



Réseau fibre optique étendu - MAN-WAN
Guide de réalisation

1. PREAMBULE	2
2. LES APPLICATIONS DES RESEAUX LONGUES DISTANCES	3
3. LES APPLICATIONS METROPOLITAINES	15
4. QUELLE FIBRE POUR QUELLE APPLICATION ?	17
5. CABLES POUR RESEAUX LONGUES DISTANCES	26
6. ACCESSOIRES DE RACCORDEMENT – LES REPARTITEURS	35
7. ACCESSOIRES DE RACCORDEMENT – LES BOITIERS D'EPISURE	46
8. CONNECTIQUE ET RACCORDEMENT	57
9. REGLES DE MISE EN OEUVRE	61
10. CONTROLE ET EXPLOITATION	71
11. REFERENCES	77
12. GLOSSAIRE	78
LISTE DES ADHERENTS AU CERCLE C.R.E.D.O.	79
REMERCIEMENTS	80

Tous droits de reproduction réservés sans autorisation.

Association Loi 1901, créée en 1993, le Cercle C.R.E.D.O., Cercle de Réflexion et d'Etude pour le Développement de l'Optique, s'est donné pour vocation de promouvoir le rôle et l'utilisation de la fibre optique dans le domaine des Infrastructures et Applications des Télécommunications et Réseaux

Les travaux du Cercle s'appuient sur l'expertise technique de ses membres qui mettent en commun leurs expériences et savoir-faire spécifiques. Organisation interprofessionnelle, il réunit l'ensemble des acteurs impliqués dans le cycle de vie d'un câblage :

Donneurs d'ordre et Utilisateurs exploitants,
Opérateurs,
Industriels,
Prescripteurs et Cabinets d'Ingénierie,
Formateurs,
Installateurs.

Le Cercle C.R.E.D.O. est structuré autour de commissions techniques spécialisées qui réunissent des spécialistes du domaine en association avec les différentes parties concernées et éditent des recommandations et spécifications dans leur domaine.

L'objectif du Cercle C.R.E.D.O. est le développement de recommandations concernant l'utilisation de la technologie optique. Sa démarche se veut globale et prend en compte non seulement des choix de composants et équipements, mais aussi les règles d'ingénierie et d'installation associées, les règles de contrôle (mesure), les applications et le niveau de qualification des prestataires.

Le Cercle C.R.E.D.O. représente aujourd'hui une force d'expertise spécifique au service de ses adhérents et plus généralement aux acteurs du marché de la technologie fibre optique.

Depuis la loi de déréglementation des télécommunications, de nombreux réseaux de fibre optiques longues distances apparaissent. Deux types d'acteurs interviennent dans les déploiements de ces réseaux :

Les opérateurs d'infrastructures (opérateurs possédant une Licence L33-1 délivrée par l'ART) qui déploient des réseaux notamment fibres optiques pour supporter leurs applications de transmission dans le but d'offrir des services de bande passante.

Les propriétaires ou concessionnaires d'emprises qui implantent sur leur territoire des infrastructures de fibres optiques non activées (autrement appelées " Infrastructure passive ou Fibres nues ou Fibres noires "). Ces Fibres noires sont destinées à être mises à disposition des opérateurs dans des conditions transparentes et non discriminatoires.

Cet ouvrage est le fruit de l' " Atelier Réseaux Etendus " du Cercle C.R.E.D.O. qui s'est intéressé plus particulièrement aux besoins des " Opérateurs d'Infrastructure " et à leur démarche dans la mise en place d'infrastructures de communication à base de technologies fibre optique.

Cet ouvrage s'adresse en tout premier lieu à des spécialistes du domaine. Nous avons donc pris le parti, dans cet ouvrage, non pas de traiter l'ensemble de la problématique (Architecture, composants, contrôle, applications), mais de répondre aux interrogations qui nous sont apparues d'actualité sur ce domaine.

Dans un domaine en perpétuel progrès, un tel sujet ne peut en aucun cas être considéré comme définitivement achevé. Cet ouvrage constitue néanmoins un référentiel actualisé de l'état de l'Art des technologies et pratiques. Il constituera à ce titre un support précieux pour l'ensemble des acteurs destinés à intervenir sur ce domaine.

2 LES APPLICATIONS DES RESEAUX LONGUES DISTANCES

Aujourd'hui, les deux principales applications des réseaux de fibres optiques longues distances sont les applications SDH et les applications DWDM.

2.1 LES APPLICATIONS SDH

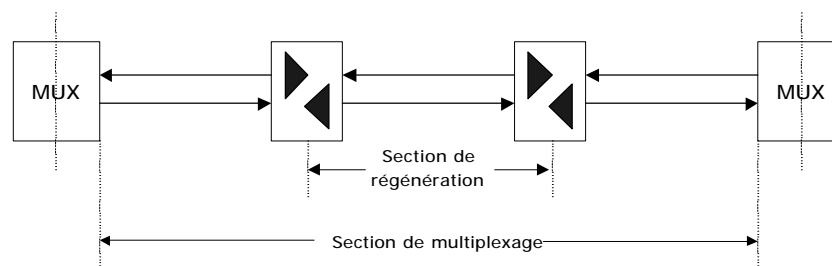
La SDH (Synchronous Digital Hierarchy) constitue la principale application des infrastructures fibres optiques longues distances.

Cette application constitue aujourd'hui le support de transmission de la grande majorité des applications de télécommunication. Elle fait suite, à ce titre, en améliorant les caractéristiques, à la hiérarchie précédente PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy).

2.1.1 L'ARCHITECTURE DES RESEAUX SDH

La SDH réalise le transport d'un ensemble d'« affluents » (canaux numériques à bas débit) sur un canal « agrégat » à haut débit sur fibre optique. Les affluents sont insérés et extraits au niveau d'un multiplexeur qui réalise un multiplexage temporel TDM (Time Domain Multiplex) dans le canal agrégat. Les multiplexeurs SDH sont généralement baptisés ADM (Add and Drop Multiplexer)

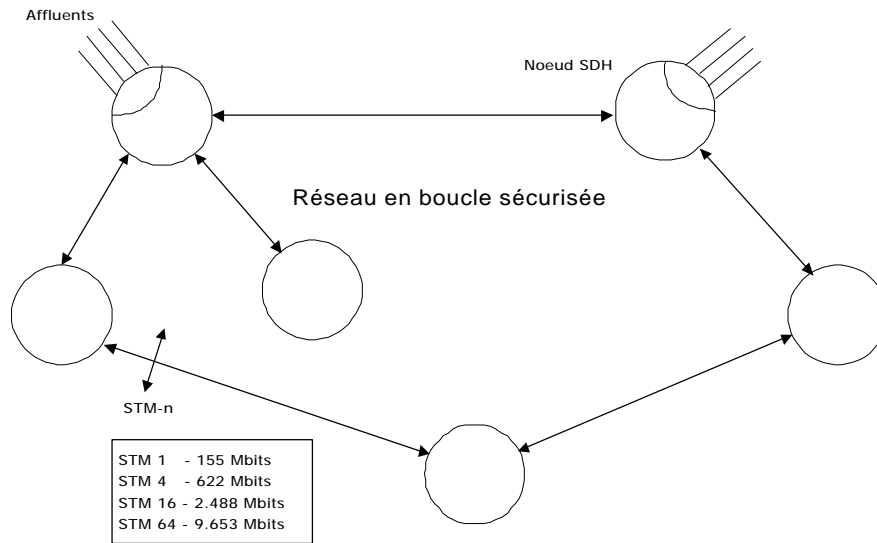
Entre deux multiplexeurs ADM distants, le signal agrégat est remis en forme, périodiquement, par des répéteurs régénérateurs.



Un réseau SDH est construit, en réalité, sur la base d'une architecture en « boucle », qui relie des Multiplexeurs ADM. L'architecture en boucle permet d'insérer ou d'extraire des « affluents » en tout point de la boucle. Elle permet par ailleurs de sécuriser le transport de l'agrégat. En cas de rupture d'une liaison entre deux multiplexeurs, la continuité de service est assurée par « reroutage automatique » du lien sur la boucle de secours.

Les débits en ligne sur l'agrégat à haut débit définissent la hiérarchie SDH. Les affluents à bas débit sont constitués soit de canaux SDH de plus bas débit, soit de canaux PDH de la génération précédente :

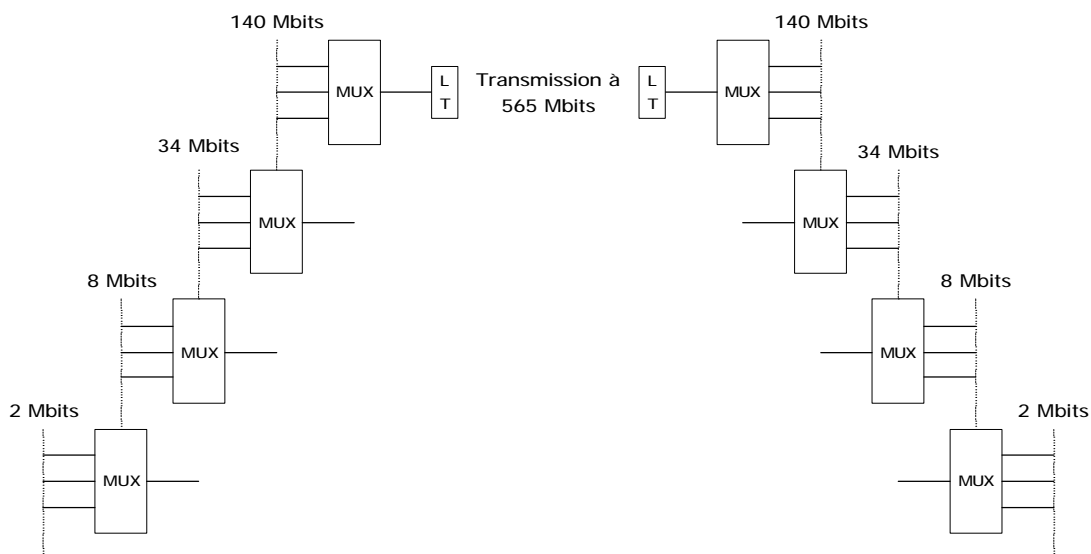
Classe de débit SDH	Débit en ligne
STM1	155 Mbit/s
STM4	622 Mbit/s
STM16	2,5 Gbit/s
STM64	10 Gbit/s
STM256	40 Gbit/s



2.1.2 L'APPORT VIS A VIS DES ARCHITECTURES PDH

La hiérarchie plésiochrone PDH définie antérieurement à la SDH définit des classes de débit de 2 jusqu'à 140 Mbit/s. La hiérarchie SDH a donc pris le relais de cette hiérarchie vers les hauts débits, en prévoyant l'ensemble des mécanismes d'encapsulation des débits de l'ancienne hiérarchie dans la nouvelle.

Elle a permis par ailleurs d'accroître, outre la sécurisation, la flexibilité de configuration du réseau et des services en offrant un « adressage » des canaux affluents dans la trame d'agrégat multiplexée à haut débit. Cette fonction permet d'insérer et d'extraire un affluent en tout point du réseau, en laissant transiter dans la trame agrégat l'ensemble des autres informations. Cette fonction constitue un apport fonctionnel important de la SDH vis à vis de la hiérarchie précédente, qui nécessitait un démultiplexage complet de l'ensemble des canaux pour extraire un de ceux-ci :



Dans un réseau SDH, la mise en relation entre un affluent entrant dans le réseau et un affluent sortant s'effectue par l'administration de réseau. Cette mise en relation permet de configurer un « circuit » (il s'agit d'un circuit virtuel permanent) qui relie les deux points, au travers du réseau. Le « routage » de ce circuit au travers du réseau s'effectue de manière plus ou moins automatique au travers de l'outil d'administration du réseau SDH.

2.1.3 L'ETAT DES DEBITS

Le tableau ci-après fournit l'état de l'Art des types d'interfaces et débits, chez les constructeurs d'équipements, et sur le terrain.

Classe de débit SDH	Débit en ligne	Etat du marché
STM1	155 Mbit/s	Généralisé
STM4	622 Mbit/s	Généralisé
STM16	2,5 Gbit/s	Généralisé
STM64	10 Gbit/s	En cours de généralisation
STM256	40 Gbit/s	A l'étude

L'analyse des offres du marché démontre que les interfaces et débits de type STM16 (2,5 Gbit/s) correspondent d'ores et déjà à l'état de l'Art des débits déployés sur les grands réseaux SDH.

L'usage du STM64 (10 Gbit/s) est moins fréquent à ce jour. Il nécessite une qualification particulière du réseau de fibres optiques (Qualification en PMD notamment) et l'usage, sur les longues distances de modules de compensation de dispersion chromatique.

Le STM256 est encore pour l'heure à l'état d'étude chez les constructeurs.

2.1.4 LES RECOMMANDATIONS RELATIVES A LA SDH

Les différentes recommandations relatives au fonctionnement de la SDH sont issues des travaux de l'UIT qui définit les préconisations relatives au domaine des télécommunications.

L'INTERFACE PHYSIQUE SDH

Les caractéristiques des interfaces SDH sont définies par la recommandation UIT G957. Celle-ci prévoit plusieurs types d'interfaces longue distance ou courte distance, fonctionnant soit dans la fenêtre 1310 nm soit dans la fenêtre 1550 nm.

λ	1310 nm	1550 nm
Gamme d'atténuation	0-12 dB ou 10-24 dB	
Distance couverte	15-40 km	15-80 km

LES SUPPORTS DE TRANSMISSION

Les interfaces SDH ont été définies pour un support fibre optique monomode répondant à la recommandation G652. Cette fibre est la fibre la plus couramment utilisée, en Europe sur les réseaux fibres optiques. Les principales caractéristiques de cette fibre sont reprises dans ce document.

L'utilisation de fibre à dispersion décalée non nulle répondant au standard G655 permet d'accroître les portées, et les débits pour les interfaces à très haut débit (STM64 et STM256) par l'optimisation de la dispersion chromatique dans la fenêtre 1550 nm. Cette fibre permet, pour le support des longues distances, l'économie de modules de compensation de dispersion chromatique externes.

Par contre, l'utilisation de la 2^{ème} fenêtre de transmission (1310 nm), normalement utilisée pour les courtes distances par les équipements de transmission n'est pas optimisée avec ce type de fibre.

Les exigences en matière de qualité de connectique et d'épissures (bilan d'insertion, réflectance) ont été définies dans la recommandation G671. Les principales caractéristiques de qualité sont reprises dans ce document.

LE CONTROLE DE LA QUALITE DE SERVICE

La qualité de la transmission sur les réseaux SDH est évaluée selon les standards G826 ou M2101.

Les dégradations ou perturbations sur les réseaux de fibres se traduisent par une dégradation du rapport signal à bruit sur la transmission. Cette perturbation induit au final des erreurs de transmission sur le canal numérique. Ces erreurs sont caractérisées par :

Le taux d'erreurs

La répartition des erreurs, mesurée au travers de paramètres tels que :

SAE - Secondes avec erreurs – nombre de secondes présentant au moins un bloc SDH en erreur

SGE – Secondes gravement erronées - nombre de secondes présentant au moins 30% de blocs SDH en erreur

Minutes dégradées

C'est le contrôle de l'ensemble de ces paramètres qui constitue la mesure de la qualité de service sur les réseaux SDH.

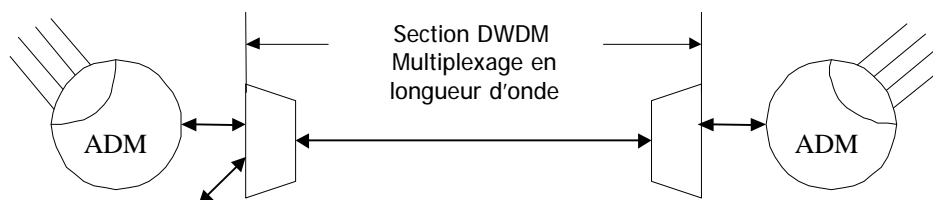
2.2 LES APPLICATIONS DWDM

Les applications DWDM (Dense Wavelength Digital Multiplexing) – Multiplexage en longueur d'onde - constituent la deuxième application des réseaux optiques longues distance.

Les systèmes WDM sont basés sur la capacité de transmettre plusieurs longueurs d'ondes simultanément sans interférence sur une seule fibre. Chaque longueur d'onde représente un canal optique. La technologie WDM s'est développée à un point que les espacements entre les longueurs d'ondes sont très petits - une fraction de nanomètre - ce qui a permis de transmettre une grande densité de longueurs d'ondes dans une fibre optique.

Ces applications sont déployées de plus en plus fréquemment car elles permettent d'optimiser l'usage d'une même fibre optique en multiplexant sur cette fibre plusieurs canaux, par exemple de type SDH. Ce multiplexage s'effectue en longueur d'onde, c'est à dire que chaque canal est modulé sur une « couleur » spécifique.

Les sections de multiplexage en longueur d'onde sont aujourd'hui largement utilisées comme sections de transport entre des nœuds de multiplexage SDH (ADM).



2.2.1 LES CLES TECHNOLOGIQUES

Le multiplexage en longueurs d'onde (Lambda - λ) repose sur un certain nombre de facteurs technologiques.

Le premier d'entre eux est la capacité de la fibre à transporter non pas une seule couleur mais tout un peigne de « couleurs ». C'est une caractéristique physique de ce support de transmission.

La technologie DWDM n'a connu d'applications industrielles qu'à partir du moment où il a été possible de générer des sources émettrices « accordées » et stables sur une longueur d'onde précise du spectre et de « filtrer » en réception la longueur d'onde désirée dans le spectre de couleurs.

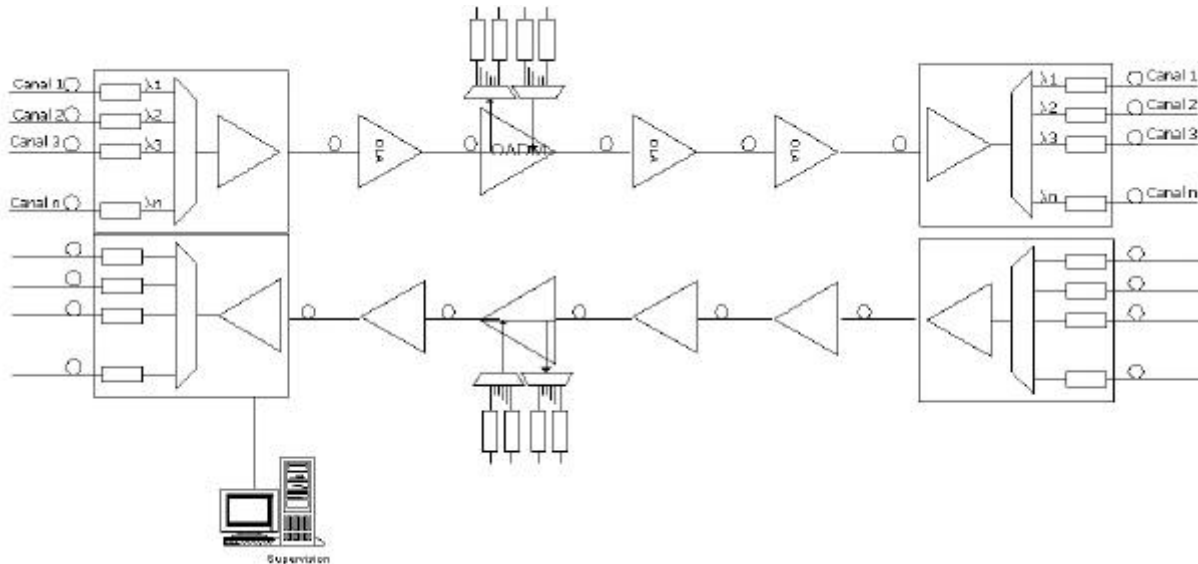
La maîtrise de la tête optique laser et de sa précision d'émission (largeur de raie, stabilité en longueur d'onde et puissance) est une des clés technologiques des systèmes DWDM. Les éléments de filtrage utilisent quant à eux des réseaux à base d'optique intégrée ou des réseaux de Bragg.

L'essor de cette technologie a été possible, enfin, grâce aux progrès de l'amplification optique (EDFA). Ces composants, basés notamment sur des fibres dopées à l'erbium, permettent de réamplifier en ligne, l'ensemble du spectre optique, sans avoir à « démultiplexer » les canaux.

2.2.2 ARCHITECTURE DES SYSTEMES DWDM LONGUES DISTANCES

Les systèmes DWDM longues distances sont constitués principalement :

- de terminaux d'émission,
- de terminaux réception,
- d'amplificateurs optiques de ligne (OLA – Optical Line Amplifier),
- d'amplificateurs optiques à insertion extraction (OADM).



Les terminaux Emission :

Ceux ci réalisent en premier lieu la « transposition » des canaux de la longueur d'onde « client » sur la longueur d'onde spécifique du système. Ils supportent les têtes optiques laser à longueur d'onde précise et contrôlée.

L'ensemble des canaux est ensuite multiplexé sur une même fibre et l'ensemble du spectre est amplifié en ligne.

L'analyse spectrale en ligne fait apparaître un spectre de raies.

Les terminaux Réception :

Ceux ci réalisent en premier lieu une réamplification du signal de ligne reçu, puis un filtrage des canaux, longueur d'onde par longueur d'onde, et enfin une retransposition du canal vers la longueur d'onde « client ».

Les Amplificateurs optiques (OLA):

Ceux ci réalisent, en ligne, une réamplification de l'ensemble du spectre optique. Toutes les longueurs d'onde du spectre se trouvent ainsi réamplifiées sans besoin de démodulation individuelle. Les gains des amplificateurs optiques varient entre 20 et 30 dB, ce qui permet de compenser des pertes de la liaison sur des distances de l'ordre de 100 km.

Les Amplificateurs à insertion Extraction (OADM):

Certains systèmes permettent, outre l'amplification en ligne, l'extraction / réinsertion d'un certain nombre (généralement limité) de longueurs d'onde du spectre. Ceci permet d'extraire, si besoin, quelques canaux en ligne, entre deux terminaux, sans avoir besoin de démoduler l'ensemble des canaux.

2.2.3 PERFORMANCE DES SYSTEMES DWDM LONGUES DISTANCES

Les performances des systèmes DWDM s'apprécient par:

- le nombre des longueurs d'onde gérées (nombre de canaux),
- le débit maximal sur chaque longueur d'onde,
- la distance couverte.

Spectre optique et nombre de longueurs d'onde gérées :

Les longueurs d'onde des systèmes DWDM sont aujourd'hui comprises dans la fenêtre 1525-1565 nm.

L'UIT a défini un peigne de fréquences espacées au pas de 100 GHz. Cette grille définit des longueurs d'onde de transmission au pas de 0,8 nm. Les différents systèmes fonctionnent aujourd'hui au pas de :

- 200 GHz (longueurs d'onde espacées d'environ 1,6 nm),
- 100 GHz (longueurs d'onde espacées d'environ 0,8 nm),
- 50 GHz (longueurs d'onde espacées d'environ 0,4 nm).

Certains constructeurs travaillent aujourd'hui sur la maîtrise d'un peigne au pas de 25 GHz (longueurs d'onde espacées d'environ 0,2 nm).

Sur cette base, les systèmes existants permettent de véhiculer de 16 à environ 100 longueurs d'onde sur une même fibre.

L'analyse de l'évolution des systèmes DWDM démontre la volonté d'utiliser un nombre toujours plus important de longueurs d'onde sur une même fibre.

Cette amélioration s'effectue selon deux axes :

- une réduction du pas entre longueurs d'onde par une meilleure maîtrise des émetteurs, récepteurs et amplificateurs de ligne,
- une extension de la largeur de bande concernée :

Si la majorité des systèmes utilisent actuellement la bande C traditionnelle (1530 – 1563 nm), de nombreux constructeurs explorent aujourd'hui l'utilisation de la bande L (1570 – 1620 nm)

L'utilisation de cette nouvelle bande sous-entend une qualification particulière des infrastructures de fibre en extrémité de bande.

L'objectif lointain est par ailleurs le développement d'amplificateurs incluant la fenêtre 1310 nm permettant d'accroître considérablement le nombre de canaux transmis.

Débit maximal sur chaque longueur d'onde :

Aujourd'hui, le débit maximal supporté sur chaque longueur d'onde dépend des systèmes et constructeurs, mais également du type et de la qualité des fibres. Il est typiquement du niveau STM16 (2,5 Gbit/s) ou STM64 (10 Gbit/s).

Distance couverte :

La distance couverte s'exprime en fonction du nombre de « Spans » qui définit le bond:

- entre terminal et amplificateur optique,
- entre amplificateurs optiques.

Ainsi que du budget optique sur un « span » élémentaire .

On parlera typiquement de systèmes 6 à 8 Spans de 20 dB Avec une infrastructure fibre optique offrant un budget de 0,25 dB/km dans la fenêtre 1550 nm, le span sera d'environ 80 km, ce qui signifie que les amplificateurs optiques devront être implantés tous les 80 km environ, dans les shelters. La distance globale couverte sera de 640 km avec un système 8 Spans.

Le nombre de « Span » limite le nombre d'amplificateurs en ligne dans la liaison. Cette limitation est liée à la qualité de l'amplificateur. Outre l'amplification du signal, l'amplificateur est générateur de bruit ; la mise en cascade d'amplificateurs augmente l'amplitude de bruit et il est nécessaire d'en limiter le nombre pour conserver un rapport signal à bruit correct en bout de liaison.

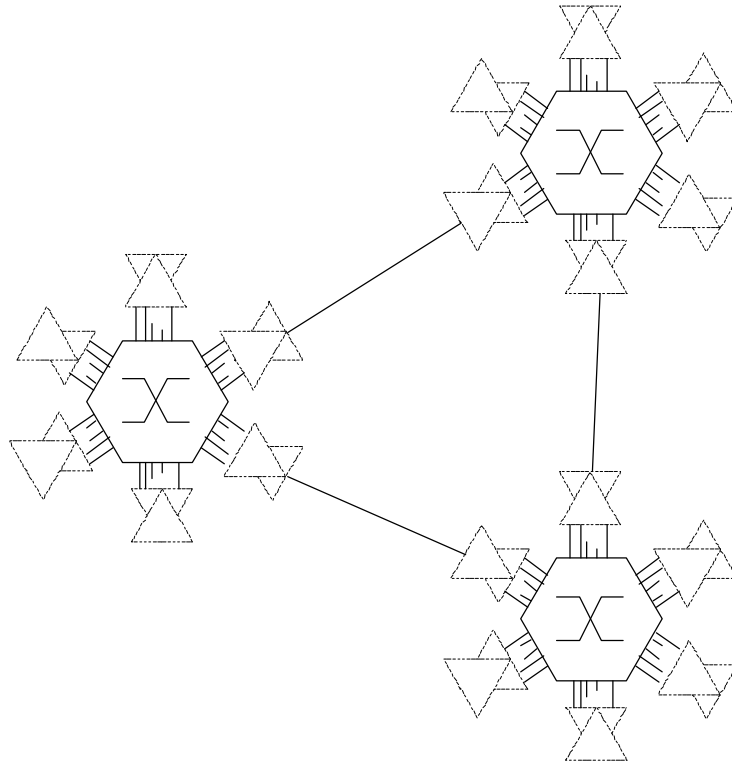
Au delà du nombre maximum de «span » et donc de la distance maximale, il est possible d'étendre la distance de la liaison par adossement d'un terminal de réception et d'un terminal d'émission. On parle dans ce cas de « Back To Back ».

