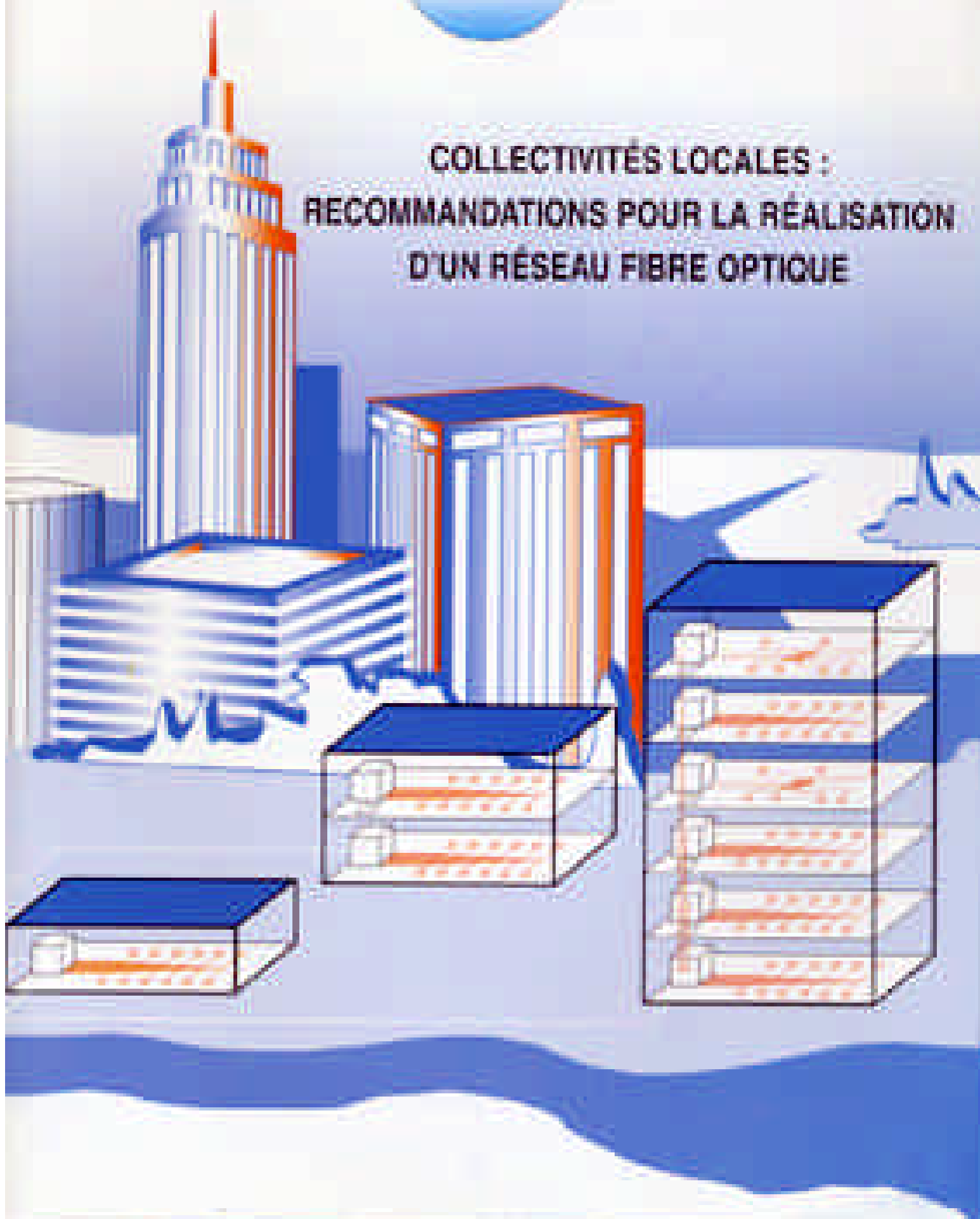


**C.R.E.D.O**

**COLLECTIVITÉS LOCALES :  
RECOMMANDATIONS POUR LA RÉALISATION  
D'UN RÉSEAU FIBRE OPTIQUE**



1. PREAMBULE	2
--------------	---

## **PREMIERE PARTIE**

---

2. INTRODUCTION	4
2.1 CADRE RÉGLEMENTAIRE	
2.2 SERVICES À DÉPLOYER	
3. RETOUR SUR INVESTISSEMENT	6
3.1 QUEL EST LE COÛT D'UN MAN ?	
3.2 RETOUR SUR INVESTISSEMENT	
4. EXPLOITATION	9
4.1 GESTION DU SUPPORT FIBRE OPTIQUE	
4.2 GESTION DES ÉQUIPEMENTS DE TRANSMISSION	
4.3 MAINTENANCE	
4.4 ORGANISATION	

## **DEUXIEME PARTIE**

---

5. ARCHITECTURE DE RESEAU	13
5.1 TYPES D'ARCHITECTURES	
5.2 PRISE EN COMPTE DE L'APPLICATION	
6. GUIDE DE CHOIX TECHNOLOGIQUES	18
6.1 LA FIBRE	
6.2 LE CÂBLE	
6.3 LES MOYENS DE RACCORDEMENT	
6.4 EQUIPEMENTS ACTIFS	
7. REGLES DE MISE EN OEUVRE	24
7.1 GÉNÉRALITÉS	
7.2 SPÉCIFICATION D'INSTALLATION	
7.3 RACCORDEMENT ET CONNECTORISATION DES CÂBLES	
8. REGLES DE CONTROLE	31
8.1 INTRODUCTION	
8.2 LES ÉTAPES DU CONTRÔLE	
8.3 SANCTIONS APPLICABLES	
8.4 RECETTE ET DOCUMENTS DE RECETTE	
9. REFERENCES	37
9.1 A.R.T	
9.2 DOCUMENTS C.R.E.D.O	
9.3 NORMES ET STANDARDS	

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.

C.R.E.D.O est structuré autour de commissions techniques spécialisées (câble, connectique, mesure, applications, standards, ingénierie, formation, réseaux étendus) qui réunissent des spécialistes du domaine en association avec les différentes parties concernées et éditent des recommandations et spécifications dans leur domaine.

L'objectif de 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, mais aussi les règles d'ingénierie et d'installation associées, les règles de contrôle (mesure), les applications et le niveau de qualification des prestataires.

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

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

Nous avons voulu à travers cet ouvrage, préciser l'intérêt et l'apport de telles installations et éclairer le Maître d'Ouvrage sur les choix technologiques qui lui permettront de pérenniser ses infrastructures et investissements.

La première partie de ce guide est destinée à sensibiliser les élus sur l'apport des technologies optiques en termes de fonctionnalités, mais également en termes financiers, tout en précisant bien la nécessité de "faire vivre" et donc de gérer ces infrastructures. Elle précise également le cadre juridique dans lequel ces réseaux peuvent être mis en oeuvre.

La deuxième partie est destinée aux services techniques et précise les règles d'architecture, les choix de technologies, leur règles de mise en oeuvre et de contrôle.

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 les prescripteurs destinés à intervenir sur ce domaine.

# PREMIERE PARTIE

---

### 2.1 CADRE RÉGLEMENTAIRE

Depuis janvier 1997, l'Autorité de Régulation des Télécommunications (ART) est compétente pour délivrer les autorisations de réseaux indépendants dans le cadre de l'article L. 33-2 du code des Postes et Télécommunications issu de la loi du 26 juillet 1996 (JO du 27 juillet 1997).

Cet article de loi complété par les dispositions des articles D. 99 à D. 99-3 et D. 99-5 du code des Postes et Télécommunications précise les conditions d'établissement et d'exploitation de ces réseaux, les possibilités de connexion avec un réseau ouvert au public, les prescriptions relatives à la sécurité publique et à la défense, et les modalités d'implantation des réseaux que doivent respecter les exploitants en matière d'environnement, d'aménagement du territoire et d'urbanisme édictées par les autorités compétentes.

Ces réseaux dont la mise en place est soumise autorisation de l'ART sont réservés à un usage privé ou partagé. Un réseau est à usage privé lorsqu'il est réservé à l'usage de la personne physique ou morale qui l'établit. Il est à usage partagé lorsqu'il est réservé à l'usage de plusieurs personnes physiques ou morales constituées en un ou plusieurs groupes fermés d'utilisateurs (GFU) en vue d'échanger des communications internes au sein d'un même groupe.

Par un tel réseau, une collectivité locale peut par exemple, relier la mairie, les écoles, les bibliothèques, les services techniques.

En revanche, elle ne peut y raccorder d'autres utilisateurs car le réseau entrerait dans ce cas dans le régime de ceux qui sont ouverts au public et qui nécessitent une demande de licence d'opérateurs de Télécommunication conformément à l'article L. 33-1 de la loi, étant bien entendu par ailleurs qu'une collectivité locale ne peut pas, au regard du code des collectivités territoriales, devenir opérateur de réseau ouvert au public.

Une collectivité locale peut, par contre, implanter sur son territoire une infrastructure de fibres optiques non activées (autrement appelées "Infrastructure passive ou Fibres nues ou Fibres noires "). Ces Fibres noires peuvent être mises à disposition des opérateurs dans des conditions transparentes et non discriminatoires.

Les opérateurs qui souhaitent s'implanter sur le site concerné ont alors la possibilité de louer l'usage de ces fibres et d'y joindre les équipements nécessaires à leur activité. Mais la collectivité locale ne peut pas retirer de la mise à disposition de ces fibres noires un revenu autre que la redevance d'occupation du domaine public.

Rappelons que dans le cadre réglementaire, les opérateurs autorisés bénéficient d'un droit de passage sur le domaine public routier et de servitudes sur les propriétés privées.

### 2.2 SERVICES À DÉPLOYER

Un réseau de télécommunications de type MAN (Metropolitan Area Network) permet de transporter trois types d'informations:

- voix (téléphone, appels d'urgence),
- données (fax, gestion technique des bâtiments),
- images (vidéosurveillance, vidéoconférence).

L'implantation d'un réseau de télécommunications de type MAN peut permettre la création de nombreux services à destination des collectivités locales, mais aussi de leurs administrés.

---

Nous présentons quelques exemples de services proposés:

- Interconnexion de différents bâtiments et échanges de données entre par exemple sur une commune, la mairie, les services techniques et les différentes annexes (écoles, crèche, bibliothèque). Cette interconnexion permet d'optimiser les coûts engendrés par des transmissions de données sur le réseau public (lignes louées).
- Télégestion des équipements situés dans différents bâtiments (détection incendie, intrusion, chauffage, vidéosurveillance etc.).
- Télégestion des équipements de type éclairage public, jets d'eau, bornes escamotables de zones piétonnes etc.
- Communication avec les administrés par l'implantation de :
  - ◆ bornes interactives d'information et mise en place d'un serveur au service des habitants.
  - ◆ panneaux d'information dynamique dans les zones publiques.
- Création d'un réseau interne et interconnexion de ce réseau avec les réseaux des grands opérateurs nationaux et internationaux. Attention toutefois à l'obtention des licences réglementaires pour réaliser ces interconnexions (licence L. 33-1 et non pas L. 33-2).
- Mise en place d'un réseau intranet au service des écoles, bibliothèques etc.

Ces quelques exemples pris dans le quotidien de la vie des communes permettront à terme :

- de rendre service aux administrés par une meilleure diffusion de l'information, meilleur accueil dans les centres administratifs.
- de faciliter la tâche des employés (élimination des va et vient, perte de temps, meilleure gestion de la téléphonie interne ).
- de rendre la ville attractive aux yeux des entreprises et des opérateurs de télécommunications qui pourront s'y implanter facilement et à moindre coût (location de fibres optiques).

Et également de réduire de façon significative les frais propres de la commune liés aux communications.

