



Développement des réseaux à très haut débit

Guide de mise en place de réseaux fibres
optiques FTTH

● Le cercle C.R.E.D.O. remercie ses membres pour leur soutien et contribution dans la réalisation de ce nouvel ouvrage :



AÉROPORTS DE PARIS



PREFACE



Ne nous leurrons pas. Nous sommes à la veille d'une évolution essentielle et en quelque sorte révolutionnaire dans l'histoire des réseaux de télécoms dans notre pays : la mutation du haut débit vers le très haut débit rendue possible grâce à l'implantation de la fibre dans le réseau d'accès. L'enjeu est de taille : il s'agit ni plus ni moins du renouvellement, structurant pour les quelques décennies à venir de la boucle locale fixe, aujourd'hui en cuivre.

Ce phénomène a déjà démarré dans plusieurs régions du monde, en prenant toutefois des formes assez différentes selon les caractéristiques des réseaux en place et les circonstances locales. Partout néanmoins, il s'agit moins d'une évolution que d'une vraie rupture, dans le montant des investissements envisagés et leur horizon d'amortissement, dans les services et les usages rendus ainsi possibles. Cette mutation aura des conséquences très importantes sur l'industrie, les opérateurs, les collectivités locales, mais également sur le développement de l'économie de la connaissance et la compétitivité de nos entreprises françaises.

Si elle était prévisible, cette évolution arrive finalement dans notre pays plus rapidement que prévu, même si bien sûr beaucoup d'obstacles demeurent à un déploiement harmonieux et homogène. En effet, jusqu'ici, le scepticisme était plutôt de mise sur la maturité du marché et du contexte réglementaire : les usages ne semblaient guère au rendez-vous pour justifier un tel investissement et certains opérateurs annonçaient qu'ils n'investiraient pas sans avoir l'assurance d'un monopole, même provisoire.

Comme souvent depuis quelques années en France, le marché et le dynamisme des opérateurs nous ont surpris.

On ne peut s'empêcher de souligner que cet élan constaté aujourd'hui sur le très haut débit est dans la lignée du dynamisme du marché sur le haut débit, principalement fondé sur l'innovation et la concurrence permises par le dégroupage et qui fait de notre pays un leader en terme d'offres de Voix sur broadband et d'offres triple-play.

Il convient également de souligner que ce qui se passe en France est assez différent de ce qui se passe chez nos voisins européens où on assiste souvent à un déploiement du type FTTC+VDSL. En Europe, la France semble aujourd'hui un des seuls pays à envisager d'emblée un déploiement FFTB voire FTTH. C'est d'ailleurs ce qui conduit nos homologues européens à évoquer « l'exception française » car en effet cette situation pose des problèmes, notamment réglementaires, assez spécifiques.

Quelle action publique ?

Il s'agit pour les pouvoirs publics, Etat, régulateur, mais aussi collectivités locales d'accompagner ce déploiement afin qu'il ait lieu dans les meilleures conditions pour notre pays. Pour cela il convient tout d'abord d'identifier les goulots d'étranglement techniques et économiques afin d'y remédier au mieux. En voici quelques uns.

Tout d'abord **la mutualisation des infrastructures passives** est clé : le génie civil, voire les câbles, comptent pour 50% à 80% du coût et sont éminemment partageables entre les opérateurs. Sa faisabilité est en train d'être investiguée par l'ARCEP.

En outre, **la partie terminale de la boucle en fibre** présente toutes les caractéristiques d'une infrastructure non substituable et difficilement réplifiable, bref d'un monopole naturel. Il est essentiel de permettre son ouverture, tout en garantissant un retour raisonnable sur investissement, si nous voulons éviter la reconstitution de monopoles locaux qui constituerait une sérieuse régression de la qualité de la concurrence qui s'est développée depuis quelques années sur le haut débit. Il est hors de question de devoir déménager pour changer d'opérateur.

Par ailleurs, **une refonte des relations entre opérateurs et détenteurs de contenus** est nécessaire pour en faire une relation gagnant-gagnant. Le très haut débit doit être vu comme une opportunité supplémentaire de valorisation des contenus, mais il est indispensable que les opérateurs aient un accès facilité, notamment aux contenus premium et sportifs et qu'ils puissent en retirer un partage équitable des revenus additionnels pour justifier ces investissements nouveaux particulièrement lourds.

Enfin, **le rôle des collectivités sera central comme facilitateurs du déploiement** : elles pourront encourager les opérateurs au partage des infrastructures et à la définition d'une topographie commune des parties passives de réseau, permettre de lisser l'investissement privé en le peréquant sur des zones plus larges et faciliter la négociation avec les bailleurs sociaux et les co-propriétés.

Bien sûr ce sont autant de chantiers devant nous pour assurer le succès de ce formidable projet d'équipement de nos territoires en réseaux à très haut débit.

Nous avons la chance de nous en saisir suffisamment en amont.
Mieux vaut ici prévenir que guérir pour le bien de notre collectivité nationale.

N'oublions pas que c'est la conjonction du dynamisme des opérateurs, de l'action publique nationale, de la régulation et de l'action publique locale qui a permis nos succès dans le haut débit.

Puissent des initiatives comme celle du C.R.E.D.O nous aider à poser sereinement les termes du débat, à trouver les voies de la juste régulation et à construire des partenariats publics-privés qui permettront à notre pays de garder dans le très-haut débit la place qu'il a su gagner dans le haut débit.

Gabrielle Gauthey
Membre du collège de l'ARCEP

SOMMAIRE GENERAL

| | | |
|-----------|---|------------|
| 1 | Préambule | 11 |
| 2 | Généralités sur les réseaux et le marché..... | 13 |
| 2.1 | Qu'est ce qu'un réseau de télécommunications ?..... | 13 |
| 2.2 | Panorama des architectures de desserte de type FTTx | 19 |
| 3 | La problématique du réseau d'accès | 23 |
| 3.1 | Architecture générique des réseaux d'accès..... | 23 |
| 3.2 | Critères de déploiement et d'exploitation | 27 |
| 3.3 | Progressivité de la mise en place | 29 |
| 3.4 | Déclinaison du modèle d'architecture en fonction des typologies d'habitat.. | 31 |
| 4 | Conception et mise en place de la couche infrastructure | 35 |
| 4.1 | Ingénierie et dimensionnement de la couche infrastructure | 35 |
| 4.2 | Technologies et composants de la couche infrastructure..... | 40 |
| 4.3 | Règles et techniques de mise en oeuvre de la couche infrastructure | 46 |
| 4.4 | Aménagement des locaux télécoms..... | 59 |
| 4.5 | Techniques de contrôle de la couche infrastructure..... | 63 |
| 5 | Conception et mise en place de la couche optique passive..... | 67 |
| 5.1 | Ingénierie et dimensionnement de la couche optique passive..... | 67 |
| 5.2 | Technologies et composants de la couche optique passive | 70 |
| 5.3 | Règles et techniques de mise en oeuvre de la couche optique passive | 97 |
| 5.4 | Test, recette et mise en service de la couche optique passive | 104 |
| 5.5 | Exploitation et maintenance du réseau d'accès | 108 |
| 6 | Conception et mise en place de la couche réseau..... | 115 |
| 6.1 | Ingénierie et dimensionnement de la couche réseau..... | 115 |
| 6.2 | Technologies et composants de la couche réseau | 116 |
| 6.3 | Positionnement des composants dans l'infrastructure | 122 |
| 6.4 | Règles et techniques de mise en oeuvre de la couche réseau..... | 124 |
| 6.5 | Tests recette et mise en service de la couche réseau..... | 128 |
| 6.6 | Exploitation et maintenance de la couche réseau..... | 135 |
| 7 | Le câblage d'immeuble collectif | 137 |
| 7.1 | Introduction..... | 137 |
| 7.2 | La mutualisation du câblage | 137 |
| 7.3 | Architecture du câblage d'immeuble..... | 138 |
| 7.4 | La pose du câblage..... | 143 |
| 7.5 | Dimensionnement..... | 143 |
| 7.6 | Tests recette et mise en service | 144 |
| 7.7 | Exploitation et maintenance de la zone d'abonné | 146 |
| 7.8 | Les normes de câblage d'immeuble..... | 146 |
| 8 | Acronymes | 147 |
| 9 | Références | 151 |
| 9.1 | Publications antérieures du Cercle C.R.E.D.O | 151 |
| 9.2 | Références bibliographiques | 153 |
| 10 | Liste des membres et contributeurs | 154 |
| 10.1 | Liste des contributeurs | 154 |
| 10.2 | Comité éditorial..... | 155 |
| 10.3 | Liste des adhérents* au Cercle C.R.E.D.O | 156 |

