il y a lieu de distinguer les différentes possibilités résumées par les figures 15 et 16. Les deux grandes catégories de systèmes sont:

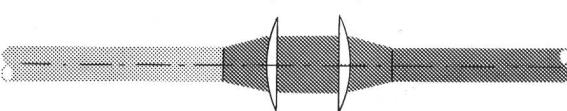
- a) Les systèmes utilisant une *optique intermédiaire*, tels que lentilles simples, doubles, traditionnelles ou à

#### Systèmes optiques

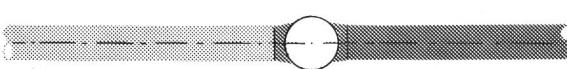
Lentille simple (traditionnelle, gradient, holographique)



Lentilles doubles (permet la jonction Y)



Lentille sphérique



Lentille formée sur la fibre



Fig. 17  
Aperçu de différents systèmes optiques pour la connexion de fibres

gradient d'indice, les lentilles cylindriques ou sphériques, indépendantes ou non des fibres, etc. (fig. 17). Ils permettent la jonction de deux fibres, le couplage Laser/fibre et fibre/détecteur, ainsi que la fabrication de jonctions Y, si l'on ajoute un «beam-splitter» entre deux lentilles.

- b) Les systèmes qui consistent à joindre bout à bout deux fibres *sans composants intermédiaires* par soudure des fibres ou alignement au moyen d'un support mécanique.

En ce qui concerne les dispositifs d'alignement au moyen d'un support mécanique, il y a lieu d'en distinguer trois types:

- les systèmes déformables utilisant un tampon élastomère ou un ressort (fig. 18)
- les systèmes ajustables par action sur un cylindre, une assiette, un excentrique ou un manchon déformable (fig. 19)
- les systèmes rigides

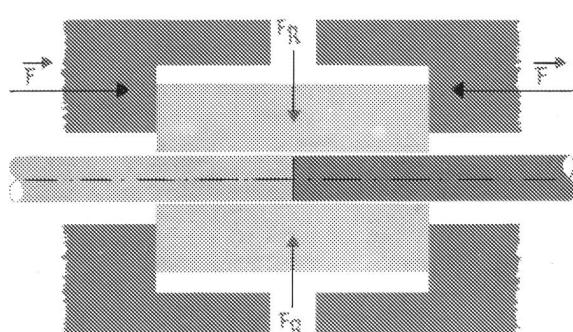
Les systèmes rigides peuvent être répartis en deux classes:

- les dispositifs faisant appel à une surface de référence rapportée, tels que les ferrules, les tubes capillaires, les procédés de sertissage ou de rétraction partielle d'un tube de centrage (fig. 20)
- les dispositifs dont la surface de référence est constituée, soit par le cœur, soit par le manteau de la fibre. Dans les procédés de ce genre, on a recours, soit à l'empilement linéaire ou volumique (par exemple hexagonal) des fibres (fig. 21), soit à leur alignement au moyen de rainures (fig. 22)

#### Systèmes déformables

(non permanents, à alignement automatique)

##### Tampons élastomères



##### Ressort

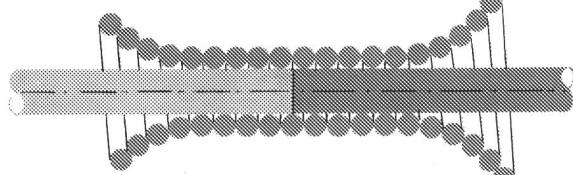
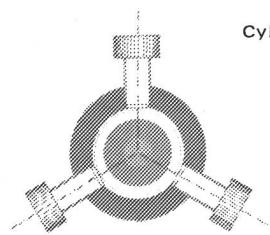
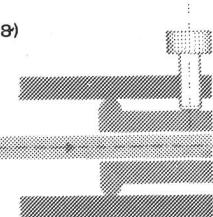


Fig. 18  
Dispositif d'alignement des fibres faisant appel à un tampon élastomère ou à un ressort

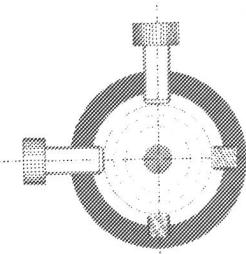
### Systèmes ajustables



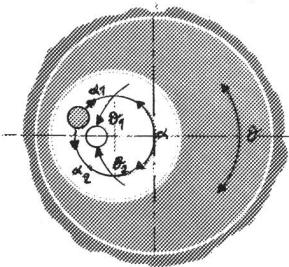
Cylindre ( $x, y, \theta$ )