Deux arguments majeurs doivent conduire les collectivités locales à se doter de leur propre infrastructure de transmission sur fibre optique (Réseau MAN - Metropolitan Area Network).

## L'INVESTISSEMENT :

L'investissement est favorisé par la comptabilité publique, alors qu'une note de téléphone rentre dans le budget de fonctionnement, l'installation de fibres optiques rentre dans le budget d'investissement. La collectivité locale peut donc récupérer la TVA, ce qui n'est pas le cas pour les dépenses de fonctionnement.

De plus, l'investissement est souvent favorisé par diverses subventions (subventions de la Région et du Département pour une Commune, par exemple).

## LA MAÎTRISE DES COÛTS :

Le prix de la location d'une ligne de communication à un opérateur (France Telecom ou autre) dépend du débit nécessaire sur la ligne, de la longueur de cette ligne et de la politique tarifaire de l'opérateur, ce dernier paramètre étant particulièrement difficile à maîtriser dans le temps.

L'investissement dans une infrastructure fibre optique permet une bien meilleure maîtrise des coûts. La bande passante de la fibre optique est très grande, elle permet, dès aujourd'hui, de supporter plusieurs gigabits par seconde (environ 30 000 communications téléphoniques simultanées).

Le tarif est lié à l'investissement réalisé, les coûts sont donc fixes et connus à l'avance.

### 3.1 QUEL EST LE COÛT D'UN MAN ?

Le coût engendré par la mise en place d'un réseau de type MAN se décompose suivant 4 postes importants:

- ingénierie du Réseau,
- travaux d'infrastructure,
- fourniture et pose de câbles à fibres optiques et des répartiteurs,
- matériels actifs.

#### 3.1.1 INGÉNIERIE DU RÉSEAU

C'est au moment de la conception et de l'étude du réseau que divers aspects sont abordés :

- topologie : étoile, arborescence, anneau,
- types de passages utilisés,
- localisation et implantation des noeuds de réseau,
- sécurisation : cet aspect est d'autant plus essentiel que l'on envisage de louer des fibres.

Il sera alors nécessaire de bâtir le réseau à partir d'une étude de tracé et des objectifs de sécurisation à atteindre.

#### 3.1.2 TRAVAUX D'INFRASTRUCTURE

Ce poste correspond aux travaux de génie civil et peut représenter une charge importante dans le projet de réseau, par exemple, plusieurs millions de Francs.

Néanmoins, un cas à méditer est celui du réseau IRIS de la Ville de DIJON qui avait pris soin depuis plus de 20 ans de poser des fourreaux en attente à chaque fois qu'une tranchée s'effectuait.

Pour déployer 16km de câble fibres optiques, la Ville de DIJON n'a dépensé que 700kF d'infrastructures.

Par ailleurs, l'utilisation du réseau d'assainissement comme passage de câble a souvent contribué à diminuer le coût du génie civil (BESANCON, DIJON, PARIS...).

### 3.1.3 FOURNITURE ET POSE DE CÂBLES FIBRES OPTIQUES ET RÉPARTITEURS

Les câbles fibres optiques sont souvent constitués d'un assemblage de fibres multimodes et monomodes.

La capacité des câbles installés varie suivant l'utilisation et la détermination à "louer" des fibres à des utilisateurs privés :

- réseau câblé de la ville,
- opérateurs alternatifs.

Ainsi, dans les applications actuelles, on note des installations depuis une douzaine de fibres jusqu'à une centaine de fibres (Aéroport de SATOLAS).

La tendance, aujourd'hui, est d'installer des câbles à fibres de capacités bien supérieures au besoin immédiat: de 36 jusqu'à 144 fibres optiques.

Malgré le faible recul, les utilisateurs qui ont déployé un réseau fibre optique il y a un ou deux ans regrettent déjà de n'avoir pas opté pour des capacités de câbles plus importantes.

### 3.1.4 MATÉRIELS ACTIFS

Les types de réseaux couramment utilisés aujourd'hui sont ATM (BESANCON, CAEN, DIJON...), ETHERNET 100 Mbit/s ou FDDI.

Certains utilisateurs mettent en place des accès de transmission numérique sur support SDH ou PDH - G703.

Les aspects de sécurisation favorisent ATM, FDDI ou encore SDH. Leur topologie (maillage, anneau) permet d'exploiter le réseau, malgré un accident sur le câble (reconfiguration automatique).

Cela permet, dans ce cas, une intervention plus aisée des équipes de maintenance, voire même l'absence de contrat de maintenance sur l'infrastructure passive (Ville de CAEN, réseau ATM).

## 3.2 RETOUR SUR INVESTISSEMENT

Il prend en compte l'investissement engendré par la mise en place du réseau : génie civil, câbles, accessoires de réseaux, équipements de transmission.

Ce poste peut éventuellement être partagé entre plusieurs intervenants dans le cadre ou non d'un GFU (Groupe Fermé d'Utilisateurs) ou faire l'objet d'une avance sur redevance: Ville, Université, Centre Hospitalier, Conseil Général, Chambre de Commerce, Armées, etc...



Le retour sur investissement est calculé par rapport aux économies réalisées sur les locations de liens de types :

- Transfix,
- MIC/G 703,
- RNIS, etc...

et peut représenter une période de 2 à 3 ans.

Ce retour sur investissement pourra être notablement réduit dans le cas où certaines fibres optiques sont louées à des opérateurs alternatifs (environ 1 an dans le cas de la Ville de CAEN).

Le tableau suivant donne une idée d'applications réelles (les chiffres cités sont indicatifs).

SITE	ANNÉE DE CRÉATION	NOMBRE DE F.O. ET KM	TYPE DE RESEAU ACTIF	INVESTIS- -SEMENT TOTAL	DONT CABLES ET REPAR- -TITEURS	DONT GENIE-CIVIL	RETOUR SUR INVESTIS- -SEMENT
BESANCON Réseau Lumière	1995	De 8 mono + 6 multi Jusqu'à 48 mono <b>40 km</b>	ATM FDDI ETHERNET G 703	5,85 MF	N.C.	N.C.	< 3 ans
DIJON Réseau IRIS	1996	12 mono +12 multi <b>16 km</b>	ATM ETHERNET	3,2 MF	1,5 MF	700 KF	< 2 ans
CAEN	1996	16 mono <b>22 km</b>	ATM FDDI	5,5 MF	600 kF	3 MF	< 1 an
Université La Rochelle	NC	18multi+ 8 mono <b>5 km</b>	100 Base VG	1 MF	N.C.	N.C.	Financement Conseil Général
CHU SAINT- ETIENNE	NC	12 mono <b>10 km</b>	100 Mbits/s RACAL	1 MF	N.C.	N.C.	2 ans
ADP	1996	24mono <b>25 km</b>	Application SDH	3,3 MF	1,9 MF	N.C.	< 10 ans pour le câble
AEROPORT DE SATOLAS	1996	60 mono + 36 multi <b>10 km</b> 12 mono , 24 multi <b>4 km</b> 12 mono , 6 multi <b>3,5 km</b>	ATM	10 MF	4 MF	2 MF	< 10 ans

### IMPORTANT !

Attention toutefois à ne pas négliger les coûts, souvent ignorés en première approche, engendrés par la maintenance et l'exploitation de ces infrastructures. La fourniture des services précédents est associée à une notion de "qualité de service" (garantie de disponibilité du service, etc.). Le maintien de ce niveau de qualité à partir de l'infrastructure mise en oeuvre nécessite la mise en place de procédures d'exploitation, de maintenance et de gestion des clients de cette infrastructure.

La vie du réseau dépend de son exploitation. Cette exploitation technique peut être séparée en 2 pôles :

- gestion du support à fibre optique,
- gestion des équipements de transmission.

Cette gestion doit prendre en compte les raccordements, l'évolution du réseau et sa maintenance.

L'exploitation peut être réalisée par l'opérateur ou sous-traitée à des sociétés spécialisées.

Des règles doivent être établies en fonction de l'indisponibilité admise sur les liaisons. Il faut savoir que le temps moyen d'intervention et de réparation est de:

- 4 heures pour les équipements électroniques d'extrémité,
- 24 heures pour les réseaux de câbles.

Ces paramètres devront être pris en compte lors de l'étude du réseau, afin de bien définir les niveaux de sécurisation.

Un recul de 10 ans d'utilisation dans les grandes entreprises telles que RATP, France Telecom, SNCF permet, aujourd'hui d'accréditer les réseaux à fibre optique d'une grande fiabilité.

## 4.1 GESTION DU SUPPORT FIBRE OPTIQUE

La vue du réseau de câble, des têtes de câble et jarretières, établie à l'origine doit être maintenue à jour. Les plans et tables de raccordements devront être scrupuleusement le reflet de l'installation.

Les possibilités d'évolution doivent être envisagées dès la conception ainsi que les interconnexions et mutations. Ces projections paraissent parfois difficiles à établir mais il est vital que le réseau reste évolutif.

Une sécurisation à la construction du réseau permet par ailleurs une maintenance allégée tout en garantissant une fiabilité du réseau pour ses utilisateurs. Ainsi les contraintes d'intervention seront moins rigoureuses pour l'exploitant.

La sécurisation d'un réseau peut s'effectuer de différentes manières en fonction de l'architecture et de la topologie. Les solutions propres à la structure sont toutefois limitées : double routage, maillage, retournement. Ces sécurités devront être automatisées au maximum pour réduire les temps d'intervention et les coûts. La surveillance permanente des réseaux de fibres peut également être envisagée.

Les conseils d'entretien pour le réseau fibre optique sont détaillés dans le guide " Mesures et Recette d'un câblage optique " du C.R.E.D.O.

## 4.2 GESTION DES ÉQUIPEMENTS DE TRANSMISSION

La diversité des équipements impose une rigueur de choix en fonction du besoin d'exploitation et de la compatibilité souhaitée avec les réseaux extérieurs.

La plupart des équipements sont supervisés et configurables à distance. Le superviseur est capable de renseigner l'exploitant sur l'état de son réseau en temps réel ce qui lui permet de réagir voire d'anticiper en terme de maintenance.

L'organisation peut être gérée grâce au superviseur qui permet de configurer les accès ou extensions. Les réseaux multifonctions (SDH, ATM) ou réseaux dédiés (CCTV, CATV) possèdent pour la plupart ces facilités.

Le niveau de fiabilité et disponibilité attendu du réseau pourra nécessiter la mise en place de contrats ou procédures de maintenance spécifiques pour les équipements (constitution de lots de maintenance, extension de garantie, etc.)

## 4.3 MAINTENANCE

### 4.3.1 CAUSES DE DÉFAILLANCE

La fibre optique est unanimement reconnue comme un support de transmission fiable. Les dérives des performances des supports peuvent être dues soit au vieillissement exceptionnel d'un composant, soit à l'amplification de défaut existant lors de la recette initiale mais n'ayant pas été décelé, soit, dans la grande majorité des cas, à des modifications de l'environnement (VRD, chemin de câble, étanchéité, travaux divers, pelleteuse):

**câbles** Les éventuelles dégradations peuvent être dues, soit à la détérioration de la gaine protectrice (rongeurs, travaux), soit à des contraintes (mécanique, chimique, humidité).

**fibres** Les risques liés à la fibre sont en fait liés aux câbles (notamment au problème de pénétration d'humidité et contraintes mécaniques).

**épissures** Les épissures mécaniques utilisent des gels ou liquides d'indice pouvant voir leur indice de réfraction évoluer. Les épissures soudées ne peuvent théoriquement pas subir de dégradation de vieillissement. Les risques éventuels proviennent de soudures défectueuses non détectées à la recette.

**connecteurs** Les pollutions au niveau des embouts de connecteurs peuvent être sources de dégradations ; les salissures concernent plutôt les connecteurs en attente que les connexions établies. Il est très important de respecter les règles d'obturation des raccords sur les connexions en attente.