SOMMAIRE DETAILLE

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | Préambule | 11 |
| 2 | Généralités sur les réseaux et le marché..... | 13 |
| 2.1 | Qu'est ce qu'un réseau de télécommunications ?..... | 13 |
| 2.1.1 | Historique et évolution des réseaux de communication | 13 |
| 2.1.2 | Les services et les applications | 13 |
| 2.1.2.1 | Usagers professionnels | 13 |
| 2.1.2.2 | Usagers résidentiels | 14 |
| 2.1.3 | Notions d'architecture des réseaux | 15 |
| 2.1.4 | Hiérarchie des réseaux de communication | 15 |
| 2.1.5 | Réseaux longue distance | 16 |
| 2.1.6 | Réseaux de collecte | 16 |
| 2.1.7 | Réseaux d'accès ou de desserte..... | 17 |
| 2.2 | Panorama des architectures de desserte de type FTTx..... | 19 |
| 2.2.1 | Types d'architectures déployées | 19 |
| 2.2.1.1 | Généralités..... | 19 |
| 2.2.1.2 | Topologies intermédiaires FTTx | 19 |
| 2.2.1.3 | Topologies FTTH..... | 21 |
| 2.2.2 | Contexte réglementaire et typologie des acteurs du FTTH | 22 |
| 3 | La problématique du réseau d'accès | 23 |
| 3.1 | Architecture générique des réseaux d'accès..... | 23 |
| 3.1.1 | Architecture cible..... | 23 |
| 3.1.2 | Modélisation de l'architecture | 23 |
| 3.1.3 | Composantes du réseau d'accès | 26 |
| 3.2 | Critères de déploiement et d'exploitation | 27 |
| 3.2.1 | Critères de mutualisation..... | 27 |
| 3.2.2 | Critères de dimensionnement..... | 27 |
| 3.3 | Progressivité de la mise en place | 29 |
| 3.3.1 | La vision d'un schéma directeur d'équipement | 29 |
| 3.3.2 | Une mise en oeuvre progressive s'appuyant sur des opportunités de déploiement..... | 29 |
| 3.3.3 | L'importance du nœud de flexibilité | 30 |
| 3.4 | Déclinaison du modèle d'architecture en fonction des typologies d'habitat.. | 31 |
| 3.4.1 | Desserte en habitat urbain dense..... | 31 |
| 3.4.2 | Desserte en habitat urbain pavillonnaire..... | 32 |
| 3.4.3 | Desserte en habitat rural dispersé | 32 |
| 3.4.4 | Desserte de zone d'activités économiques..... | 33 |
| 4 | Conception et mise en place de la couche infrastructure | 35 |
| 4.1 | Ingénierie et dimensionnement de la couche infrastructure | 35 |
| 4.1.1 | Optimisation du réseau d'infrastructure | 35 |
| 4.1.2 | Progressivité de la mise en place | 36 |
| 4.1.3 | Infrastructure pré-déployée | 36 |
| 4.1.4 | Infrastructure déployée à la demande | 36 |
| 4.1.5 | Dimensionnement de la couche d'infrastructure | 36 |
| 4.1.5.1 | Desserte en habitat urbain dense | 36 |
| 4.1.5.2 | Desserte en habitat urbain pavillonnaire | 37 |
| 4.1.5.3 | Desserte en habitat rural | 37 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 4.1.5.4 | Desserte de zones d'activités économiques | 38 |
| 4.1.6 | Règles de repérage des fourreaux | 39 |
| 4.2 | Technologies et composants de la couche infrastructure..... | 40 |
| 4.2.1 | Les fourreaux | 40 |
| 4.2.2 | Les tubes et micro-tubes | 40 |
| 4.2.2.1 | Sous-tubage de fourreaux existants en PeHD | 40 |
| 4.2.2.2 | Sous-tubage de fourreaux PVC ou autres | 41 |
| 4.2.2.3 | Pose en pleine terre de micro-tubes | 41 |
| 4.2.3 | Les manchons et derivations | 42 |
| 4.2.3.1 | Accessoires pour fourreaux | 42 |
| 4.2.3.2 | Accessoires pour micro-tubes | 42 |
| 4.2.3.2.1 | Raccords et bouchons | 42 |
| 4.2.3.2.2 | Systèmes de dérivation | 43 |
| 4.2.4 | Les chambres et regards | 43 |
| 4.3 | Règles et techniques de mise en œuvre de la couche infrastructure | 46 |
| 4.3.1 | Types et choix de fourreaux | 46 |
| 4.3.2 | Confection des tranchées et mise en place des fourreaux | 46 |
| 4.3.3 | Nouvelles technologies de génie civil allégé | 47 |
| 4.3.3.1 | Introduction | 47 |
| 4.3.3.2 | Les principes | 47 |
| 4.3.3.2.1 | La micro-rainure | 47 |
| 4.3.3.2.2 | La micro-tranchée | 47 |
| 4.3.3.3 | Intérêt du procédé de micro-tranchée | 48 |
| 4.3.3.4 | Projet de norme et techniques actuelles de micro-tranchées | 48 |
| 4.3.3.5 | Matériaux et techniques | 49 |
| 4.3.3.5.1 | Canalisation | 49 |
| 4.3.3.5.2 | Excavation | 49 |
| 4.3.3.5.3 | Remblai | 49 |
| 4.3.3.5.4 | Réfection de la couche de roulement | 49 |
| 4.3.3.6 | Construction de réseaux en milieu urbain et semi-urbain sous chaussée | 50 |
| 4.3.3.6.1 | Application | 50 |
| 4.3.3.6.2 | Procédé | 50 |
| 4.3.3.6.3 | Spécificité | 50 |
| 4.3.3.6.4 | Avantages | 50 |
| 4.3.3.6.5 | Innovation | 50 |
| 4.3.3.6.6 | Cadence | 50 |
| 4.3.3.6.7 | Caractéristiques de l'outil de tronçonnage | 50 |
| 4.3.3.6.8 | Schéma technique | 51 |
| 4.3.3.6.9 | Organisation et mise en œuvre | 51 |
| 4.3.3.7 | Construction de réseaux en milieu urbain sous chaussée et trottoir | 53 |
| 4.3.3.7.1 | Application | 53 |
| 4.3.3.7.2 | Procédé | 53 |
| 4.3.3.7.3 | Spécificité | 53 |
| 4.3.3.7.4 | Avantages | 53 |
| 4.3.3.7.5 | Innovation | 53 |
| 4.3.3.7.6 | Cadence | 53 |
| 4.3.3.7.7 | Caractéristiques de l'outil de tronçonnage | 53 |
| 4.3.3.7.8 | Schéma technique | 54 |
| 4.3.3.8 | Construction de réseaux de fibres optiques sur rocades urbaines, voies expresses et autoroutes | 54 |
| 4.3.3.8.1 | Application | 54 |
| 4.3.3.8.2 | Procédé | 54 |
| 4.3.3.8.3 | Spécificité | 54 |
| 4.3.3.8.4 | Avantages | 54 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 4.3.3.8.5 | Innovation..... | 55 |
| 4.3.3.8.6 | Cadence..... | 55 |
| 4.3.3.8.7 | Caractéristiques de l'outil de tronçonnage | 55 |
| 4.3.3.8.8 | Schéma technique..... | 55 |
| 4.3.3.9 | Construction de réseaux en milieu urbain sous trottoir..... | 56 |
| 4.3.3.9.1 | Application..... | 56 |
| 4.3.3.9.2 | Procédé..... | 56 |
| 4.3.3.9.3 | Spécificité..... | 56 |
| 4.3.3.9.4 | Avantages | 56 |
| 4.3.3.9.5 | Innovation..... | 56 |
| 4.3.4 | Sous-tubage..... | 58 |
| 4.3.4.1 | Sous-tubage de fourreaux PeHD..... | 58 |
| 4.3.4.2 | Sous-tubage d'autres ypes de fourreaux | 58 |
| 4.4 | Aménagement des locaux télécoms..... | 59 |
| 4.4.1 | Locaux techniques pour Nœuds d'Accès | 59 |
| 4.4.1.1 | Accès des clients aux fibres mutualisées..... | 60 |
| 4.4.1.2 | Contraintes liées à la colocalisation..... | 61 |
| 4.4.2 | Armoires de rues..... | 62 |
| 4.4.2.1 | Les armoires actives..... | 62 |
| 4.4.2.2 | Les armoires passives | 62 |
| 4.4.3 | Les Shelters et locaux techniques d'immeubles | 62 |
| 4.5 | Techniques de contrôle de la couche infrastructure..... | 63 |
| 4.5.1 | Contrôle en cours des travaux..... | 63 |
| 4.5.1.1 | Contrôle du génie civil | 63 |
| 4.5.1.2 | Contrôle des fourreaux | 63 |
| 4.5.1.2.1 | Essais d'étanchéité | 64 |
| 4.5.1.2.2 | Calibrage (mandrinage) d'une conduite | 64 |
| 4.5.1.3 | Contrôle des chambres | 65 |
| 4.5.2 | Recettes finales..... | 65 |
| 4.5.3 | Les documents de fin des travaux | 66 |
| 5 | Conception et mise en place de la couche optique passive..... | 67 |
| 5.1 | Ingénierie et dimensionnement de la couche optique passive..... | 67 |
| 5.1.1 | Desserte en habitat urbain dense..... | 67 |
| 5.1.2 | Desserte en habitat urbain pavillonnaire..... | 68 |
| 5.1.3 | Desserte en habitat rural dispersé | 68 |
| 5.1.4 | Desserte de zones d'acitivités économiques | 69 |
| 5.2 | Technologies et composants de la couche optique passive..... | 70 |
| 5.2.1 | Choix de la fibre | 70 |
| 5.2.1.1 | Les fibres G652 – SMF (Single Mode Fiber – monomode) | 70 |
| 5.2.1.2 | La fibre G652.B vs G652.D - faible pic OH | 70 |
| 5.2.1.3 | Les fibres G657, fibres à faible rayon de courbure | 71 |
| 5.2.1.4 | Typologie des fibres à déployer | 71 |
| 5.2.2 | Les câbles du réseau d'accès | 72 |
| 5.2.2.1 | Segmentation générale | 72 |
| 5.2.2.2 | Caractéristiques générales des câbles de desserte..... | 73 |
| 5.2.2.3 | Câbles adaptés au segment transport (du NA au NF) | 74 |
| 5.2.2.3.1 | Câble pour pose en environnements sévères – pleine terre / égout | 74 |
| 5.2.2.3.2 | Câbles pour pose en tunnels et/ou métro | 75 |
| 5.2.2.3.3 | Câbles pour pose en conduites | 75 |
| 5.2.2.3.4 | Câbles pour pose en micro-conduites | 76 |
| 5.2.2.3.5 | Câbles pour pose directe en micro-rainure | 78 |
| 5.2.2.3.6 | Câbles pour pose en aérien..... | 78 |
| 5.2.2.3.7 | Câbles à forte contenance..... | 79 |