Certains systèmes distinguent dans les règles d'ingénierie le débit visé sur chaque longueur d'onde. Ainsi le nombre de spans et le budget sur chaque span pourra être plus élevé si on limite l'usage de la liaison à un débit de type STM16 (2,5 Gbit/s); ils devront être réduits si on envisage l'usage de cette liaison pour le support de longueurs d'onde en STM64 (10 Gbit/s).

2.3 LES CROSS CONNECT OPTIQUES

Les Cross Connect Optiques (OXC – Optical Cross Connect) sont des équipements de commutation susceptibles de mettre en relation des ports optiques d'entrée avec des ports optiques de sortie. Ils réalisent ainsi, une commutation de circuits optiques.

Associés aux équipements DWDM, ces commutateurs apportent souplesse et facilité dans la gestion du réseau. Disposant d'une « intelligence » associée à l'administration centralisée du réseau, ils permettent de gérer le « routage » des circuits optiques et la redondance des circuits au travers du réseau maillé.



2.4 EN ROUTE VERS LES RESEAUX OPTIQUES DE SECONDE GENERATION

Ces dernières années, on s'est rendu compte que les réseaux optiques étaient capables de fournir bien plus de fonctions qu'une simple transmission point à point. Il existe de nombreux avantages à incorporer certaines des fonctions de commutation et de routage - jusqu'alors réalisées électroniquement - à la partie purement optique du réseau. Par exemple, dans le cas, fréquent, où des données ne font que traverser un nœud, l'électronique associée à ce nœud doit traiter non seulement les données dont le nœud est destinataire, mais également celles qui ne font que "passer". Ci ces dernières peuvent être routées sous forme optique (dans le domaine optique) la charge de l'électronique sera considérablement allégée. C'est sur cette idée simple que sont développés les réseaux optiques de seconde génération.

2.4.1 SERVICES OFFERTS PAR LES RESEAUX OPTIQUES DE SECONDE GENERATION

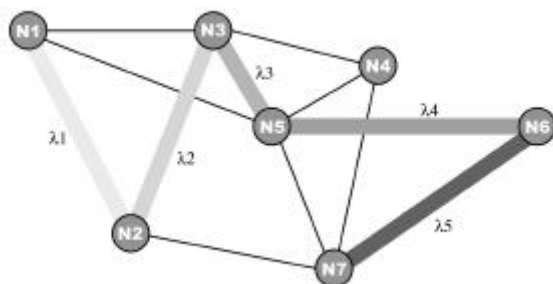
Pour appréhender ces services, il est pratique de voir le réseau optique comme constituant une *couche optique* qui offre des services aux couches supérieures du réseau. Trois types de services sont ainsi offerts par les réseaux optiques de seconde génération aux couches réseau supérieures:

- service de chemin optique

Applicable aux réseaux WDM. Un chemin optique est une connexion entre deux nœuds d'un réseau, qui est mise en place en assignant une longueur d'onde dédiée sur chacun des liens constituant le chemin. La totalité de la bande passante est ainsi mise à la disposition de la couche supérieure.

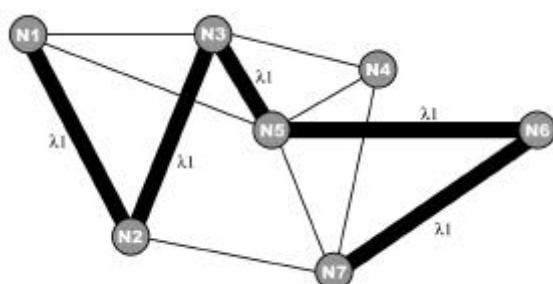
En fonction de l'implémentation du réseau, ce chemin optique peut être activé et désactivé à la demande de la couche supérieure, il peut donc être pensé comme un service de commutation de circuit similaire à celui fourni par le réseau téléphonique (le réseau établit ou supprime un appel à la demande de l'utilisateur). Il peut aussi être permanent, installé au moment du déploiement du réseau.

Si l'implémentation dispose de fonctions de conversion de longueur d'onde, la longueur d'onde dédiée utilisée pour établir le chemin optique est dynamiquement gérée par chacun des nœuds du réseau.



Le chemin optique ci-contre est établi entre les nœuds N1 et N7 en utilisant des longueurs d'onde différentes pour chacun des liens constituant le chemin optique.

Les nœuds sont dotés de capacité de conversion de longueur d'onde (*transducer*)



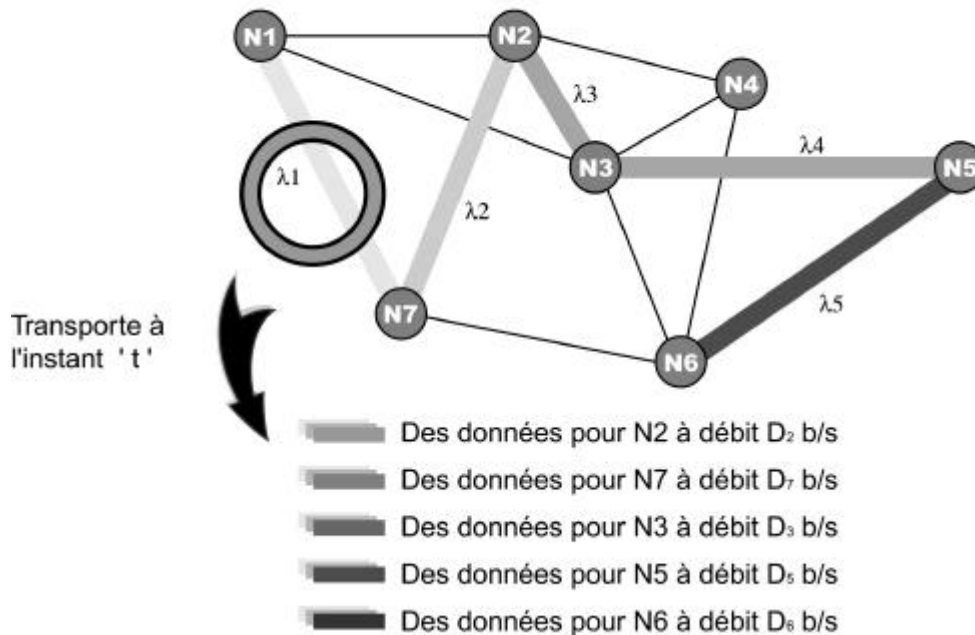
Pour ce chemin optique, c'est une longueur d'onde unique qui est utilisée pour établir la connexion entre le nœud N1 et le nœud N7

Ce chemin peut être permanent ou établi dynamiquement

- service de circuit virtuel

Dans ce cas, le réseau offre une connexion du type commutation de circuit entre deux nœuds. Cependant, la bande passante offerte peut être plus faible que la bande passante complète disponible sur le lien. Le réseau doit alors disposer d'une forme quelconque de multiplexage temporel pour combiner plusieurs circuits virtuels sur une longueur d'onde du lien WDM. Ce multiplexage peut être fixe ou statistique.

Circuit virtuel (Virtual circuit)



- service datagramme

Ce service permet la transmission de paquets ou messages entre deux nœuds du réseau sans avoir installé de connexion explicite. Le protocole IP est un exemple de protocole fournissant uniquement des services de datagramme, les réseaux optiques sont capables de fournir ce type de service en point à point et en point à multipoint (*multicast ou broadcast*).

2.5 RESEAUX DEDIES

La fibre optique permet le transport de signaux vidéo de grande qualité pour des applications professionnelles dans trois domaines d'applications.

- la vidéo surveillance (CCTV) pour les applications de sécurité sur les autoroutes, les réseaux ferrés, le métro,
- le déport des studios de production de télévision,
- la distribution de télévision (CATV) réseau régional de distribution des différentes chaînes de télévision.

D'autres applications telles que les réseaux d'appel d'urgence sur les routes et autoroutes se déploient de plus en plus sur support fibre optique.

2.5.1 VIDEO SURVEILLANCE

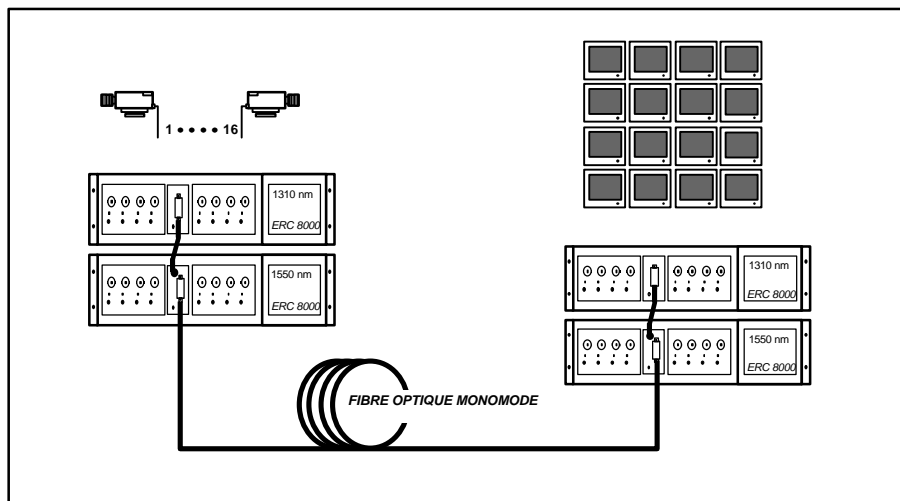
Un domaine important en terme de nombre de canaux ; effectivement sur les autoroutes en premier lieu sont surveillées les zones dites «accidentogènes», afin d'organiser les secours le plus rapidement possible et de choisir les moyens les mieux appropriés. Les réseaux ferrés et métropolitains utilisent ce moyen pour la sécurité des personnes en station et aux abords. La fibre optique permet de concentrer les images collectées vers un poste de surveillance unique pour chaque district.

Le marché offre un vaste choix d'équipements pour ces applications. En fonction des besoins on choisira de la transmission :

- temps réel numérique ou analogique ou
- compressée pour se rendre compatible avec un réseau de télécommunication (SDH, ATM).

L'évolution des technologies a tendance à faire disparaître la transmission analogique, au profit du numérique sous toutes ses formes, dans ce domaine une normalisation (IEEE 1394) est en cour d'élaboration.

Les réseaux temps réel utilisent des fibres optiques dédiées de préférence monomode pour leur importante bande passante permettant un multiplexage des vidéos. Le WDM est utilisé pour augmenter la capacité transmise sur une même fibre tout en se limitant à 2 ou 4 λ , car ce milieu de la sécurité craint de perdre tous ses moyens en cas de rupture du support.

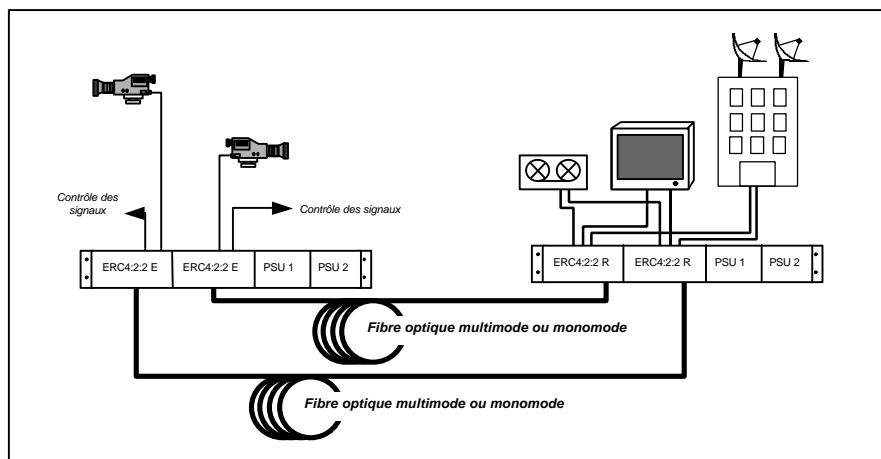


2.5.2 TRANSPORT DE TELEVISION QUALITE STUDIO (BROADCAST)

Les programmes de télévision réalisés dans des studios de production sont échangés avec d'autres studios ou acheminés vers des stations d'émission pour satellite. Ce transport s'effectue grâce à la fibre optique monomode et selon des standards de très haute qualité. Les standards actuels sont le SDI à 270 ou 360 Mbit/s pour une vidéo ou le compressé MPEG 2 dont plusieurs canaux sont encapsulés dans un flux SDI. Les distances parcourues peuvent être importantes - 60 à 80 km.

Les équipements sont utilisés en transport point à point sur une fibre optique, parfois avec un multiplexage en longueur d'onde mais rarement supérieur à 4 λ .

Les utilisateurs de ce type de liaisons sont les opérateurs qui louent ainsi le support et les équipements d'extrémité.

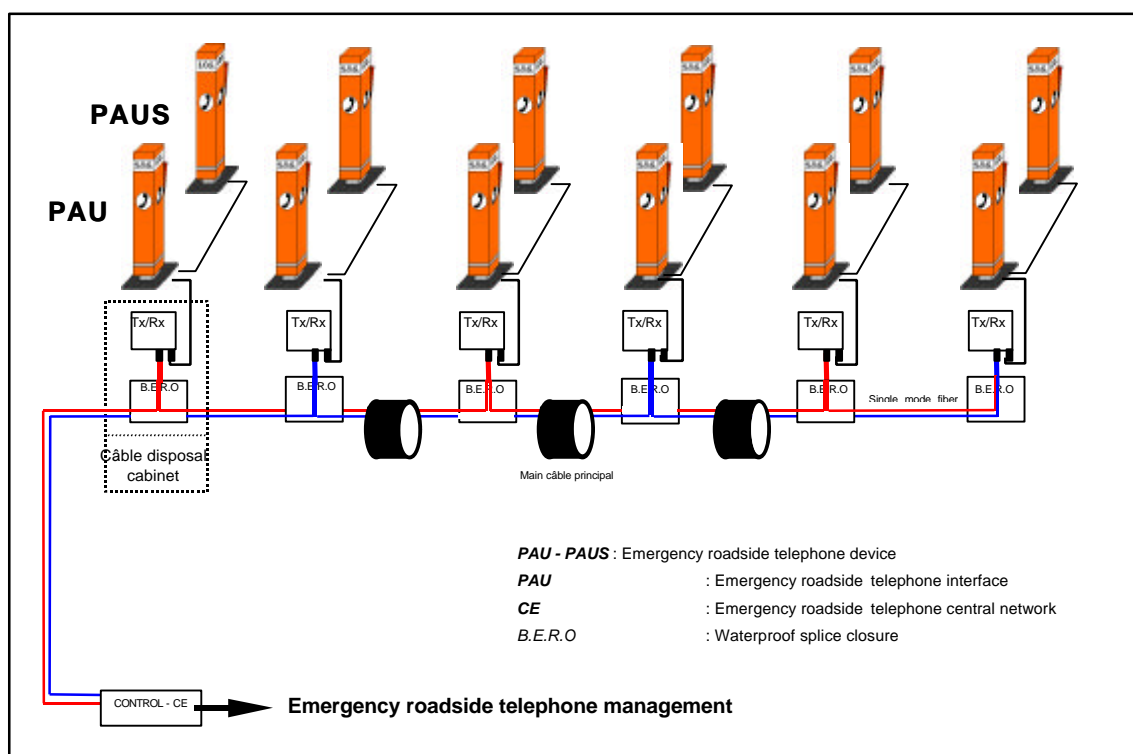


2.5.3 DISTRIBUTION DE TELEVISION

La fibre optique dans ce domaine est utilisée pour une distribution primaire des programmes de télévision en mode large bande permettant d'acheminer jusqu'à 80 canaux. Les distances sont plus restreintes - maximum 10 km - ceci étant lié au besoin de distribution des signaux vers l'abonné, mais également aux performances limitées en dynamique des équipements large bande.

2.5.4 RESEAU D'APPEL D'URGENCE

Ce type de réseau transfère une interphonie sur des distances importantes et selon des architectures linéaires. Là encore la fiabilité du réseau doit être irréprochable et bien des moyens de sécurisation et de supervision sont mis en place (redondance d'équipement, autocalcitratisation de réseau, simple ou double boucle...).

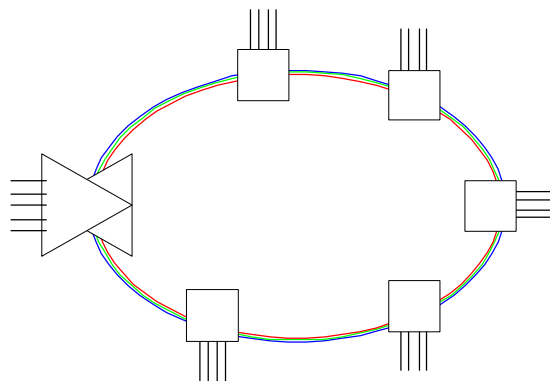


3 LES APPLICATIONS METROPOLITAINES

Dans les environnements métropolitains, une plus grande variété d'applications peut être mise en œuvre. On retrouvera, bien sûr, avec quelques variantes technologiques et d'architecture liées à la topologie des réseaux, des prolongements des applications longues distances précédentes (SDH et DWDM), mais également des applications plus spécifiques comme l' « interconnexion LAN à LAN ».

3.1 LES SYSTEMES WDM METRO

Une catégorie spécifique de systèmes DWDM couvre les besoins des réseaux métropolitains .



Ces systèmes sont généralement installés sur des architectures en anneau et permettent de configurer des « circuits » entre différents points de cet anneau. A chaque « circuit » est affecté une longueur d'onde et les nœuds correspondent à des OADM.

La spécificité de ces systèmes réside d'abord dans leurs coûts et performances. Destinés à des applications métropolitaines, ils utilisent généralement des composants moins sophistiqués que les systèmes longues distances (pas d'amplification optique par exemple ou utilisation de sources laser moins précises).

La plupart de ces systèmes offrent également des fonctionnalités de sécurisation. Les circuits peuvent ainsi être configurés en point à point soit en mode simple soit en mode sécurisé. Dans ce dernier cas, en cas de rupture d'un lien sur l'anneau, le circuit est automatiquement rétabli par l'activation du chemin de secours sur l'anneau. Cette fonctionnalité est en particulier destinée aux applications qui ne disposent pas de leur propre sécurisation .

3.2 LES INTERCONNEXIONS LAN A LAN

Dans la boucle locale, l'interconnexion de réseaux locaux de clients peut s'effectuer en utilisant les infrastructures fibres optiques métropolitaines. Compte tenu des distances limitées, cette interconnexion peut s'effectuer simplement en utilisant des liens de type :

Ethernet 10BaseF, 100BaseFX ou 1000Base LX

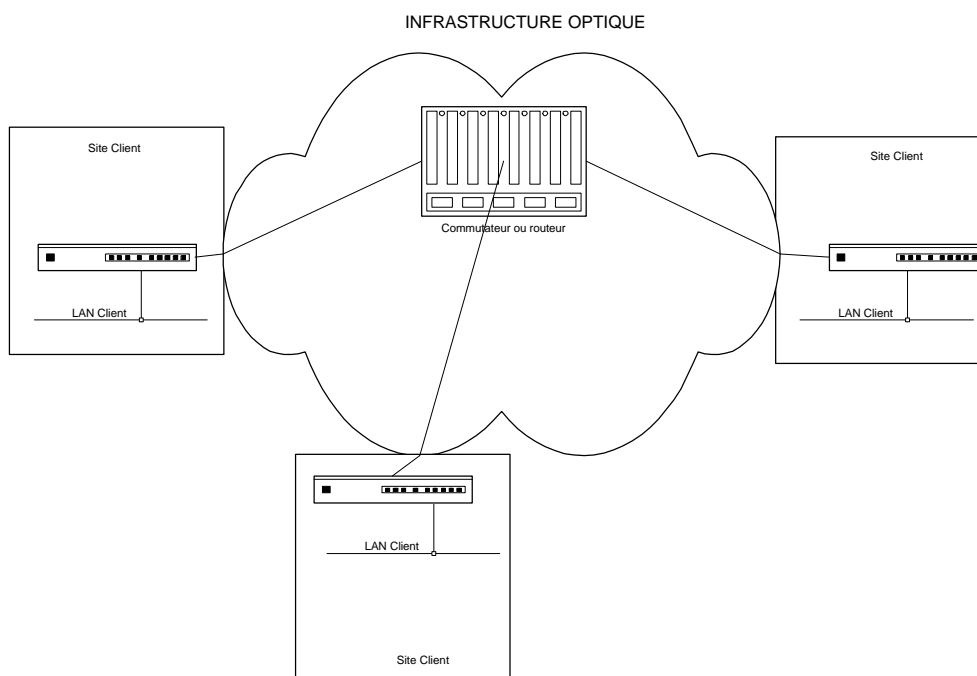
La mise en oeuvre de liens « Full Duplex » entre des commutateurs ou des routeurs permet de s'affranchir de la limitation d'envergure des réseaux Ethernet liée au « protocole » et de réaliser des interconnexions sur des distances aussi importantes que le budget optique le permet.

L'utilisation d'interfaces de type 1000BaseLX fonctionnant sur fibre monomode ou d'interfaces 10BaseF ou 100BaseFX associées à des convertisseurs multimode vers monomode permet d'utiliser les infrastructures fibre optique monomode existantes.

Dans cette classe d'applications, compte tenu des distances limitées visées, les interfaces fonctionnent en règle générale dans la fenêtre 1310 nm. Les budgets optiques dépendent des matériels et constructeurs. Des budgets de l'ordre de :

- 15 à 20 dB pour les interfaces monomodes « standard »,
- jusqu'à 30 dB pour les interfaces monomodes « haute puissance ».

pourront être mis en œuvre à partir de ces matériels.



4 QUELLE FIBRE POUR QUELLE APPLICATION ?



La fibre la plus utilisée dans le domaine des réseaux de télécommunication est la fibre monomode. Cette dernière est la fibre de référence utilisée par les opérateurs car elle offre la meilleure évolutivité vers les débits élevés. En effet, grâce à son affaiblissement linéique faible et à sa bande passante élevée, elle permet la réalisation de liaisons longues distances à très haut débit.

Plusieurs types de fibres monomodes ont été développés pour répondre à des besoins accrus de débit.

4.1 LES DIFFERENTS TYPES DE FIBRES.

La fibre la plus couramment employée dans le domaine des télécommunications demeure la fibre G652. D'autres types de fibres ont été développés en référence à celle-ci, pour améliorer notamment les paramètres de dispersion chromatique ou la dispersion de mode de polarisation (PMD), tout en cherchant à limiter les effets non linéaires.

4.1.1 LA FIBRE MONOMODE G652 - 9,5/125 μm

\varnothing champ de mode (μm)	\varnothing Gaine (μm)	\varnothing Revêtement (μm)	Longueur d'onde de coupure (nm)	Dispersion max à 1300 nm (ps/nm.km)	Dispersion max à 1550 nm (ps/nm.km)	Affaiblissement max à 1300 nm (dB/km)	Affaiblissement max à 1500 nm (dB/km)
9,2 \pm 0,6	125 \pm 2	245 \pm 10	1100-1280	3,5	19	<0,4	<0,3

4.1.2 LA FIBRE MONOMODE G655

Pour la G655, les travaux sont encore en cours, et la définition de cette fibre n'est pas encore totalement finalisée. Ceci permet aux différents fabricants de fibres de proposer des produits qui, tout en respectant les paramètres définis, ne sont pas totalement compatibles entre eux (par exemple, au niveau de la surface effective).

4.2 QUELQUES ELEMENTS RELATIFS A LA TRANSMISSION.

Les limitations physiques :

4.2.1 LA DISPERSION CHROMATIQUE

Le terme dispersion chromatique regroupe plusieurs phénomènes spécifiques ou non aux fibres monomodes :

- dispersion matérielle,
- dispersion de profil,
- dispersion de guide.

L'émission d'un laser n'est jamais parfaitement monochromatique. L'indice de réfraction du cœur dépend de la longueur d'onde. A chaque longueur d'onde est associée une vitesse de propagation de groupe qui introduit des délais entre les signaux transmis ce qui a pour conséquence un élargissement des impulsions et par suite une limitation de la bande passante.

On peut ainsi définir la dispersion chromatique comme le processus par lequel les impulsions optiques sont allongées à mesure qu'ils se propagent au long de la fibre optique. Si l'élargissement de l'impulsion est excessif, les impulsions individuelles ne pourront plus être distinguées par le récepteur. La dispersion chromatique est la somme de deux effets :

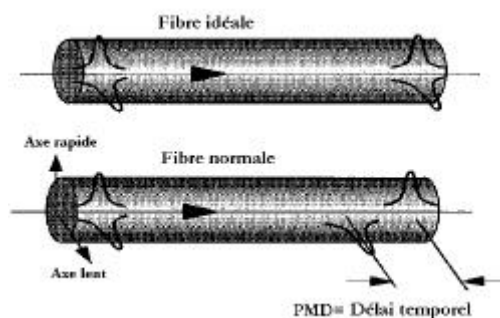
- dispersion du matériau : l'indice de réfraction du matériau (silice) varie en fonction de la longueur d'onde de la lumière,
- dispersion du guide d'onde : les propriétés de guidage d'un guide d'onde, dépendent de ses dimensions mesurées en terme de longueur d'onde; un guide paraît d'autant plus "étroit" que la longueur d'onde utilisée augmente.

La caractéristique de dispersion chromatique d'une fibre est mesurée en picosecondes par nanomètre kilomètre (ps./nm.km). Ex: 18 ± 2 ps/nm.km à 1550 nm, 0 à 3.5 ps/nm.km à 1310 nm pour la fibre SSMF (G 652).

La dispersion chromatique limite la longueur des tronçons (spans), elle est de nature temporelle et n'est relative qu'à la longueur d'onde du signal optique. Elle peut être compensée par utilisation d'éléments de compensation (DCU) constitués de tronçons de fibre de compensation (à dispersion négative) ou par des réseaux de Bragg.

4.2.2 LA PMD (DISPERSION DE MODE DE POLARISATION)

Cette dispersion est un des phénomènes qui affectent les performances des réseaux de communication à haut débit. La lumière se propage dans la fibre sous deux modes de polarisation, chacun voyageant à des vitesses différentes. Ce phénomène dépend de l'asymétrie de la fibre ou biréfringence (une propriété inhérente à la fibre sensible à la distribution inégale du stress). La différence de vitesse de propagation des deux modes de polarisation entraîne là encore un élargissement du signal lumineux, qui résulte en une dégradation de la qualité du signal transmis.



Au début des années 90, les sociétés de télécom ont commencé à s'intéresser à ce phénomène. L'augmentation de la demande pour les réseaux fibre optique à grande capacité de transmission a amené les tests de PMD au premier plan. L'Union Internationale des Télécommunications (UIT) a progressivement pris en compte ce paramètre dans la standardisation des fibres optiques et préconise des valeurs limites maximum pour les fibres G652, et G655. La valeur maximum recommandée $0.5 \text{ ps} / \text{km}^{1/2}$ est ainsi devenue une valeur standard de l'industrie, pour la fibre câblée.