L'utilisation d'une jarretière défectueuse (connecteur non poli) risque d'engendrer une détérioration irréversible du connecteur sur lequel elle est connectée. Cette dégradation peut également intervenir lors du mariage de deux connecteurs non compatibles (polissages PC et APC).

**terminaisons et contenants intermédiaires** Les contraintes mécaniques (diamètre de lovage, pincement, etc.) occasionnées dans les têtes de câbles ou les protections d'épissure, sont susceptibles d'engendrer un vieillissement prématuré de la fibre (fatigue statique). Les défauts d'étanchéité des contenants peuvent être cause de pénétration d'humidité et de dégradation de la fibre.

#### 4.3.2 LES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

La dégradation d'un composant s'accompagne d'un accroissement de l'affaiblissement par rapport à la valeur constatée à la recette. La maintenance préventive a pour but de suivre l'évolution de l'affaiblissement des liens optiques et des points suspects de la recette.

Deux méthodes s'appliquent à ce test:

##### Les réseaux passifs:

On dédie à la maintenance une ou deux fibres dans chaque lien optique; périodiquement, on compare les affaiblissements relevés avec ceux de la recette. Une dérive importante entre deux relevés entraînera une investigation complémentaire et la recherche d'éventuels défauts. On pourra à titre d'exemple, s'appuyer sur le tableau suivant qui définit les dérives autorisées pour les différents composants:

	Dérive maximale autorisée		
	Elément de liaison	Multimode	Monomode
<b>Cas 1</b> Liaisons "longues " discrimination possible des "constituants" sur le réflectogramme.	Connecteur	< 0,3 dB	< 0,3 dB
	Epissure	< 0,1 dB	< 0,1 dB
	Fibre	850 nm < 0,2 dB/Km	1310 nm < 0,1 dB/Km
		1300 nm < 0,2 dB/Km	1550 nm < 0,1 dB/km
	Défauts localisés	< 0,1 dB	< 0,1 dB
<b>Cas 2</b> Liaisons "courtes"	Lien complet (bilan de liaison)	10% avec un maximum de 0,5 dB	0,6 dB (pour une liaison de 100 m par exemple)

Les contrôles sur liens opérationnels nécessitent des déconnexions et reconnexions physiques des circuits et ne recueillent pas l'unanimité des acteurs de la profession.

##### Les réseaux intégrant une surveillance en ligne:

Ces systèmes travaillent généralement en même temps que l'application opérationnelle mais à une longueur d'onde différente de celle-ci. L'utilisation du multiplexage en longueur d'onde permet d'effectuer des mesures comparatives sur la "fibre en service" sans dégradation de l'application.

Des systèmes actifs permettent également de détecter l'apparition d'humidité à l'intérieur des câbles comportant des éléments métalliques.

Ces différentes méthodes concernent davantage les réseaux d'opérateur, mais elles peuvent néanmoins être appliquées à certains tronçons sensibles du réseau.

#### 4.4 ORGANISATION

Le maintien du niveau de qualité de service à partir de l'infrastructure mise en oeuvre nécessite a priori la mise en place de procédures d'exploitation et de maintenance prenant en compte les différents éléments détaillés précédemment. Plusieurs choix s'offrent à la collectivité locale, parmi lesquels:

- mise en place d'une structure d'exploitation / maintenance interne,
- contrat de maintenance confié à une entreprise extérieure.

Dans tous les cas, l'organisation de la " vie " de l'exploitation de l'infrastructure représente un coût à intégrer dans les bilans financiers.

# DEUXIEME PARTIE

---

Les informations transmises sur les réseaux sont, ou seront d'une importance vitale pour les sites raccordés. Le dysfonctionnement de ces réseaux peut conduire à des pertes d'exploitation et financières importantes.

Les performances actuelles des équipements de transmission, la redondance des fonctions électroniques permettent de garantir la fiabilité du réseau, sous réserve d'une bonne étude et d'un bon dimensionnement de l'architecture physique de transmission (réseau de câbles).

La définition du besoin ne doit pas occulter la maintenabilité du réseau et sa sécurisation. Elle doit les prendre en compte, comme base de départ, en les considérant comme le garant de la disponibilité et de la fiabilité du réseau.

Lors de l'étude d'ingénierie de câblage (définition de l'architecture du réseau), les structures retenues devront permettre l'évolution vers la fourniture éventuelle d'autres services et le raccordement d'autres sites, y compris d'un type nouveau (prise en compte de plans d'urbanisme, évolution de la population, futurs services multimédias).

L'implantation des sites techniques, des points de raccordement, des stations secondaires éventuelles, des points de branchement, le nombre et la capacité des câbles utilisés donneront toute la souplesse nécessaire au réseau et permettront d'avoir un taux de disponibilité important et une maintenance simplifiée.

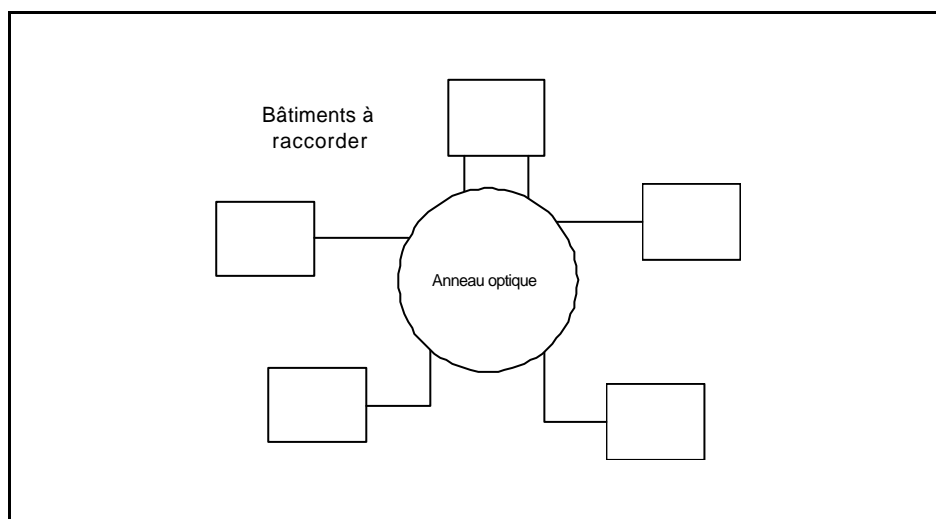
Le type d'architecture dépend en premier lieu des infrastructures physiques existantes; on cherchera en effet à optimiser les infrastructures de génie civil, tout en permettant de couvrir les applications recherchées.

## 5.1 TYPES D'ARCHITECTURES

La topologie d'un réseau est décrite par le type de connexion physique des intersections du réseau. En général on distingue trois topologies de base à savoir :

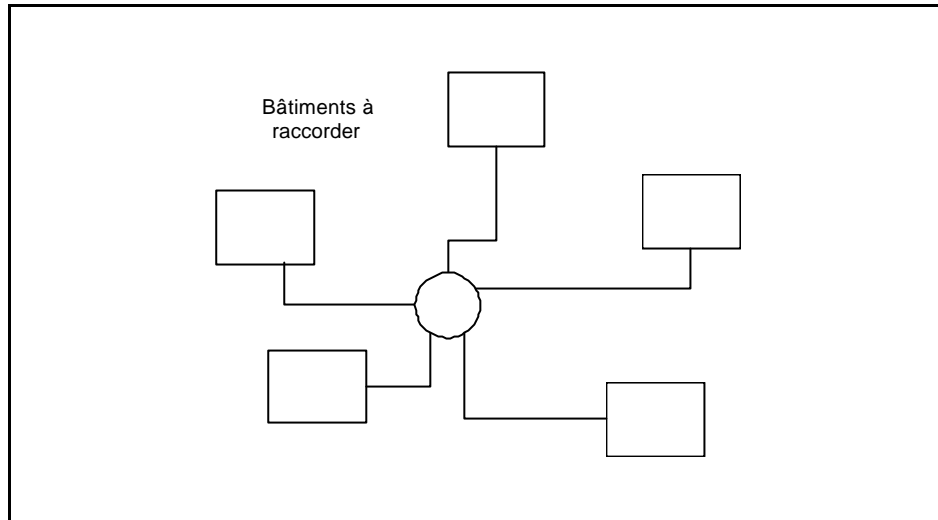
### 5.1.1 ANNEAU

Le câblage liant les différentes intersections du réseau a la forme d'un anneau. Cette architecture permet une sécurisation optimale du réseau.



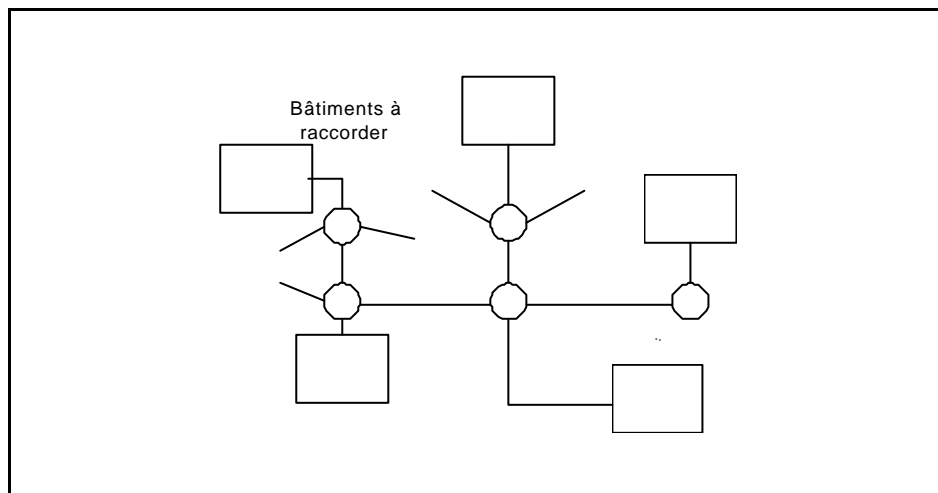
### 5.1.2 ETOILE

A partir d'un point central (concentrateur), une liaison point-à-point est établie entre les intersections du réseau.



### 5.1.3 ARBRE

Une structure d'arbre est obtenue lorsque les concentrateurs sont disposés en cascade par des liaisons point-à-point.