Assiette ( $x, y$ )



Excentrique ( $\theta, \delta$ )



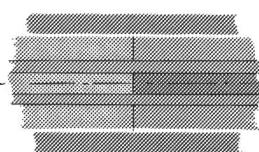
Plastique déformable ( $x, y$ )

### Systèmes rigides à surfaces de référence reportées

Ferrules

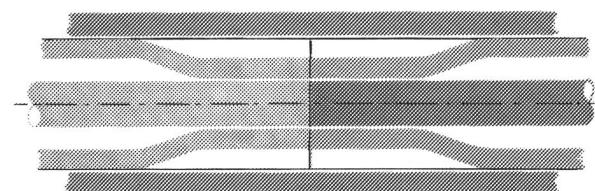


Capillaire



(Centrage par les forces capillaires)

Sertissage



Collapsing

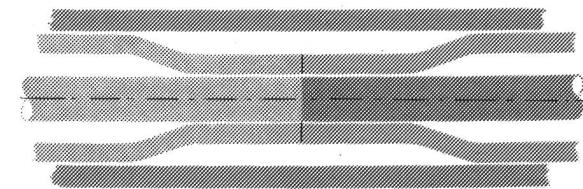
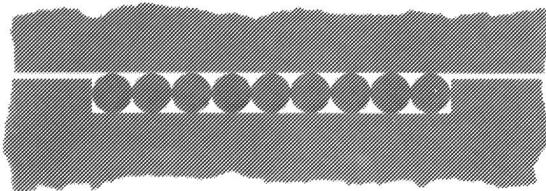


Fig. 19  
Systèmes d'alignement ajustables

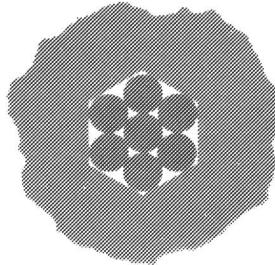
Fig. 20  
Systèmes de connexion rigides à surfaces de référence rapportées

### Systèmes à empilement

Empilement linéaire

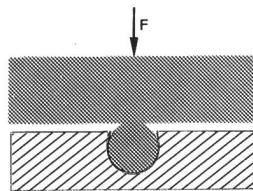


Empilements volumiques (ex:hexagonal).



### Systèmes à rainures

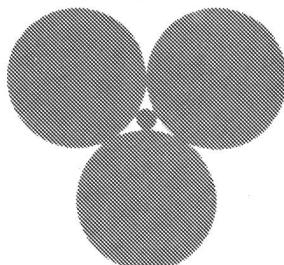
Rainure formée par une fibre (jonction Bell labs)