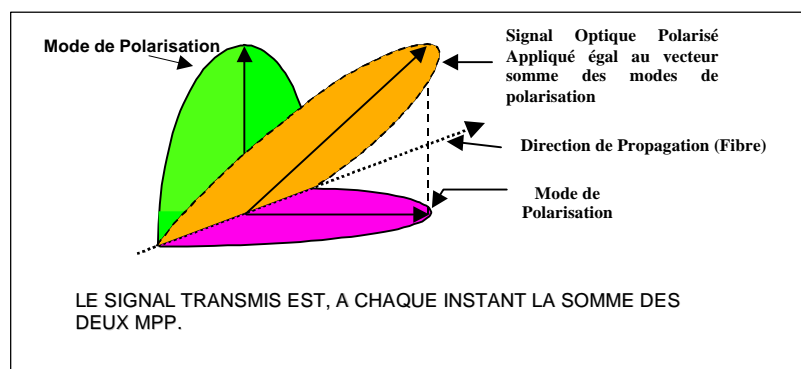
La dispersion des modes de polarisation : un phénomène statistique

La PMD est un phénomène de dispersion qui altère la performance du réseau en étendant l'impulsion optique dans le temps. Cette variation d'impulsion a un effet direct sur la marge du système de transmission, induisant une augmentation du taux d'erreur (BER) qui restreint la bande passante. L'un des points négatifs de la PMD est son comportement statistique. En conséquence, le niveau de la PMD dans la fibre optique, génère des variations soudaines dans les performances du système. Pour vaincre ces variations, les fournisseurs de service doivent prévoir une marge de sécurité.

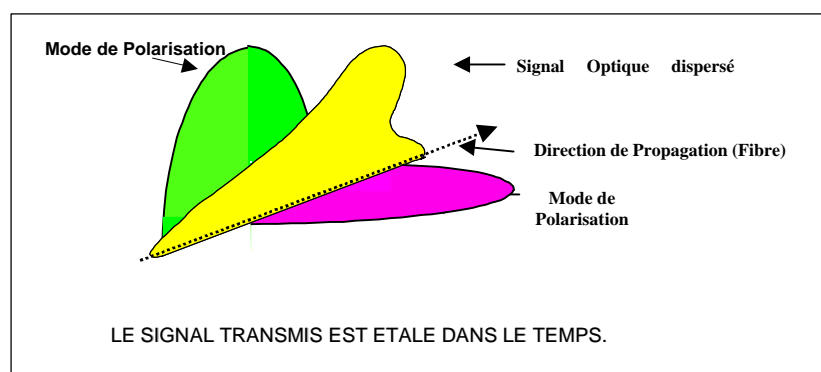
Les effets de la PMD sont relativement faibles comparés à d'autres types de dispersions comme la dispersion chromatique. Cependant, contrairement à la dispersion chromatique, les effets de la PMD ne peuvent être corrigés facilement, et peuvent avoir un impact important sur la mise en œuvre d'un réseau de transmission à haut débit tel que 40 Gb/s, 10 Gb/s voir même 2.5 Gb/s.

Quelques explications scientifiques :

La propagation d'une lumière cohérente (LASER) dans une fibre peut être vue, à chaque instant comme le vecteur somme de la propagation de deux modes de polarisation (Mode Principal de Polarisation) perpendiculaires entre eux et perpendiculaires à la direction de propagation



Dans un matériau biréfringent comme celui de la fibre, on peut montrer qu'il existe un axe lent et un axe rapide de propagation. La vitesse de propagation d'un mode principal de polarisation dépend de son angle avec l'axe, rapide ou lent, du matériau. Les deux MPP voyagent donc dans la fibre à des vitesses différentes et se désynchronisent progressivement.



La PMD représente un problème pour les liaisons :

- comme tout type de dispersion elle affecte le seuil de décision du récepteur, remonte le taux d'erreur et diminue en conséquence la distance de liaison,
- la PMD est un phénomène statistique par nature ; sa valeur peut varier aléatoirement au cours du temps,
- la PMD est indépendante de la dispersion chromatique, ainsi une liaison peut être limitée par la PMD alors même que la dispersion chromatique a été compensée,
- en raison de la nature aléatoire des causes physiques de la PMD (imperfections du matériau, imperfection de fabrication du guide - dimensions, contraintes internes - contraintes externes, température), on ne peut la compenser comme on compense la dispersion chromatique.

La caractéristique de PMD d'une fibre est mesurée en picosecondes par racine carrée de kilomètre ($\text{ps}/\text{km}^{1/2}$) elle est comprise entre $3 \text{ ps}/\text{km}^{1/2}$ pour les fibres monomodes les plus anciennes et 0.5 à $0.2 \text{ ps}/\text{km}^{1/2}$ pour les fibres monomodes actuelles.

Il faut distinguer la valeur de PMD garantie par les fabricants de fibre sur la fibre nue – typiquement $0.2 \text{ ps}/\text{km}^{1/2}$ – de la valeur de cette même fibre une fois mise en câble – typiquement $0.5 \text{ ps}/\text{km}^{1/2}$.

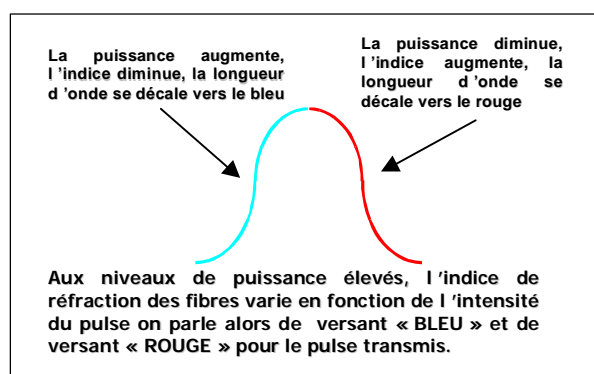
4.2.3 LES EFFETS NON LINEAIRES

L'utilisation des amplificateurs actuels et la multiplication des canaux transmis par une fibre introduit un nouveau défi dans l'ingénierie des réseaux optiques. Il résulte des fortes puissances disponibles, de très fortes densités dans le cœur des fibres, provoquant l'interaction des signaux entre eux et avec le matériau de la fibre elle-même. De nombreux effets non linéaires apparaissent au delà d'un seuil de puissance dépendant du type de fibre utilisé (les dimensions du cœur- diamètre de champ de mode - étant directement liées à la densité de puissance).

Deux types de non-linéarités sont directement liés à la fibre:

□ Les fluctuations de l'indice de réfraction:

Bien que l'indice de réfraction des fibres en silice demeure constant aux bas niveaux de puissance, de fortes densités de puissance peuvent moduler cet indice en fonction de l'intensité lumineuse variable du signal transmis, (effet Kerr) induisant des effets non-linéaires:



Mélange à quatre ondes (Four Wave Mixing FWM) :

C'est le mélange de deux ou trois longueurs d'onde d'un peigne WDM pour en produire une nouvelle pouvant affecter un canal adjacent (masquage). Cet effet augmente géométriquement en fonction du nombre de canaux circulant sur la fibre. La dispersion chromatique affectant chacun des canaux WDM différemment, elle peut minimiser ou annuler l'adaptation de phase entre les différentes longueurs d'ondes et réduire les conséquences de ce phénomène.

Auto Modulation de phase (Self Phase Modulation SPM) :

C'est l'effet qu'une impulsion optique exerce sur sa propre phase; le flanc d'un pulse optique présente une intensité variable qui induit donc un indice de réfraction variable dans le temps qui module la phase de la longueur d'onde transmise élargissant le spectre et la durée de l'impulsion transmise. L'existence d'une dispersion chromatique permet de diminuer cet effet.

Modulation de phase croisée (Cross Phase Modulation XPM) :

De même origine que l'auto modulation de phase, cet effet est la conséquence de la modulation de phase exercée par un canal sur les autres canaux WDM. Les "collisions" entre les impulsions de différentes longueurs d'onde produisent un élargissement du spectre. La dispersion chromatique peut exercer un double rôle sur cet effet: d'une part la dispersion réduit la force d'attraction entre les impulsions voyageant alors à des vitesses de groupe différentes, en revanche, quand les impulsions interagissent, la dispersion chromatique étale, dans le temps, la puissance présente dans l'impulsion élargie.

□ La diffusion stimulée

La diffusion stimulée non-linéaire apparaît dans les systèmes quand les signaux, modulés en intensité, interagissent avec les ondes acoustiques ou avec les vibrations moléculaires dans le matériau de la fibre. Ces interactions dispersent la lumière et la décalent vers des longueurs d'onde plus élevées. Il existe deux formes de diffusion stimulée non linéaire :

Diffusion stimulée de Brillouin (Stimulated Brillouin Scattering SBS) :

Dans cette diffusion, la fibre absorbe une part de la puissance optique et la ré-émet provoquant du bruit et la diffusion du signal optique quand la partie réémise, entre en collision avec l'impulsion émise. L'effet SBS, a besoin pour s'établir de signaux de largeur spectrale très étroite – ce qui est précisément une qualité recherchée dans les systèmes – et met quelques millisecondes à s'établir. Une solution pour l'éliminer consiste à moduler la source laser avec un faible signal basse fréquence (dithering).

Diffusion stimulée de Raman (Stimulated Raman Scattering SRS) :

Dans cette diffusion, il existe une interaction entre la lumière et les vibrations moléculaires de la fibre, la diffusion stimulée de Raman, diffuse la lumière dans les deux directions, on peut aisément bloquer la lumière rétrodiffusée en utilisant un isolateur optique. Le seuil SRS est fonction de la nature de la fibre et du nombre de canaux.

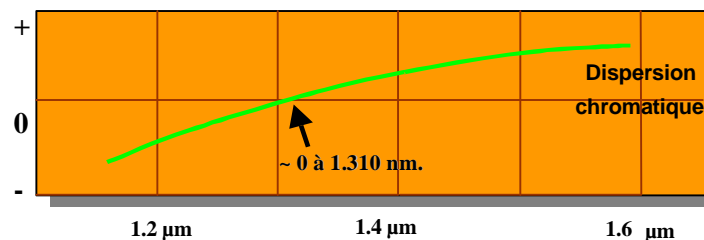
4.3 CHOIX D'UNE FIBRE EN FONCTION DE L'APPLICATION.

Les considérations sur les limitations physiques liées à l'utilisation de la fibre optique conduisent à des recommandations quant à l'usage des divers types de fibres monomodes présentes sur le marché et/ou déjà déployées dans les réseaux MAN/WAN. Ces différentes fibres se distinguent essentiellement par trois facteurs de performance :

- caractéristique de dispersion chromatique,
- pente de dispersion,
- section effective.

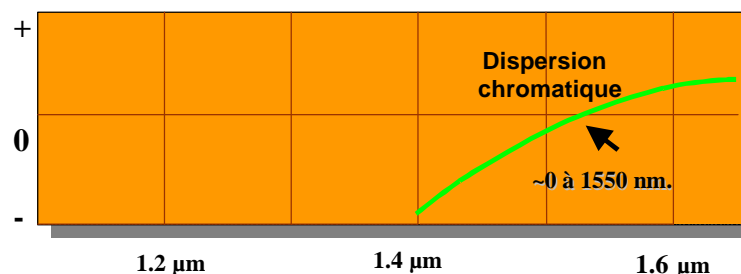
4.3.1 BREF RESUME DE L'EVOLUTION DES FIBRES

SSMF (G 652) Fibre dont la dispersion chromatique a été optimisée pour 1310 nm. Introduction commerciale dès 1983.



Cette fibre est la plus largement utilisée (100 millions de km installés). Ses applications sont diverses : CATV, transmissions numériques hauts débits opérant à 1310 ou 1550 nm. La dispersion chromatique élevée à 1550 nm. (17 ps/nm.km) est une limitation pour des débits supérieurs à 10 Gbit/s.

DSF (G 653) Fibre dont le minimum de dispersion chromatique est déplacé vers 1550 nm alignant la zone de dispersion minimum et la zone d'affaiblissement minimum. Introduction commerciale 1985.



Utilisation en transmission mono canal à 1550 nm, haut débit numérique ou analogique (CATV), le marché visé était la transmission sous-marin sur plusieurs centaines de kilomètres. La commercialisation de cette fibre sur le marché a été relativement courte. L'absence de dispersion chromatique induit des phénomènes non linéaires indésirables.

LM-SMF (G 654) Fibre à dispersion non décalée à affaiblissement minimisé présentant une perte d'insertion très faible (0.18 dB/km) à 1550 nm, obtenue grâce à un cœur de silice pure et un faible dopage de la gaine. Ces fibres sont chères et réservées aux liaisons sous-marines sans répéteurs.

NZ-DSF (G 655) Fibre à dispersion décalée non-nulle dont les valeurs mini et maxi de dispersion chromatique sont spécifiées sur l'intervalle 1530 – 1565 nm (zone d'opération des amplificateurs à fibre dopée erbium – bande EDFA).

Spécifier une valeur minimum pour la dispersion chromatique garantit que la dispersion chromatique est suffisante pour annuler les non linéarités, en particulier, le mélange à quatre ondes FWM. Spécifier une dispersion chromatique maximum permet de s'assurer qu'elle est assez faible pour réaliser la liaison (> 1000 km pour STM 16, > 60 km pour STM 64) sans compensation de dispersion chromatique.

Ce type de fibres a donné lieu à des réalisations commerciales diverses, tendant à l'optimisation des performances pour la transmission DWDM:

- LEAF[®] et LEAF[®] enhanced : Corning,
- TrueWave[®], TrueWave (+)[®], TrueWave RS[®]: Lucent,
- Teralight[®] : Alcatel.

4.3.2 LEUR UTILISATION DANS LES RESAUX MAN/WAN

Utilisation DWDM:

Les améliorations des performances des fibres NZ-DSF ont été recherchées :

En augmentant la surface effective :

Augmenter la section diminue la densité de puissance et réduit donc les non-linéarités (FWM en particulier) - solution LEAF[®] (Large Effective Area Fiber)

En augmentant la dispersion chromatique minimum :

Augmenter la dispersion chromatique réduit les non-linéarités - solutions LEAF[®] et TrueWave-RS[®]

En diminuant la dispersion chromatique maximum :

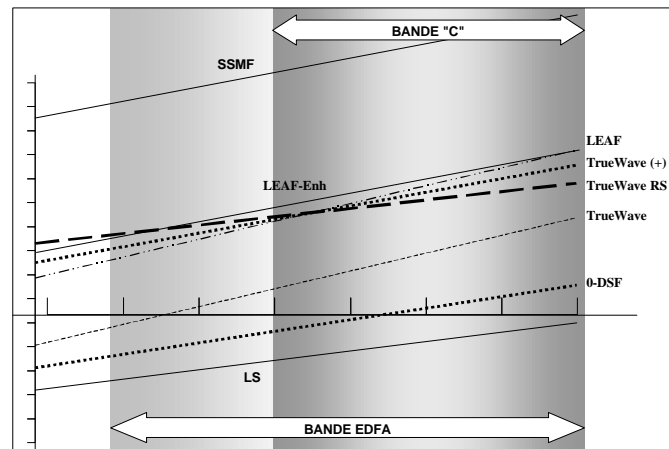
Diminuer la valeur du maximum de dispersion chromatique limite les besoins en compensation de dispersion – solutions TrueWave[®], LS, TrueWave-RS[®]

En réduisant la différence de dispersion entre les canaux (pente de dispersion) :

Permet d'obtenir la même dispersion chromatique pour chacune des longueurs d'onde du peigne DWDM – solutions LEAF[®] enhanced, TrueWave-RS[®]

® : LEAF[®] et LEAF[®] enhanced : sont des marques déposées Corning,
TrueWave[®], TrueWave (+)[®], TrueWave RS[®]: sont des marques déposées Lucent,
Teralight[®] : est une marque déposée Alcatel .

Une comparaison de leurs caractéristiques de dispersions permet de statuer sur leur utilisation en DWDM :



FIBRE	Intervalle λ (nm)	Dispersion (ps/nm.km)	COMPATIBILITE DWDM
SSMF – G652	1285 à 1330 1530 à 1565	< 2.8 16 à 18	Bonne, mais compensation de dispersion nécessaire pour les longues distances et hauts débits. Emploi en boucle locale (< 80 km) recommandé. Vérifier la PMD sur les liaisons existantes.
DSF –G653	1525 à 1565	0 à 3.5	Incompatible, le point zéro dispersion est dans la zone DWDM
LS	1530 à 1560	-3.5 à -0.1	Problématique, dispersion trop faible (16 canaux - 200 GHz – possible)
TrueWave® (1^{ère} Génération)	1540 à 1565	0.8 à 4.6	Problématique, dispersion trop faible
LEAF® Enh.	1530 à 1565	2.0 à 6.0	Bonne : réduction des besoins en compensation de dispersion, permet une réduction de l'espace inter canaux et des débits élevés. Utilisation dans les nouveaux déploiements longues distances et très longues distances.
LEAF®	1610	9.2	
TrueWave RS®	1530 à 1565	1.0 à 6.0	
	1610	2.6 à 6.0	
TrueWave®	1530 à 1565	6.5	
	1610	1.3 à 5.8	
	1610	7.9	
Teralight®			

Compatibilité des fibres G655 avec les fibres G652 et compatibilité des fibres G655 d'origines différentes entre elles :

Attention, la compatibilité des fibres devra être vérifiée préalablement. Ces différentes fibres, bien que répondant à une même spécification, présentent des surfaces effectives différentes, ce qui peut créer des problèmes de compatibilité à la soudure. Le brassage de fibres d'origines différentes peut introduire des pertes d'épissurage très au-delà des valeurs conventionnelles admises.

En résumé - Choix d'une fibre en fonction de l'application:

En pratique, en utilisation DWDM comme en utilisation mono canal, c'est le facteur « dispersion chromatique » qui permet de comparer les performances respectives des différentes fibres vis à vis de l'application. Le choix de la fibre optimale dépendra d'une part de la distance à couvrir entre deux régénérateurs (terminaux en DWDM) et d'autre part du débit de ligne visé.

Le « budget » de dispersion chromatique entre deux régénérateurs est un « paramètre système » qui dépend de l'équipement de transmission et en particulier des performances du récepteur. C'est un paramètre qui doit être défini par le constructeur de l'équipement. En pratique, ce budget dépend du débit de ligne de l'application et de l'implémentation du constructeur.

En pratique, le tableau suivant fournit quelques indications sur les limitations de distances liées au facteur « dispersion chromatique » :

- jusqu'à 2,5 Gbit/s, ce facteur aura peu d'influence sur l'ingénierie de la liaison; les limitations proviendront d'autres facteurs (affaiblissement, nombre de spans),
- à partir de 10 Gbit/s, le facteur limite la distance couverte sur la fibre G652 traditionnelle. L'utilisation de Modules de compensation de dispersion sera donc pratiquement systématiquement préconisée. Le choix entre l'utilisation d'une fibre G652 avec modules de compensation et une fibre G655 relève alors d'une analyse économique fine.

Débit de ligne	STM16 – 2,5Gbit/s	STM64 – 10Gbit/s
Fibre SSMF – G652 – 18 ps/nm.km – sans compensation	1000 km	60 km
Fibre NZ DSF – G655 – 3 ps/nm.km	6000 km	400 km

Les fibres NZ-DSF dans leurs diverses réalisations permettent la construction de liaisons haut débit dans des conditions optimales. Leur déploiement pour des liaisons mono longueur d'onde ou faible nombre de canaux peut se justifier en prenant en compte les évolutions futures de la liaison. Elle se justifie également dans les cas où la dispersion chromatique doit être compensée.

Dans un tout proche avenir, les techniques fines de compensation d'erreur (FEC), implantées dans l'électronique des terminaux DWDM vont permettre de corriger les erreurs numériques et d'augmenter ainsi le budget de dispersion alloué à une application. Ces techniques permettront d'utiliser, avec moins de restrictions, les liaisons déjà déployées en optimisant leurs performances.

5 CABLES POUR RESEAUX LONGUES DISTANCES

Les applications nouvelles associées à des besoins de qualités de services (QoS) croissants entraînent une explosion des débits et des modifications inéluctables des supports de transmission.

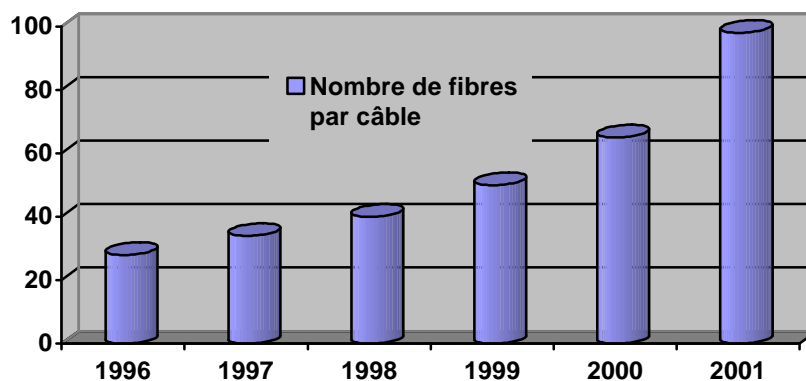
Le câble optique s'est adapté aux nouvelles exigences en terme de capacité, de compacité et de flexibilité d'utilisation.

5.1 CONTEXTE GENERAL :

5.1.1 AUGMENTATION DE LA QUANTITE DE FIBRES PAR CABLE

Avec l'augmentation exponentielle des besoins de débits et des prévisions toujours revues à la hausse, il est de plus en plus fréquent de rencontrer des cahiers des charges imposant des câbles à forte contenance. Bien souvent les installations n'utilisent dans l'immédiat qu'une faible partie de la capacité totale du câble. La fibre « noire » se démocratise tandis que les besoins en fibres « utiles » ne cessent de croître. Les capacités des câbles optiques tendent vers des contenances dépassant les 100 fibres. De plus en plus il faut envisager des contenances s'approchant des 400 à 800fibres.

Les demandes en fibres de caractéristiques différentes accentuent les besoins en capacités élevées (modularité G652 et G655-NZDS). Les exigences des opérateurs en terme de contenance n'ont cessé d'évoluer au cours des 5 dernières années.

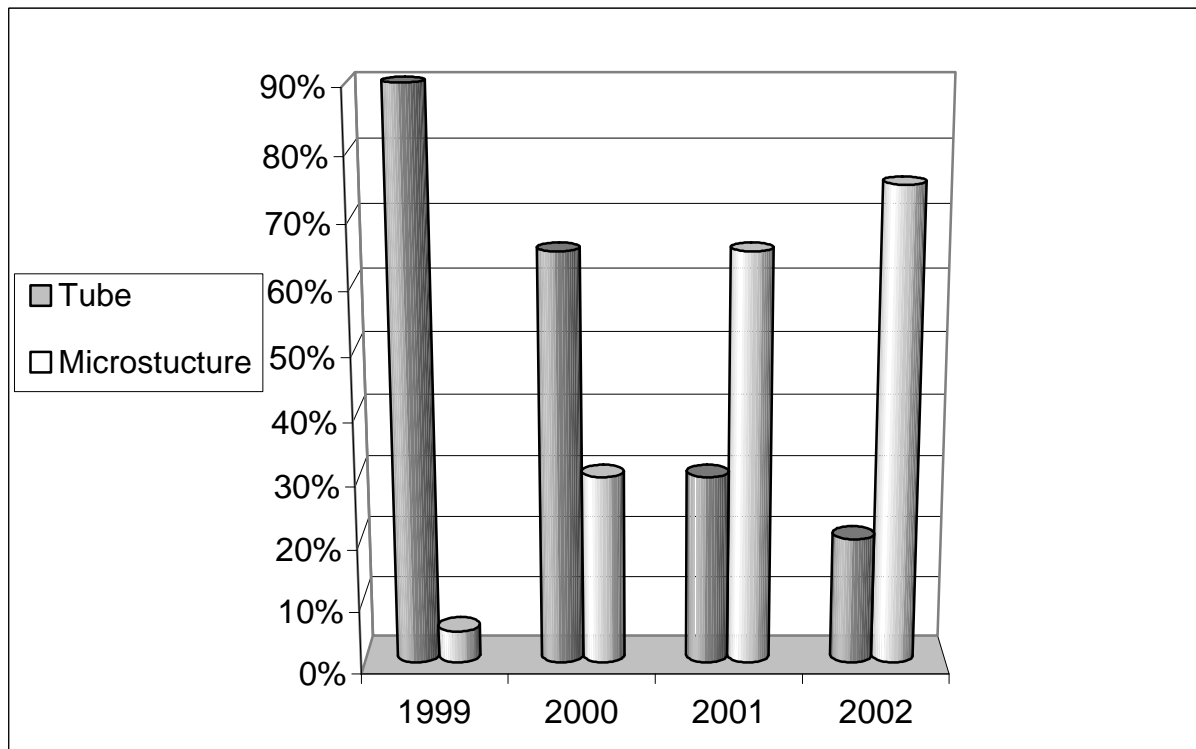


Données BSRIA et KMI pour les marchés allemand, anglais, français et italiens

Si les capacités augmentent, les diamètres des câbles doivent rester dans des proportions permettant une installation aisée. C'est pourquoi, afin de répondre en terme de quantité, sans augmenter les coûts à l'installation, la compacité est aujourd'hui une caractéristique importante pour répondre aux exigences du marché.

5.1.2 HAUTE COMPACITE ET DENSIFICATION :

La densification des câbles optiques permet de répondre aux besoins en haute capacité de fibres sans augmenter les contraintes de pose des câbles. Le marché tend donc naturellement vers des structures compactes ou micromodules.

Evolution des structures de câbles :

Les besoins en câbles dépassant une contenance de 72 fibres orientent le marché vers l'utilisation de structures très compactes.

5.2 SOLUTIONS TECHNIQUES AUX BESOINS DU MARCHÉ :

Compte tenu de l'évolution des besoins vers :

- des contenances plus élevées,
- la densification des câbles,
- un accès plus aisé aux fibres,
- une possibilité d'accès en plein câble (Mid span access) pour permettre le piquage en ligne sur un backbone optique.

Le câble optique est devenu un produit à très haute valeur ajoutée.

En effet, il a dû répondre aux besoins du marché tout en ne pouvant éviter des limitations intrinsèques qui sont :

- le nombre de couleurs essentielles qui limitent à 12 le détrompage par couleur des fibres ou des tubes (code FOTAG IEEE),
- la taille d'un tube devant contenir 12 fibres de 250 µm de diamètre.

Des solutions existent qui utilisent des micromodules contenant 12 fibres avec un diamètre extérieur inférieur à 1.4 mm. Un optimum peut être atteint en plaçant 12 fibres dans un micromodule de 1.1 mm de diamètre intérieur. En assemblant des structures de 12 micromodules de diamètre optimum, il est possible d'assembler des câbles de 144 fibres ayant un diamètre de 12.3 mm pour un poids linéique de 123 kg/km.

Ce chiffre est à comparer avec une structure tube «classique » de 2.5 mm de diamètre extérieur (au minimum) contenant 12 fibres. Le diamètre du câble est alors de 17 mm pour 230 kg/km.

En conservant la modularité de douze , il est possible alors d'envisager des structures à trois niveaux:

Modularité primaire :

12 fibres colorées placées dans un micromodule.