| | |
|--|-----------|
| 5.2.2.4 Câbles adaptés au segment distribution (du NF au PR) | 80 |
| 5.2.2.4.1 Câbles multifonctions conduite - aérien | 80 |
| 5.2.2.4.2 Câbles à Accessibilité Permanente en piquage tendu – conduite ou égout | 80 |
| 5.2.2.5 Câbles adaptés au segment raccordement (du PR à l'abonné) | 81 |
| 5.2.2.5.1 Raccordement extérieur | 81 |
| 5.2.2.6 Câbles adaptés à la desserte d'immeuble | 82 |
| 5.2.2.6.1 Les câbles de distribution intérieurs..... | 82 |
| 5.2.2.6.2 Câbles d'abonné - Raccordement intérieur..... | 82 |
| 5.2.2.6.3 Les cordons d'abonné | 83 |
| 5.2.3 La connectique optique adaptée aux réseaux d'accès..... | 83 |
| 5.2.3.1 Connexions au Nœud d'accès (NA) | 84 |
| 5.2.3.1.1 Etat de l'art | 84 |
| 5.2.3.1.2 Connectique PC ou APC | 84 |
| 5.2.3.1.3 Raccordement aux câbles | 84 |
| 5.2.3.1.4 Jarretières (cordons de brassage) | 84 |
| 5.2.3.1.5 Cas des répartiteurs au NA sans connecteur | 85 |
| 5.2.3.2 Connexion dans l'infrastructure (du NA au PR) | 85 |
| 5.2.3.2.1 Epissures | 85 |
| 5.2.3.2.2 Connecteurs aux points de flexibilité | 85 |
| 5.2.3.3 Connexion dans le raccordement d'abonné (du PR au PA) | 85 |
| 5.2.3.3.1 L'épissure mécanique..... | 85 |
| 5.2.3.4 Connexion chez l'abonné (PA) | 86 |
| 5.2.3.4.1 Pigtail + épissure | 86 |
| 5.2.3.4.2 Mise en œuvre par cordons « pré-connectorisés » | 86 |
| 5.2.3.4.3 Connectique à mise en œuvre sur site | 86 |
| 5.2.4 Les accessoires de raccordement adaptés aux réseaux de desserte | 89 |
| 5.2.4.1 Le répartiteur au noeud d'accès (NA) | 89 |
| 5.2.4.1.1 Critères de choix | 89 |
| 5.2.4.1.2 L'application | 90 |
| 5.2.4.1.3 La configuration du noeud..... | 90 |
| 5.2.4.2 Les boîtes d'épissures | 91 |
| 5.2.4.2.1 Définition | 91 |
| 5.2.4.2.2 Critères de choix | 92 |
| 5.2.4.2.3 Recommandations sur les boîtes étanches | 93 |
| 5.2.4.3 Les nœuds de flexibilité passifs | 94 |
| 5.2.4.3.1 Définition | 94 |
| 5.2.4.3.2 Environnement | 94 |
| 5.2.4.3.3 Recommandations | 94 |
| 5.2.4.3.4 Sécurité et exploitation | 94 |
| 5.2.4.4 Les nœuds de flexibilité actifs..... | 95 |
| 5.2.4.4.1 Les contraintes liées à la sécurité | 95 |
| 5.2.4.4.2 Recommandations | 95 |
| 5.2.4.5 Les points de branchement | 95 |
| 5.2.4.5.1 Définition | 95 |
| 5.2.4.5.2 Recommandations | 96 |
| 5.2.5 Cohérence entre câbles et accessoires de raccordement | 96 |
| 5.3 Règles et techniques de mise en œuvre de la couche optique passive | 97 |
| 5.3.1 Pose des câbles dans l'infrastructure d'accès | 97 |
| 5.3.1.1 Les contraintes appliquées au câble..... | 97 |
| 5.3.1.1.1 La traction | 97 |
| 5.3.1.1.2 La torsion ou le vrillage..... | 97 |
| 5.3.1.1.3 Le pliage (faible rayon de courbure statique ou dynamique)..... | 97 |
| 5.3.1.1.4 L'écrasement..... | 97 |
| 5.3.1.1.5 Les contraintes climatiques | 98 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 5.3.1.2 | Pose de câbles au treuil | 98 |
| 5.3.1.2.1 | Recommandation pour le tirage de longueurs de 0 et 900 m | 98 |
| 5.3.1.2.2 | Recommandation pour le tirage de longueurs supérieures à 900 m | 98 |
| 5.3.1.2.3 | Recommandation pour le tirage dit "boucle de tampon" | 98 |
| 5.3.1.3 | Pose du câble par « soufflage – tirage » | 98 |
| 5.3.1.4 | Pose du câble par soufflage (air) | 99 |
| 5.3.1.4.1 | Impact sur les câbles | 100 |
| 5.3.1.4.2 | Impact sur les fourreaux | 100 |
| 5.3.1.4.3 | Pose de câbles multiples | 100 |
| 5.3.1.4.4 | Précautions à prendre pendant la mise en place | 101 |
| 5.3.1.5 | Pose du câble par flottage (eau) | 101 |
| 5.3.1.5.1 | Avantages de la méthode | 102 |
| 5.3.1.5.2 | Inconvénients de la méthode | 102 |
| 5.3.1.6 | Pose des micro-câbles par soufflage à l'air dans les micro-tubes | 102 |
| 5.4 | Test, recette et mise en service de la couche optique passive | 104 |
| 5.4.1 | Introduction | 104 |
| 5.4.2 | Cible de la recette | 104 |
| 5.4.3 | Types de tests à réaliser | 105 |
| 5.4.3.1 | Cas du tronçon NA-NF | 105 |
| 5.4.3.2 | Cas du tronçon NF-PR | 107 |
| 5.5 | Exploitation et maintenance du réseau d'accès | 108 |
| 5.5.1 | Généralités | 108 |
| 5.5.2 | Organisation | 108 |
| 5.5.2.1 | Exploitation | 108 |
| 5.5.2.2 | Maintenance | 109 |
| 5.5.3 | Les missions d'exploitation | 109 |
| 5.5.3.1 | La fourniture de circuits | 109 |
| 5.5.3.2 | Les calculs de bilans | 109 |
| 5.5.3.3 | Les mesures de circuits | 110 |
| 5.5.4 | Les missions de maintenance | 110 |
| 5.5.4.1 | La maintenance préventive | 110 |
| 5.5.4.2 | La maintenance curative | 110 |
| 5.5.4.3 | Les travaux programmés | 111 |
| 5.5.5 | La documentation et les outils d'exploitation | 111 |
| 5.5.5.1 | Documentation | 111 |
| 5.5.5.2 | Système de Gestion | 111 |
| 5.5.5.3 | La base de données documentaire | 113 |
| 5.5.5.4 | Les outils de surveillance et d'aide à l'exploitation | 114 |
| 6 | Conception et mise en place de la couche réseau | 115 |
| 6.1 | Ingénierie et dimensionnement de la couche réseau | 115 |
| 6.2 | Technologies et composants de la couche réseau | 116 |
| 6.2.1 | Les applications réseaux Ethernet point à point | 116 |
| 6.2.2 | Les réseaux Ethernet à double étoile active (AON) | 117 |
| 6.2.3 | Les réseaux x-PON | 118 |
| 6.2.4 | Les composants des réseaux FTTH | 119 |
| 6.2.4.1 | L'OLT – Optical Line Terminal | 119 |
| 6.2.4.2 | Les Coupleurs (spécifiques au PON) | 120 |
| 6.2.4.3 | L'ONT – Optical Network Terminaison | 121 |
| 6.3 | Positionnement des composants dans l'infrastructure | 122 |
| 6.3.1 | Architecture et dimensionnement Ethernet point à point | 122 |
| 6.3.2 | Architecture et dimensionnement Ethernet en double étoile active | 122 |
| 6.3.3 | Architecture et dimensionnement x-PON (*) | 122 |