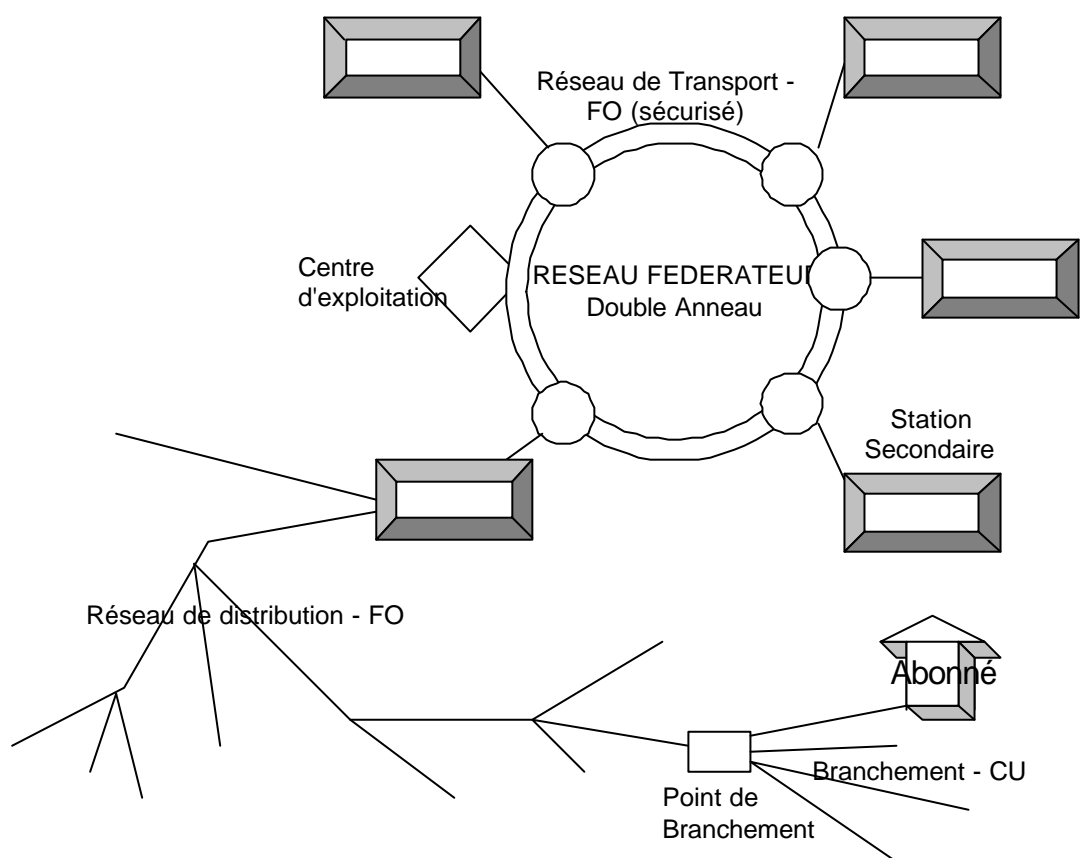
Les réseaux ne sont toutefois pas limités à une topologie. La probabilité de rencontrer plusieurs architectures différentes dans un réseau grandit en fonction de la complexité de celui-ci.

Un réseau WAN (Wide Area Network) ou MAN (Metropolitan Area Network) réalise souvent une interconnexion de réseaux locaux LAN (Local Area Network); ces différents réseaux peuvent avoir une architecture différente.

D'une manière générale, le choix d'un type d'architecture par rapport à un autre est un compromis entre des critères techniques, économiques, de gestion et de sécurisation du réseau.

En tout premier lieu, l'architecture dépendra des infrastructures physiques existantes (passages, fourreaux, ouvrages). Les choix seront effectués pour optimiser les infrastructures de génie civil tout en permettant de couvrir les applications visées.

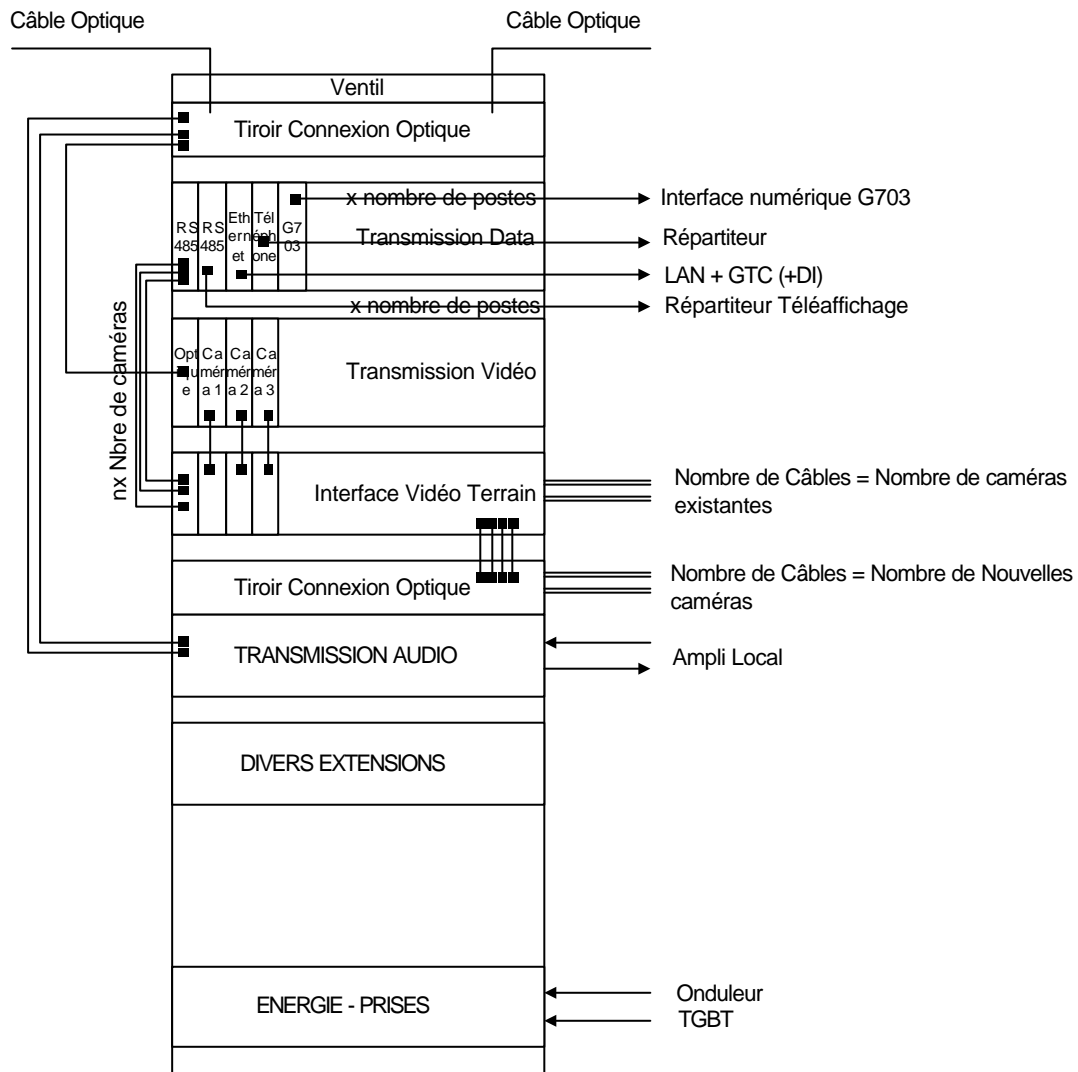
Un exemple de structure complète de réseau est donné ci-après. Toute structure simplifiée doit permettre une évolution vers ce type d'architecture, le raccordement d'abonnés pouvant dans l'avenir être réalisé en fibres optiques (réseau ouvert au public de type L. 33-1).





Un exemple de "point d'accès" est donné ci-après. La baie située dans les sites raccordés, réalise le "branchement" des différentes applications sur le réseau optique de la Collectivité.

Le schéma résume de manière exhaustive les diverses applications (voix, données, images) que l'on pourra trouver sur un réseau. En règle générale, le besoin réel ne concerne qu'un sous ensemble de ces applications.



## 5.2 PRISE EN COMPTE DE L'APPLICATION

La conception d'architecture et le choix du média (fibre optique multimode ou monomode) devront également prendre en compte les contraintes relatives aux applications à supporter. Les tableaux suivants synthétisent, pour les différentes classes d'applications, les données techniques et notamment la dynamique de l'application qui en limite la portée sur l'infrastructure optique.

### APPLICATIONS NUMÉRIQUES

$\lambda$ nm	Mode	Débit	Applications	Dynamique indicative	Limitation	Réflectance cumulée admise	PMD
1300	Multi	2; 8; 34 Mbit/s	PDH	20 dB		-	-
850	Multi	10 Mbit/s	Ethernet	12 dB		-	-
1300	Multi	155 Mbit/s	Ethernet, FDDI, ATM	10 dB		-	-
850	Multi	1,25Gbit/s	Giga Ethernet	7 dB	Bande passante 260m sur 62,5/125	-	-
1300	Mono	2; 8; 34; 140 Mbit/s	PDH	20 dB		-	-
1300	Mono	155 Mbit/s	SDH STM-1, ATM	10 à 28 dB		-	-
1300	Mono	622 Mbit/s	SDH STM-4, ATM	10 à 24 dB		- 30 dB	-
1300	Mono	2,5 Gbit/s	SDH, ATM, MUX	10 à 24 dB		-30 dB	0,5 ps/nl km
1550	Mono	2,5 Gbit/s et +	SDH, MUX	10 à 24 dB		-30 dB	0,5 ps/nl km

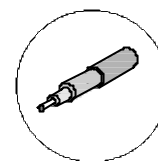
### APPLICATIONS ANALOGIQUES

$\lambda$ nm	Mode	Bande passante ou porteuse	Applications	Dynamique indicative	Réflectance admise	PMD
850	Multi	100 MHz	CATV, CCTV, Mesures	12 dB	-	-
1300	Multi	200 MHz	CATV, CCTV, Mesures	10 dB	-	-
1300	Mono	10 GHz et +	CATV, Mux CCTV, Radar, Télémesure	12 dB	-55 dB	0,5 ps/nl km
1300 1550	Mono	Porteuse à 900 MHz ou 1,8 GHz	Déport HF des applications Radio mobiles (GSM, DCS)	10 dB	-55 dB	

Les différents éléments constituant la partie passive d'un réseau optique sont:

- la fibre,
- le câble,
- les moyens de raccordement.

D'autres composants passifs tels que les coupleurs et les multiplexeurs en longueurs d'ondes peuvent entrer dans la constitution d'un réseau optique. Ils ne sont pas traités dans ce document car leur utilisation est encore marginale.



## 6.1 LA FIBRE

Les deux types de fibres les plus utilisés dans le domaine des réseaux de télécommunication sur fibres optiques sont la fibre multimode à gradient d'indice 50/125 $\mu\text{m}$  et 62,5/125 $\mu\text{m}$  et 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 à très haut débit.

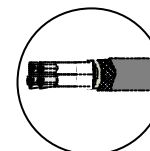
Le tableau suivant présente les caractéristiques de ces différents types de fibres. Les valeurs proposées correspondent à un compromis entre les standards applicables et l'état de l'art des valeurs fournies par l'ensemble des fibreurs.

### LA FIBRE MONOMODE 9.5/125 $\mu\text{m}$

$\varnothing$ champ de mode ( $\mu\text{m}$ )	$\varnothing$ Gaine ( $\mu\text{m}$ )	$\varnothing$ Revêtement ( $\mu\text{m}$ )	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

### LES FIBRES MULTIMODES 50/125 $\mu\text{m}$ ET 62.5/ 125 $\mu\text{m}$

$\varnothing$ Coeur ( $\mu\text{m}$ )	$\varnothing$ Gaine ( $\mu\text{m}$ )	$\varnothing$ Revêtement ( $\mu\text{m}$ )	Ouverture numérique	Bande passante à 850 nm (MHz.km)	Bande passante à 1300 nm (MHz.km)	Affaiblissement max à 850 nm (dB/km)	Affaiblissement max à 1300 nm (dB/km)
50 $\pm$ 3	125 $\pm$ 2	245 $\pm$ 10	0,2	>400	>600	<3	<1
62,5 $\pm$ 3	125 $\pm$ 2	245 $\pm$ 10	0,275	>200	>500	<3,5	<1,5



## 6.2 LE CÂBLE

Les câbles entre bâtiments cheminent dans un environnement sévère (égout, conduite sous trottoir, câble enterré,...). Le câble doit être de type câble d'extérieur.

### CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES:

Application	liaisons inter-batiment de plusieurs kms
Capacité	modulo " n ", n de 4 à 12: par exemple 30, 36, 42 .... fibres optiques
Organisation	assemblage de modules optiques (en fonction du nombre de fibres souhaité) afin de former l'âme optique. En cas de besoin (remplissage du câble inférieur à sa capacité max) un ou plusieurs module de bourrage peuvent être insérés dans le câble.
Module optique	ensemble de " n " (n compris entre 4 et 12) fibres optiques regroupées sous forme d'un faisceau identifiable par un code de couleur.
Structure	conçue de façon à en faciliter sa mise en oeuvre - doit notamment permettre de retirer la gaine facilement et d'atteindre les couches les unes après les autres
Ø extérieur	20 mm max.
Marquage de gaine	marquage métrique + nombre de fibres + types de fibres UM ou MM + fabricant + année de fabrication

### CONTRAINTES D'ENVIRONNEMENT:

Quel que soit le type de structure élémentaire utilisée (tube, micro structure densifiée) le câble doit être adapté à l'environnement dans lequel il sera mis en oeuvre.