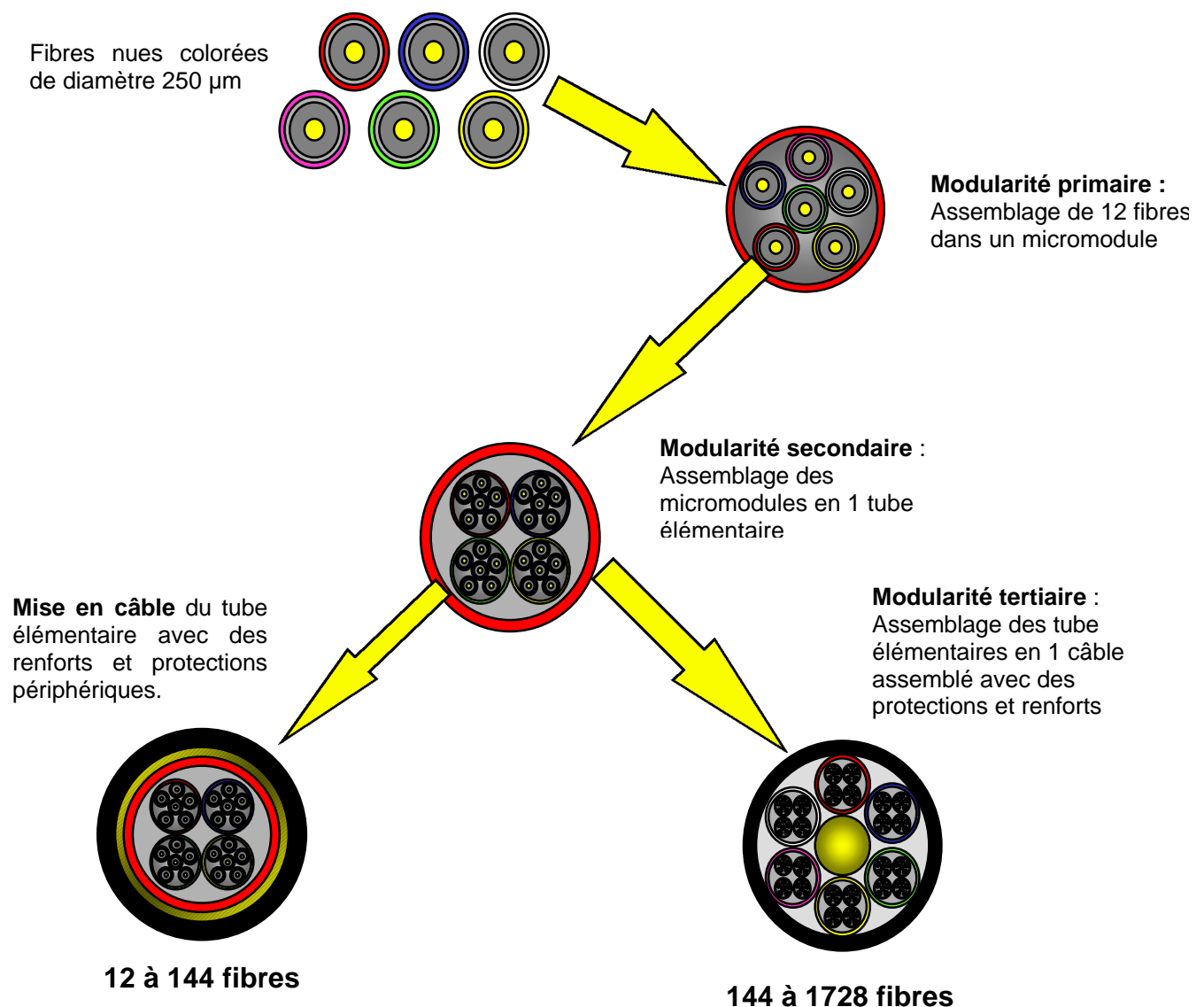
Modularité secondaire :

12 micromodules sont assemblés puis placés dans un tube élémentaire contenant 144 fibres.

Modularité tertiaire :

Assemblage de 12 tubes élémentaires colorés permettant de créer des câbles de contenance élevée.

On peut imaginer, en utilisant ce schéma de modularité à trois niveaux, une contenance maximale pour un câble optique de : **12x12x12=1728 fibres.**



5.3 CRITERES DE SELECTION D'UNE STRUCTURE DE CABLE:

Les solutions à base de « tubes compacts » ou « micromodules » ne doivent pas faire oublier l'intérêt pour les structures classiques. Le choix doit être fait en tenant compte des conditions de pose et des gains apportés par une structure compacte sur une structure classique pour une contenance donnée.

5.3.1 ÉLÉMENTS COMPARATIFS ENTRE LES DEUX STRUCTURES :

Diamètres (en mm) et poids linéiques (Kg/Km)	36 fibres	48 fibres	64 fibres	80 fibres	96 fibres	144 fibres
Câbles à tube de diamètre 2.5 mm. Traction < 180 daN	10.5 mm 86 Kg	10.5 mm 86 Kg	12.1 mm 115 Kg	13.6 mm 145 Kg	15.2 mm 182 Kg	16.5 mm 189 Kg
Câbles à tubes de 2.5 mm avec renforts Traction < 300 à 800 daN	11 mm 96 Kg	11 mm 96 Kg	12.6 mm 124 Kg	14.1 mm 157 Kg	15.7 mm 194 Kg	17,5 mm 202 Kg
Câbles à microstructures pour soufflage -Traction < W*	9.8 mm 69 Kg	11.2 mm 105 Kg	11.2 mm 105 Kg	12 mm 115 Kg	12 mm 115 Kg	12 mm 115 Kg
Câbles à microstructures pour tirage -Traction < 2W*	10.5 mm 102 Kg	12 mm 115 Kg	12 mm 115 Kg	12.5 mm 120 Kg	12.5 mm 120 Kg	12.5 mm 120 Kg

*W : poids d'un kilomètre de câble

Les avantages du « micromodule » en terme de compacité ne sont réellement appréciables que pour des capacités supérieures à 72 fibres. Néanmoins, la simplification des accès en plein câble, du lovage et du stockage des « micromodules » permet de considérer ces solutions avec intérêt quelle que soit la capacité du câble.

Les conditions de pose sont également un critère primordial dans le choix de la structure :

Le tableau précédent précise les différences de résistance à la traction en fonction des structures de câble. La faible section des câbles à structures compactes leur fait perdre la résistance à la traction inhérente aux structures à tubes assemblés. Pour cette raison, les conditions de pose seront souvent le premier critère à considérer pour le choix d'une structure :

Cas du tirage :

Le tirage réalisé à la main ou avec treuil se pratique de moins en moins dans les domaines des câblages MAN/WAN. Les méthodes de soufflage ou de portage ont remplacé ces techniques dans une très forte proportion. Néanmoins, dans le cas où une méthode de tirage est retenue, les câbles à « microstructures » ne permettront pas d'obtenir des résultats comparables aux câbles à tubes. Les coefficients de frottement du câble dans une gaine donnée, son poids linéique, le chemin suivi par le câble (pente, sinuosité.) sont autant d'éléments qu'il faut considérer.

En fonction de ces critères, la traction maximale que peut accepter le câble doit souvent être importante. Cela implique la nécessité de renforcer le câble par des renforts périphériques ou tout autres éléments.

Le diamètre du câble s'en trouve augmenté et les avantages liés à la compacité des câbles à microstructures tendent à disparaître, si les tensions admissibles doivent être élevées.

Cas du soufflage :

Cette méthode nommée aussi « push-pull » consiste à pousser le câble mécaniquement tout en tirant la tête d'extrémité dans la conduite. Un furet étanche placé à la tête du câble permet l'utilisation de l'air soufflé comme « emporte câble ».

Cas du portage :

Cette méthode est la plus utilisée dans le monde pour la réalisation des câblages de type MAN et WAN. Elle peut utiliser l'air ou l'eau comme fluide de support. Dans le cas du portage à l'eau, on parle généralement de « flottage ». Les deux méthodes ont les mêmes conséquences sur le choix du câble. Seule varie la distance maximale de portage atteinte, en fonction du fluide choisi : l'eau permettra d'atteindre 3 à 4 fois la distance de l'air mais nécessitera que soient résolus les problèmes de stockage, transport et évacuation de l'eau et le séchage des conduites après flottage. En fonction des conditions de pose, on pourra choisir le fluide de son choix (exemple : la proximité d'une voie navigable élimine une partie des inconvénients du flottage).

Dans tous les cas de portage, la traction appliquée au câble est très faible et constante : de l'ordre de 10 daN.

Moins le câble est dense (rapport poids/volume), meilleurs seront les résultats du portage (sauf dans le cas du flottage pour lequel la densité du câble doit s'approcher de 1).

Plus la surface du câble est dure et lisse, meilleur sera le portage. Les structures ayant une gaine PeHD ou PeMD sont donc recommandées. Les câbles ayant une gaine en PVC seront évités car les frottements sur la conduite provoquent un échauffement du câble qui voit son coefficient de frottement augmenter fortement par rapport à sa valeur théorique. La rigidité et / ou l'effet mémoire de forme d'un câble sont des handicaps au portage. Les propriétés géométriques du câble sont également importantes. Les câbles à section ronde sont préférés aux autres formes. Meilleure sera la rotondité du câble et meilleurs seront les résultats du portage.

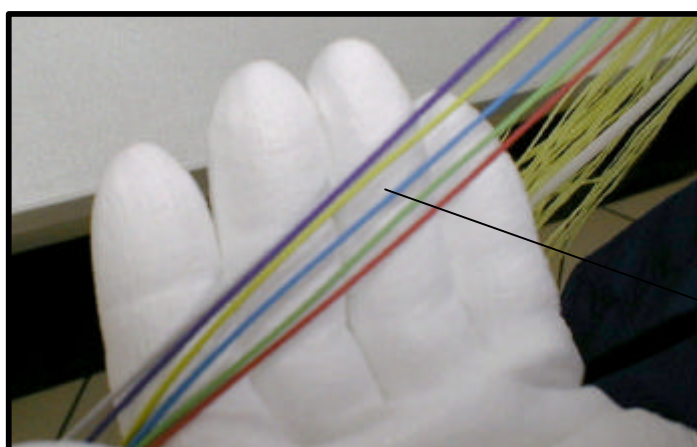
En résumé : Le câble idéal pour le portage est donc petit, léger, souple, gainé en PeHD et à section parfaitement ronde. Sa résistance à la traction peut être faible (50 daN). D'où l'intérêt croissant pour les câbles à structures compactes.

5.4 IMPERATIFS INHERENTS AUX CABLES A STRUCTURE COMPACTE :

Le repérage des tubes élémentaires est simple compte tenu de leur dimension (de l'ordre du centimètre). Il n'en va pas de même pour les micromodules. C'est pourquoi il est primordial de pouvoir identifier les micromodules aisément malgré leur petite taille.

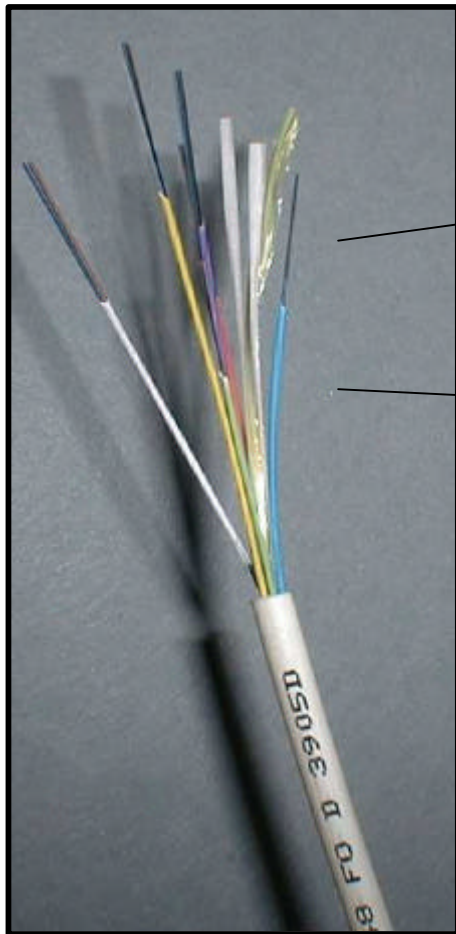
Quant à l'accès aux fibres dans le micromodule, il doit pouvoir se faire sans outil afin d'éviter tout risque de dégradation.

Enfin, il est préférable de ne pas être gêné par du gel, c'est pourquoi les solutions « étanchéité sèche » sont privilégiées par les utilisateurs.



Dans le cas présenté, un tube élémentaire est ouvert et le code couleur permet une identification aisée des Micromodules.

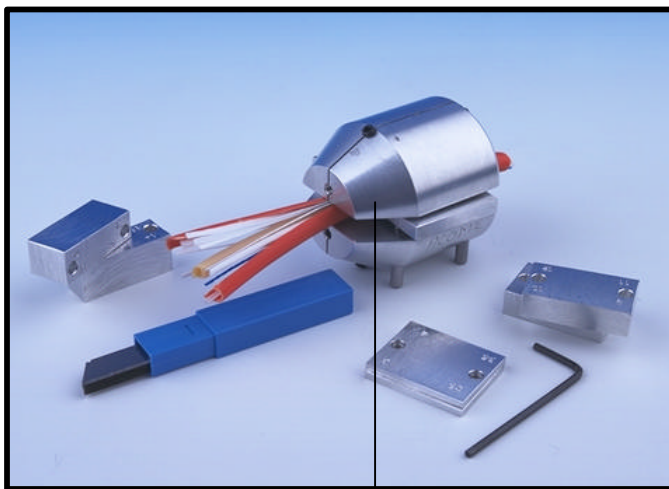
Micromodule contenant 12 fibres



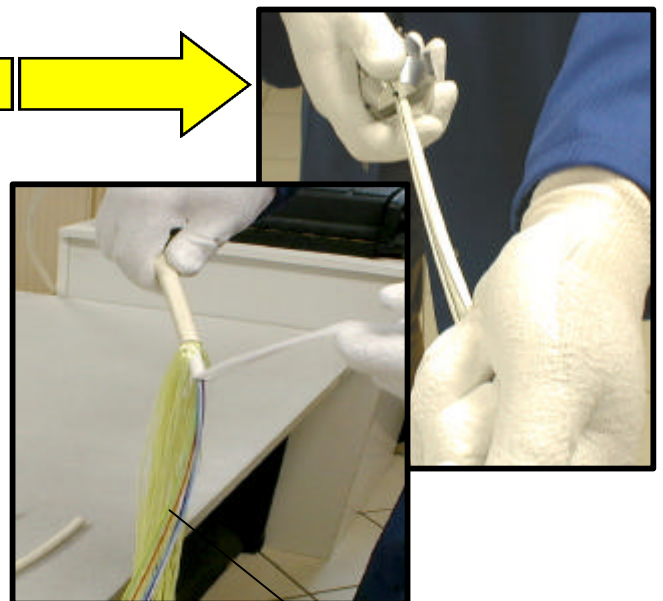
- Accès aisé aux micromodules.
- Ouverture des micromodules sans outil.
- Absence de gel dans le tube : étanchéité sèche.

Tube élémentaire

Il subsiste un point important : Un outil dédié doit permettre une ouverture aisée des tubes élémentaires. Cette ouverture doit se faire sans risque pour les micromodules contenus dans les tubes élémentaires.



Outil d'ouverture du module élémentaire sans contacts avec les micromodules.



Accès aisé aux micromodules

5.5 CHOIX DES ELEMENTS DE PROTECTIONS ET DES RENFORTS PERIPHERIQUES :

Différentes caractéristiques doivent être étudiées pour décider du choix final d'un câble.

5.5.1 STRUCTURE :

En premier lieu, il est important de savoir si une structure diélectrique est imposée ou si la présence de métal est tolérée ou tolérable.

Pour des raisons de sécurité vis à vis de phénomènes tels que la foudre ou la transmission de pics de tension par des câbles de puissance juxtaposés, les structures diélectriques sont souvent conseillées en extérieur.

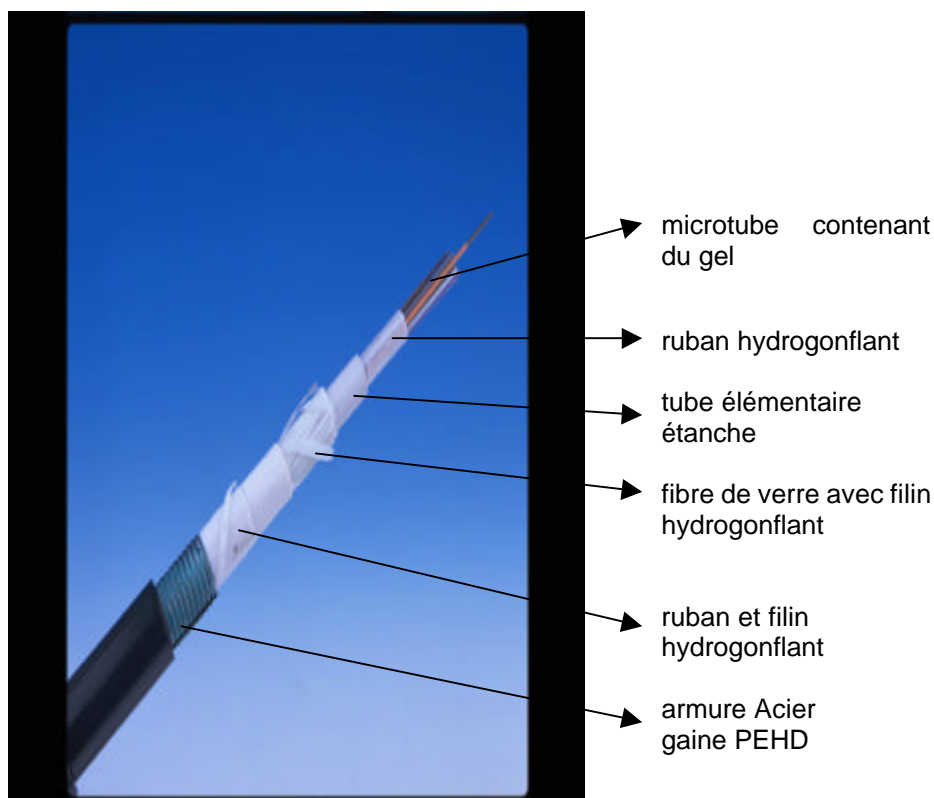
Les structures métalliques sont souvent préférées pour des protections renforcées : anti-rongeurs, résistance à l'écrasement Il faut savoir que les tests réalisés en environnement réel montrent que l'armure acier n'empêche pas totalement la dégradation par les rongeurs. Le diamètre du câble est un élément important pour la protection anti-rongeurs. Ce sont en effet les câbles de gros diamètre qui résistent le mieux aux rongeurs, quelle que soit leur armure. L'armure fibre de verre est légèrement moins efficace que l'armure acier qui demeure à ce jour la solution technico-économique optimale en environnement très exposé aux rongeurs.

5.5.2 ETANCHEITE

L'étanchéité d'un câble doit être vérifiée suivant deux caractéristiques :

- l'étanchéité transversale qui est garantie par une gaine extérieure étanche,
- l'étanchéité longitudinale : Une « blessure » sur la gaine extérieure ou une extrémité en milieu humide ne doivent pas engendrer de propagation d'un liquide dans le câble . La propagation du liquide doit être évitée que ce soit dans la structure même du câble (propagation via le renfort périphérique) ou propagation dans le tube central. Il est primordial que la structure du câble soit étanche à tous ses niveaux de fabrication.

Il faut s'assurer que tous les éléments constitutifs du câble offrent une solution de « barrière » hydrophobe.



5.6 PROTECTION AU FEU :

La « tenue » au feu est imposée dans les bâtiments. Il s'agit notamment de garantir le non dégagement de substances halogénées en cas d'incendie.

La seule caractéristique ZH (Zéro Halogène) ou LSOH (Low Smoke Zero Halogene) n'est pas suffisante pour juger de la tenue au feu d'un câble.

La non propagation de la flamme et/ou de l'incendie est une caractéristique qu'il ne faut pas oublier.

5.6.1 NON PROPAGATION DE LA FLAMME (FLAME RETARDANT) :

L'essai est réalisé sur un câble posé verticalement et soumis à une flamme à son extrémité inférieure.

Norme internationale :	CEI 60332-1 et EN 50265.1 et 50262.1
Norme française :	NF C 32-070 2.1 (catégorie C2)
Autres normes	UL 1581 vw1, ISO6722

Les essais CEI, EN et NF sont désormais harmonisés et identiques.

NON PROPAGATION DE L'INCENDIE (FIRE RETARDANT):

Norme internationale :	IEC 60332-3
Norme française :	NF C 32-070 2.2 (catégorie C1)
Autres normes	IEEE 383

Les essais suivant l'IEC comportent trois catégories d'essais (A – B – C).

Catégorie	Volume de matériau par mètre de câble (litre / m)	Durée d'application de la flamme (en minutes)
A	7	40
B	3.5	40
C	1.5	20

L'essai est satisfaisant si la partie des échantillons de câble carbonisé n'atteint pas une hauteur supérieure à 2.50 m audessus du brûleur.

Pour la norme NFC (ou catégorie C1) un faisceau de câbles disposé verticalement est exposé à l'action d'un four (830°C) et d'une ventilation forcée. La durée de l'essai est de 30 minutes. L'essai est satisfaisant si la partie des échantillons de câbles carbonisés n'atteint pas 0.80 m au-dessus du four.

Un cahier des charges pour une installation en intérieur devra demander une protection de type C2 à défaut de pouvoir l'imposer. La protection C1 peut être demandée si cela est compatible avec le type de câble choisi : peu de gel et de PeHD. La directive des produits de construction est en cours d'élaboration au sein du CENELEC pour définir les exigences en fonction du type de local concerné (cette directive devrait être disponible fin Septembre 2001 auprès du CENELEC).

5.6.3 NORMES D'EMISSION DE FUMÉES :

Norme internationale :	CEI 61034
Norme française :	NF C 20-902

Pour les deux normes, on soumet les matériaux à un rayonnement thermique avec ou sans flammes. La vitesse d'obscurcissement des fumées est alors mesurée. L'essai CEI est réalisé sur le câble. L'essai NFC est réalisé sur les matériaux constitutifs du câble.

5.6.4 NORMES D'EMISSION DE GAZ TOXIQUES :

Norme internationale :	CEI 60754.1
Norme française :	NF C 20-454

Les essais visent à déterminer la quantité de gaz toxiques dégagés par la combustion des matériaux isolants et/ou de gainage.

5.6.5 NORMES D'EMISSION DE GAZ CORROSIFS :

Norme internationale :	CEI 60754.2
Norme française :	NF C 32-074 NF C 20-453

Les essais déterminent l'acidité et la conductivité des gaz dégagés par la combustion des matériaux de gainage ou d'isolement.

5.6.6 LOW SMOKE ZERO HALOGEN (LSOH) :

Norme française :	NF C 32-062
-------------------	-------------

Cette norme précise les propriétés des matériaux utilisés pour l'isolation ou le gainage de câbles de télécommunication.

Toute installation intérieure doit utiliser des câbles certifiés ZH ou LSOH par le fabricant.

5.7 MARQUAGE :

Le marquage sur le câble doit contenir un certain nombre d'informations : Le nom du fabricant, l'année de fabrication, la contenance et le type de fibres.

5.8 CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT :

Les conditions de fonctionnement ainsi que les normes de sécurité doivent être respectées. Une température de fonctionnement de -20 à +60°C est suffisante dans les contrées tempérées.

6 ACCESSOIRES DE RACCORDEMENT - LES REPARTITEURS

6.1 CONTEXTE GENERAL :

Un réseau fibre optique s'articule autour de différents nœuds que sont les répartiteurs, les sous répartiteurs, les points de distribution ou coffrets de branchement.

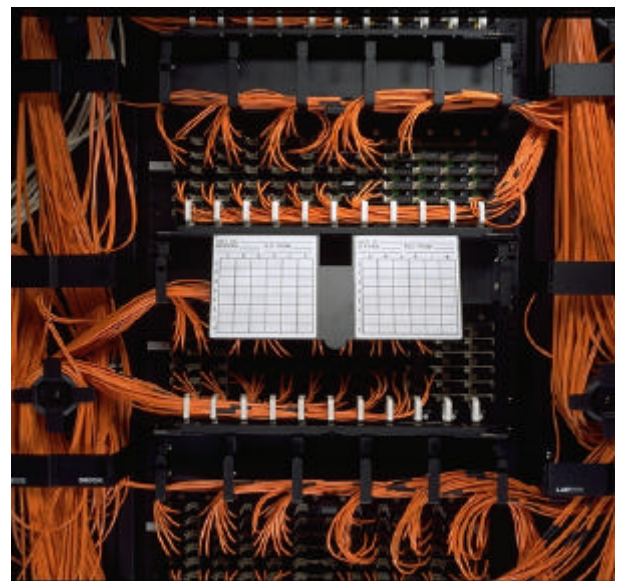
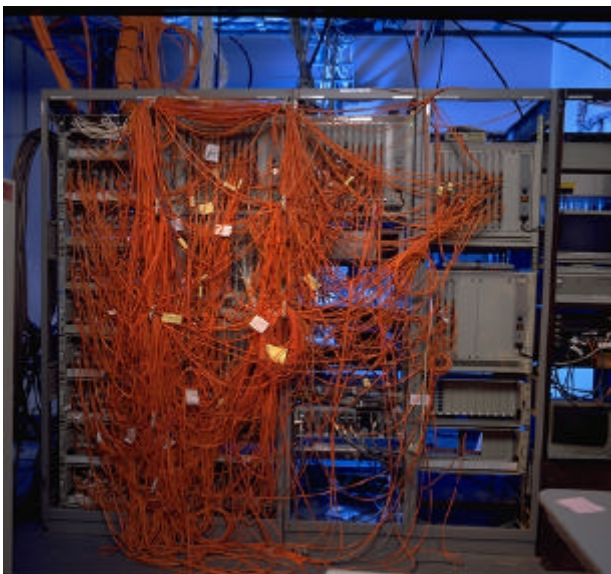
Ces équipements assurent les fonctions générales :

- de répartition du réseau,
- d'agencement pour les fibres, les connectiques et les jarretières,
- d'accès de test.

La fonction répartition et sa souplesse d'utilisation revêtent une importance particulière dans les réseaux actuels dont la caractéristique principale est sans aucun doute la constante évolution :

- mise en place des fibres au fil du temps,
- modification des architectures de réseau
- nouvelles générations de connectiques,
- nouveaux services.

Ce chapitre fait le point sur les caractéristiques essentielles des points de répartition et les solutions techniques existantes qui permettront d'avoir au final :



- la configuration optimale en fonction de l'application,
- une bonne flexibilité,
- une excellente facilité d'exploitation.

Ceci dans le contexte actuel caractérisé par la croissance exponentielle des quantités de fibres aux nœuds de réseau et la demande de produits ou d'équipements toujours plus compacts.

6.2 CRITERES DE CHOIX

Plusieurs critères conduisent au choix d'un répartiteur :

Les critères fonctionnels

- l'application : répartiteur d'équipement ou nœud passif de réseau,
- la configuration : interconnexion ou brassage,
- la capacité finale en nombre de connexions,
- le nombre et types de câbles traités,
- le type de connectiques ou de liaisons,
- l'ergonomie (support, encombrement, etc.).