Rainure en V et réseau



Aiguilles, Billes



Tubes carrés

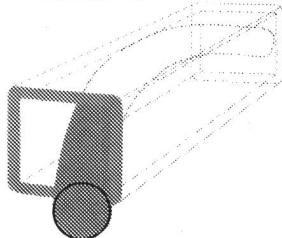


Fig. 21  
Systèmes de connexion par empilement linéaire ou hexagonal

Fig. 22 →  
Systèmes de connexion à rainures

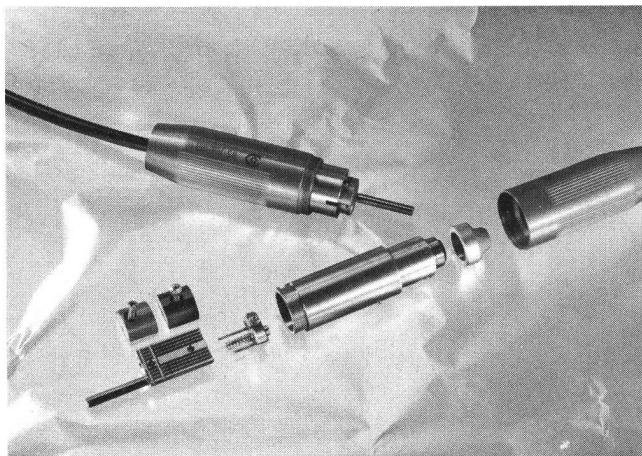


Fig. 23  
Connecteur CDOF-8 pour 8 fibres optiques

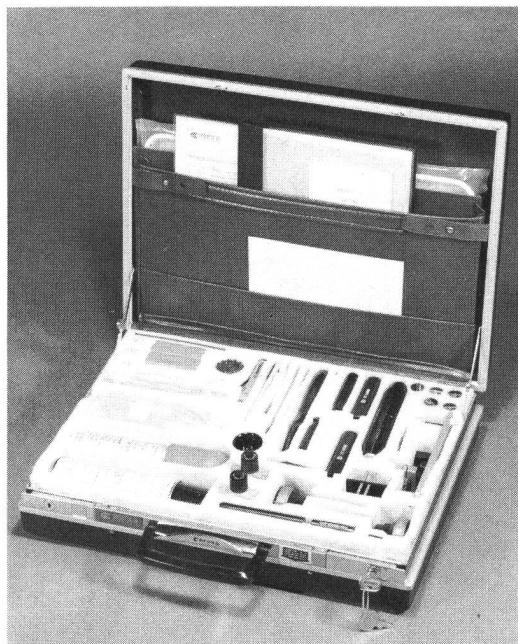


Fig. 24 →  
Set de montage des connecteurs

Dans les systèmes à rainures, qui sont les plus utilisés actuellement, on peut former la rainure par la fibre elle-même (c'est le cas de la jonction bien connue développée par les laboratoires Bell), ou par un usinage mécanique, chimique ou photochimique; dans ce même ordre d'idées, signalons encore l'utilisation d'un tube carré ou de trois cylindres d'alignement formés par des fibres ou des tiges métalliques calibrées.

## 11 Description du connecteur CDOF-8

Ces différentes considérations ont conduit Cabloptic SA à développer plusieurs modèles de connecteurs, parmi lesquels il convient de citer le *connecteur CDOF-8*, basé sur le principe de l'alignement des fibres au moyen d'une rainure en forme de V. Il permet l'alignement simultané de 8 fibres, sans qu'il soit nécessaire de procéder à un réglage ou de toucher les fibres dénudées (fig. 23).

En utilisant ce connecteur avec des fibres de qualité, de 50 µm de cœur, on obtient actuellement des pertes typiques de 0,5 dB sur toutes les fibres. Le temps de montage est d'environ 30 minutes, si l'on a recours au set de montage (fig. 24) spécialement conçu à cet effet et qui comprend un support de montage, une pince à dénuder, un support de polissage, ainsi qu'un jeu d'outils spéciaux.

Le corps de base du connecteur comporte une partie destinée à la fixation des fibres gainées, une autre permettant le maintien des fibres dénudées et leur alignement, ainsi qu'un système d'amarrage du corps de traction du câble. Les fibres non dénudées sont introduites dans les rainures et dépassent la face avant du connec-

teur. La pièce de fixation des gaines est alors mise en place, ainsi que la pièce de centrage. Les fibres gainées, dépassant la face de connexion, sont introduites dans un accessoire qui permet le dénudage simultané des 8 fibres. La pièce de fixation des gaines est alors desserrée et l'on retire le câble jusqu'à ce que la partie non dénudée des fibres optiques se trouve entre les deux pièces de fixation, qui sont ensuite serrées définitivement. Cette opération a pour effet de placer les fibres au fond des rainures et de les immobiliser.

La face avant du connecteur est alors polie au moyen d'un support adéquat. Les corps de connexion sont ensuite introduits dans un boîtier de protection, auquel sont fixés les éléments de traction du câble, et qui protège le connecteur proprement dit de façon étanche.

Si le composant décrit permet la connexion de 3 à 8 fibres, il existe d'autres corps, destinés à la jonction d'un nombre différent de conducteurs optiques, tel que le CDOF-2 pour 2 fibres.

## 12 Conclusions

Une des caractéristiques de la technologie moderne réside dans son évolution rapide, ce qui signifie que des travaux de recherche et de développement la soutiennent alors qu'elle est déjà appliquée industriellement. Nous espérons avoir montré que les procédés liés aux transmissions par fibres optiques ont passé le cap de l'enfance et qu'ils sont parfaitement utilisables.

Adresse des auteurs: P. Benoît et J.-F. Zürcher, c/o Cabloptic SA, La Fabrique 2, CH-2016 Cortaillod NE