| | | |
|-------------|--|------------|
| 6.3.4 | Comparaison des technologies | 123 |
| 6.4 | Règles et techniques de mise en oeuvre de la couche réseau..... | 124 |
| 6.4.1 | Principe d'activation progressive | 125 |
| 6.4.2 | Contraintes de mutualisation | 126 |
| 6.5 | Tests recette et mise en service de la couche réseau..... | 128 |
| 6.5.1 | Constitution du « circuit » de la couche optique..... | 128 |
| 6.5.1.1 | Cas d'un circuit de type Ethernet point à point..... | 128 |
| 6.5.1.2 | Cas d'un circuit de type PON..... | 129 |
| 6.5.2 | Synthèse des tests réalisés..... | 129 |
| 6.5.3 | Nature des tests réalisés | 131 |
| 6.5.3.1 | Test du circuit NA-PR constitué – segment 1+2 | 131 |
| 6.5.3.2 | Test de circuit OLT éteint - mesure par insertion | 131 |
| 6.5.3.3 | Test du circuit OLT allumé - mesure de puissance sélective | 132 |
| 6.5.3.4 | Bilan optique théorique | 132 |
| 6.5.3.5 | Mesures reflectométriques | 133 |
| 6.6 | Exploitation et maintenance de la couche réseau..... | 135 |
| 7 | Le câblage d'immeuble collectif | 137 |
| 7.1 | Introduction..... | 137 |
| 7.2 | La mutualisation du câblage | 137 |
| 7.2.1 | Les motivations d'une mutualisation | 137 |
| 7.2.2 | Rôles et responsabilités | 138 |
| 7.3 | Architecture du câblage d'immeuble..... | 138 |
| 7.3.1 | Boîtier de Pied d'Immeuble (BPI) | 138 |
| 7.3.2 | Points de Raccordement (PR) | 139 |
| 7.3.3 | Points d'Abonnés (PA) | 139 |
| 7.3.4 | Typologies des immeubles | 139 |
| 7.3.5 | Architecture pour les petits immeubles | 139 |
| 7.3.6 | Architecture pour les immeubles moyens et grands | 140 |
| 7.3.7 | Choix d'un système de câblage | 140 |
| 7.4 | La pose du câblage..... | 143 |
| 7.5 | Dimensionnement..... | 143 |
| 7.6 | Tests recette et mise en service | 144 |
| 7.6.1 | Test et recette du câblage d'immeuble | 144 |
| 7.6.2 | Test et recette de l'installation d'usager | 144 |
| 7.6.3 | Activation des services | 145 |
| 7.7 | Exploitation et maintenance de la zone d'abonné | 146 |
| 7.8 | Les normes de câblage d'immeuble..... | 146 |
| 8 | Acronymes | 147 |
| 9 | Références | 151 |
| 9.1 | Publications antérieures du Cercle C.R.E.D.O..... | 151 |
| 9.2 | Références bibliographiques | 153 |
| 10 | Liste des membres et contributeurs | 154 |
| 10.1 | Liste des contributeurs | 154 |
| 10.2 | Comité éditorial..... | 155 |
| 10.3 | Liste des adhérents* au Cercle C.R.E.D.O | 156 |

LISTE DES FIGURES ET TABLEAU

Liste des Figures:

| | |
|--|----|
| Figure 2.1 : hiérarchie des réseaux | 15 |
| Figure 2.2 : architecture et segmentation du réseau téléphonique | 16 |
| Figure 2.3 : déclinaison des architectures FTTx | 19 |
| Figure 2.4 : déclinaison d'architecture FTTx - le cas du NRA-HD | 20 |
| Figure 2.5 : déclinaison d'architecture FTTx - le cas des réseaux câblés HFC | 20 |
| Figure 2.6 : déclinaison d'architectures FTTx - le cas du « curb switch Ethernet » | 20 |
| Figure 2.7 : topologie FTTH point à point (P2P) | 21 |
| Figure 2.8 : topologie FTTH en double étoile active (AON)..... | 21 |
| Figure 2.9 : topologie FTTH en PON | 21 |
| Figure 3.1 : architecture cible FTTH | 24 |
| Figure 3.2 : description fonctionnelle du réseau d'accès..... | 25 |
| Figure 3.3 : positionnement physique des nœuds | 25 |
| Figure 3.4 : la propriété des différents matériels | 26 |
| Figure 3.5 : le modèle en 3 couches..... | 26 |
| Figure 3.6 : règles générales de dimensionnement des infrastructures | 28 |
| Figure 3.7 : architecture Ethernet à terminaison CPL | 30 |
| Figure 3.8 : architecture en double étoile active (AON)..... | 30 |
| Figure 3.9 : architecture FTTH point à point | 30 |
| Figure 3.10 : architecture FTTH PON | 30 |
| Figure 3.11 : architecture de desserte en habitat urbain dense | 31 |
| Figure 3.12 : architecture de desserte en habitat urbain résidentiel..... | 32 |
| Figure 3.13 : architecture de desserte en habitat rural dispersé | 33 |
| Figure 3.14 : architecture de desserte de zone d'activités économiques | 34 |
| Figure 4.1 : éléments de dimensionnement du réseau d'accès | 35 |
| Figure 4.2 : sous tubage de fourreaux existants | 40 |
| Figure 4.3 : sous-tubage de fourreaux PVC par multitubes pré-assemblés..... | 41 |
| Figure 4.4 : multitubes pré-assemblés..... | 41 |
| Figure 4.5 : accessoires de manchonnage de fourreaux | 42 |
| Figure 4.6 : raccord de micro-tubes..... | 42 |
| Figure 4.7 : dérivation de micro-tubes | 43 |
| Figure 4.8 : schéma d'implantation de chambre | 44 |
| Figure 4.9 : chambre PVR | 45 |
| Figure 4.10 : confection de tranchée et mise en place des fourreaux sous chaussée | 46 |
| Figure 4.11 : coupe d'une saignée réalisée en micro-rainurage | 47 |
| Figure 4.12 : coupe d'une saignée réalisée en micro-tranchage classique - Pose de plusieurs fourreaux..... | 47 |
| Figure 4.13 : machine de micro-tranchage en milieu urbain..... | 49 |
| Figure 4.14 : schéma technique de la machine de micro-tranchage en milieu urbain ou semi-urbain sous chaussée..... | 51 |
| Figure 4.15 : étapes de mise en œuvre de micro-tranchage - détection des réseaux existants sous chaussée | 51 |
| Figure 4.16 : étapes de mise en œuvre de micro-tranchage - tranchage | 51 |
| Figure 4.17 : étapes de mise en œuvre de micro-tranchage - pose de fourreaux | 52 |
| Figure 4.18 : étapes de mise en œuvre de micro-tranchage - remblaiement béton..... | 52 |
| Figure 4.19 : étapes de mise en œuvre de micro-tranchage – réfection de la couche de roulement | 52 |
| Figure 4.20 : schéma technique de la machine de micro tranchage en milieu urbain sous chaussée ou trottoir | 54 |
| Figure 4.21 : vue d'une micro tranchée | 55 |
| Figure 4.22 : schéma technique et vue de la machine de micro-tranchage pour voies expresses, rocades, autoroutes..... | 55 |
| Figure 4.23 : schéma technique et vue de la machine de micro tranchage sous trottoir | 56 |
| Figure 4.24 : schémas du procédé de tranchage sous trottoir | 57 |
| Figure 4.25 : coupe de micro-tranchée sous trottoir..... | 57 |
| Figure 4.26 : système de pose de micro-tubes par soufflage..... | 58 |
| Figure 4.27 : pose en conduite occupée avec un câble | 58 |
| Figure 4.28 : organisation des centres télécoms NA - accès des clients colocalisés et externes | 60 |
| Figure 4.29 : armoire de rue de 576 connecteurs câblée à 100%. Cette armoire à une emprise au sol de 1.40 x 0.60 mètres. . | 62 |
| Figure 4.30 : accessoires de contrôle des micro-tubes | 64 |
| Figure 4.31 : mandrin adapté au contrôle des conduites PVC | 65 |
| Figure 4.32 : mandrin adapté au contrôle des conduites PeHD | 65 |
| Figure 5.1 : éléments de dimensionnement du réseau d'accès | 67 |
| Figure 5.2 : courbe d'affaiblissement des fibres G652 | 70 |
| Figure 5.3 : positionnement des types de fibre dans l'architecture | 71 |
| Figure 5.4 : différents segments de l'architecture du réseau d'accès | 72 |
| Figure 5.5 : les concepts de câblage | 73 |
| Figure 5.6 : câble pour environnement sévère | 75 |
| Figure 5.7 : câble pour tunnel | 75 |
| Figure 5.8 : câble à micromodules assemblés | 76 |
| Figure 5.9 : câble 72 fibres de 6 mm pour soufflage en micro-conduites de type 8/10. | 77 |
| Figure 5.10 : micro-câble 6 fibres diamètre 1,4 mm..... | 77 |