Les critères d'exploitation

- les conditions d'installation,
- les conditions d'exploitation,
- la flexibilité et la maintenabilité,
- le repérage,
- les tests.

6.2.1 L'APPLICATION

On distingue essentiellement deux types d'applications :

L'interconnexion avec des équipements actifs

Ce type de répartiteur est l'interface entre le réseau passif ou une de ses extrémités, et les équipements électro-optiques.

Le nœud de réseau passif

Le répartiteur est un point de flexibilité au sein même du réseau passif.

Il permet notamment :

- de modifier la topologie du réseau,
- d'insérer de nouveaux dispositifs tel des multiplexeurs, des coupleurs ou des atténuateurs,
- d'effectuer des tests,
- etc.

De l'application dépendra le choix de la configuration du répartiteur (interconnexion ou brassage) et le type de liaisons (connectique, épissurage, etc.)

6.2.2 LA CONFIGURATION DU NŒUD

Les répartiteurs peuvent être conçus et installés suivant deux configurations :

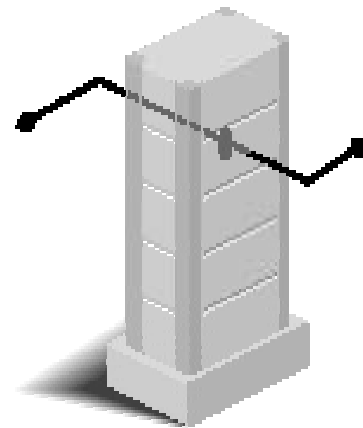
L'interconnexion

Ce « design » permet de n'avoir qu'un point de connexion au niveau du répartiteur.

Les répartiteurs d'interconnexion ont largement été utilisés lors des premiers déploiements des réseaux fibres notamment pour les systèmes de transmission pour lesquels le gain d'une connexion est toujours appréciable en terme de bilan de liaison.

Cette configuration sera particulièrement adaptée aux installations de faibles capacités et de faible niveau de réintervention.

Le prix et la faible perte d'insertion dus à la présence d'un seul point de connexion seront les critères déterminant dans le choix de ce type de configuration au détriment peut être de la flexibilité.



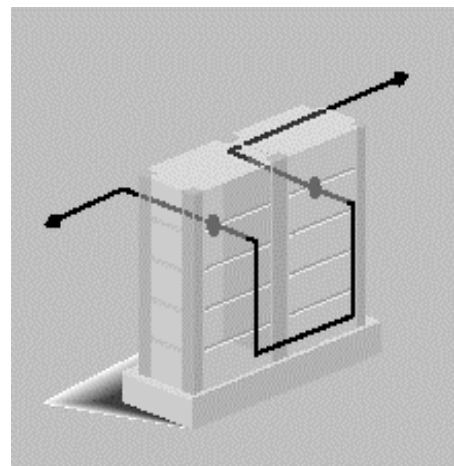
Le brassage

Ce « design » est basé sur une liaison à deux connectiques.

Le lien est établi par une jarretière (ou cordon)

Cette configuration est sans aucun doute la plus répandue aujourd'hui.

La flexibilité et la souplesse d'utilisation de cette configuration permet une mise en service progressive des liens et une augmentation des capacités sans nuire à la maintenabilité de l'ensemble.



6.2.3 LA CAPACITE FINALE

Le nombre de connexions contenues dans un répartiteur est très variable.
Des capacités de 500 à 1000 fibres sont courantes aujourd'hui notamment sur les MANs.

Conseils :

- à l'installation prévoir une réserve de l'ordre de 30 à 50 % de la capacité maximale estimée,
- choisir le répartiteur en fonction de ses possibilités d'extension,
- prévoir l'emplacement de la future extension (dos à dos, sur le côté, etc.).



6.2.4 NATURE ET NOMBRES DE CABLES TRAITES AU REPARTITEUR

Suivant son emplacement sur le réseau, le répartiteur devra être compatible avec un ou plusieurs types de câble :

- de conduite,
- enterrable,
- autoporté,
- d'intérieur,
- câbles jarrettières (break out).

Dans le choix du répartiteur, les points importants seront :

- la capacité en nombre de câble,
- les diamètres acceptés par les pièces d'amarrage,
- la compatibilité des amarrages et des câbles,
- les mises à la masse ou à la terre des parties métalliques.

Les amarrages se feront sur l'ensemble des constituants du câble :

- porteurs centraux ou latéraux,
- renforts périphériques,
- gaines extérieures.



6.2.5 TYPES DE LIENS AU REPARTITEUR

Un répartiteur est un nœud de réseau permettant d'établir des liens entre des fibres par l'intermédiaire de connectiques.

Deux autres types de liens peuvent également être utilisés au répartiteur :

- liens par épissurage en remplacement des connecteurs,
- passage de fibres non coupées.

Dans les deux cas il s'agit de réduire la perte par insertion au répartiteur en supprimant les connecteurs.

L'utilisation de liens par épissures est souvent utilisée en solution "gain de place" (photo ci contre) sur des liaisons ne demandant pas une grande flexibilité.

Le passage de fibres non coupées au répartiteur relève du même concept que le piquage en ligne sur un câble (Mid span access) Les fibres non coupées étant distribuées sur un autre point de répartition.



6.3 L'ERGONOMIE

Le répartiteur est placé dans un environnement :

- salle des équipements,
- salle de répartition,
- local commun avec d'autres utilisateurs,
- couloir,
- etc.

Cinq critères dicteront le choix du design général :

- le type de support,
- l'encombrement,
- l'accessibilité ,
- l'étanchéité,
- la sécurisation.

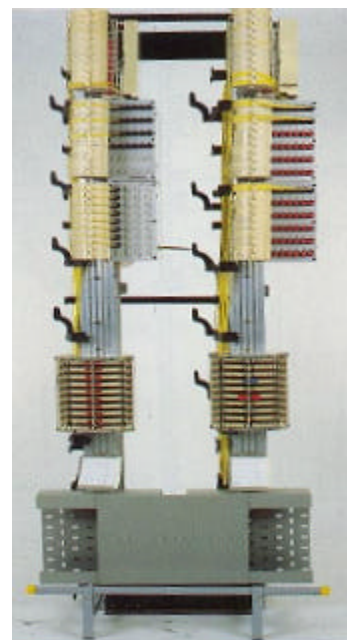
6.3.1 LE TYPE DE SUPPORT

Fermes verticales

Particulièrement adaptées aux salles de répartition, les fermes présentent l'avantage d'être un système ouvert facilitant les extensions.

Suivant la configuration de la salle, il pourra être intéressant de placer le répartiteur au centre afin d'avoir un maximum d'accessibilité aux différentes fonctions notamment aux lits de jarretière.

Le principal inconvénient de ce design est la difficulté de protéger et de sécuriser les différents liens. Pour cette raison il est fortement déconseillé de l'installer dans un local mixte.



Armoire 19" (ou 23")

C'est le standard des informaticiens, il trouvera donc naturellement sa place au milieu d'une salle d'équipements en 19".
La grande profondeur de ce type d'armoire permettra de monter des répartiteurs dos à dos dans un même châssis.

Standard ETSI

Après le bâti 80, c'est le nouveau standard des Télécoms.
Il est certain que des répartiteurs utilisant ce standard dimensionnel s'inséreront plus facilement dans les nouvelles salles d'équipements.
La faible profondeur de 300 mm est également un atout non négligeable pour les installations où la place est comptée.

Coffret ou module 19" ou autre standard

D'une capacité forcément réduite (environ 200 fibres), ces petits répartiteurs seront principalement utilisés pour les terminaisons clients ou insérés dans des armoires d'équipements.



Répartiteur 1000 fibres en armoire double ETSI

6.3.2 L'ENCOMBREMENT

Il est toujours possible d'établir des comparaisons entre le nombre de points de connexion et l'emprise au sol. On constate qu'en moins de 10 ans, on sera passé d'environ 700 à 3000 fibres par m².

A notre avis, plus que l'encombrement, c'est l'exploitation et l'évolutivité du système qui doit dicter le choix.

La seule question à ce stade est: le répartiteur est-il toujours exploitable une fois câblé à 100 % ?

6.3.3 L'ACCESSIBILITE

C'est un des critères les plus importants si l'on veut conserver une bonne exploitation du répartiteur dans le temps.

Tous les modules fonctionnels du répartiteur devront être facilement accessibles.

On évitera notamment les passages cachés au niveau des cheminements des fibres, pigtaills ou jarretières.

La conception modulaire

La tendance est de concevoir les répartiteurs sous forme de modules. Chaque module ou bloc abrite une fonction séparée des autres avec notamment :

- le cheminement des câbles,
- le bloc amarrage des câbles,
- le module épissurage,
- le cheminement des pigtails,
- le module de brassage ou d'interconnexion,
- le cheminement des jarretières.

Cette configuration présente l'avantage de sécuriser les différentes fonctions et de minimiser les risques en cas d'intervention.

Le tout à l'avant

Suivant l'implantation du répartiteur et la configuration de la salle, il peut être nécessaire que toutes les fonctions soient accessibles en face avant.

Pour des raisons d'encombrement, d'accessibilité aux autres faces ou tout simplement parce que les baies sont collées au mur, la grande majorité des répartiteurs actuels est conçue sur ce principe.

6.3.4 L'ETANCHEITE

Ce n'est pas un critère habituel pour un répartiteur, cependant certaines conditions d'exploitation notamment celles rencontrées dans le métro parisien nécessitent des armoires à l'étanchéité renforcée.

Par expérience pour ce type d'installation, on fixera l'indice de protection (IP) à IP 55 suivant la norme NF EN 60 529 :

- IP 5Y protégé contre la poussière
- IP X5 protégé contre les projections d'eau

Certaines implantations nécessitent également une protection anti-rongeurs.

Ce critère impose un répartiteur fermé type armoire ETSI ou 19" avec des entrées de câble spécialement aménagées.

Un IP 2 est alors requis : enveloppe assurant une protection contre les corps solides étrangers de diamètre supérieur ou égal à 12,5 mm.

6.3.5 LA SECURISATION

Le répartiteur peut être sécurisé à plusieurs niveaux:

- au niveau du local,
- au niveau du répartiteur (porte à serrure),
- au niveau d'un module (compartiments raccordement et/ou épissurage sécurisé),
- au niveau d'une application (cas des répartiteurs mutualisés ou en colocation).

Le choix sera fait en fonction des critères d'exploitation et du partage des compétences.

6.4 LES CRITERES D'EXPLOITATION

6.4.1 LES CONDITIONS D'INSTALLATION

La connectivisation

Deux méthodes sont couramment utilisées

- la connectivisation sur site,
- la connectivisation en usine.

La première méthode consiste à monter le connecteur directement sur la fibre du câble sur site.

La seconde consiste à équiper le répartiteur de pigtails en usine. Le raccordement sur site entre le pigtail et la fibre du câble étant réalisé par épissurage.

Compte tenu du niveau de performance demandé en monomode et la nature des connectiques (APC, ajustée, etc.) nous recommandons d'utiliser la préconnectivisation en usine.

Liaisons avec des équipements

Les répartiteurs d'équipement sont généralement asymétriques à savoir:

- côté équipement liaisons directes par jarretières ou câbles break out (câbles jarretières) entre l'équipement et le panneau de brassage ou d'interconnexion,
- côté réseau liaisons par l'intermédiaire d'épissures et de pigtails.

Les cassettes ne seront donc placées que du côté réseau.

Les cassettes d'épissurage

Fonctions

Les cassettes ont plusieurs fonctions :

- lovage des sur-longueurs de fibres nécessaires à l'opération d'épissurage (environ 1,20 m de part et d'autre de l'épissure),
- respect des rayons de courbure (30 mm),
- maintien des épissures et de leurs protections (mécanique ou thermorétractable),
- protection de l'ensemble.

Modularité des cassettes

Plusieurs écoles s'affrontent sur le sujet :

- gestion par circuit c'est à dire que chaque cassette comporte le même nombre de fibres que l'application (2 ou 4 en général),
- gestion par élément, chaque cassette renfermant les fibres d'un module du câble (6, 12 ou 24 en général).

Les cassettes au répartiteur étant utilisées côté câble, nous préconisons la gestion par élément qui paraît la plus logique.

Les logements d'épissures

Les cassettes devront permettre de loger les épissures ou les protections d'épissures (cas d'épissurage par fusion) utilisées.

Les plus courantes :

- protection thermorétractable unitaire,
- protection thermorétractable pour épissurage de masse (ruban),
- protection mécanique (ANT),
- épissure mécanique unitaire,
- épissure mécanique de masse.

L'accessibilité – Implantation du répartiteur

Ne pas oublier qu'un répartiteur dans son emballage est un produit imposant. Il est donc nécessaire de s'assurer qu'il passera aisément les portes ou les escaliers !

Dans certains cas, il sera nécessaire d'utiliser des ensembles modulaires permettant un assemblage sur site.

6.4.2 LES CONDITIONS D'EXPLOITATION

Dans les paragraphes précédents sont décrits les différents types de répartiteurs ainsi que les moyens de sécurisation.

Suivant que l'exploitant sera unique ou non, que le local sera partagé ou non, le choix du répartiteur sera déterminant.

6.4.3 LA FLEXIBILITE ET L'EXPLOITATION

Les opérations de réinterventions sont nombreuses sur un répartiteur :

- installation d'un nouveau câble,
- installation de nouvelles connectiques,
- réaffectation d'un lien,
- etc.

Dans tous les cas s'assurer que le répartiteur accepte ces opérations sans contraintes sur les liens existants. Les tests cités à la fin de ce chapitre permettent de s'en assurer.

Lovage des sur-longueurs de jarretières ou de pigtails

Si on reprend la photo qui illustre le paragraphe « 6.1 », on comprend aisément que cette fonction peut devenir à la longue essentielle.

Préférer donc les répartiteurs dans lesquels tous ces circuits sont apparents, les tiroirs de stockage étant généralement des sources d'ennui.

6.4.4 LE REPERAGE

L'exploitation d'une installation passe par un bon repérage, il est donc essentiel que le répartiteur soit conçu et livré en standard avec ses accessoires. Les circuits seront repérés depuis l'arrivée des câbles jusqu'aux raccords des connectiques.

Quelques principes :

Avant l'amarrage

- identification du câble par étiquette sur gaine.

Cassettes. Chaque cassette portera plusieurs indications :

- son numéro dans l'organiseur,
- le ou les numéros des tubes arrivants,
- les numéros ou le nom des pigtails sortants ou l'emplacement des raccords.

Des cassettes de couleur peuvent éventuellement aider à l'identification (un tube une couleur)

Raccords. Chaque raccord est identifié au sein du panneau de brassage ou d'interconnexion.

Dans le cas d'ensemble d'interconnexion, les pigtails devront également être marqués côté connecteur afin de faire rapidement le lien avec leur câble ou leur cassette d'origine.

Cette recommandation n'est pas une obligation dans les répartiteurs de brassage. Dans ce cas un pigtail est affecté à un arrière de raccord, le repérage du raccord étant suffisant pour le couple raccord-pigtail.

6.5 LES TESTS

Il est important que la conception du répartiteur soit validée par des tests de qualification qui sont représentatifs des différentes étapes de la vie du produit :

- qualification en sortie d'usine,
- simulation du transport et du stockage,
- test dynamique des liaisons durant les différentes interventions,
- tenue aux conditions environnementales.

La présente liste, ainsi que les sanctions sont données à titre indicatif. Chacun l'adapte et la complétera en fonction de son application.

6.5.1 ESSAI DE CABLAGE

Cet essai a pour but de s'assurer que le répartiteur est exploitable une fois câblé à 100 % côté câbles, jarretières ou pigtails d'interconnexion.

6.5.2 ESSAI DE REINTERVENTION

Principe

Le but de l'essai est de vérifier, après la mise en service des liaisons, que toute intervention réalisée sur le répartiteur, n'entraîne aucune perturbation sur les autres fibres.

Types de réintervention

Maintenance sur une fibre avec :

- manœuvre des cassettes pour atteindre celle contenant la fibre,
- coupure d'une soudure dans une cassette,
- délovage et extraction de la fibre,
- réalisation de la nouvelle soudure,
- repositionnement dans la cassette,
- repositionnement des différentes cassettes.

Manoeuvre sur une Jarretière

- désenfichage des connecteurs d'une jarretière,
- extraction de la jarretière,
- réaffectation de la jarretière,
- enfichage des connecteurs,
- rangement de la jarretière.

Valeur de sanction (à titre d'exemple)

Variation de l'affaiblissement pendant l'essai inférieure à 0,2 dB. Atténuation rémanente inférieure à 0,1 dB.

Mesure

Aux différentes longueurs d'onde utilisées par l'application, 1310 et 1550 nm voire 1570 – 1620 nm dans le cas d'une application en bande L.

6.5.3 ESSAI CLIMATIQUE

Principe

Le répartiteur subit un cycle climatique de 16 heures à 45°C puis de 16 heures à 5°C

Sanction et mesure

Identiques au test précédent

6.5.4 ESSAI DE VARIATION RAPIDE EN TEMPERATURE

Principe

Le répartiteur câblé est placé dans une enceinte climatique décrivant le cycle suivant :

- température haute : + 70°C,
- température basse : - 25°C,
- durée d'exposition : 3 heures,
- durée de transfert : 1 heure,
- nombre de cycles : 15.

Sanction

A l'issue de l'essai, aucune fissure, ni déformation, ni craquelure, ni changement significatif d'aspect ne doit apparaître. L'affaiblissement ne doit pas avoir varié, à l'issue de l'essai, de plus de 0,2 dB.

Mesure

Aux longueurs d'onde de l'application.

6.5.5 ESSAI DE VIBRATION SINUSOÏDALE

Spécification ETS 300

Principe

Le répartiteur est monté sur un pot de vibration et est soumis à des excitations sinusoïdales suivant les trois axes.

Sanction

Pas de déformation ou fracture des constituants. L'atténuation ne doit pas avoir varié, à l'issue de l'essai, de plus de 0,2 dB.

Mesure

Aux longueurs d'onde de l'application.

7 ACCESSOIRES DE RACCORDEMENT - LES BOITIERS D'ÉPISSURE

7.1 CONTEXTE GENERAL :

Le rôle des boîtes de raccordement est de :

- rétablir l'intégrité de l'enveloppe des câbles raccordés et notamment la continuité mécanique de leur structure,
- protéger les épissures et les surlongueurs de fibres,
- assurer la mise à la masse et à la terre, si nécessaire.

La fonction raccordement prend aujourd'hui une nouvelle importance avec la généralisation de la fibre optique dans tous les compartiments des réseaux :

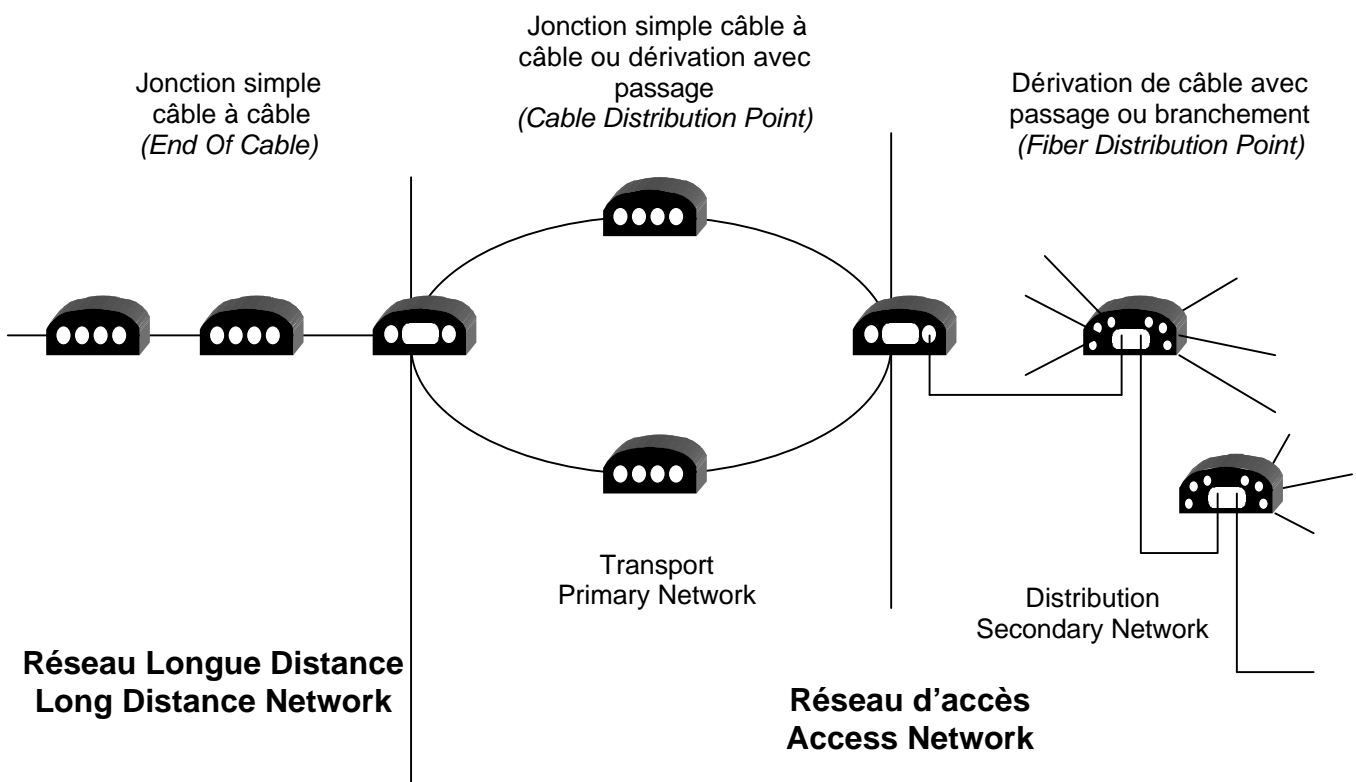
- longues distances,
- transport,
- distribution.

De nouvelles fonctions sont désormais associées à ces nœuds de réseaux afin notamment de permettre :

- l'adjonction de nouveaux câbles,
- le piquage en ligne,
- la mise en service de fibres au fil du temps,
- la modification des architectures de réseau,
- etc.

Ce chapitre fait le point sur les caractéristiques essentielles de ces points de raccordement et les solutions techniques existantes associées.

7.2 DEFINITIONS :



7.2.1 LES APPLICATIONS

Jonction simple (End Of Cable)

Boîte permettant de raccorder un câble à un ou plusieurs câbles. Autres appellations: boîte de jonction et dérivation ou joint droit.

Boîte de distribution (Cable Distribution Point)

Possibilité de piquer plusieurs éléments ou tubes en plein câble sans couper les autres éléments.

Ex : alimentation d'une boucle secondaire au départ du câble d'un backbone optique.

Boîte de distribution de fibres (Fiber Distribution Point)

Possibilité de piquer une ou plusieurs fibres en plein câble sans couper les autres.

Ex : alimentation d'un abonné à partir du câble de distribution sur une boucle locale.

7.2.2 LES FONCTIONS

Épissure

Reconstitution de la continuité du guide de lumière par une technique quelconque (soudage, épissurage mécanique, collage, etc.)

Protection d'épissure

Reconstitution de la protection de silice de la fibre par une technique quelconque (manchon thermorétractable, protection mécanique, etc.)

Entrée de câble

Ensemble des pièces permettant de rétablir l'intégrité de l'enveloppe du câble.

Amarrage

Ensemble des pièces permettant de rétablir la continuité mécanique de la structure du câble (porteurs, renforts, etc.)

Organiseur

Ensemble constitué par l'épanouissement, le cheminement et la protection des fibres et le système d'agencement et de protection des épissures.

Boîte de raccordement

L'ensemble du point de raccordement comprenant notamment :

- le boîtier de protection,
- l'organiseur,
- les entrées de câbles,
- l'ensemble de fixation de la boîte dans son environnement,
- les accessoires (bouchons, prises de terre, valve de test, etc.).

Élément d'un câble

Un câble est constitué d'éléments, chaque élément renfermant une certaine quantité de fibres.

Exemple : un câble 72 fibres composés de 6 tubes renfermant chacun 12 fibres.

L'élément est le module élémentaire de composition du câble. En fonction de la construction du câble les éléments sont des :

- tubes,
- micromodules,
- rubans.

Dans ce chapitre du guide on utilisera le terme d'élément qui désigne l'ensemble de ces différentes structures.

Cassette d'épissurage

Partie de l'organiseur renfermant les fibres dénudées et les épissures et leurs protections.

L'organiseur est composé de plusieurs cassettes qui permettent de séparer :

- les épissures et fibres de chaque élément du câble,
- ou d'isoler les épissures et fibres par circuit ou application,
- ou d'isoler certaines fonctions comme des coupleurs passifs par exemple.

Cassette de lavage ou de stockage

Partie de l'organiseur permettant de stocker des éléments du câble ou des fibres.

7.3 CRITERES DE CHOIX

Plusieurs critères conduisent au choix d'une boîte de raccordement :

Les critères fonctionnels :

- la configuration (joint droit, division, piquage en ligne, etc.),
- le nombre et types de câbles traités,
- l'agencement des fibres,
- l'environnement (chambre, enterré, sur poteau, etc.).

Les critères d'installation et d'exploitation

- les conditions d'installation,
- les conditions d'exploitation,
- le repérage des circuits,
- les tests.

7.3.1 LA CONFIGURATION DU NŒUD

Le boîtier de raccordement sera choisi en fonction de son application :

- jonction simple,
- piquage d'éléments en ligne,
- piquage de fibres en ligne.

7.3.2 LE NOMBRE ET LE TYPE DE CABLES TRAITES

La boîte et principalement ses entrées doivent être compatibles avec les câbles :

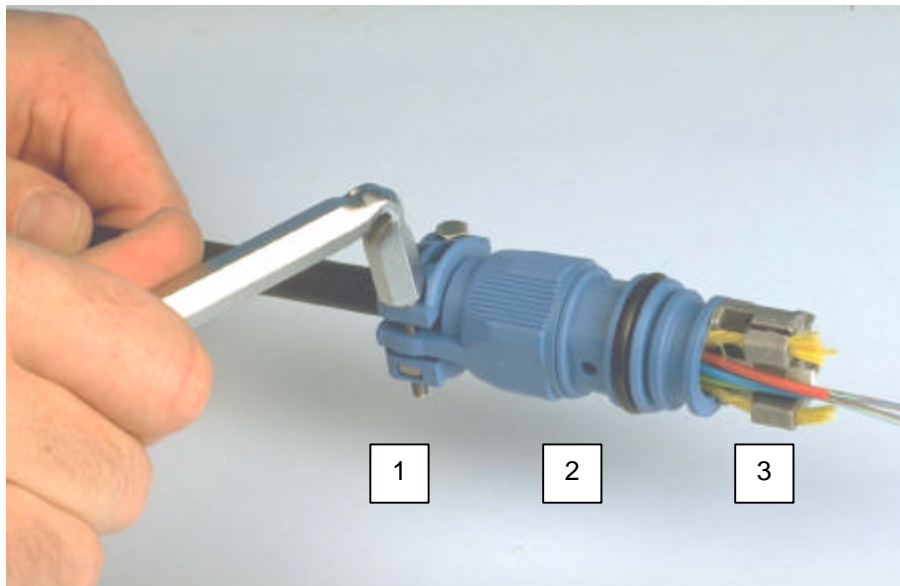
- en conduite,
- enterrables,
- aériens.