Pour cela, le câble peut présenter une protection contre les rongeurs (armure acier ou tresse de fibre de verre), doit résister aux agressions chimiques (acides et bases), présenter une protection contre le feu améliorée.

Types retenus	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. câbles non métalliques pour pose en conduite.</li> <li>2. câbles non métalliques adaptés aux conditions sévères: structure renforcée.</li> <li>3. câbles armés: avec une armure acier ou fibre de verre.</li> </ol>
---------------	---

Une attention particulière sera apportée à l'environnement intérieur dans les lieux publics. Dans ce cas, la nature des matériaux devra répondre aux contraintes suivantes:

- non propagation de la flamme, de l'incendie,
- non dégagement de gaz toxiques,
- non opacité des fumées.

## CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES, CLIMATIQUES ET D'ÉTANCHÉITÉ

Caractéristiques	Essais	Type câble	Sévérité
Rayon de courbure	CEI 794-1 E11-2	1	≤ 12xØ mm, max 300 mm
		2	≤ 15xØ mm, max 400 mm
		3	≤ 15xØ mm, max 400 mm
Ecrasement	CEI 794-1 E3	1	≥ 20 daN/cm
		2	≥ 45 daN/cm
		3	≥ 45 daN/cm
Traction	CEI 794-1 E1	1	≥ 150 daN
		2	≥ 200 daN
		3	≥ 200 daN
Thermique	CEI 793-1 D1		-30°C, +70°C
Étanchéité	NFC 93 526 20.2		10 échantillons, 168h

## LA CAPACITÉ

Le nombre de fibres ne doit pas être sous dimensionné à la conception de l'installation. Chaque liaison d'application consommera en général 2 fibres. La structuration des réseaux et le développement des technologies de réseaux commutés militent pour la mise place d'architectures massivement fibrées. Les critères à prendre en compte pour évaluer la capacité des câbles sont les suivants:

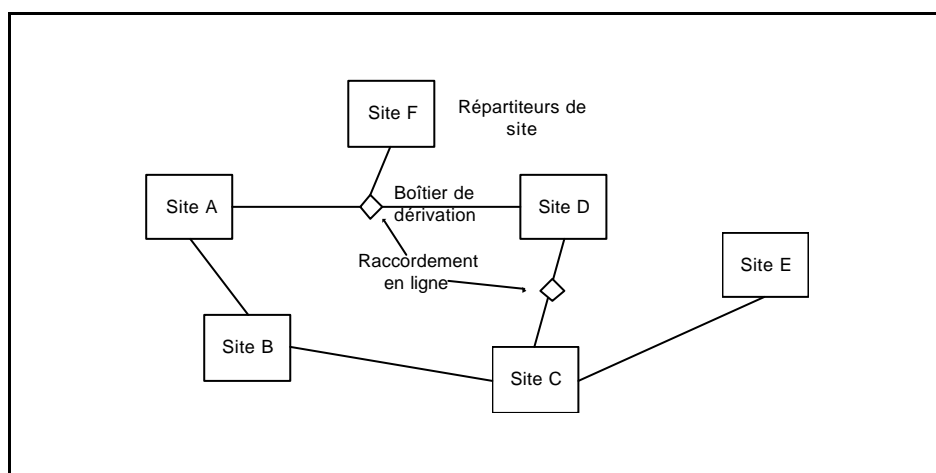
- besoins propres à la collectivité + 40 %,
- réserve de fibres pour location à des tiers (opérateur pour la ville).

En tout état de cause la capacité ne doit pas descendre en dessous de 36 fibres (6 multimodes si nécessaire + 30 monomodes).



## 6.3 LES MOYENS DE RACCORDEMENT

Un réseau à fibres optiques peut être représenté par le schéma suivant.



Les différentes composantes des raccordements sont:

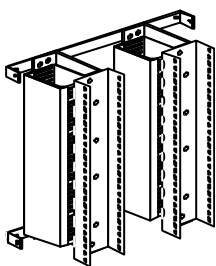
- le répartiteur,
- les têtes de câble,
- les raccordements en ligne,
- la connectique.

### 6.3.1. LE RÉPARTITEUR

Le répartiteur peut être de type ferme ou de type baie (standard 19 pouces ou autre).

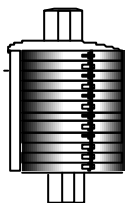
#### Répartiteur de type ferme

Plusieurs modèles et configurations sont proposés et peuvent être retenus en fonction de l'importance de l'installation et des standards utilisés:



- profilés alu,
- châssis de répartition,
- fermes 4, 6 niveaux et double face, avec goulotte équipée d'un couvercle avec casquette sécable pour le passage des câbles.

La fonction de raccordement et d'épanouissement des câbles s'effectue au niveau de "têtes de câble optiques". Ces éléments conçus pour recevoir des capacités de câbles modulo "n" intégreront les fonctions suivantes:



- support intégré de fixation sur le rail du répartiteur par vissage,
- compartiment prévu pour l'amarrage et l'épanouissement de chaque câble installé,
- bloc de cassettes pivotantes, chaque cassette pouvant accueillir 2 fibres.

Avec ce type de répartiteur, la mise en continuité de fibres optiques peut être réalisée de 2 manières:

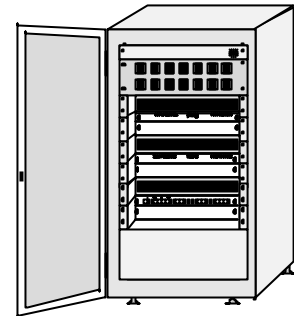
- Par simple branchement de jarretières équipées de connecteurs. Dans ce cas, chaque cassette assurera la gestion de 1 ou 2 fibre(s), pourra recevoir jusqu'à 3 mètres de fibre et assurera les fonctions suivantes:
  - ◆ lovage des fibres sur tambour central,
  - ◆ intercalaire de séparation des fibres,
  - ◆ positionnement et maintien de 2 épissures,
  - ◆ cadre assurant la rotation, le positionnement de 2 connecteurs et le repérage.
- Par raccordement à l'aide d'épissure mécanique ou soudée à l'intérieur de la cassette, les jarretières étant confectionnées sur site et à longueur voulue. Dans ce cas, chaque cassette assurera la gestion de 1 ou 2 fibre(s), pourra recevoir jusqu'à 3 mètres de fibre et assurera les fonctions suivantes:
  - ◆ lovage en 8 des fibres sur tambour central,
  - ◆ intercalaire de séparation des fibres,
  - ◆ positionnement et maintien de 2 épissures,
  - ◆ cadre assurant la rotation, le positionnement de presse étoupe assurant la rétention de la jarretière et le repérage.

Si le nombre de câbles est important, il est recommandé de dédier une ou plusieurs ferme(s) aux câbles de ligne et une ou plusieurs ferme(s) aux câbles locaux.

### Répartiteur de type "baie "

Ces répartiteurs peuvent être constitués de:

- bâti rack munis d'un capot avec serrure,
- armoire 40U (selon besoin), aux dimensions 600x800, avec porte fermant à clé.



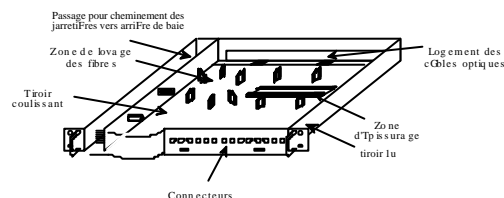
Ils reçoivent les "têtes de câble" au format 19 pouces dans les différents formats 1U, 2U, etc... Ils permettent également l'intégration de l'ensemble des matériels de réseau au format 19 pouces. Dans les environnements sévères, un niveau de protection IP55 pourra être imposé.

La gestion des câbles optiques est effectuée grâce à des tiroirs fibres optiques au format 19 pouces. Leur conception doit permettre de les utiliser dans tous les cas de figure de mise en oeuvre:

- jonction par épissure,
- terminaison de câble par connectivité,
- utilisation mixte (épissure et connecteurs).

Ils doivent offrir les caractéristiques suivantes:

- encombrement faible,
- face avant pour recevoir au minimum 12 ou 24 connecteurs,
- logement pour la fixation et l'épanouissement des câbles en arrivée,
- platine sur glissière recevant les épissures,
- extractibilité permettant la maintenance de la connectique.



### Les raccordements en ligne

Pour des raccordement permanents effectués lors de la mise en oeuvre initiale du réseau, on utilisera des protections d'épissures.

Les enveloppes externes et l'organisation interne de ces matériels pourront être plus ou moins élaborées pour répondre aux principales fonctions:

- compatibilité avec les câbles
  - ◆ entrées de câbles (étanchéité, nombre d'entrées, tenue en traction...),
  - ◆ amarrages des câbles,
  - ◆ épanouissement des fibres par modules( modularité conservée ou pas),
  - ◆ identification.
- Compatibilité avec les épissures et les modules de fibres
  - ◆ fixation,
  - ◆ capacité,
  - ◆ gestion des flux de fibres / réserve de fibres pour réintervention,
  - ◆ compatibilité éventuelle avec le ruban et l'épissurage de masse.

- compatibilité environnementale
  - ◆ aspect étanchéité (poussière, ruissellement, immersion,...),
  - ◆ difficulté de réintervention.

Pour les noeuds de réseaux comportant des raccordements qui sont susceptibles d'être ouverts pour des contrôles, ou des extensions de réseaux, on utilisera des armoires ou coffrets.

### 6.3.3. LA CONNECTIQUE

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

- des connecteurs à grand nombre de manoeuvres,
- des épissures, mécanique ou par fusion.

#### Les connecteurs

Compte tenu de l'état de l'art, les différents types de connecteurs préconisés sont les suivants:

Technologie	Verrouillage	Modularité	Type de ferrule	Multimode	Monomode	Pertes d'insertion	Taux de réflexion
EC	push pull	simplex, duplex	sphère cône à membrane	x	x	0,5 dB	- 55 dB
OPTOCLIP2®	push pull	simplex	fibre à fibre avec gel	x	x	0,5 dB	- 55 dB
FC/APC	à vis	simplex	cyl. céramique		x	0,5 dB	- 55 dB
SC	push pull	simplex, duplex	cyl. céramique	x	x	0,5 dB	- 30 dB
SC/APC	push pull	simplex	cyl. céramique		x	0,5 dB	- 55 dB
ST®	baïonnette	simplex	cyl. céramique	x	restriction	0,5 dB	- 30 dB

Le connecteur ST, est actuellement le plus répandu sur les réseaux multimodes. Il peut être utilisé sur des fibres monomodes mais présente des caractéristiques incompatibles avec les applications télécom à très haut débit (taux de réflexion).

L'utilisation des connecteurs de type EC, FC/APC et SC/APC permet tous les types d'application télécom à haut débit.

Le choix entre ces différentes technologies doit s'effectuer en tenant compte des performances du couplage réalisé et de l'environnement d'utilisation.

En tout état de cause, sur un même réseau le même type de connecteur doit être utilisé aux points de brassage. Seuls les raccordements aux utilisateurs pourront être différents.

#### Les épissures.

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

Cette technique permet de réaliser les connexions dans les boites de raccordement en ligne et dans les répartiteurs lors de l'utilisation de " pig-tails" ou de brassage sans connecteurs.