| | |
|--|-----|
| Figure 5.11 : micro-câble renforcée 4 fibres diamètre 3.7mm | 78 |
| Figure 5.12 : câble pour pose directe en micro-rainure..... | 78 |
| Figure 5.13 : structures de câbles aériens | 79 |
| Figure 5.14: câble à forte contenance | 79 |
| Figure 5.15 : câble mixte conduite - aérien | 80 |
| Figure 5.16 : câble à accessibilité permanente | 80 |
| Figure 5.17 : câble à accessibilité permanente organisation et pose en égouts | 81 |
| Figure 5.18 : câble de raccordement d'extérieur d'abonné | 81 |
| Figure 5.19 : desserte intérieure d'immeuble et câbles à accessibilité permanente adaptés..... | 82 |
| Figure 5.20 : câble d'abonné 2 fibres | 83 |
| Figure 5.21 : pigtail, raccord et jarretière SC/APC | 84 |
| Figure 5.22 : répartiteur avec modules pré-câblés et jarretières 2 mm..... | 84 |
| Figure 5.23 : exemple d'épisures mécaniques pour les réseaux FTTH et outillage de mise en œuvre..... | 85 |
| Figure 5.24 : exemple de l'intérieur d'un boîtier mural d'intérieur avec cassette de lavage et emplacement pour les épisures . | 86 |
| Figure 5.25 : vue en coupe d'un connecteur FA au standard NTT pré-fibré avec épissure incorporée..... | 87 |
| Figure 5.26 : connectique SC de terrain | 87 |
| Figure 5.27 : sacoche de ceinture pour l'outillage épissure et connecteur | 87 |
| Figure 5.28 : holder pour la mise en place de la fibre et son sertissage dans le connecteur | 87 |
| Figure 5.29 : prise d'abonné..... | 88 |
| Figure 5.30 : caractéristiques d'un répartiteur 4000 et 30000 fibres..... | 89 |
| Figure 5.31 : exemple d'une tête de câble avec 100% des jarretières | 89 |
| Figure 5.32 : tiroir et ferme de répartition modulaire, chaque module 12 connecteurs étant indépendant des autres..... | 90 |
| Figure 5.33 : exemples de configurations de nœud de brassage..... | 91 |
| Figure 5.34 : boîte d'épisures en fonction joint droit..... | 91 |
| Figure 5.35 : boîte d'épisures en fonction distribution | 91 |
| Figure 5.36 : boîte d'épisures en fonction piquage..... | 92 |
| Figure 5.37 : boîtier sur appui aérien..... | 92 |
| Figure 5.38 : boîtier pour chambre souterraine | 92 |
| Figure 5.39 : protection d'épisures étanche avec organisateur à gestion fibre à fibre | 93 |
| Figure 5.41 : introduction d'un nouveau câble sur une boîte déjà en service | 93 |
| Figure 5.40 : fermeture d'une protection d'épissure sans outil | 93 |
| Figure 5.42 : schéma pour pose d'une boîte de raccordement dans CH L2T..... | 93 |
| Figure 5.43 : schéma pour pose d'une boîte de raccordement dans CH L3T..... | 93 |
| Figure 5.44 : Nœud de Flexibilité en armoire de rue..... | 94 |
| Figure 5.45 : armoire de rue de 576 connecteurs câblée à 100%..... | 94 |
| Figure 5.46 : coffret extractible monté sur châssis basculant pour nœud de flexibilité d'environ 100 fibres..... | 94 |
| Figure 5.47 : coffret de point de raccordement de façade | 95 |
| Figure 5.48 : coffret de point de raccordement de pied d'immeuble..... | 95 |
| Figure 5.49 : coffret de point de raccordement de palier | 96 |
| Figure 5.50 : pose par soufflage - tirage | 99 |
| Figure 5.51 : pose par soufflage | 99 |
| Figure 5.52 : différents segments de l'architecture du réseau d'accès | 104 |
| Figure 5.53 : dimensionnement des tronçons sur le réseau de desserte | 105 |
| Figure 5.54 : tests OTDR | 106 |
| Figure 5.55 : surveillance dans le temps atténuation et réflectance | 110 |
| Figure 5.56 : système global de gestion | 112 |
| Figure 5.57 : cartographie | 113 |
| Figure 5.58 : gestion de l'infrastructure | 113 |
| Figure 5.59 : système de surveillance RFTS | 114 |
| Figure 6.1 : schéma d'une chaîne de liaison Ethernet point à point | 116 |
| Figure 6.2 : schéma d'une chaîne de liaison Ethernet AON..... | 117 |
| Figure 6.3 : schéma d'une chaîne de liaison PON | 118 |
| Figure 6.4 : exemple d'OLT industriel | 120 |
| Figure 6.5 : exemple de coupleurs industriels..... | 120 |
| Figure 6.6 : exemple d'ONT industriel | 121 |
| Figure 6.7 : chaîne de liaison type d'une architecture PON | 122 |
| Figure 6.8 : exemple de dimensionnement pour des ZAE distantes | 124 |
| Figure 6.9 : schéma de PON DWDM..... | 126 |
| Figure 6.10 : mutualisation passive des PON | 127 |
| Figure 6.11 : constitution d'un « circuit » point à point FTTH | 128 |
| Figure 6.12 : constitution d'un « circuit » point à multipoint FTTH..... | 129 |
| Figure 6.13 : schéma de principe d'une mesure par insertion | 131 |
| Figure 6.14 : mesure de puissance sélective..... | 132 |
| Figure 6.15 : trace OTDR (NA-PR) – infrastructure mettant en œuvre des coupleurs | 133 |
| Figure 6.16 : trace OTDR (PR-NA) – infrastructure mettant en œuvre des coupleurs | 134 |
| Figure 6.17 : insertion d'un testeur dans l'installation d'abonné | 135 |
| Figure 7.1 : architecture de câblage de petits immeubles | 139 |
| Figure 7.2 : architecture de câblage d'immeubles moyens ou grands..... | 140 |
| Figure 7.3 : système de câblage d'immeuble à base de câble à accessibilité permanente à fibre unitaire | 142 |
| Figure 7.4 : système de câblage d'immeuble : câble à accessibilité permanente à tubes multi fibres | 142 |
| Figure 7.5 : laser rouge pour le test du raccordement d'abonné | 144 |
| Figure 7.6 : pince optique | 146 |
| Figure 7.7 : réflectomètre optique..... | 146 |