Comme rappelé en préambule, une des fonctions du boîtier de raccordement est de rétablir l'intégrité de l'enveloppe des câbles raccordés et notamment la continuité mécanique de leur structure.

Les entrées de câbles devront donc posséder l'ensemble de ces fonctions :

- étanchéité sur la gaine extérieure,
- amarrage sur la gaine extérieure,
- amarrage des porteurs,
- amarrage des renforts.

Les tests d'étanchéité mais aussi de traction, flexion et torsion permettent de s'assurer de l'homogénéité du couple câble / entrée de câble.



Préparation d'une entrée de câble mécanique

- 1 – Amarrage sur gaine extérieure
- 2 – Zone d'étanchéité
- 3 – Amarrage des porteurs et des renforts

Le nombre de câbles

Le boîtier doit posséder suffisamment d'entrées de câble.

La mise en œuvre de nouvelles entrées (rajout d'un câble) ne devra pas perturber les fibres déjà en service.

7.3.3 L'AGENCEMENT DES FIBRES

Suivant l'application, l'agencement des fibres à l'intérieur du boîtier sera quelque peu différent :

Type d'agencements :

- sur plateaux,
- en cassettes.

Type de gestion :

- de masse,
- par élément,
- par circuit.

Gestion des fibres en passage dans le cas de piquage en plein câble :

- par élément,
- par fibre.

Agencements

Les plateaux :

C'est la solution gain de place. Cette configuration est d'ailleurs souvent utilisée en association avec de l'épissurage de masse.

Il est préférable de la réserver pour des boîtiers non destinés à être réouverts.

Application : boîtiers de jonction et ou de dérivation.

Les cassettes :

Cette solution permet de séparer les différents circuits ou applications à l'intérieur d'un même boîtier. Elle facilite le repérage des circuits lors des réouvertures pour réintervention.

Gestion

De masse :

L'épissurage de masse est très utilisé en association avec la structure ruban.

Il présente un moindre intérêt pour les autres structures car il oblige à recomposer ponctuellement la structure ruban à l'endroit de l'épissure.

Par élément :

L'organiseur est conçu pour que chaque élément du câble puisse cheminer depuis l'entrée de câble jusqu'à la cassette qui lui est attribuée.

Chaque cassette renferme la partie non protégée des fibres ainsi que les épissures unitaires.

Ces organiseurs sont d'une conception très simple et sont les plus répandus.

Protection des fibres entre la sortie de câble et la cassette :

Généralement les fibres sont retubées sur tout ce parcours afin de les protéger pendant les réinterventions sur d'autres fibres.

Par circuits :

L'organiseur est conçu pour que les fibres soient gérées par circuits de manière individuelle.

Chaque groupe de 2 ou 4 fibres (suivant l'application) chemine individuellement au travers de l'organiseur jusqu'à la cassette.

Ce concept est très intéressant dans le cas de boîtier de branchement à partir desquels les fibres sont directement distribuées vers une application ou un client.

Ces systèmes sont par contre plus complexes et plus encombrants du fait de :

- l'obligation de diviser et de protéger les fibres par circuits à la sortie du câble,
- du grand nombre de cassettes.

Exemple du raccordement d'un câble 144 fibres

- gestion par élément : 12 cassettes de 12 fibres,
- gestion par circuit : 36 à 72 cassettes de 4 ou 2 fibres.

En résumé, ci-après quelques recommandations

Le joint droit

- fonction : consiste à raccorder deux câbles de capacités égales entre eux,
- flexibilité : pas ou peu de réintervention sinon pour réparation,
- boîtier : une entrée et une sortie,
- organiseur : gestion par élément du câble,
- cassettes : une cassette par élément du câble,
- ou plateaux : un plateau pour plusieurs éléments,
- compatibilité avec de l'épissurage de masse sur rubans.

La division ou dérivation

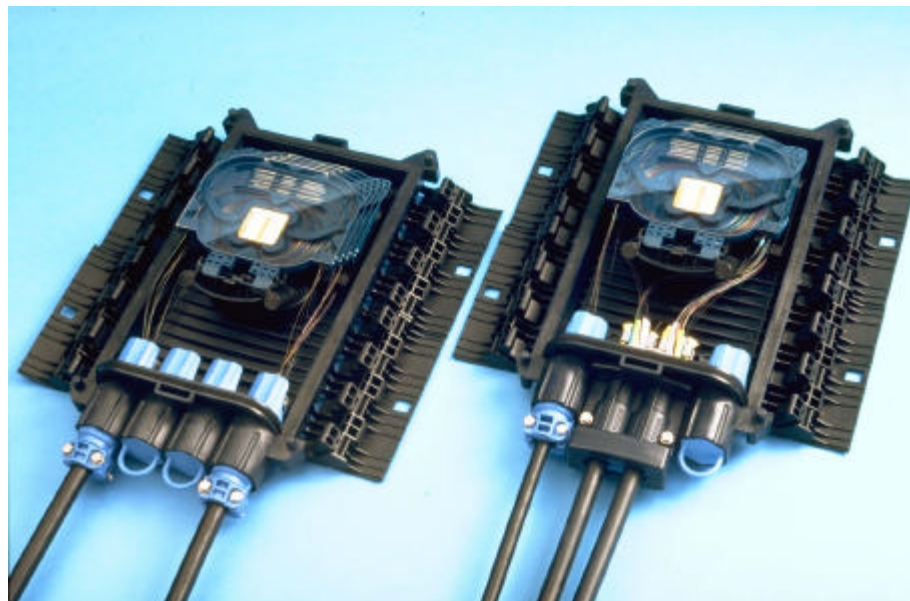
- fonction : consiste à raccorder un câble sur des câbles de capacités différentes,
- flexibilité : pas ou peu de réintervention sinon pour réparation,
- boîtier : une entrée principale, deux ou trois secondaires suivant la division,
- organisateur : gestion par élément du câble,
- cassettes : une cassette par élément,
- ou plateaux : un plateau pour plusieurs éléments,
- compatibilité avec de l'épissurage de masse sur rubans.

Le piquage en ligne d'éléments du câble principal

- fonction : consiste à piquer en plein câble un ou plusieurs éléments du câble,
- flexibilité : possibilité d'ajout de câbles dérivés au fil de l'eau,
- boîtier : une entrée double acceptant le câble en passage, deux ou trois sorties simples,
- organisateur : gestion par élément. Prévoir une zone de stockage des éléments en passage,
- cassettes : en principe, une cassette par élément du câble principal (1),
- stockage : une cassette ou un plateau pour les éléments en passage.

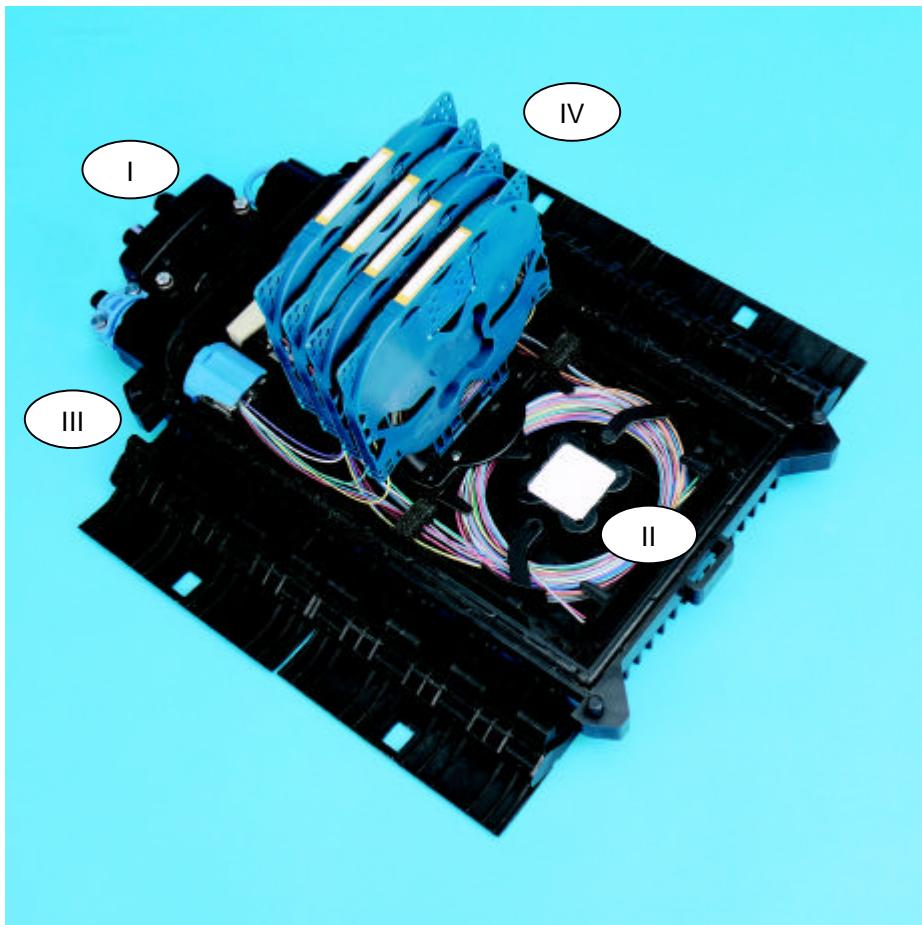
(1) En principe les capacités des éléments du câble principal sont identiques à celles des câbles dérivés. Dans ce cas on gèrera un élément par cassette.

Si les capacités des éléments sont différentes, les cassettes auront la plus petite des capacités, ce qui imposera de savoir diviser un élément du câble en plusieurs sous modules pour cheminer depuis les entrées de câbles jusqu'aux cassettes.



à gauche: joint droit (une entrée et une sortie équipées) avec possibilité de dériver deux câbles,

à droite: piquage en ligne, le câble principal est placé dans l'entrée double central. Un câble dérivé sort sur la gauche du boîtier.



Piquage en ligne d'éléments du câble

- I - entrée double du câble principal
- II - lovage des éléments en passage (éléments non coupés)
- III - sortie simple du câble dérivé
- IV - cassettes d'épissurage pivotantes permettant une meilleure accessibilité à la zone de stockage.

Le piquage en ligne de fibres du câble principal

- fonction : consiste à piquer en plein câble une ou plusieurs fibres du câble,
- flexibilité : possibilité d'ajout de câbles dérivés au fil de l'eau,
- boîtier : une entrée double acceptant le câble en passage, deux à six sorties simples,
- organisateur : gestion par circuit. Prévoir une zone de stockage des éléments en passage,
- cassettes : une cassette par circuit (2 à 4 fibres par cassette),
- stockage : une cassette ou un plateau pour les éléments en passage.

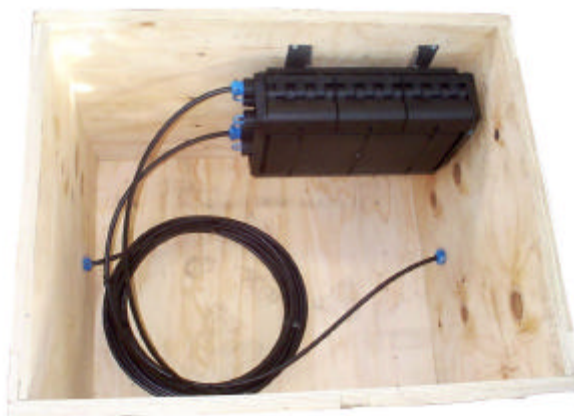
7.3.4 L'ENVIRONNEMENT

Le cas le plus fréquent sur les réseaux MAN et WAN reste la pose en chambre ou en galerie technique ce qui facilite les opérations de réintervention ou d'équipement au fil de l'eau.

Comme pour les répartiteurs, se pose le problème de la croissance exponentielle des quantités de fibres aux nœuds de réseau avec la demande de produits toujours plus compacts du fait des contraintes d'environnement liées aux dimensions des chambres.

Hormis les contraintes d'étanchéité, on devra donc s'assurer de la compatibilité entre :

- les dimensions de la chambre,
- les dimensions du boîtier d'épissurage,
- les rayons de courbure des câbles.



7.4 LES CRITERES D'INSTALLATION ET D'EXPLOITATION

7.4.1 LES CRITERES D'INSTALLATION

Plusieurs critères interviennent à ce niveau:

L'installation du boîtier dans son environnement avec :

- le positionnement des câbles,
- la fixation.

Les conditions de mise en œuvre:

- l'outillage,
- le temps d'installation,
- les conditions d'installation.

Positionnement des câbles

Suivant les modèles de boîte, les câbles sont positionnés en « épi » (tous les câbles sur la même face du boîtier) ou droits (câbles sur deux extrémités).

Le choix se fera en fonction de la configuration de la chambre ou de la galerie.



Positionnement des câbles droits



Positionnement des câbles en « épi »

La fixation

Les boîtiers sont fixés verticalement ou horizontalement sur un mur de la chambre, de la galerie ou en niche (cas du métro).

Pour les facilités d'exploitation, il est souhaitable :

- que le boîtier soit ré-ouvrable sans avoir à le déposer (contrôle des circuits),
- qu'il soit amovible de son support pour les réintervention (nouveau câble),
- que l'ensemble supporte des désalignements de câbles pendant la durée de vie sans incident.

L'outillage

Il est préférable que la mise en œuvre du boîtier et surtout de son étanchéité soient réalisables avec des outils courants ce qui évite une mauvaise installation faute de matériels adéquats.

Si ce n'est pas le cas, veillez à ce que les outillages spécifiques soient clairement notés dans les instructions techniques de montage ou livrés avec le produit.



kit d'entrée de câble avec clé six pans creux spécifique

Le temps de mise en œuvre

Ce critère peut être important notamment dans le cas d'utilisation de résines polymérisables au niveau des étanchéités (à vérifier suivant les sites d'intervention).

Les conditions d'installation

Les boîtiers de dernières générations présentent généralement les caractéristiques suivantes :

- d'un poids et d'un encombrement réduits pour être facilement transportables,
- façonnables sur le chantier par un seul opérateur.

7.4.2 LES CRITERES D'EXPLOITATION

En fonctions de l'application et de la configuration du boîtier on s'intéressera à :

- l'ouverture / la fermeture du boîtier,
- l'accessibilité aux fibres,
- la mise en place de nouveaux câbles.

L'ouverture / La fermeture du boîtier

Le temps d'ouverture ou de fermeture d'un boîtier n'est pas très important si on le compare au temps global d'une intervention :

Exemple d'une intervention en chambre sur un câble 12 fibres (à titre indicatif)

Opération	Temps
Réouverture du boîtier	10 mn
Installation d'un nouveau câble	2 h
Epissurage	3 h
Étanchéité sur le nouveau câble	20 mn
Fermeture du boîtier	10 mn
Étanchéité du boîtier (contrôle)	20 mn

Par contre il sera intéressant de :

- ne pas avoir à refaire ou changer le joint corps, couvercle du boîtier,
- de rétablir l'étanchéité sans outillage spécifique,
- de pouvoir la contrôler (présence d'une valve en standard).

L'accessibilité aux fibres

Suivant l'organiseur et le mode de gestion cette opération sera plus ou moins délicate.

Accès aux fibres en passage :

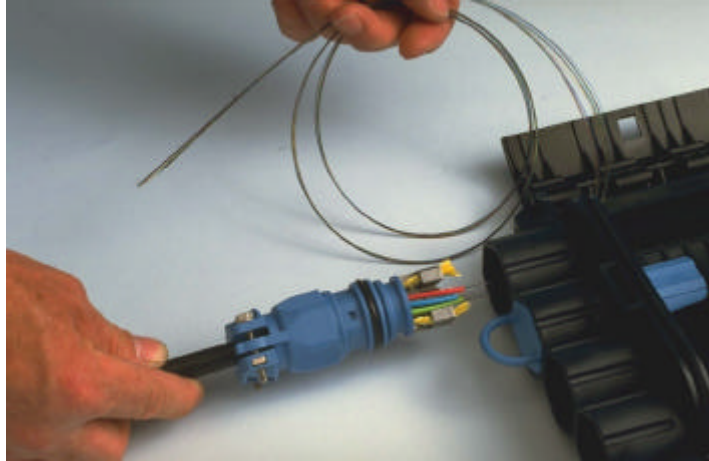
Pour établir un nouveau circuit il peut être nécessaire de délover les éléments en réserve afin d'en prélever un. Si cette opération est normale pour l'application, il est conseillé, dès l'installation, d'ouvrir les éléments non coupés et de ranger les fibres dans des cassettes d'attente.

Les matériaux des enveloppes des éléments (ou tubes) ne sont pas faits pour être lovés et délovés sans courir le risque de pliure (effet de paille) ou de rupture.

Les micromodules sont certainement plus pratiques dans cette utilisation.

La mise en place d'un nouveau câble

Cette opération est toujours délicate compte tenu de la présence de fibres en service. L'intervention se fera d'autant plus facilement que la zone d'ancrage des câbles sera vaste et bien conçue ou que toutes les opérations sur le câble seront réalisées à l'extérieur du boîtier.



Mise en place d'une entrée de câble avec son amarrage sur un boîtier

7.4.3 LE REPERAGE DES CIRCUITS

Comme pour le répartiteur les circuits doivent être repérés dans le boîtier de raccordement :

Quelques principes :

Avant l'amarrage

- identification du câble par étiquette sur gaine.

Cassettes : chaque cassette portera plusieurs indications :

- son numéro dans l'organiseur,
- le ou les numéros des éléments arrivants,
- les numéros des épissures.

Des repères ou des cassettes de couleur peuvent éventuellement aider à l'identification (un tube une couleur).

7.5 LES TESTS

Il est important que la conception du boîtier de raccordement soit validée par des tests de qualification qui sont représentatifs des différentes étapes de la vie du produit :

- qualification en sortie d'usine,
- test dynamique des liaisons durant les différentes interventions,
- tenue aux conditions environnementales.

8 CONNECTIQUE ET RACCORDEMENT

Les composants connectiques élémentaires mis en oeuvre dans l'infrastructure réseau sont :

- des connecteurs à grand nombre de manœuvres,
- des épissures, mécaniques ou par fusion.

8.1 TYPE DE CONNECTIQUE :

Plusieurs critères conduisent au choix de la connectique :

- qualité optique : pertes d'insertion ou affaiblissement, taux de réflexion,
- type de verrouillage : encliquetable (« push-pull »), à visser ou à baïonnette,
- méthodologie de montage de la fiche sur la fibre : standard ou rapide.

Bien souvent, le type de connectique côté équipement est imposé par la carte d'interface ou carte réseau du système de transmission utilisé.

Le type de connectique côté réseau passif (côté câble) est laissé au choix de l'utilisateur et/ou de l'administrateur de réseau, en fonction des critères énumérés ci dessous.

Les connecteurs

Les principaux types de connecteurs rencontrés dans les réseaux à fibres optiques monomodes sont les suivants, par ordre d'apparition sur le marché :

Technologie	Verrouillage	Modularité	Type d'embout	Type de polissage	Pertes d'insertion normalisées	Taux de réflexion normalisé
FC/PC	à visser	simplex	cyl. Céramique dia. 2,5 mm	droit	0,5 dB	-35 dB
ST ou STII ®	baïonnettes	simplex	cyl. Céramique dia. 2,5 mm	droit	0,5 dB	- 30 dB
SC/PC	encliquetable	simplex, duplex	cyl. Céramique dia. 2,5 mm	droit	0,5 dB	- 35 dB
OPTOCLIP2 ®	encliquetable	simplex	fibre à fibre avec gel	droit	0,5 dB	- 55 dB
EC	encliquetable	simplex, duplex	sphère cône à membrane	oblique	0,5 dB	- 55 dB
E 2000	encliquetable	Simplex, duplex	cyl. Céramique dia. 2,5 mm	oblique	0,5 dB	- 35 dB
SC/APC	encliquetable	simplex, duplex	cyl. Céramique dia. 2,5 mm	oblique 8° ou 9°	0,5 dB	- 55 dB
FC/APC	à visser	simplex	cyl. Céramique dia. 2,5 mm	oblique 8° ou 9°	0,5 dB	- 55 dB
MU (Mini-SC)	encliquetable	simplex	cyl. Céramique dia. 1,25 mm	droit / oblique	0,5 dB	- 35 dB / - 55 dB
LC	à languette	simplex, duplex	cyl. Céramique dia. 1,25 mm	droit / oblique	0,5 dB	- 35 dB / - 55 dB

L'utilisation des connecteurs décrits dans le tableau permet tous les types d'applications télécoms à hauts débits, à l'exception du connecteur ST. En effet, le connecteur ST peut être utilisé sur des fibres monomodes mais il manque de fiabilité au niveau de la connexion (embout optique non flottant), ce qui le rend incompatible avec les applications télécoms à très hauts débits.

En tout état de cause, sur un même réseau, il est recommandé d'utiliser un seul et même type de connecteur aux points de brassage. Seuls les raccordements aux utilisateurs pourront être différents et pourront amener l'utilisateur à utiliser des cordons mixtes (fiche différente à chaque extrémité).

Les principales tendances :

Les connecteurs de type SC/APC et FC/PC sont les connecteurs les plus couramment déployés dans les réseaux optiques européens depuis 1995, à la fois côté répartiteur de brassage et côté équipement.

Les nouvelles technologies émergentes :

Les connecteurs MU et LC sont les prétendants au remplacement des connecteurs actuels. D'un niveau de performance équivalent pour un volume deux fois plus petit, ils s'imposent naturellement sur les équipements de nouvelle génération pour le gain de place qu'ils permettent d'obtenir sur une carte optoélectronique. Leur utilisation dans les répartiteurs de brassage reste toutefois peu fréquente aujourd'hui. Le MU et le LC existent en finition PC (taux de réflexion de -35 dB) et en finition APC (taux de réflexion de -55 dB).

A noter qu'il existe également des solutions de raccordement multifibres de type « réglette » ou sur base de ferrule MT multivoie, mais celles-ci ne trouvent que peu d'applications dans les architectures de réseaux traditionnelles.

8.2 UTILISATION DE FIBRES G652 OU G655

En règle générale, les connecteurs énumérés ci-dessus sont aussi bien adaptés pour les fibres au standard G652 que pour les fibres dites « à dispersion non-nulle » G655.

On notera cependant que les performances obtenues lors d'accouplement de cordons ou pigtaills G652 avec G655 dépendront principalement des caractéristiques optiques et géométriques des fibres en vis à vis. Il est fortement recommandé de ne pas interconnecter des fiches montées sur des fibres de natures différentes.

8.3 METHODOLOGIE DE MONTAGE D'UNE FICHE :

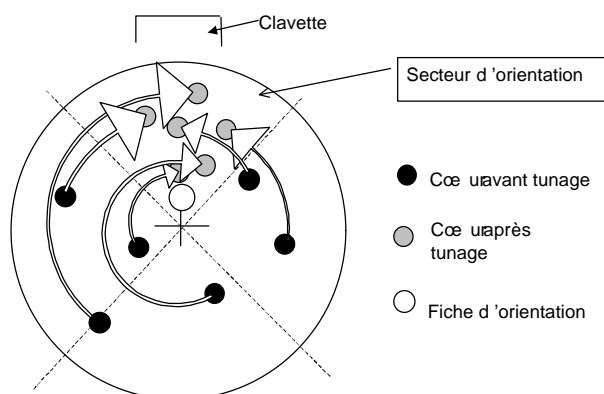
La méthode standard consiste à résiner la fibre à l'intérieur de la fiche par polymérisation à chaud, puis à réaliser un polissage sur machine ou manuel. Cette méthode convient surtout pour la fabrication de cordons multimodes ou monomodes en usine, alliant faible coût et fiabilité.

Les méthodes dites « rapides » existent soit à base de collage à froid, ou à base d'opérations simplifiées de type serti/polé ou serti/clivé, ne nécessitant pas d'apport extérieur d'énergie. Chacune apporte un degré de flexibilité différent. Elles conviennent surtout pour le câblage de fiches sur site, essentiellement sur fibre multimode à ce jour.

8.4 CONNECTIQUE AJUSTEE (« TUNED ») OU ORIENTEE :

Il existe une méthode normalisée d'optimisation des performances des connecteurs. Elle se traduit par une diminution considérable des pertes d'insertion obtenues par brassage sur un ensemble de cordons ou pigtaills. Cette amélioration est exprimée en pourcentage de fiches raccordées dont la valeur d'affaiblissement est inférieure à une sanction normalisée. En d'autres termes, elle permet d'obtenir des connecteurs beaucoup moins atténuants et donc d'obtenir de meilleurs bilans de liaison. Elle se justifie pleinement dans le cas des réseaux de télécommunications longues distances ou des réseaux de vidéocommunications.

Le principe d'ajustement consiste à orienter les « défauts » d'excentricité (entre le cœur de la fibre et l'embout optique céramique), de façon à ce que ces défauts soient dans un même secteur d'orientation. Ce secteur est repéré par la clavette du connecteur et défini dans la norme IEC 61300 – 2 – 241. Après orientation, les affaiblissements dus aux distances entre les cœurs des fibres en vis à vis deviennent plus faibles (moyenne, écart type, valeurs maximales sont divisés par deux).



Principe d'ajustement suivant secteur d'orientation

On pourra se reporter aux normes IEC ou CECC suivantes qui expriment précisément les niveaux de performances obtenus par type de connecteurs optimisés ou ajustés. A ce jour, les besoins en connectique ajustée concernent principalement l'interface SC/APC.

Type	Normes IEC	Normes CECC
SC/PC simplex standard		CECC 86265-802
SC/PC simplex ajusté	IEC 60874 – 14 – 5	CECC 86265-806
SC/APC 8° simplex standard		CECC 86265-804
SC/APC 8° simplex ajusté	IEC 60874 – 14 – 9	CECC 86265-805
FC/PC simplex standard		CECC 86115-802
FC/PC simplex ajusté		CECC 86115-803
FC/APC 8° simplex standard		CECC 86115-804
FC/APC 8° simplex ajusté		CECC 86115-805

8.5 CONNECTIQUE A FAIBLE TAUX DE REFLEXION :

Les connectiques bénéficiant d'un faible niveau de réflectance inférieur à -55 dB telles que le SC/APC par exemple sont particulièrement recommandées dans le cas des réseaux de vidéocommunications et des réseaux de télécommunications à très hauts débits supérieurs à 2,5 Gbits.

Spécificités liées à l'utilisation de la connectique SC/APC

L'interface SC/APC standard internationale utilisée notamment en France est caractérisée par un angle de polissage de 8°. Toutefois, on peut noter qu'il existe une version SC/APC 9° normalisée qui offre un meilleur taux de réflexion. Cette version à 9° est utilisée quasi exclusivement en Allemagne et aux Pays Bas.

Les fiches SC/APC existent avec embout céramique de type « step » ou « conique ». Les normes IEC ou CECC listées ci-dessus définissent les paramètres géométriques de la face optique à respecter quelque soit le type d'embout, pour s'assurer de l'intermariabilité des différentes sources de connecteurs SC/APC. Pour respecter les conditions d'intermariabilité, trois critères sont retenus : le rayon de courbure, le dôme offset, l'intercut qui sont définis par la norme IEC 61300 – 3 – 15.