### 6.4. EQUIPEMENTS ACTIFS

Pour mémoire, rappelons que le réseau support à fibres optiques ne permet pas à lui seul de faire fonctionner les applications et services offerts par l'opérateur actuel. Pour cela, il faut y adjoindre des équipements de transmission (terminaux numériques ou analogiques de ligne optique) et de commutation ou de routage (autocommutateurs téléphoniques, routeurs, commutateur de données.).



## 7.1 GÉNÉRALITÉS

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.

Ces différentes phases sont détaillées ci-après.

Afin de réduire les risques, il est très souhaitable qu'une spécification d'installation soit établie, soit par l'utilisateur, soit par un bureau d'études, soit par l'installateur, afin qu'un certain nombre d'éléments contractuels décrivent sans ambiguïté les étapes, les règles de mise en oeuvre 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.

## 7.2 SPÉCIFICATION D'INSTALLATION

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

### 7.2.1 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.

### 7.2.2 PLAN DE POSE / ÉLÉMENTS D'INSTALLATION.

Un document devra, sur l'ensemble du réseau à installer, préciser les parcours et points d'aboutissement des liaisons, ainsi que 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.

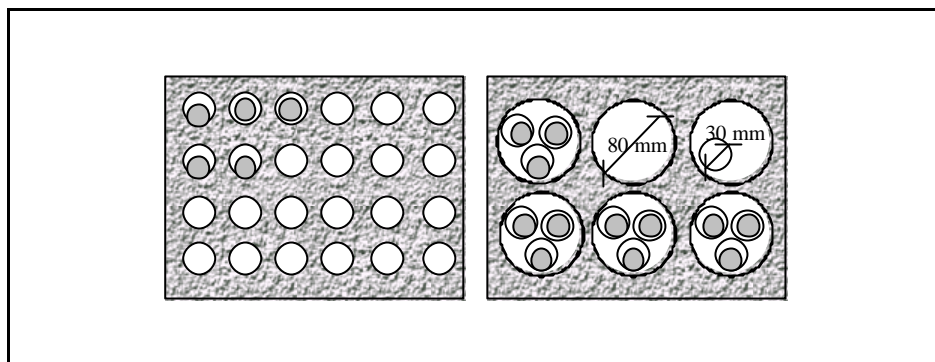
Le parcours initialement proposé devra être examiné en fonction des performances des câbles retenus et des modes de pose envisagés. Les critères déterminants sont l'effort maximal de traction que peut supporter le câble, les rayons de courbure statiques et dynamiques à ne pas dépasser, le poids linéique du câble.

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 re-définition des parcours.

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 Ø 30 mm, éventuellement regroupés dans des alvéoles plus importantes de Ø 80 mm.



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.

#### CONDITIONS D'ENVIRONNEMENT DE POSE:

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

#### FORMATION DES PERSONNELS

Il faudra vérifier que les règles de l'art concernant les pratiques mises en oeuvre soient correctement maîtrisées par les personnels qui les utilisent.

#### 7.2.3 PRINCIPALES TECHNIQUES DE POSE:

##### 7.2.3.1 Pose de câble dans des conduites enterrées par méthode traditionnelle de tirage:

Principales précautions à prendre:

#### **- Respect de la tension maximale de pose :**

Pour le tirage mécanique, les treuils avec limitation de la tension de pose seront utilisés. Leur vitesse devra pouvoir être contrôlée dans les phases de démarrage et régulée ensuite en vitesse avec contrôle de la tension. Il est souhaitable de disposer d'un enregistrement des différentes forces de traction afin de lever le doute en cas d'anomalie.

A une chaussette, on préférera un clou de tirage monté selon les recommandations du constructeur qui mettra à contribution tous les éléments de renfort du câble.

Un lubrifiant non agressif pour le câble pourra être utilisé afin de réduire le coefficient de frottement câble-conduite.

Pour le tirage manuel utilisé pour de courtes longueurs, on limitera le nombre d'opérateur selon la tension maximum acceptable.

### **- Limitation du rayon de courbure mini:**

Les équipements ad-hoc (Poulies de renvoi, galets de guidage, gouttières de protection,...) seront utilisés afin de limiter les rayons de courbure des câbles et également afin de réduire le frottement sur des angles vifs.

### **- Limitation de la torsion:**

Pour les grandes longueurs, il sera utile d'accrocher le câble à la câblette à l'aide d'un émerillon. Si un entraîneur intermédiaire est utilisé, on vérifiera qu'il n'induit pas d'effort de torsion sur le câble.

### **- Techniques particulières d'augmentation des longueurs de pose possible:**

Plusieurs techniques sont possibles. La position de départ du touret sera optimisée en fonction du tracé. D'une manière générale, lors de toute dépose de câble au sol, la zone devra être aménagée à cet effet (Propreté, Surveillance, Rayons de courbure, techniques d'élimination des torsions, ....).

#### 7.2.3.2 Pose de câble par soufflage dans des conduites enterrées:

Plusieurs techniques existent, avec ou sans furet en tête, et avec ou sans poussage en entrée de conduite ou en relayage intermédiaire:

- avec furet, on parlera de soufflage / tirage,
- sans furet, on parlera de soufflage / portage.

Le dimensionnement des accessoires de pose, les pressions et débits d'air mis en jeu devront être compatibles avec les câbles et les tubes utilisés.

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).

Les caractéristiques critiques des câbles sont:

- le poids linéique du câble,
- son diamètre,
- le coefficient de frottement "câble-conduite", dont les valeurs doivent être a priori les plus faibles possibles (gaine extérieure du câble en PEHD),
- la rigidité,
- la résistance à la traction pour un allongement câble (et donc fibre) donné, dont les valeurs devront résulter d'un compromis.

#### 7.2.3.3 Pose de câble en aérien:

Que le câble soit du type auto-porté ou ligaturé sur support, les règles de l'Art en la matière devront être respectées, pour que les contraintes (Traction, cisaillement, ...) supportées par le câble restent dans les limites acceptables.

Pour la pose en aérien, les caractéristiques critiques des câbles sont:

- la résistance à la traction,
- la compatibilité avec les dispositifs d'ancrage et de suspension.

#### 7.2.3.4 Pose de câble enterré:

On rencontre deux types de techniques:

- pose de câble en tranchée ouverte,
- pose de câble derrière trancheuse ou soc.

Les règles de l'art en la matière devront être respectées. (Nivelage et granulométrie des fouilles autour des câbles, profondeurs d'enfouissage, règles de proximité des ouvrages, dispositifs avertisseurs...).

Dans tous les cas, le câble devra avoir été dimensionné spécifiquement pour cet usage.

En ce qui concerne le cas de câbles purement diélectriques, la question de la localisation ultérieure du câble devra être abordée.

Pour la pose par enfouissage direct, les caractéristiques critiques des câbles sont:

- la résistance à l'écrasement,
- la résistance au cisaillement.

#### 7.2.3.5 Pose en caniveau

Sauf sur très courtes longueurs, elle se fera en déplaçant le touret le long du caniveau, en laissant le câble se dérouler sans torsion. La vitesse de déroulement sera lente et surtout maîtrisée. Cette technique s'applique, sauf présence d'obstacle physique; dans ce cas, la technique de tirage sera utilisée.

Les caractéristiques critiques des câbles sont les mêmes que pour les câbles enterrés.

#### 7.2.3.6 Pose sur chemin de câbles, tablettes, corbeaux

Comme pour la pose en caniveaux, pour de grandes longueurs, elle se fera en déplaçant le touret le long du chemin de câble, en laissant le câble se dérouler sans torsion.

Pour des longueurs courtes (100m), on pourra envisager de tirer le câble, touret sur un axe se déroulant à vitesse lente et maîtrisée, en le soulageant de part en part, à la main ou avec des systèmes à galets.

Les précautions suivantes seront observées :

- limitation du rayon de courbure mini,
- limitation de la torsion,
- immobilisation des câbles par colliers adaptés à la résistance à l'écrasement des câbles.

Les transitions de zone (Pénétration de bâtiment, transition sous conduite, etc.) devront également faire l'objet de mentions particulières dans les documents de spécification.

## 7.3 RACCORDEMENT DES CÂBLES ET CONNECTORISATION DES FIBRES

### 7.3.1 DÉFINITIONS ET TERMINOLOGIE

Pour un réseau et quelle que soit sa topologie, nous ferons la distinction formelle entre :

- Le câblage en ligne qui désigne le raccordement, **à priori permanent**, d'au moins deux câbles en un endroit appelé noeud du réseau. On parlera alors **d'épissurage**. (Les câbles sont eux les branches de ce réseau qui peut être de topologie point à point linéaire, ou point-multipoint en étoile simple ou double, ou multipoint-multipoint point anneau ou maillée).
- Le câblage des extrémités de réseaux, qui permet le brassage des fibres entre elles et le raccordement, **à priori démontable**, des matériels actifs sur le réseau. On parlera alors de **connectique**.

Les produits utilisés pour protéger les raccordements en ligne sont appelés matériels de ligne, ceux qui protègent les connectiques d'extrémité sont dits matériels d'extrémité.

### 7.3.2 RECOMMANDATIONS POUR LES CÂBLAGES EN LIGNE

Les matériels de ligne se classent en plusieurs types de produits, suivant la fréquence d'accès pour réintervention lors de la vie du réseau et suivant l'environnement de l'infrastructure d'accueil.

Selon les architectures de réseau, plusieurs types de raccordement sont possibles :

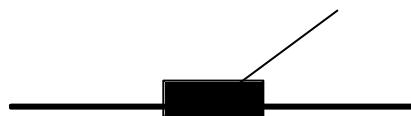
#### Joint droit (raccordement de deux câbles)



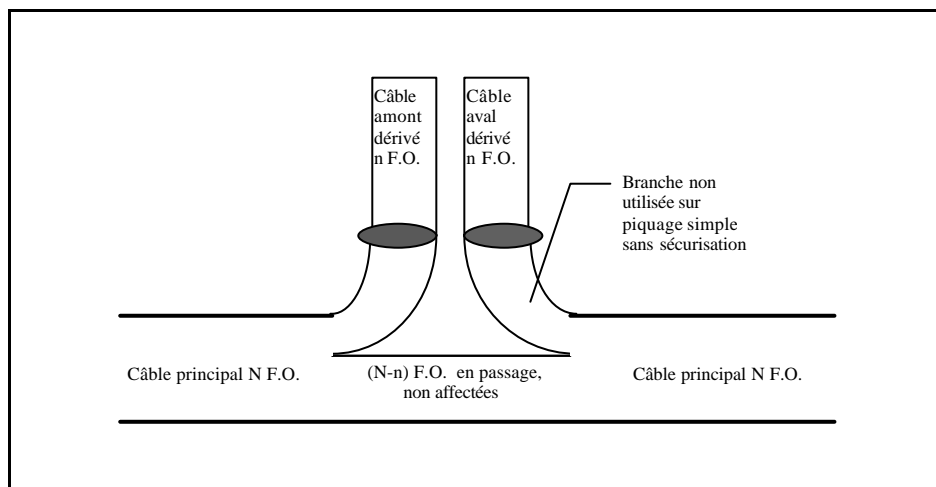
#### Division d'un câble vers plusieurs câbles



#### Piquage de câble(s) dérivé(s) sur un câble en passage



Dans ce cas, la possibilité d'accès aux fibres "en plein câble", et non seulement en extrémité, doit être vérifiée.



D'une façon générale, les fonctions de base du joint en ligne considéré devront être finement analysées afin de les mettre en regard des solutions possibles.