Liste des Tableaux:

| | |
|---|-----|
| Tableau 2.1 : débit nécessaire par programme TV | 14 |
| Tableau 2.2 : débit nécessaire par logement | 14 |
| Tableau 4.1 : dimensionnement de la couche d'infrastructure – habitat urbain dense | 37 |
| Tableau 4.2 : dimensionnement de la couche d'infrastructure – habitat urbain pavillonnaire | 37 |
| Tableau 4.3 : dimensionnement de la couche d'infrastructure – habitat rural | 38 |
| Tableau 4.4 : dimensionnement de la couche d'infrastructure – desserte de zone d'activités économiques | 38 |
| Tableau 4.5 : correspondance entre les dimensions des micro-tubes et les capacités des micro câbles | 40 |
| Tableau 4.6 : capacité de sous tubage (nombre de micro-tubes) dans une conduite existante | 41 |
| Tableau 4.7 : gammes et modularités de faisceaux multitubes pré-assemblés | 41 |
| Tableau 4.8 : gammes et modularités de faisceaux multitubes pré-assemblés | 42 |
| Tableau 4.9 : rayons de courbure applicables aux micro-tubes | 43 |
| Tableau 4.10 : types de chambres, dimensions et fonction | 44 |
| Tableau 4.11 : types de chambres, dimensions et fonctions | 44 |
| Tableau 4.12 : choix des dimensions de fourreaux ou tubes en fonction des diamètres de câble à supporter | 46 |
| Tableau 4.13 : micro-tranchage en milieu urbain sous chaussée - largeurs et profondeurs des micro tranchées | 50 |
| Tableau 4.14 : micro-tranchage en milieu urbain sous trottoir- largeurs et profondeurs des micro-tranchées | 53 |
| Tableau 4.15 : dimension des mandrins en fonction des types et dimensions de la conduite à contrôler | 65 |
| Tableau 5.1 : dimensionnement de l'architecture de desserte en habitat urbain dense | 68 |
| Tableau 5.2 : dimensionnement de l'architecture de desserte en habitat urbain pavillonnaire | 68 |
| Tableau 5.3 : dimensionnement de l'architecture de desserte en habitat rural dispersé | 69 |
| Tableau 5.4 : dimensionnement de l'architecture de desserte de zone d'activités économiques | 69 |
| Tableau 5.5 : caractéristiques des fibres G652 et G657 | 71 |
| Tableau 5.6 : caractéristiques des micro-câbles pour micro-conduites | 77 |
| Tableau 5.7 : rappel des dimensionnements des différents noeuds | 83 |
| Tableau 5.8 : caractéristiques principales d'un connecteur de type SC | 84 |
| Tableau 5.9 : caractéristiques principales d'une épissure mécanique | 86 |
| Tableau 5.10 : caractéristiques principales d'un connecteur de prise d'abonné | 88 |
| Tableau 5.11 : caractéristiques du compresseur pour la pose par soufflage | 101 |
| Tableau 5.12 : distance de pose par flottage pour un câble de 11mm de diamètre | 102 |
| Tableau 5.13 : valeur moyenne d'affaiblissement des différents composants d'un circuit optique | 109 |
| Tableau 6.1 : caractéristiques type d'un OLT PON industriel | 120 |
| Tableau 6.2 : caractéristiques type d'un coupleur | 121 |
| Tableau 6.3 : caractéristiques type d'un ONT PON industriel | 121 |
| Tableau 6.4 : modélisation des besoins en fibres de transport dans le cas de systèmes PON | 123 |
| Tableau 6.5 : caractéristiques comparées des systèmes P2P, AON et PON | 123 |
| Tableau 6.6 : synthèse des tests réalisés sur les circuits de la couche optique | 130 |
| Tableau 6.7 : valeur moyenne d'affaiblissement des différents composants d'un circuit optique | 132 |
| Tableau 6.8 : exemple de calcul de bilan optique pour un PON non activé | 133 |
| Tableau 7.1 : classification des immeubles | 139 |
| Tableau 7.2 : répartition des coûts d'un câblage d'immeuble en fonction des technologies de câblage | 141 |
| Tableau 7.3 : dimensionnement des câbles d'immeuble | 143 |

1 PREAMBULE

A la faveur d'un contexte réglementaire réadapté, les Collectivités Territoriales se sont désormais insérées dans le nouveau panorama des télécommunications en dotant leurs territoires des réseaux de collecte essentiels au développement de la concurrence entre opérateurs et des nouveaux services associés.

Le Cercle C.R.E.D.O a contribué à cette dynamique en publiant dès 2004, son ouvrage intitulé "**Territoires Numériques - guide de mise en place de réseaux fibre optique haut débit**", qui décline l'ensemble des règles de conception, de mise en œuvre et d'exploitation des réseaux de collecte. Cette publication a permis d'éclairer le Maître d'Ouvrage sur les enjeux, l'organisation du marché, le contexte réglementaire, et les choix technologiques qui lui permettent de favoriser le développement des services télécoms sur le territoire.

Le développement des nouveaux usages et services tels que le "triple-play" nécessite dorénavant des débits que le réseau téléphonique traditionnel ne permet plus de couvrir. Dans un marché des télécommunications en pleine mutation, le réseau d'accès constitue le chaînon manquant au développement, vers les usagers, des usages et services à très haut débit, d'aujourd'hui et de demain.

Dans ce contexte, la refonte des réseaux d'accès n'apparaît plus aujourd'hui comme une alternative, mais constitue une condition essentielle au maintien de l'attractivité numérique des territoires.

Si les ingénieurs avaient perçu, dans les années 70, au moment de la modernisation du réseau téléphonique, l'usage auquel le réseau serait confronté 30 ans plus tard, il est aujourd'hui certain qu'ils en auraient fondé l'accès sur la technologie fibre optique et non sur la paire de cuivre téléphonique.

30 ans plus tard, il est désormais indispensable de rouvrir ce chantier. Dans quelques grandes métropoles, l'attractivité économique motivera les opérateurs à déployer leurs propres infrastructures. Plusieurs annonces vont d'ores et déjà dans ce sens. Dans la très grande majorité des territoires, cependant, le déploiement de telles infrastructures ne pourra s'effectuer que dans le cadre d'une mutualisation régulée par la collectivité.

Cet ouvrage est entièrement dédié à la description des règles de conception, de mise en œuvre et d'exploitation des technologies et services dans les réseaux d'accès fibre optique. Ces architectures et technologies sont également connues sous le terme générique de FTTx (Fiber To The x), la "variable" x décrivant le point d'aboutissement de la fibre optique dans le réseau d'accès qui peut être, selon l'architecture retenue :

- la résidence (ou l'appartement) de l'usager. On parle alors de FTTH (Fiber To The Home - Fibre jusqu'à l'usager),
- un local "commun" d'accès en pied de bâtiment collectif. Il s'agit, dans ce cas, de FTTB (Fiber To The Building - Fibre jusqu'au bâtiment),
- une armoire de distribution extérieure qui dessert plusieurs habitations. On parle alors de FTTC (Fiber To The Curb - Fibre jusqu'au trottoir)

Par cet ouvrage, fruit de la vision et de l'expertise partagée de ses membres, le Cercle C.R.E.D.O entend fournir aux décideurs et acteurs du domaine les clés permettant de projeter, planifier, concevoir et réaliser le réaménagement des réseaux d'accès tout en garantissant la pérennité des infrastructures et des investissements dans un contexte de mutualisation des coûts.

Cet ouvrage constitue l'aboutissement de plusieurs centaines d'heures d'expertises agrégées et un support précieux pour les prescripteurs destinés à intervenir sur ce domaine.

Association interprofessionnelle, 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.

L'expertise du Cercle C.R.E.D.O porte sur tous les domaines et marchés où la fibre optique trouve son application.

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 et fédère l'ensemble des acteurs impliqués dans le cycle de vie d'une infrastructure de communication :

- donneurs d'ordre et utilisateurs,
- exploitants,
- formateurs,
- groupements professionnels,
- industriels,
- installateurs,,
- opérateurs,
- prescripteurs et cabinets d'ingénierie.

C'est un forum qui s'enrichit de l'expertise et des retours d'expérience de ses différents membres. Il constitue à ce titre un **collège d'hommes de l'art** et une force d'expertise spécifique au service des acteurs du marché et de la technologie fibre optique.

L'objectif du Cercle C.R.E.D.O est le développement de **guides de recommandations** concernant l'utilisation de la technologie optique. Sa démarche se veut globale et prend en compte l'organisation du marché, le cadre réglementaire, ainsi que les spécifications techniques portant sur les choix de composants, les règles d'ingénierie, d'installation, et de contrôle des installations et les applications.