8.6 RACCORDEMENT DES CABLES SUR SITE

On peut choisir de monter les connecteurs directement sur le câble, mais dans le cas des réseaux à fibres optiques monomodes, on préfère actuellement utiliser des concepts de précâblage plus ou moins poussés qui permettent de s'affranchir de cette opération, et surtout qui permettent d'obtenir une meilleure qualité/fiabilité des extrémités optiques (notamment pour les connectiques hautes performances qui requièrent un montage en usine).

On notera pour mémoire dans un ordre d'intégration croissante :

- épissurage de pigtaills élémentaires,
- épissurage ou branchement de têtes de câble préconnectorisées.

Le concept peut être optimisé par l'utilisation de techniques de raccordement de masse pour la connectique (fiches multivoies), pour le câble (câbles à rubans de fibres) et pour l'épissurage (soudeuse ruban). Il s'agit là d'une alternative intéressante qui mérite d'être étudiée en terme de coûts et d'optimisation du temps d'installation sur site.

Les épissures.

Les épissures mécaniques ou par fusion (arc électrique) peuvent être mises en oeuvre sur l'infrastructure.

La méthode d'épissurage par fusion est principalement utilisée pour le raccordement des câbles en ligne, en chambre souterraine ou en aérien, et pour le raccordement des câbles ou pigtaills dans les répartiteurs de brassage. Elle nécessite un équipement coûteux mais elle donne des raccordements très fiables et robustes.

Les épissures mécaniques sont quant à elles utilisées plutôt dans le cas d'interventions rapides ou pour la réparation provisoire d'un lien optique. Certains modèles sont réutilisables une dizaine de fois. L'outillage est simple et peu onéreux.

9.1 GENERALITES

D'une manière générale, les règles de mise en oeuvre auront pour objet d'éviter la dégradation des caractéristiques de transmission du support fibre optique lors des étapes d'installation.

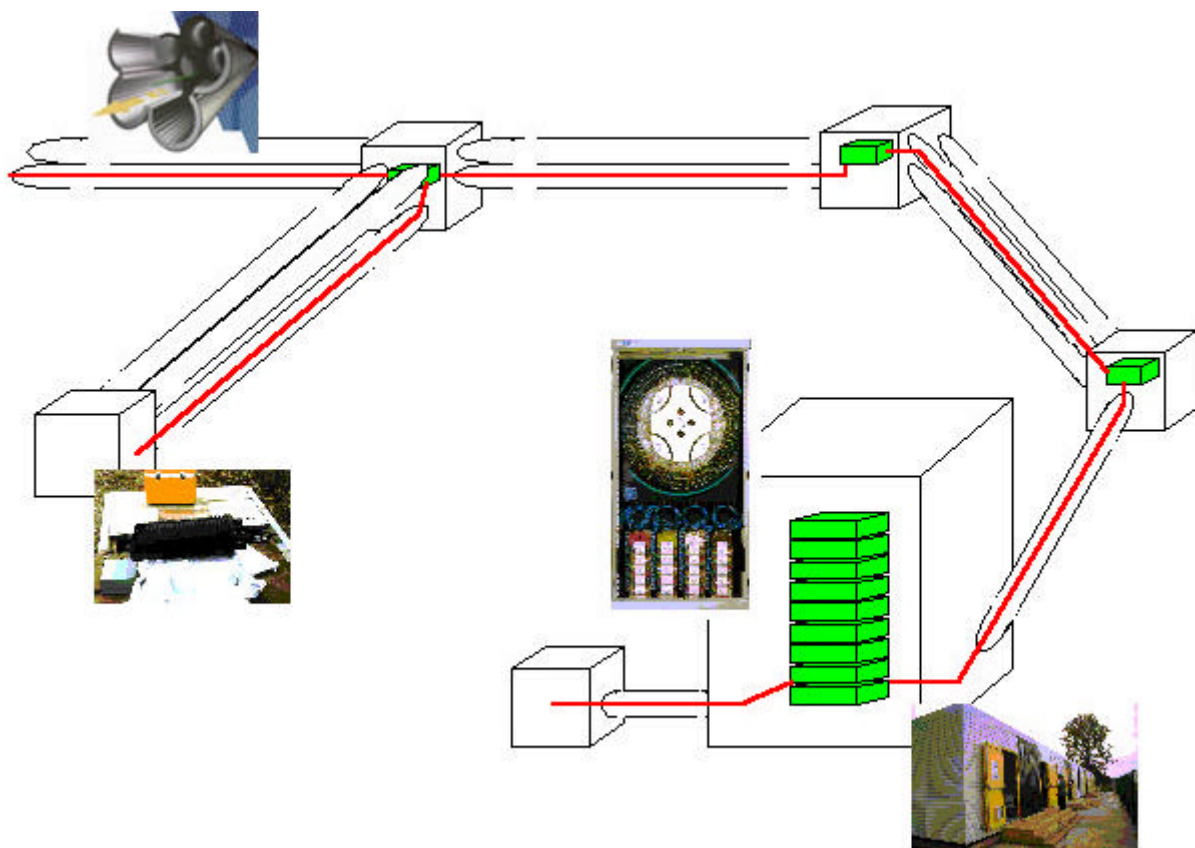
Celles ci peuvent généralement être séquencées et réparties en phases de :

- transport et stockage des câbles et matériels de ligne,
- pose et installation des câbles dans ou sur leurs supports,
- raccordements des câbles entre eux et câblage de leurs extrémités, généralement sur une connectique.

Nous nous intéresserons, dans la suite de ce chapitre essentiellement à la phase de pose et installation du câble. Celle ci est en effet très dépendante de l'infrastructure du réseau de transport.

9.2 COMPOSANTES D'INFRASTRUCTURE

Pour le réseau longue distance, l'infrastructure est un support déterminant. Elle se compose en général d'un réseau de fourreaux dans lesquels sont posés les câbles optiques. Ces fourreaux sont interconnectés par des chambres qui abritent les boîtiers de raccordement. Ce réseau aboutit périodiquement dans un POP (Points de Présence Opérateurs) ou un shelter, locaux techniques télécoms où les câbles optiques sont connectés pour être raccordés sur les équipements télécoms (Terminaux ou Amplificateurs).



9.3 DEFINITION DES CHAMBRES

9.3.1 CAS GENERAL

Les chambres sont en béton armé et préfabriquées en usine.

Elles sont :

- soit standard de type L3T, L4T, L5T, L6T ou K2C conformes à la norme NF 98 050,
- soit plus profondes de 20 cm. Elles sont alors dénommées L3TR, K2CR,... La profondeur intérieure (entre dessus de radier et dessus de tampon) est ainsi, par exemple, de 90 cm +/-2cm pour les L3TR et de 95 cm +/- 2 cm pour les K2CR.

Les faces latérales intérieures possèdent des supports d'équerres.

9.3.2 CAS PARTICULIERS

Les chambres peuvent être ferraillées et coulées en place.

9.3.3 TAMPONS

Les tampons sont en fonte GS 500-7 selon ISO 1083.

Les charges d'essai sont de 400 kN pour les chambres installées sous chaussée et de 250 kN pour toutes les autres.

Les tampons sont verrouillés par vis inoxydables M12 ou M14 pas à gauche avec têtes spéciales.

Lorsque plusieurs tampons 250 kN sont nécessaires pour fermer une chambre, un seul est verrouillé (les autres ne pouvant être enlevés qu'après celui-ci).

Cette dernière disposition peut être appliquée aux tampons de 400 kN.

9.3.4 GRILLES DE PROTECTION

Toutes les chambres sont équipées de grilles de protection en partie supérieure.

Les grilles sont conçues et dimensionnées pour résister à la chute d'un tampon fonte d'une hauteur de 30 cm.

9.3.5 PRISES DE TERRE

Certains câbles comportent une armature métallique.

Chaque chambre de raccordement comportant au moins un tel câble doit être équipée de sa propre prise de terre en vue de la protection des personnes. La valeur de la prise de terre doit être inférieure à 50Ω.

La prise de terre est généralement constituée d'une cablette cuivre de 25 mm², d'environ 15 m de long, d'un piquet de terre galvanisé si nécessaire et d'une barrette de terre à l'intérieur de la chambre.

9.3.6 UTILISATION DES CHAMBRES

Chambres de raccordement

Chaque chambre de raccordement ne contient qu'une boîte d'épissure.

Chambres de lovage

Les chambres de lovage sont définies en fonction des besoins particuliers de chaque projet. Elles sont destinées à faciliter les raccordements ultérieurs.

Elles sont semblables aux chambres de raccordement.

Chambres de tirage

Le critère principal du choix de leur implantation est le besoin de leur présence en certains points du linéaire pour permettre le tirage ou le portage des câbles, passage de pont, forage dirigé...

9.4 TYPES DE FOURREAUX

Les tubes seront en général en PEHD, de la qualité requise pour un enfouissement direct, résistant avec leurs raccords à la pression effective du compresseur utilisé (12 bars est la limite usuelle en cas de soufflage portage).

Les caractéristiques des fourreaux sont:

- la qualité du PE, qui conditionne leur bonne tenue mécanique à la pression
- les diamètres intérieurs et extérieurs du fourreau – les plus couramment utilisés dans les infrastructures actuelles sont des fourreaux de \varnothing 33/40 mm (\varnothing_{int} 33 mm et \varnothing_{ext} 40 mm). Des recherches sont en cours pour le développement d'infrastructures fondées sur des mini tubes de \varnothing 10/12 mm dans un tube de \varnothing 40 mm. Ces produits doivent trouver leurs applications notamment en milieu urbain. Le diamètre du fourreau doit être cohérent avec le diamètre du câble posé dedans. En cas de soufflage portage, l'opération sera optimisée pour un ratio : ($\varnothing_{\text{int fourreau}} / \varnothing_{\text{ext câble}}$) de l'ordre de 2 à 2,5,
- le coefficient de frottement "conduite -câble", dont les valeurs doivent être à priori les plus faibles possibles,
- la nécessité ou non d'une lubrification – tube sec.

9.5 CONFECTION DES TRANCHEES ET MISE EN PLACE DES FOURREAUX

Les fourreaux doivent être posés avec une couverture minimum de 80 cm, dans un lit de sablon ou de terre criblée. Un grillage avertisseur de couleur verte est posé 30 cm au-dessus des fourreaux.

Suivant l'environnement, il existe différents moyens pour réaliser la tranchée, par exemple :

- Le terrassement manuel :
Coûteux et lent, il est nécessaire à proximité d'autres réseaux, ou quand l'accès d'engins de terrassement est impossible.
- Le terrassement à la pelle mécanique:
La dimension de l'engin utilisé est fonction de l'environnement. Ce type de terrassement est largement utilisé en zone urbaine.

- Le terrassement à la trancheuse:
Ce type de terrassement est réservé à des zones non encombrées. Il permet une bonne productivité, et réduit l'apport de matériaux de remblai. Il existe des trancheuses à roue et à chaîne de toutes dimensions.
- Le terrassement à la sous-soleuse :
Il s'agit d'un mode de terrassement réservé à de grands linéaires, en terrain rural, libre de tout obstacle.

Cas particuliers :

Il existe des cas où l'ouverture d'une tranchée ne peut être envisagée, tels que :

- route à grande circulation, autoroute,
- voie ferrée,
- canal, rivière,
- revêtement ne pouvant être reconstitué de façon satisfaisante...

Il est dans ces cas pratiqué, soit :

- un fonçage-tubage. Cette technique est limitée à des longueurs réduites, et en tir rectiligne,
- un forage dirigé. Cette technique permet des forages supérieurs à 100 m, avec des contournement d'obstacle.

9.6 SPECIFICATION D'INSTALLATION

Afin de réduire les risques, il est souhaitable qu'une règle d'installation soit établie, soit par l'utilisateur, soit par un bureau d'études, soit par l'installateur, et qu'elle soit acceptée par l'ensemble des acteurs. Cette spécification a pour but de formaliser un certain nombre d'éléments contractuels et de décrire sans ambiguïté les étapes, les règles de mise en œuvre que l'on souhaite voir appliquer, les contraintes et niveaux de performance associés à respecter et enfin les méthodes qui seront utilisées pour les vérifier.

Les paragraphes suivants fournissent, pour chacune des phases d'installation évoquées, les éléments permettant d'établir cette spécification d'installation.

9.6.1 TRANSPORT ET STOCKAGE

D'une manière générale, le conditionnement prévu par le constructeur sera conservé depuis la sortie d'usine jusqu'à utilisation du produit. Un contrôle visuel sera effectué avant stockage.

Le stockage se fera dans un local prévu à cet effet, respectant notamment les conditions d'environnement (température, humidité, ...) requises par les produits.

9.6.2 PLAN DE POSE, PLAN DE PIQUETAGE, ELEMENTS D'INSTALLATION.

Un document devra, sur l'ensemble du réseau à installer, préciser les parcours, les points d'aboutissement des liaisons, ainsi que les chambres de tirage et d'épissurage et les éventuels raccordements (boîtes de jonction, dérivation), détailler les supports existants ou à créer, ainsi que le mode de pose envisagé pour chaque tronçon.

Les conditions d'accès et de sécurité seront également précisées.

Le parcours initialement proposé devra être examiné en fonction des performances des câbles retenus et des modes de pose envisagés. Les critères déterminants sont l'effort maximal de traction

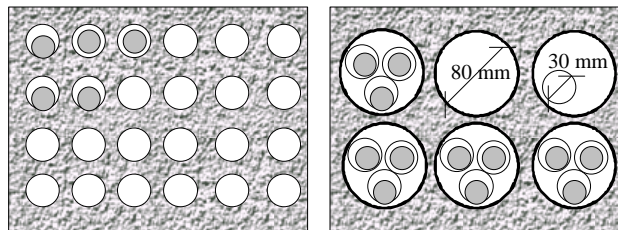
que peut supporter le câble, les rayons de courbure statiques et dynamiques à ne pas dépasser, le poids linéique du câble, les conditions d'environnement (feu, fumées, gaz dégagé, etc.).

Une prédiction théorique des efforts attendus pourra être faite (calculs-types existant pour les poses en conduite et en aérien) et pourra conduire à une redéfinition des parcours ou de la nature du câble.

Pour les poses en conduite il sera utile d'avoir une idée du coefficient de frottement attendu entre câble et conduite.

Compte tenu des contraintes mécaniques imposées aux câbles dans l'environnement extérieur, les infrastructures (fourreaux, chambres de tirage) doivent être conçues pour respecter un rayon de courbure minimal de 300 mm.

Les câbles ont un diamètre extérieur maximal de 20 mm. Pour faciliter les actions de tirage, on privilégiera, quand cela est possible, le passage dans des fourreaux individuels de \varnothing 30 à 40 mm, éventuellement regroupés dans des alvéoles plus importantes (sous-fourètement).



Pour les poses en aérien, la compatibilité avec les pinces d'ancrage ou autres éléments de suspension utilisés devra avoir été vérifiée.

Enfin, des réserves de câbles de longueurs suffisantes sous forme de boucles seront disposées dans les chambres de raccordement et à d'autres endroits spécifiés par le plan d'installation, en vérifiant la possibilité de bonne exécution des raccordements et celle des réinterventions éventuelles.

NB : Il sera toujours prévu un fourreau de réserve, appelé fourreau de manœuvre.

9.6.3 CONDITIONS D'ENVIRONNEMENT DE POSE:

Les températures de pose en extérieur seront typiquement limitées entre 0°C et 45°C.

9.7 MODE DE POSE DES CABLES

Les câbles seront installés dans les fourreaux, soit en utilisant des techniques de tirage traditionnelles soit en utilisant des techniques de soufflage ou portage.

9.7.1 POSES DE CABLES AU TREUIL :

Elle se pratique de moins en moins, notamment sur les réseaux très longues distances, les méthodes de portage ou de soufflage remplaçant progressivement les treuils quasiment partout.

Seuls d'éventuels câbles de \varnothing supérieur à 36 mm et armés en conséquence devront encore être tirés au treuil, le portage et le flottage ne disposant pas de machines pour des câbles supérieurs à 36 mm.

Signalons que dans certains pays où la main d'œuvre est bon marché, on pratique encore couramment la pose à la main, malgré les dangers que ces multiples manipulations représentent pour l'intégrité du câble.

Une telle opération devra être menée et contrôlée pour limiter, dans des conditions compatibles avec les caractéristiques du câble :

- l'effort dit en continu, c'est à dire l'effort de traction exercé en tête de câble pendant l'opération,
- l'effort de décollage, c'est à dire l'effort maximal exercé au démarrage ou à la reprise de l'opération.

L'effort de traction pour les câbles à fibres optiques monomodes est généralement de 220 daN en continu et 270 daN en reprise.

Recommandation pour le tirage pour des longueurs comprises entre 0 et 900 m.

Utiliser obligatoirement un treuil équipé d'un système enregistrant les forces de traction et limitant les seuils à ne pas dépasser.

Recommandation pour le tirage de longueurs supérieures à 900 m.

Utiliser obligatoirement un treuil équipé d'un système enregistrant les forces de traction et limitant les seuils à ne pas dépasser.

Pose d'entraîneurs mécaniques intermédiaires dès que la valeur de traction risque d'être dépassée.

Recommandation pour le tirage dit « boucle de tampon ».

Cette méthode sécurise le tirage des câbles de grande longueur (> 900 m) et supprime les problèmes de synchronisation.

Dans une chambre intermédiaire, à l'aide d'un entraîneur, le câble sort à l'extérieur et fait une boucle afin de reprendre la conduite suivante. Il est nécessaire de disposer d'un système de guidage au niveau de cet entraîneur.

9.7.2 POSE DU CÂBLE PAR SOUFFLAGE:

Cette méthode aussi appelée "push-pull" consiste à pousser le câble mécaniquement tout en le tirant par la tête à l'aide d'un furet étanche poussé par de l'air comprimé. Même si l'expérience a démontré qu'elle était moins performante et moins fiable que le portage, cette méthode est toujours pratiquée aujourd'hui.

Cette méthode est toujours fondée sur la traction du câble par sa tête et ne fait qu'atténuer les inconvénients dus à la friction du câble contre le fourreau grâce à la poussée mécanique au départ. Particulièrement sur tracés tortueux, le système reste limité au maximum de traction toléré par le câble et au maximum de pression d'air admissible dans la gaine.

Par rapport au portage:

- les exigences portant sur les fourreaux sont les mêmes. L'étanchéité reste de mise,
- le lubrifiant devra être du même type que pour la traction et sera utilisé en quantité bien plus importante,
- le compresseur pourra être de capacité (débit) inférieure, mais de pression identique (12 bars), le besoin de refroidissement de l'air comprimé subsiste.

9.7.3 POSE DU CÂBLE PAR PORTAGE (AIR):

C'est sans doute la méthode la plus pratiquée de par le monde aujourd'hui. Le câble est toujours poussé mécaniquement, mais contrairement à la méthode précédente, il n'est pas tiré par la tête à l'aide d'un furet, mais par un très fort courant d'air qui passe à grande vitesse le long du câble et qui par sa viscosité l'agrippe sur l'ensemble de sa surface pour le tirer à l'intérieur de sa gaine protectrice. Cette méthode est de loin la moins contraignante pour le câble qui n'est exposé qu'à de très faibles tractions. C'est sûrement, avec le « flottage », la méthode qui assure la plus grande sécurité pour le câble.

Impact sur les câbles:

Le procédé s'applique à tous les câbles à fibres optiques de \varnothing 2 à 36 mm max.

Compte tenu de la faible tension subie, les câbles n'ont besoin d'aucune armature. Le peu de rigidité que peut offrir un câble non-armé sera compensé par l'adjonction d'un furet non-étanche appelé "tête sonique" attaché à la tête du câble et dont l'unique tâche est de maintenir cette dernière au centre du fourreau par une traction limitée à environ 10 kg.

Plus la densité du câble est petite, plus la distance maximale de pose sera longue.

Plus la surface du câble sera lisse et dure (PEHD, PEMD, nylon), plus la distance de pose sera longue.

Un câble de très forte rigidité (pratiquement plus malléable à la main) ou ayant une très forte mémoire de forme aura une distance maximale de pose plus courte.

Un câble de section non-ronde pourra entraîner des fuites d'air et de pression dans la chambre d'admission de l'appareil et verra sa distance maximale de pose diminuée

Un câble à armature non-concentrique peut provoquer des frictions plus importantes contre la gaine et verra ses distances de pose raccourcies, mais il sera surtout un handicap à la pose d'un 2^{ème} câble et à son usage dans les accessoires de réserve de loyage.

Impact sur les fourreaux :

Tout fourreau lisse ou strié longitudinalement, de stries peu profondes, étroites et bien taillées (sans bavures), peut convenir pour autant qu'il soit en PEHD et résiste à une pression intérieure de 12 bars pendant au moins une heure en continu.

Les gaines en PVC conviennent mal à la méthode. Compte tenu des collages successifs tous les 6 ou 10 m, l'étanchéité n'est que rarement garantie, et le PVC, résistant mal à la chaleur, éclate ou sort de ses manchons de raccordement.

Les fourreaux non prélubrifiés doivent être lubrifiés avec un lubrifiant peu visqueux conçu spécialement pour le portage, à raison d'environ 1/2 litre par km (jusqu'à 1 l pour les plus gros diamètres). Sans lubrification la perte de longueur de pose maximum peut atteindre jusqu'à 40 %. Les lubrifiants conventionnels utilisés pour le tirage ne conviennent pas. Les gaines prélubrifiées avec un lubrifiant solide ont, sans lubrification supplémentaire, des performances nettement supérieures aux autres tant qu'ils n'ont pas été lubrifiés. Toutefois, l'expérience montre qu'une lubrification supplémentaire, à demi-dose, des gaines prélubrifiées en allongeait encore la distance maximale de pose.

Le rapport D/d (Diamètre intérieur de gaine sur diamètre du câble) idéal est de l'ordre de 2 à 2,5 fois. Plus ce rapport sera élevé, plus la distance maximale de pose sera longue, mais plus aussi le risque de flambage augmentera et rendra obligatoire l'usage de la tête sonique.

Pose de câbles multiples :

Lors de la pose d'un 2^{ème} (voire 3^{ème}) câble dans le même fourreau, il sera préférable que ce dernier soit au moins du même diamètre que le premier. Il est aussi recommandé que l'addition des diamètres des 2 câbles ne dépasse pas les 70 % du diamètre intérieur de la gaine.

Si ces 2 conditions sont acquises, on peut espérer atteindre avec le 2^{ème} câble la moitié de la distance de pose maximale du premier. Dans le cas contraire, la distance atteinte sera inférieure.

Lors de la pose simultanée de 2 câbles, ceux-ci se comportent comme un seul câble et la distance maximale de pose n'est pas réduite.

La pose du fourreau en pleine terre (sans sous-tubage dans des conduits de 100/110 mm) ne demande pas de précautions particulières : étirage, alignement. En effet les ondulations sinusoïdales inhérentes au fourreau, de même que des changements, même fréquents, de direction n'affectent que modérément (contrairement aux autres méthodes de pose) la longueur maximale possible de pose.

Précautions à prendre pendant la mise en place :

Lors de la pose du fourreau d'une chambre de dérivation à l'autre, il est impératif que les fourreaux dépassent les murs des chambre d'au moins 15 à 20 cm, afin de pouvoir y connecter les appareils.

Avant la pose d'un câble, il y a lieu de s'assurer que le fourreau est propre et vide de toute eau. Cela se fait par envoi de tampons de mousse à l'aide d'air comprimé. Cette pratique donne la garantie que le tube est continu du début à la fin. Certains, surtout quand ils travaillent sans tête sonique, se contentent du passage du tampon et renoncent aux exercices de calibrage, et de test sous pression de la gaine, quand ils ne sont pas imposés. Un contrôle systématique coûte beaucoup en temps et en argent. Quand le tampon est passé, même si ce n'est pas garanti, un câble nu a beaucoup plus de chances de traverser un tube légèrement aplati, que si il est muni d'un furet ou d'une tête sonique.

Pour éviter des ennuis, il est vivement recommandé de boucher hermétiquement les fourreaux à leurs deux extrémités, avant comme après la pose du câble.

Il est utile de rappeler ici que :

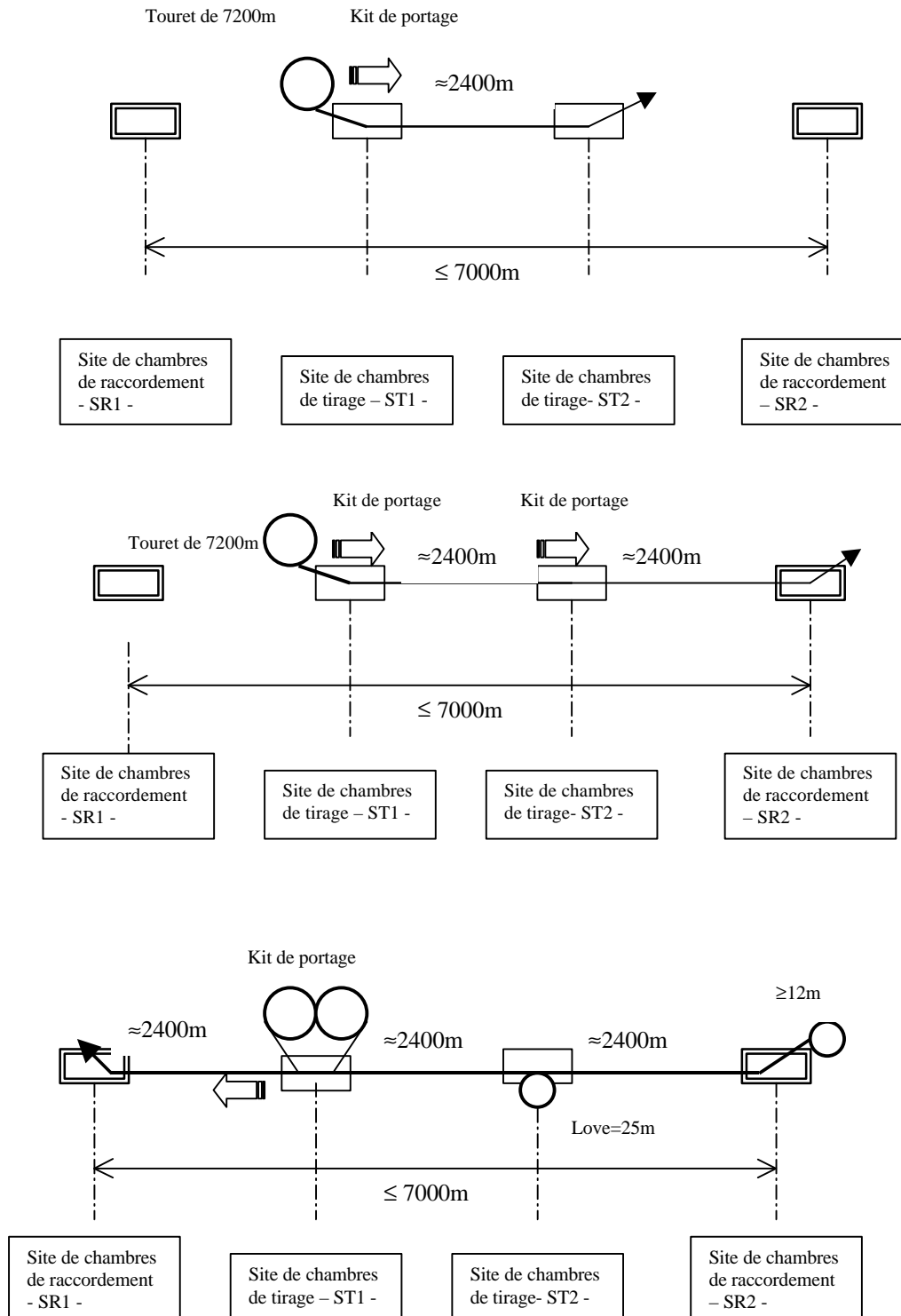
- cette méthode permet l'usage de plusieurs appareils en cascade (série) permettant la pose de câbles longs (>12 km) en une seule opération,
- les accessoires de réserve de lovage permettent d'envoyer depuis un point intermédiaire du tracé un câble d'abord en partie dans une direction, le reste ensuite dans l'autre direction. Ces appareils de stockage intermédiaire suppriment la dépose en 8 sur le sol. Le câble ne se salit plus, est stocké rapidement sur un espace très restreint et, surtout, n'est plus manipulé à la main,
- il est toujours préférable d'envoyer un câble dans le sens général de la descente et que les fabricants d'appareillage commercialisent des programmes de simulation, permettant d'optimiser préalablement la solution pour la pose.