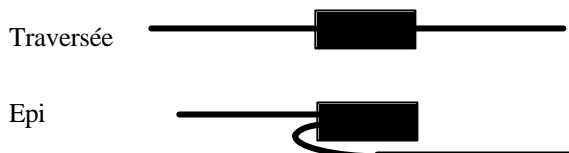
Dans des réseaux de type MAN, l'infrastructure d'accueil, souvent déjà existante pour le câblage en ligne, est à prendre en compte finement afin de définir le matériel de ligne le plus adapté. En regard de chaque caractéristique de l'environnement, on pourra imposer les caractéristiques associées du matériel:

#### Chambres de raccordement (Caniveaux, Chemins de câbles).

- dimensions (Voir remarque ci-après sur les alternatives Epi /Traversée),
- nature physico chimique de l'ambiance auquel sera soumis le matériel,
- nature des supports et fixations des matériels.

### Câblages en épi / Câblages en traversée

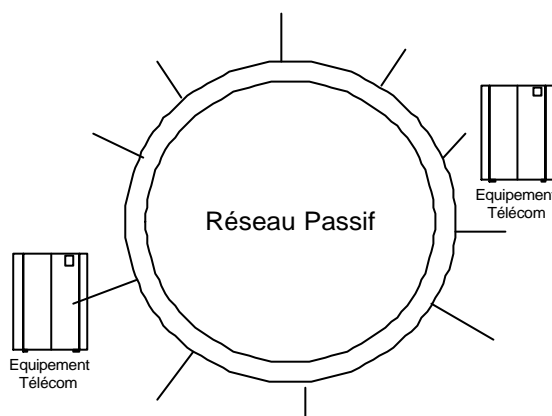
Ces deux termes caractérisent la disposition physique de l'arrivée des câbles vis à vis de la protection d'épissure:



Le choix générique sera l'épi, qui permet de disposer les surlongueurs de câbles associées de manière plus simple et qui rend le volume "protection d'épissure + love de câble associé" plus compact. C'est ce volume mini qui doit être mis en regard des caractéristiques de la chambre.

#### 7.3.3 RECOMMANDATIONS POUR LE CÂBLAGE DES EXTRÉMITÉS

L'utilisation d'un réseau optique passif, support de l'information, suppose la connexion de ses extrémités à des équipements actifs, ou matériels électroniques.



Cette fonction est généralement assurée par des **connectiques** permettant des raccordements démontables (connexions / déconnexions) entre le matériel actif et le réseau, le plus souvent par l'intermédiaire de **cordons optiques**.

(La liaison directe des câbles sur les équipements doit être réservée à des réseaux dont on est certain de la non évolutivité dans le temps)

La **fonction de brassage** est concrétisée par la possibilité de permuter ou de commuter, à priori par une opération manuelle de déplacements de ces cordons (cordons de brassage ou patchcords) toute voie du réseau sur toute carte opto électronique des équipements actifs.

Elle est assurée par un matériel appelé génériquement **Répartiteur**

Les fonctions associées au brassage et qui doivent être assurées par le répartiteur sont:

- l'amarrage des câbles du réseau en entrée, avec le cas échéant leur mise à la terre,
- l'épanouissement des câbles, et plus généralement la protection et la répartition des fibres permettant d'en assurer l'identification, le repérage et l'accès nécessaires pour la connectivisation des fibres sur les "têtes de câbles",
- la gestion, l'identification et l'accès aux fiches et raccords de connectique,
- la gestion des flux des cordons de brassage, assurant notamment la limitation des rayons de courbure, le repérage et l'accès aisé aux cordons et à leurs extrémités permettant d'assurer les manoeuvres de connexion/déconnexion.
- le cas échéant la protection des équipements actifs.

Selon la nature et la capacité des câbles arrivant en un même endroit, et selon la fréquence supposée des manoeuvres de connexions / déconnexions, plusieurs alternatives existent qui devront être évaluées afin de choisir le matériel le plus adapté :

#### Type de connectique :

Plusieurs critères conduisent au choix de la connectique :

- qualité optique : Perte d'insertion pour tenir le budget optique disponible ; Réflectance maximale pour permettre le fonctionnement des équipements optoélectroniques ; la Réflectance minimale admissible en dB est généralement définie par le fabricant de matériels actifs. Le type de connecteur utilisé doit être compatible avec ce paramètre,
- type de verrouillage : à visser, à bayonnette, Push-Pull,
- type de montage sur la fibre : Résiné/Poli, Serti/fracturé.

Bien souvent, le type de connectique côté équipements est imposé par la carte d'interface ou carte réseau du protocole réseau utilisé (Ethernet, FDDI, SDH, SONET, ....).

Le type de connectique côté réseau passif (côté câble) est laissé au choix de l'utilisateur et/ou de l'administrateur de réseau.

#### Câbles directement connectibles ou épissure de pigtaills / fanouts (éclateurs)

On peut choisir de câbler les connectiques sur site, ou d'utiliser des concepts de précâblage plus ou moins poussés qui permettent de s'affranchir de cette opération. On notera pour mémoire dans un ordre d'intégration croissante:

- épissure de pigtaills élémentaires, sur site
- épissure ou branchement de têtes de câble préconnectées,

Le concept peut encore être optimisé par l'utilisation de raccordement de masse (fanout's) en connectique et en épissure, qui valide au mieux l'utilisation de câbles à rubans de fibres.

Il s'agit là d'une alternative importante qui mérite d'être étudiée en termes de coûts, d'optimisation du temps d'installation sur site, et surtout de qualité des extrémités (notamment pour les connectiques à hautes performances qui requièrent souvent un montage usine).

#### Définition des têtes de câbles

A partir des choix faits précédemment, on définira précisément les besoins en terme d'amarrage de câbles, de gestion des flux de fibres, de modularité et de repérage.

#### Définition des enveloppes des répartiteurs: baies, armoires, coffrets

Dans le cas où le nombre de fibres est limité, on peut prévoir d'intégrer les "têtes de câbles" et les équipements actifs de réseau dans une même baie. Dans ce cas, le standard 19 pouces sera privilégié.

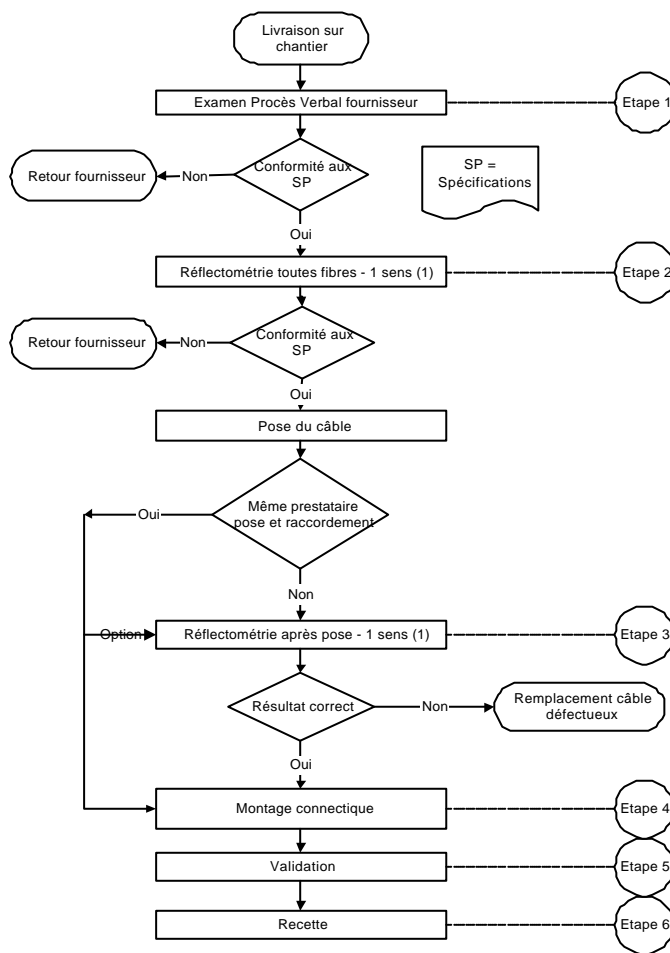
Dans le cas où le nombre de fibres est important, on privilégiera l'installation d'un répartiteur optique en espace "ouvert" (sur ferme), ce qui facilitera la gestion des flux de cordons optiques (jarretières), par la mise en place des dispositifs de guidage et d'organisation adéquats.

## 8.1 INTRODUCTION

L'ensemble des méthodes décrites dans ce chapitre concerne des liens point à point et ne concerne pas le cas où des coupleurs sont intégrés dans l'infrastructure.

Ce chapitre reprend les grandes étapes du contrôle, telles que développées dans le guide "Mesures et Recette d'un câblage optique C.R.E.D.O".

## 8.2 LES ÉTAPES DU CONTRÔLE



A chaque étape de la réalisation du câblage par l'installateur, des contrôles et mesures doivent être effectués. Ils ont pour objet de délimiter les responsabilités de chaque intervenant.

	Etape	Type Contrôle	Point de contrôle
	1 Réception Câble	Visuel + PV Fournisseurs	Obligatoire
	2 Avant tirage	Réflectométrie fibre nue	Obligatoire si fourniture et pose sont dissociées. Conseillée dans tous les cas de liaisons longues
	3 Après tirage, avant pose connecteurs et épissures en ligne	Réflectométrie fibre nue	Obligatoire si pose et raccordement sont dissociés
	4 Pendant pose connecteurs et épissures	Visuel - fiches connecteurs	Obligatoire
	5 Après pose connecteurs - validation	Visuel + réflectométrie	Obligatoire
	6 Recette	Visuel + mesures par prélèvement en option	Obligatoire

### 8.2.1 ÉTAPE 1 : CONTRÔLE DE RÉCEPTION CÂBLE

Ce contrôle a pour objet de vérifier la conformité de la livraison. Deux types de contrôle sont prévus :

#### Inspection visuelle :

Celle-ci permet de vérifier que le câble livré a bien les caractéristiques attendues :

- état général du touret,
- nombre de fibres, code couleur, nombre de faisceaux,
- éléments de protection extérieurs (gaine).



### Examen des procès verbaux du câble :

Le câble doit être livré avec un procès verbal de contrôle de sortie d'usine. Ce document doit fournir les éléments suivants :

- références de la commande,
- longueur de câble,
- caractéristiques et origine de chaque fibre,
- affaiblissement linéique de chaque fibre, aux longueurs d'onde d'utilisation,
- trace réflectométrique attestant de l'absence de défaut et d'épissure le long du câble. Le choix des échelles doit permettre une présentation exploitable.

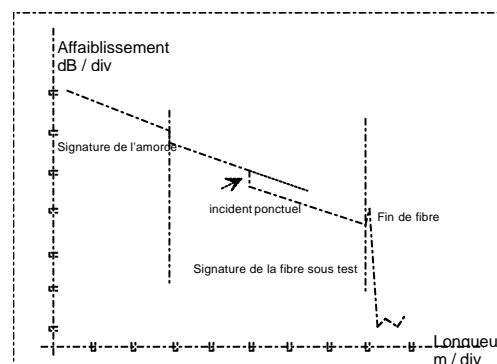
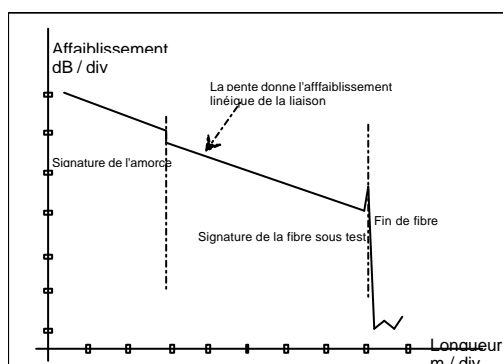
#### 8.2.2 ETAPE 2 : MESURE AVANT TIRAGE

Avant tirage, un contrôle sur le câble peut être nécessaire pour attester que depuis la sortie d'usine, il n'a été affecté ni au cours du transport, ni au cours du stockage sur le chantier. Cette vérification est obligatoire, pour délimiter les responsabilités, notamment dans le cas où les prestations de fourniture et de pose sont dissociées.