Ses publications constituent, sur leur domaine, de véritables condensés d'expertise et un référentiel précieux de l'état de l'art des technologies et pratiques. Elles sont destinées à servir de support à tous ceux - maître d'ouvrage, prescripteur, installateur, contrôleur - qui interviennent sur un projet de mise en place d'une infrastructure optique.

2 GENERALITES SUR LES RESEAUX ET LE MARCHE

2.1 QU'EST CE QU'UN RESEAU DE TELECOMMUNICATIONS ?

2.1.1 HISTORIQUE ET EVOLUTION DES RESEAUX DE COMMUNICATION

Les réseaux n'ont pas attendu l'Internet pour s'imposer dans nos sociétés. Ils sont aujourd'hui aussi nécessaires à la vie des individus et des collectivités que les réseaux électriques, les réseaux d'eau ou de transports. Depuis la découverte du télégraphe par Samuel Morse en 1837 et celle du téléphone par Graham Bell en 1876, les technologies de transmission et de commutation se sont succédées jusqu'à l'explosion récente des technologies optiques, radio ou satellite, l'ouverture vers les mobiles et l'explosion d'Internet. En parallèle, la radio et la télévision ont vécu une évolution aussi riche, se traduisant dès 1948 par l'apparition des premiers réseaux câblés de télédistribution.

Malgré des origines et des problématiques différentes, les deux mondes des télécommunications et de l'audiovisuel voient leurs sphères d'influence s'entremêler en raison de leur ouverture respective sur une palette plus large de services et d'applications.

On peut d'ores et déjà distinguer plusieurs types de réseaux :

- les réseaux traditionnels de télécommunications, orientés téléphonie, dont les infrastructures évoluent aujourd'hui vers le haut débit grâce à l'ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line),
- les réseaux informatiques, orientés données, comprenant les réseaux locaux d'entreprise (LAN - Local Area Network), les réseaux de collecte dits métropolitains (MAN - Metropolitan Area Network), sans oublier les réseaux d'entreprise étendus (WAN - Wide Area Network),
- les réseaux câblés de télédistribution, orientés image, initialement destinés aux usagers résidentiels.

A l'origine séparés, ces différents réseaux évoluent aujourd'hui pour s'appuyer sur des technologies et des infrastructures communes et convergentes.

2.1.2 LES SERVICES ET LES APPLICATIONS

Les besoins des utilisateurs sont très variables selon la catégorie à laquelle ils appartiennent : usagers résidentiels, télétravailleurs, travailleurs nomades, entreprises de toutes tailles. De plus, il faut traiter le cas particulier des besoins propres des Collectivités Territoriales, notamment pour certains services, comme la vidéosurveillance éventuellement au travers de GFU (Groupes Fermés d'Utilisateurs).

2.1.2.1 USAGERS PROFESSIONNELS

La plupart des entreprises, même de petite taille, disposent d'un réseau LAN (Local Area Network) pour interconnecter leurs PC et les périphériques associés. Par ailleurs, les communications téléphoniques sont traditionnellement gérées à travers un PABX. L'accès individuel à Internet peut être simplement traité par des connexions analogiques sur le réseau téléphonique commuté. Il peut également être traité à travers le réseau LAN via un serveur connecté avec le monde extérieur, sans oublier la convergence voix/données à travers des PABX fondés sur IP (Internet Protocol). Au-delà du réseau d'entreprise limité à un territoire privé, il est nécessaire de mettre en œuvre des solutions à couverture plus large

permettant la mise en place d'applications telles que l'Intranet et l'Extranet sans oublier l'interconnexion avec les télétravailleurs distants ou nomades.

On parle alors de WAN (Wide Area Network) ou de V.LAN (Virtual LAN). Le WAN est établi sur la base de lignes spécialisées louées à un opérateur. C'est une pratique très répandue, mais coûteuse. La notion de VPN (Virtual Private Network) permet d'offrir une alternative aux WAN, par le déploiement des liaisons sur des infrastructures partagées.

Evidemment les besoins des entreprises varient fortement en fonction du nombre de postes de travail et du type d'échange avec le monde extérieur. Pour la majorité des entreprises, le besoin dépassera plusieurs dizaines de Mbit/s d'ici les prochaines années, même si toutes n'en ont pas encore pris conscience. Dans tous les cas, il s'agit de liaisons symétriques, c'est-à-dire que les débits sont équivalents sur la voie descendante (vers l'utilisateur) et la voie retour (vers le cœur du réseau).

2.1.2.2 USAGERS RESIDENTIELS

Pour les usagers résidentiels, il est nécessaire de proposer une offre « triple-play » qui comprend des services de vidéo, gourmands en bande passante, de téléphonie et d'accès à l'Internet. Les débits nécessaires pour les services de télévision dépendent des technologies de codage et de compression utilisées ; le tableau suivant résume la situation :

| Programme TV / Qualité | Codage MPEG-2 | Codage MPEG-4 / AVC |
|--------------------------|---------------|---------------------|
| SD – Définition Standard | 4,5 Mbit/s | 2,5 Mbit/s |
| HD – Haute Définition | 18 Mbit/s | 9 Mbit/s |

Tableau 2.1 : débit nécessaire par programme TV

Les besoins associés à chaque logement sont fondés, à moyen terme, sur les hypothèses suivantes :

- télévision : en moyenne trois terminaux (téléviseur ou enregistreur) pour des services simultanés de programmes de télévision diffusée (broadcast) ou dédiés (VOD), en qualité numérique, avec prise en compte de la haute définition (HD),
- accès Internet à haut débit : navigation, transfert de fichiers, jeux en ligne, etc.
- téléphonie (VoIP) et autres services (visiophonie IP, télétravail, etc.).

En conséquence, les besoins par logement s'expriment conformément au tableau suivant :

| Service / débit par logement | Voie Descendante | Voie de Retour |
|------------------------------|------------------|-----------------|
| 2 TV-HD + 1 TV-SD (MPEG 4) | 20,5 Mbit/s | - |
| Accès Internet (Web) | 2 Mbit/s | 0,5 Mbit/s |
| Téléphonie | < 0,5 Mbit/s | <0,5 Mbit/s |
| Autres services | 2 Mbit/s | 2 Mbit/s |
| TOTAL | 25 Mbit/s | 3 Mbit/s |

Tableau 2.2 : débit nécessaire par logement

Soulignons que le caractère asymétrique des besoins exprimés dans ce tableau va rapidement s'atténuer en raison de l'importance grandissante des applications nécessitant la mise en œuvre de débits plus élevés dans le sens remontant, comme l'échange de fichiers photos, vidéo et audio, souvent dans un mode « peer-to-peer », le développement de blogs vidéo ou encore la visiophonie.

2.1.3 NOTIONS D'ARCHITECTURE DES RESEAUX

L'architecture d'un réseau est la représentation des différents éléments qui constituent sa structure hiérarchique (décopte fonctionnelle et géographique) et sa configuration topologique.

Les architectures logiques permettent d'optimiser les liaisons en fonction des contraintes économiques et opérationnelles. Parmi celles-ci on trouve les grandes familles suivantes :

- les liaisons point à point, qui s'assemblent sous la forme de réseaux maillés,
- les architectures en étoile, pour lesquelles chaque liaison emprunte un support dédié,
- les architectures arborescentes (point à multipoint), pour lesquelles le support est partagé entre plusieurs flux,
- les architectures en bus (multipoint à multipoint).

Ces architectures peuvent être indifféremment mises en œuvre sur différents supports physiques (paire torsadée en cuivre, fibre optique, câble coaxial ou radio).

Les architectures physiques sont la traduction des choix précédents regroupant les liaisons sur des infrastructures telles que les conduites multitudinaires. On peut en particulier citer l'infrastructure en arbre, qui peut supporter une étoile logique ou un réseau arborescent, et l'infrastructure en anneau, qui peut supporter une étoile logique ou une boucle logique.

Les fonctions réalisées dans les réseaux de communication sont les suivantes :

- les fonctions liées à la transmission, qui comprennent le codage, la modulation et le multiplexage des signaux,
- les fonctions liées à la commutation et au routage : il s'agit alors de mettre deux entités en relation, que ceci s'opère en mode avec connexion (le cas le plus fréquent) ou en mode sans connexion, comme c'est le cas pour la messagerie. Différents types de commutation sont utilisables : commutation de circuits, de messages, de paquets (cas de l'IP), de trames ou de cellules,
- des fonctions complémentaires comme la concentration, le brassage et bien sûr les systèmes de gestion et de supervision des réseaux.