Caractéristiques du compresseur :

Pression exigée	12 bars (maximale et idéale), minimum 8 bars. La perte de longueur maximale de pose est d'environ 10% par bar en moins
Débit minimum nécessaire, selon diamètre intérieur de la gaine :	
27/32 mm	85 l/sec
33/40 mm	125 l/sec
42/50 mm	175 l/sec

L'air comprimé fourni par le compresseur ne doit contenir aucune huile et être le plus sec possible. La température de l'air comprimé entrant dans la machine doit être la plus basse possible et en aucun cas dépasser les 60° C. Il est vivement recommandé, quand le compresseur n'en est pas déjà muni, de placer un refroidisseur d'air sur le tuyau le reliant à l'appareil.

Exemple de mise en place d'un portage sur 7200m en 3 étapes :



9.7.4 POSE DU CABLE PAR FLOTTAGE (EAU) :

Cette méthode est identique à celle du portage, seul change le médium. L'eau, dont on utilise la viscosité, remplace l'air. Les appareils de pose sont sensiblement les mêmes à l'exception de quelques accessoires supplémentaires et une pompe à eau à débit variable se substitue au compresseur d'air.

Avantages de la méthode :

Elle rend possible de plus longues portées, jusqu'à 3, voire 4 fois celles réalisables par le portage.

Pas d'échauffement exagéré dû au compresseur.

Lors de la pose d'un 2^{ème}, voire 3^{ème} câble, les performances du flottage sont nettement supérieures à celle du portage.

Désavantages de la méthode :

Amener l'eau (environ 1-2 litres par mètre courant de gaine), la récupérer et finalement assécher le conduit.

Le poids spécifique du câble doit être voisin de celui de l'eau, lorsqu'il s'en éloigne trop, les frictions, soit sur le haut du fourreau, soit sur le bas, diminuent très sérieusement les performances de la méthode.

De grandes différences de niveau en cours de trajectoire (>120 m) peuvent amener des pressions d'eau (>12 bars) mettant en péril la résistance des gaines jusqu'à empêcher l'usage de la méthode, même à la descente.

Une réserve est à faire sur les incidences que pourraient entraîner à long terme sur la durée de vie du câble des résidus d'eau dans la gaine, comme à l'intérieur du câble lui-même.

Pour le reste, les exigences de la méthode sont très semblables à celles du portage.

10.1 INTRODUCTION

Le présent chapitre n'a pas pour vocation de reprendre l'ensemble des tests courants réalisés sur les infrastructures optiques (réflectométrie, photométrie). Ces différentes procédures sont développées dans le guide « Mesures et recette d'un câblage optique » du Cercle C.R.E.D.O. Ce chapitre développe les spécificités liées au support des applications à très haut débit et des applications DWDM des réseaux longues distances.

10.2 LA CARACTERISATION DES INFRASTRUCTURES

La caractérisation des infrastructures doit permettre de vérifier, à priori, que le niveau de performance des liaisons fibres optiques, permet le support des nouvelles applications, en particulier le DWDM. L'affaiblissement de bout à bout, la réflexion optique aux interfaces du réseau et la dispersion à la mise en service du système sont des tests essentiels qui doivent être réalisés sur le terrain. Ceci est d'autant plus important que l'on peut souhaiter utiliser la technologie WDM avec des fibres existantes, qui ne sont pas nécessairement optimisées pour cette application.

10.2.1 LA CARACTERISATION DE LA PMD

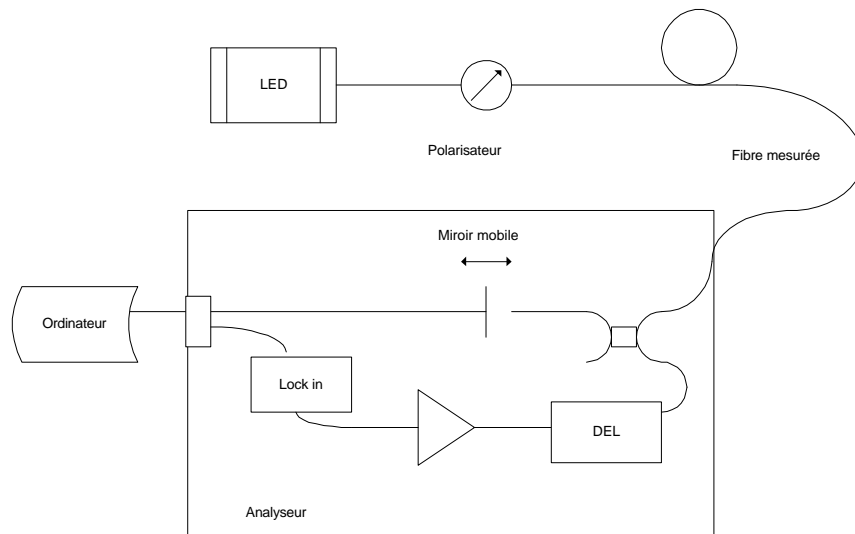
Un nouveau défi se pose maintenant aux opérateurs de réseaux : mesurer et contrôler les problèmes liés à la dispersion. La dispersion des modes de polarisation de la lumière (PMD) a un effet négatif sur les performances du système. Ceci est spécialement vrai maintenant que les taux de transmission atteignent des niveaux qui s'expriment en gigabit par seconde.

L'association américaine de l'industrie de télécoms (TIA) a fait le nécessaire pour valider les quatre méthodes de test - Jones Matrix Eigen (JME), Wavelength Scanning (WS), méthode de la sphère de Pointcarré et la méthode interférométrique qui permettent de faire des mesures précises de ce phénomène complexe. En pratique, sur le terrain, les appareils utilisent principalement la méthode interférométrique.

Les fabricants d'équipement de test ont dû se concentrer pour développer une nouvelle génération d'appareils de mesure adaptée à la réalité du terrain. Les premiers analyseurs PMD étaient en effet destinés à un environnement de laboratoire. Ces analyseurs, encombrants, présentaient des limites d'utilisation pour les applications de terrain et n'étaient pas conçus pour tester des fibres d'une longueur ≥ 200 km.

L'introduction de la méthode interférométrique a permis de réaliser des mesures de la PMD sur le terrain. La méthode (GAP) interférométrique montre très vite son intérêt, en produisant des mesures fiables, rapides et non dépendantes des conditions environnementales. Ce type de test est fondé sur l'interféromètre de Michelson et utilise une source LED polarisée large bande.

La méthode interférométrique est une des techniques proposée par l'ITU G650, « Definition and test methods for the relevant parameters of single mode fiber », avril 1997. Cette méthode présente une grande dynamique, la possibilité de mesurer des délais élevés et elle est insensible aux vibrations.



L'hypothèse d'incohérence de la lumière d'analyse impose d'utiliser une source disposant d'une largeur spectrale la plus grande possible. Une DEL remplit la double condition de présenter une largeur spectrale conséquente et une dynamique suffisante. La source est munie d'un polariseur. L'analyse et la détection sont réalisées à l'aide d'un interféromètre de Michelson doté d'une photodiode. L'enveloppe des franges mesurées par l'interféromètre donne la fonction d'autocorrelation de l'intensité $I(t)$. Le PM delay est donné par l'écart type de la fonction d'autocorrelation.

L'avantage de cette méthode est qu'elle fournit une mesure directe et rapide de la PMD dans une fenêtre de télécommunications. En outre sa mise en œuvre est relativement facile. Son inconvénient principal est qu'elle est sensible aux perturbations extérieures.

Quelques éléments d'appréciation quantitatifs :

En bout de chaîne, la résultante du phénomène PMD (qui correspond à une unité de temps et se mesure en ps) sur le signal de ligne numérique se traduit par un effet de glissement (« jitter ») sur les fronts du signal. Ce « jitter » est d'autant plus préjudiciable que le débit du signal numérique est élevé.

A un débit donné, pour que la transmission reste peu affectée par ce phénomène, on estime que la valeur totale de PMD sur l'ensemble de la chaîne doit rester très inférieure à la période (BT) du signal (environ $1/10$ à maximum $1/4$ de la période du signal).

Sur la base d'une limitation de la valeur de PMD à $1/10$ de la période de signal (BT), on peut estimer, à différents débits, la distance maximale de réseau de fibre tolérée.

Débit en ligne	Période (BT)	Budget max PMD	Distance maximale admissible selon la valeur de PMD de la fibre		
			1 ps/km ^{1/2}	0,5 ps/km ^{1/2}	0,2 ps/km ^{1/2}
2,5 Gbit/s	400 ps	40 ps	1600 km	6 400 km	40 000 km
10 Gbit/s	100 ps	10 ps	100 km	400 km	2 500 km
40 Gbit/s	25 ps	2,5 ps	6 km	25 km	156 km

Ainsi, si le réseau est amené à supporter un débit de 10 Gbit/s, sur une infrastructure fibre de PMD à 0,5 ps.km^{1/2}, la couverture maximale de liaison sera de 400 km. Attention, il s'agit ici de la longueur de liaison maximale entre deux points de régénération électriques (deux terminaux DWDM). Elle inclut toute la chaîne des amplificateurs optiques.

Il s'agit bien entendu d'une estimation, correspondant à une application numérique. Dans le cas d'une application « analogique » (distribution vidéo large bande par exemple), le phénomène est encore plus sensible.

10.2.2 LA CARACTERISATION DE LA DISPERSION CHROMATIQUE

La dispersion chromatique est exprimée en ps/nm.km. Plusieurs méthodes permettent de mesurer cette valeur. Celle retenue est la méthode fondée sur le déphasage différentiel (Differential Phase Shift Method) encore appelée aussi méthode de la double démodulation. C'est la méthode de référence proposée par la norme UIT G650 « Definition and test methods for the relevant parameters of single mode fiber ».

Le principe de la méthode est de mesurer le délai de groupe différentiel pour deux longueurs d'onde séparées par un intervalle variable et d'obtenir ainsi une mesure directe de la dispersion chromatique. La mesure du délai est réalisée en mesurant la déviation de phase de la modulation sinusoïdale d'intensité d'une source de longueur d'onde variable injectée dans la fibre par rapport à un signal de référence.

10.3 LA RECETTE DES SYSTEMES

Les critères de sélection pour les composants des systèmes DWDM sont très exigeants. Plus précisément, les canaux doivent être parfaitement stables tout au long de la chaîne DWDM. Bien que l'on puisse se fier aux tests réalisés par les fabricants, l'installation d'un composant sur le terrain peut dégrader les performances du système de façon significative. De plus, les caractéristiques d'un composant peuvent varier de façons inattendues une fois assemblé dans le réseau.

Les instruments de test doivent être adaptés aux équipements complexes qui sont à vérifier sur le terrain.

La validation d'une chaîne de transmission inclut des tests unitaires conduits sur chaque composant de la liaison durant la phase d'installation et des tests « système » portant sur l'ensemble de la liaison installée et sur le niveau de fonctionnalité et de performance de l'ensemble.

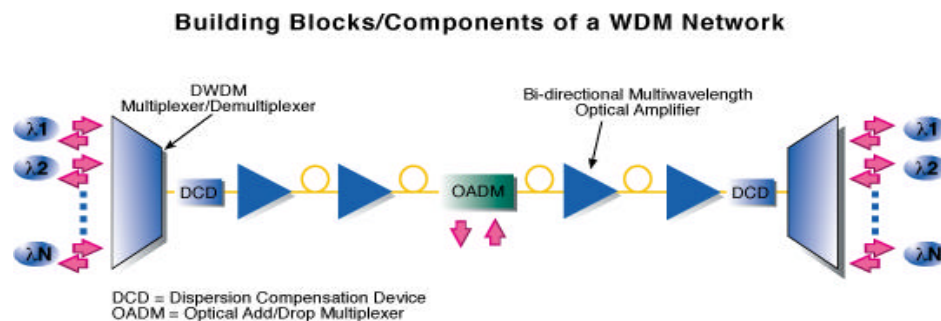
En cas de maintenance sur une liaison, il peut être nécessaire de reconduire les tests unitaires au niveau de l'équipement incriminé.

10.3.1 TESTS UNITAIRES DURANT L'INSTALLATION ET LA MAINTENANCE

L'évolution rapide de la technologie du WDM et le besoin de l'appliquer rapidement sur le terrain a conduit au développement de nouvelles procédures de test. Pour obtenir les meilleures performances de l'ensemble, il est essentiel de vérifier le bon fonctionnement des composants du réseau au cours de l'installation et de prévoir des procédures de maintenance appropriées. Ceci doit garantir le fonctionnement optimum du système.

La mesure des paramètres optiques de la liaison est essentielle pour s'assurer que chaque canal émet à la longueur d'onde spécifiée et que tous les éléments du réseau ont une bonne distribution spectrale conforme aux spécifications du système. Avant la mise en exploitation et par la suite de façon régulière, il faut vérifier que les performances de la liaison sont conformes au cahier des charges.

Tel qu'illustré à la figure suivante, le montage d'une ligne optique est représenté par différentes composantes tels que l'émetteur et le détecteur, les multiplexeurs et démultiplexeurs (*mux/demux*), les amplificateurs optiques, les multiplexeurs optiques à insertion/extraction, et la fibre elle-même. Chacune de ces composantes possède ses propres standards de performance. Toutefois, chacun joue un rôle critique dans le rendement général du système.



L'ensemble des tests décrits ci-dessous est réalisé au moment de l'installation du système par l'installateur. Ils sont également contrôlés de manière contradictoire à la recette de l'installation. Plusieurs paramètres critiques sont alors mesurés et enregistrés. Ils permettent de vérifier les performances à la mise en service et de fournir une référence pour les dépannages ou les évolutions.

Émetteurs

Il est recommandé d'utiliser un ondemètre (*Wavelength Meter*) afin de caractériser la précision en longueur d'onde et la stabilité de la source à long terme. Il est également possible d'utiliser un analyseur de spectre optique (OSA) pour mesurer les niveaux des modes latéraux (*SMSR*) et un mesureur de réflexion (*ORL Meter*) pour mesurer les pertes dues aux réflexions engendrées par les connecteurs.

Multiplexeurs et démultiplexeurs pour DWDM

Les multiplexeurs et les démultiplexeurs sont des éléments qui exigent une grande précision spectrale. Par conséquent, le centre de la longueur d'onde, la bande passante, les pertes, le bruit et la linéarité de chacun des canaux doivent être mesurés. Il est aussi très important de s'assurer que les canaux sont bien isolés et qu'il n'y a pas de diaphonie (*crosstalk*). Ces paramètres peuvent être mesurés en utilisant un OSA ou un ondemètre multi-canaux (*MWM, multi-wavelength meter*).

Amplificateurs optiques à fibre dopée à l'erbium (EDFA)

Du fait de la non-uniformité d'amplification dans la fenêtre spectrale opérationnelle, le spectre de gain de l'amplificateur à fibre dopée à l'erbium (EDFA) est généralement ajusté. Le gain d'un amplificateur doit être caractérisé en fonction des longueurs d'onde (chaque longueur comprise dans la fenêtre d'amplification est amplifiée différemment). Ceci permet d'évaluer la linéarité du gain en puissance et d'assurer que la distribution du gain est uniforme et équilibrée dans le spectre. Puisque certaines parties de l'EDFA peuvent être sensibles à la polarisation, il est préférable de mesurer la dispersion des modes de polarisation (PMD).

Multiplexeurs optiques à insertion/extraction (OADM)

La principale fonction de l'OADM est l'insertion et/ou l'extraction de longueurs d'onde spécifiques, sans interférence avec les autres longueurs d'onde qui passent dans le filtre. Il y a trois possibilités de test : entrée/sortie, entrée/extraction et insertion/sortie. La perte d'insertion de la bande passante, les pentes de bruit, l'isolation des canaux, les pertes réfléchissantes et les pertes de polarisation doivent être mesurées. L'analyseur de PMD sera utilisé pour mesurer les pertes dues à la polarisation alors qu'un ondemètre sera utilisé pour caractériser les autres types de perte.

10.3.2 TESTS SYSTEME - TESTS DE TRANSMISSION

Ces contrôles concernent l'ensemble du système afin de s'assurer que ses performances sont conformes aux spécifications.

Les paramètres critiques du système sont différents de ceux des composants individuels. Les conditions environnementales, la distance optique et physique, les connecteurs et cordons peuvent créer des anomalies. La performance globale d'un réseau WDM dépend de plusieurs facteurs majeurs, incluant le niveau de puissance de sortie du laser, le nombre de canaux, l'espacement inter canal, le gain des amplificateurs, les récepteurs et le type de fibre optique.

Les tests bout à bout d'un système, incluant toutes les composantes fonctionnant simultanément sur la ligne optique, sont indispensables. On doit mesurer la puissance optique et le rapport signal sur bruit pour chaque canal. Ces tests peuvent être réalisés à l'aide d'un ODSA ou d'un ondemètre multi longueurs d'onde.

La performance des émetteurs et des récepteurs, la qualité des amplificateurs optiques, l'ordre de grandeur des erreurs de transmission et l'accumulation de tous les autres effets du WDM doivent être mesurés à l'étape de l'évaluation de la qualité de transmission. Le nombre de canaux utilisables dans le système WDM est limité par les échanges inter-canaux, la déviation spectrale des composantes, les non-linéarités de la fibre et la tolérance à l'alignement des filtres en cascades. À cette étape, il est très important de connaître le rendement total du système en mesurant les longueurs d'onde, l'isolement et la déviation spectrale des canaux, le rapport signal sur bruit, l'espacement entre les canaux, la perte d'insertion, le bruit causé par les amplificateurs et la linéarité du signal amplifié.

Le test le plus significatif pour le fonctionnement et la qualité du système demeure la mesure du taux d'erreurs (BER), qui réalise, pour chaque canal de transmission, la synthèse des différents tests précédents.

10.4 LA SUPERVISION DES RÉSEAUX DE FIBRES OPTIQUES

En raison de la grande capacité de transmission inhérente aux réseaux de fibre optique, un arrêt du système peut rapidement devenir extrêmement pénalisant.

La solution pour éviter un tel arrêt, est d'installer un système de surveillance de fibres à distance (RFTS). Les RFTS constituent une méthode proactive et efficace pour tester les fibres optiques, puisqu'ils permettent de surveiller les fibres de façon continue. Ils peuvent ainsi identifier les points de dégradation avant que se produise une réelle perte de transmission.

Ces systèmes associent une base réflectométrique à un système de commutation et effectuent des tests cycliques sur des fibres d'un même câble ou de câbles différents, à des longueurs d'onde différentes selon que les fibres testées sont actives (en exploitation) ou passives. Les résultats de ces tests sont automatiquement comparés à des « références » établies à la recette des liaisons et stockées dans le système de supervision. En cas d'écart entre les mesures et les « références », le système génère une alarme vers le Centre de Contrôle.

Lorsque survient une cassure ou un défaut dans un réseau, le RFTS déclenche un signal d'alarme et une équipe de réparation peut être immédiatement envoyée à l'endroit précis du problème.

10.4.1 LA PUISSANCE DU SYSTÈME CARTOGRAPHIQUE

Le RFTS s'appuie sur un système cartographique qui permet de localiser les défauts.

La distance optique à laquelle se situe un défaut permet au RFTS d'extrapoler la distance physique réelle en calculant le rapport optique-physique à chaque repère du réseau. La distance optique peut être extrêmement différente de la distance physique pour de nombreuses raisons :

- excès de fibre laissé dans les boîtes de raccordement ou sur les poteaux,
- fibres non-linéaires le long des rues,
- dénivellation (montagnes ou collines, etc.),
- facteur hélicoïdal.

Bien entendu, il y aura quand même une certaine incertitude quant à la position exacte du défaut en raison de la précision de l'OTDR et du nombre de repères inscrits dans la base de données du système d'information géographique (GIS). Toutefois, plus vous disposez de points de repère, meilleure sera la précision obtenue, puisque celle-ci diminue l'incertitude du rapport optique-physique de chaque segment.

11.1 A.R.T

Autorité de Régulation des Télécommunications.

7 Square MAX HYMANS
75730 PARIS CEDEX 15

11.2 DOCUMENTS C.R.E.D.O

Réf	Titre de l'ouvrage
03/96 - 001 FR	Guide de Câblage fibre optique C.R.E.D.O
06/97 - 002 FR	Glossaire du Câblage optique C.R.E.D.O
03/98 - 003 FR	Mesures et Recettes d'un Câblage optique C.R.E.D.O
09/98 - 004 FR	Réalisation d'un réseau fibre optique destiné aux collectivités locales
09/99 - 005 FR	Optique les acteurs, connaissances et compétences

11.3 NORMES ET STANDARDS

Réf	Objet
CEI/IEC 793	Fibres et câbles optiques
CEI/IEC 794	Essais
CEI/IEC 874	Connecteurs pour fibres optiques
UITG650	Définition des paramètres et Spécification des méthodes de test pour les fibres optiques
UIT G652	Spécification de la fibre monomode
UIT G655	Spécification des fibres monomodes à dispersion décalée non nulle
UIT G671	Caractéristiques des composants et sous-systèmes optiques
UIT G957	Spécification des interfaces optiques pour les équipements SDH
UIT G826 M2101	Critères d'évaluation de la qualité d'une transmission numérique
CEI 60332-1 EN 50265.1 EN 50262.1 NFC 32-070 2 .1 UL 1581 vW1 ISO6722	Normes et essais relatifs à la non propagation de la flamme
CEI 60332-3 NF C 32-070 2.2 IEEE 383	Normes et essais relatifs à la non propagation de l'incendie
CEI 61034 NF C 20-902	Normes et essais relatifs à l'émission de fumées
CEI 60754.1 NF C 20-454	Normes et essais relatifs à l'émission de gaz toxiques
CEI 60754.2 NF C 32-074 NF C 20-453	Normes et essais relatifs à l'émission de gaz corrosifs
NF C 32-062	Normes et essais relatifs à l'émission de substances halogénées

Acronym	Définition
ADM	Add Drop Multiplexer
APS	Automatic Protection Switching
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BER	Bit Error Rate
CD	Chromatic Dispersion
DCF	Dispersion Compensating Fibre
DCU	Dispersion Compensation Unit
DSF	Dispersion Shifted Fibre
DWDM	Dense Wavelength Digital Multiplexing
EDFA	Erbium Dope Fibre Amplifier
FEC	Forward Error Correction
FITL	Fibre In The Loop
FTTB/cab	Fibre To The Building/ Cabinet
FTTH	Fibre To The Home
FWM	Four Wave Mixing
ITU	International Telecommunication Union
MAN	Metropolitan Area Network
NZ-DSF	Non Zero - Dispersion Shifted Fibre
NE	Network Element
OADM	Optical Add Drop Multiplexer
OC-3	155 Mbit/s Sonet Transmission Rate
OC-12	622 Mbit/s Sonet Transmission Rate
OC-48	2,5 Gbit/s Sonet Transmission Rate
OC-192	10 Gbit/s Sonet Transmission Rate
OLA	Optical Line Amplifier
OLTE	Optical Line Terminating Equipment
OMS	Optical Multiplexer Section
OMSP	Optical Multiplexer Shared Protection
OPS	Optical Protection Switching
OTDR	Optical Time Domain Reflectometry
OXC	Optical Cross Connect
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy
PMD	Polarization Mode Dispersion
PON	Passive Optical Network
POP	Point Of Presence
QoS	Quality Of Service
SAE	Secondes Avec Erreurs
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SGE	Secondes Gravement Erronées
SONET	Synchronous Optical NETwork
SPM	Self Phase Modulation
STM-1	155 Mbit/s Sonet Transmission Rate
STM-4	622 Mbit/s Sonet Transmission Rate
STM-16	2,5 Gbit/s Sonet Transmission Rate
STM-64	10 Gbit/s Sonet Transmission Rate
TDM	Time Domain Multiplexer
TMN	Telecommunications Management Network
UIT	Union Internationale des Télécommunications
WAN	Wide Area Network
WDM	Wavelength digital Multiplexing
XPM	Cross Phase Modulation

LISTE DES ADHERENTS* AU CERCLE C.R.E.D.O.



ACOME
ACTERNA
Aéroports De Paris
ADVA
ALTEIS
AGILENT
APAVE
AUBAY TELECOM
CIRCET
COMOPTIC
DGA
DCN Brest
EDF
EI-RSI
ERECA
ESIGELEC
ETDE
FICOME
FRANCE TELECOM
GITEP
GTIE
HEC
HUBER ET SUHNER
LYCEE LE DANTEC
MB ELECTRONIQUE
MUSEE DU LOUVRE
NEOS MULTIMEDIA
QUANTE POUYET
RADIALL
RATP
RELAIS ELECTRONIQUE DEUTSCH
SAPRR
SEMALY
SNCF
SOCOTEC
TYCO – AMP et RAYCHEM

* Liste établie en date du 31/12/2000

Nous tenons à remercier tout particulièrement les sociétés suivantes et leurs représentants, pour leur contribution active et soutenue dans la rédaction de cet ouvrage :

ACTERNA	S. RUER
ACOME	S. CANDOSIN , CH. CANEPA , Y. ROUSSEL
ADVA	D. HANGEOIS
ALTEIS	C. RICHARD
AMP TYCO	CH. MASNOU
AUBAY TELECOM	E. ZAHND
CIRCET	A. LOPEZ
COMOPTIC	D. FAUVE
ERECA	B. FILLOLEAU
ETDE	J. LAVEL , L. LAPAUW
HUBER ET SUHNER	F. LEGENDRE
GTIE	F. AUDUREAU
LYCEE LE DANTEC	N. MAMALET
MARAIS	R. LACZNY
MB ELECTRONIQUE	JL. XEUX
PLUMETT	LA. MARTIN
QUANTE POUYET	J. HUGON , J. SALAUN
RADIALL	M. LAUER
RAYCHEM TYCO	J. CHOVIN
RATP TELCITE	A. UGOLINI
SNCF	N. REYNAUD , B. DESPORTES
SOCOTEC	B. MERCIER