Attention, le stockage sur chantier n'est en aucun cas de la responsabilité du fournisseur, ni du transporteur. Dans le cas d'un stockage de longue durée, il est nécessaire de lever la responsabilité du transporteur, par la mesure du touret à la réception. Le câble pourra ensuite éventuellement subir un nouveau contrôle avant l'opération de tirage.

La vérification consiste en une mesure par réflectométrie de l'ensemble des fibres du câble, à une seule longueur d'onde et dans un seul sens. Cette mesure est effectuée sur fibre nue (non encore équipée de connecteurs). La mesure permet de valider les points suivants :

- la longueur de la liaison,
- l'affaiblissement linéique de chaque fibre, dans la limite des paramètres "mesurables",
- l'absence de contrainte subie par la fibre - incident ponctuel.



D'une façon générale aucun défaut n'est acceptable. Cependant, dans le cas de défaut limité et après expertise (câblier, expert tiers) montrant que la durée de vie de l'installation n'est pas impactée, la décision finale peut être laissée au client. Dans ce cas, des réserves seront faites dans le procès verbal.

La vérification s'effectue dans les conditions suivantes :

<u>Fibre</u>	<u>Longueur d'onde de mesure</u>
Multimode	850 nm
Monomode	1550 nm

#### **Attention :**

Il peut être conseillé de réaliser le test également à une longueur d'onde différente, notamment si les applications sont prévues à cette longueur d'onde et dans le cas où les traces réflectométriques fournies par le câblier ne sont pas suffisamment exploitables.

### 8.2.3 ETAPE 3 : MESURE APRÈS POSE DU CÂBLE, AVANT MISE EN PLACE DE LA CONNECTIQUE

Cette étape reprend, après tirage, les contrôles précédents. Elle est nécessaire si les prestataires qui effectuent les opérations de pose et de raccordement sont différents. Dans le cas où le prestataire est le même, cette étape n'est pas obligatoire, mais néanmoins conseillée, dans l'intérêt de celui-ci, en fonction des conditions de pose (tronçons de grande longueur, conditions de pose difficiles, fragilité du câble) ; elle permettra d'identifier les défauts de tirage et de remplacer les tronçons en défaut avant mise en place des fiches optiques. A cette étape, les contrôles suivants sont entrepris, après une période de relaxation du câble, allant de quelques heures à quelques jours dépendant des paramètres du câble :

- contrôle visuel : le câble ne doit pas présenter de " blessure " visible,
- mesure sur fibre - selon les modalités de l'étape 2, à une longueur d'onde.

### 8.2.4 ETAPE 4 : CONTRÔLE EN COURS DE POSE DES CONNECTEURS

Cette étape est réalisée par l'installateur qui met en place la connectique optique en extrémité de câble. Conformément aux notices de montage des constructeurs, il doit s'assurer visuellement, à l'aide d'un outil d'inspection des faces optiques, que les fiches de connecteurs sont correctement montées :

- état de surface propre et correctement poli,
- absence de rayure ou fracture sur le " cœur de fibre ",
- absence de colle.

### 8.2.5 ETAPE 5 : CONTRÔLE APRÈS MISE EN PLACE DES CONNECTEURS

Cette étape réalise la validation finale de l'installation. Elle effectue un contrôle des liens constitués et raccordés. Elle s'appuie sur des mesures réflectométriques qui permettent d'apprécier en une prise de mesure :

- la longueur de la liaison,
- l'affaiblissement global de la liaison,
- l'affaiblissement des différents éléments qui la composent,
- en monomode, la réflectance des éléments susceptibles de réfléchir une partie de l'énergie lumineuse,
- la visualisation des contraintes subies par la fibre,
- une cartographie complète de la liaison.

Les relevés s'effectuent dans les deux sens de transmission.

Ces contrôles sont effectués obligatoirement à la " longueur d'onde de mesure ". Ils peuvent être effectués, en option, à la longueur d'onde complémentaire, notamment, dans le cas où l'application envisagée travaille sur cette longueur d'onde :

Fibre	Longueur d'onde de mesure	Longueur d'onde complémentaire optionnelle
Multimode	<b>850 nm</b>	1310 nm
Monomode	<b>1550 nm</b>	1310 nm

Des mesures par photométrie (mesures de pertes par insertion) peuvent être demandées, de manière optionnelle, en complément des mesures effectuées par réflectométrie. Ces mesures permettent d'apprécier, à une longueur d'onde donnée la perte globale de la liaison optique. Elles ne permettent pas, par contre d'en apprécier la qualité des différents constituants.

### 8.2.6 ETAPE 6 : RECETTE

La recette de l'installation est prononcée par le client après analyse des documents de validation fournis par l'installateur. Le client pourra le cas échéant se faire assister par un expert tiers pour prononcer cette recette et faire au besoin des contre-mesures.

### 8.3 SANCTIONS APPLICABLES

#### 8.3.1 CONNECTIQUE

Chaque élément de connectique (Connecteur, épissure) est mesuré dans les deux sens. Les valeurs des pertes dans chaque sens sont analysées.

Dans tous les cas, la valeur d'affaiblissement à retenir est la demi somme des valeurs algébriques mesurées dans chaque sens (Val 1 + Val 2) / 2. C'est cette valeur qui doit rester inférieure à une valeur maximale donnée.

Val 1: Valeur de l'affaiblissement en dB d'un élément de connectique dans le sens OE.

Val 2: Valeur de l'affaiblissement en dB d'un élément de connectique dans le sens EO.

Connectique	MULTIMODE ET MONOMODE			MONOMODE UNIQUEMENT	
	Affaiblissement / pertes			Réflectance	
	Valeur moyenne (dB)	Ecart type $\sigma$ (dB)	Max. toléré (dB)	Max. toléré (dB)	Sur demande particulière (dB)
Connecteur niveau Répartiteur	0.5	0.2	(Typ + 3 $\sigma$ ) ou 1	- 30	- 55
Prise de bureau			1,5	- 30	N/A
Fusion - splice			0.15	N/A	N/A
Epissure mécanique			0.3	- 50	- 55
Bornier	0.15	0.1	0.5	- 30	N/A

*Tableau des sanctions*

#### **Remarques :**

1. Dans le cas de besoins justifiés (bilans de fonctionnement resserrés) la valeur maximum d'affaiblissement imposée au connecteur (2 fiches + 1 raccord) de répartiteur pourra être  $\leq 0,5$  dB.
2. Certains connecteurs qui disposent d'avantages particuliers (robustesse, facilité de mise en oeuvre) peuvent présenter des affaiblissements nominaux plus importants; la décision d'emploi de tels connecteurs, notamment au niveau des répartiteurs, relève du cahier de prescriptions spéciales.
3. Dans la cas d'un raccordement mettant en oeuvre des fibres aux limites opposées de la tolérance, une perte d'insertion supplémentaire supérieure à 1 dB peut être engendrée. Cet affaiblissement n'évolue pas dans le temps et n'entraîne pas de risque au niveau de la liaison. Dans ce cas, une analyse plus fine devra en définir les causes réelles, et la décision d'accepter ou de refuser la liaison pourra être prise.
4. Demandes particulières en matière de réflectance : ces demandes concernent des réseaux mettant en oeuvre des émetteurs puissants, très sensibles aux taux de réflexion. On les rencontrera notamment sur les réseaux de télédistribution et très haut débit.

### 8.3.2 CÂBLE

Les affaiblissements linéiques maximum des fibres sont répertoriés dans les tableaux ci-dessous :

#### fibres multimodes :

Affaiblissement dB/km	850 nm	1310 nm
Fibre 62.5/125 µm	3.5	1.5
Fibre 50/125 µm	3.0	1.0

#### fibres monomodes :

Affaiblissement dB/km	1310 nm	1550 nm
Fibre 9/125 µm	0,40	0,30

## 8.4 RECETTE ET DOCUMENTS DE RECETTE

### 8.4.1 SPÉCIFICATIONS DE RECETTE

Une spécification de recette doit, préalablement à la recette, définir les différents contrôles à effectuer, les appareils de mesure nécessaires, les résultats à obtenir, ainsi que leur présentation à l'intérieur du cahier de recette.

### 8.4.2 CONTRÔLES

La recette se déroule conformément aux procédures définies et vise à vérifier que l'installation est conforme aux spécifications techniques.

Outre les relevés et mesures, la recette comprend également les vérifications visuelles. Elles consistent à contrôler le cheminement des câbles (passage de câbles, état du câble, rayons de courbure), l'organisation des extrémités de répartiteurs (lovage des fibres dans répartiteurs, étiquetage, carnet de câbles, etc.), ainsi que, par prélèvement, l'état de surface des fiches optiques.

### 8.4.3 CAHIER DE RECETTE

Le cahier de recette de l'installation est un document de référence permettant de suivre l'évolution du réseau et d'en faciliter la maintenance . Il devra comprendre au minimum l'ensemble des documents suivants :

#### Plans de l'installation :

- plan de recollement ou de piquetage,
- plan de la constitution des baies et répartiteurs, pour chaque local technique.

#### Pièces écrites :

Carnet de câbles comprenant	Identification, extrémités, longueur Références et spécifications du constructeur, nombre de fibres, nature de fibre, Ø fibre, indice de réfraction, procès Verbal constructeur.
Spécification de Connectique	Références et spécifications du constructeur.
Liste des contrôles effectués	
Matériel de mesure employé	Marque, caractéristiques, performances, date du dernier calibrage.
Bobines amorces employées	Longueur, caractéristiques de fibre, Ø coeur et affaiblissement linéique.
Liasse de mesures	réflectogrammes de chacune des fibres, à chaque longueur d'onde dans les 2 sens. Papier et/ou disquette.
Résultats de mesures	Tableaux d'affaiblissement dans les 2 sens pour la fibre et connectique.
Signature des intervenants	

Il est important de conserver les acquisitions des réflectogrammes sur disquette, de façon à pouvoir effectuer une superposition de la courbe d'origine avec la courbe après vieillissement de la même liaison.

Des tableaux synthétiques fourniront les données extraites des reflectogrammes:

**Tableau des données connecteurs :**

N° fib re	Origine vers Extrémité		Extrémité vers origine		Connecteur 0	Connecteur E
	C <sub>O1</sub>	C <sub>E1</sub>	C <sub>E1</sub>	C <sub>O1</sub>		
1	C <sub>O1</sub>	C <sub>E1</sub>	C <sub>E1</sub>	C <sub>O1</sub>	$((C_{O1})_{O-E} + (C_{O1})_{E-O})/2$	$((C_{E1})_{O-E} + (C_{E1})_{E-O})/2$
2	C <sub>O2</sub>	C <sub>E2</sub>	C <sub>E2</sub>	C <sub>O2</sub>	$((C_{O2})_{O-E} + (C_{O2})_{E-O})/2$	$((C_{E2})_{O-E} + (C_{E2})_{E-O})/2$
n						
Moyenne par tête de câble						

**Tableau des données fibre :**

fibre n°	Origine vers Extrémité	Extrémité vers origine	Demi somme
1	A	B	$(A + B)/2$
2	A'	B'	$(A' + B')/2$
n			

# 9 - REFERENCES

---



## 9.1 A.R.T

Autorité de Régulation des Télécommunications.

7 Square MAX HYMANS  
75730 PARIS CEDEX 15

## 9.2 DOCUMENTS C.R.E.D.O

Réf	Titre de l'ouvrage
3/96 - 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

## 9.3 NORMES ET STANDARDS

Réf	Objet
CEI/IEC 793	Fibres et câbles optiques
CEI/IEC 794	Essais
CEI/IEC 874	Connecteurs pour fibres optiques
UIT G651	Spécification des fibres multimodes 50/125µm
UIT G652	Spécification de la fibre monomode