2.1.4 HIERARCHIE DES RESEAUX DE COMMUNICATION

La figure ci-dessous schématisé la notion de hiérarchie dans les réseaux de communication. Les clients, résidentiels ou professionnels, peuvent ainsi accéder à des serveurs ou à des personnes quelle que soit leur situation géographique, passant ainsi du niveau local au niveau national ou mondial.

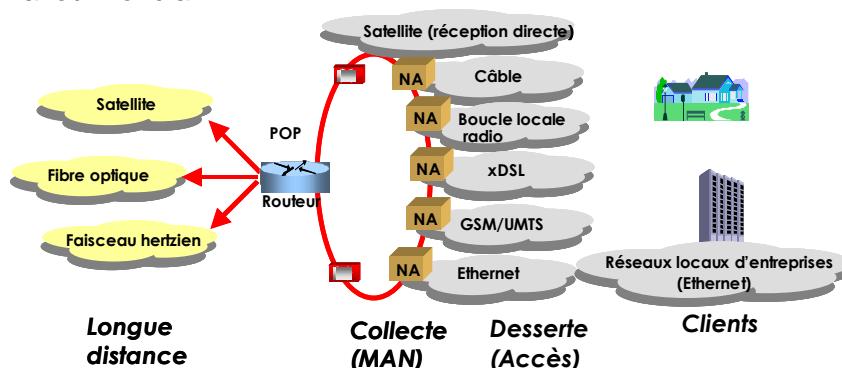


Figure 2.1 : hiérarchie des réseaux

2.1.5 RESEAUX LONGUE DISTANCE

Les réseaux longue distance (nationaux, pan-européens ou intercontinentaux) assurent l'interconnexion entre plusieurs réseaux de collecte à travers des passerelles, souvent appelés "Points de Présence Opérateur" (POP).

Les technologies mises en œuvre à ce niveau sont de plusieurs types :

- les liaisons par faisceaux hertziens,
- les liaisons optiques, terrestres ou sous-marines,
- les liaisons satellitaires, fondées sur des satellites de télécommunications.

2.1.6 RESEAUX DE COLLECTE

Les réseaux de collecte, souvent appelés MAN, sont la base des boucles régionales, départementales ou locales. Ils réalisent l'interconnexion entre les réseaux longue distance et les réseaux d'accès (également appelés réseaux de desserte) qui connectent les usagers au travers des nœuds d'accès.

Dans le cas du réseau téléphonique de l'opérateur historique, ces nœuds d'accès sont appelés NRA (Nœud de Raccordement d'Abonné) et sont le plus souvent colocalisés dans les CAA (Centres à Autonomie d'Acheminement), mais également dans les CL (Centres Locaux), plus communément désignés par le terme de répartiteurs téléphoniques.

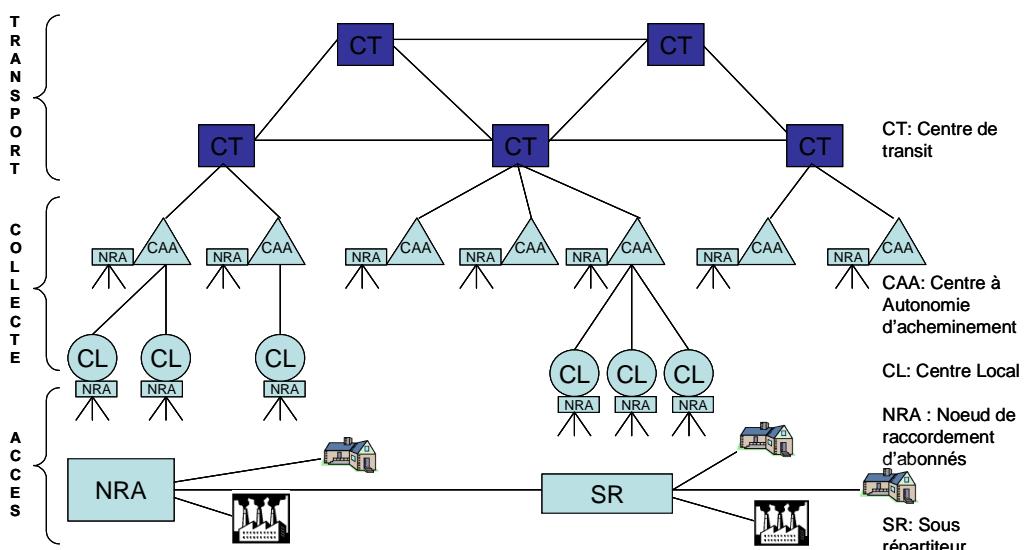


Figure 2.2 : architecture et segmentation du réseau téléphonique

Les réseaux de collecte sont principalement fondés sur des architectures en boucles et des technologies fibre optique. En outre, on démultiplie la capacité de chacune des fibres optiques par les techniques de multiplexage en longueurs d'ondes (WDM).

Les solutions techniques se déclinent selon deux approches :

- l'approche traditionnelle télécom, fondée sur les technologies SDH et ATM,
- une approche plus récente, orientée IP (c'est à dire données) et connue sous le nom MPLS, qui présente des avantages indéniables, notamment vis à vis des VPN (Virtual Private Network) avec Qualité de Service (QoS). Moins coûteux et plus évolutif, ce protocole permet d'intégrer plusieurs techniques dont l'ATM.

Les technologies mises en œuvre sur ces réseaux sont principalement fondées sur les fibres optiques. On emploie souvent le terme de "boucles optiques". Néanmoins, dans certains cas particuliers comme les déports, elles peuvent être complétées par des liaisons hertziennes ou optiques non guidées (FSO = Free Space Optic).

Les collectivités territoriales sont dorénavant sensibilisées aux réseaux de collecte car elles peuvent intervenir de façon volontariste sur ce domaine, en mettant en place des projets d'investissement. Ceux-ci peuvent couvrir les infrastructures proprement dites (fourreaux, chambres et génie civil associé), le tirage de câbles à fibres optiques et la location de ces fibres à des opérateurs ("fibres noires", c'est-à-dire sans équipements actifs), voire la vente en gros de bande passante ou de lignes activées.

2.1.7 RESEAUX D'ACCÈS OU DE DESSERTE

Les réseaux d'accès, aussi appelés "réseaux de desserte" réalisent la connexion des usagers. Ils constituent le dernier lien ("the last mile") vers les utilisateurs du réseau. Ils représentent généralement le maillon crucial du réseau en termes économiques et de performance. A ce niveau, on dispose d'une panoplie importante de technologies filaires ou hertziennes qui ont chacune leurs avantages et inconvénients en fonction des applications. Leur mise en œuvre répond à des critères très variés selon que l'on s'adresse à des usagers résidentiels, des petits professionnels (SOHO - Small Office Home Office) ou à des entreprises.

Pour les infrastructures filaires, citons :

- la boucle locale cuivre qui est le champ d'action privilégié de l'opérateur historique et, à ce jour, des principaux opérateurs alternatifs qui accèdent à cette boucle via le dégroupage. L'introduction des technologies xDSL apporte un certain nombre de contraintes, notamment vis à vis de la portée. L'évolution des normes et l'apparition de différentes variantes (ADSL 2+, SDSL, VDSL) permettent d'augmenter les débits ou encore d'introduire de la symétrie dans ces débits, mais la contrainte de portée demeure importante. Certaines solutions mixtes alliant la fibre optique et le xDSL permettent de s'affranchir de ces limitations de portée,
- les réseaux câblés de télédistribution, centrés sur les zones urbaines. Ces réseaux disposent d'une capacité multiservices ; ils mettent en œuvre une combinaison de technologies large bande sur fibre optique et sur câble coaxial,
- les réseaux optiques passifs qui sont, entre autres, le support privilégié d'Ethernet à haut débit (Fast Ethernet ou Gigabit Ethernet). Ils peuvent être déployés sous la forme de liaisons spécialisées (point à point) ou à partir d'architectures partagées telles que les PON (Passive Optical Network = Réseau Optique Passif) dans des configurations comme le FTTB (Fiber To The Building) ou FTTH (Fiber To The Home),
- les courants porteurs en ligne, qui sont adaptés aux réseaux locaux d'entreprise ou aux réseaux domestiques, mais dont la mise en œuvre pose encore de nombreux problèmes dans le domaine des réseaux d'accès.

Du côté des réseaux «radio», on trouve une panoplie de technologies assez large comprenant :

- les réseaux satellites, notamment ceux dédiés à la diffusion directe, qui proposent maintenant des solutions bidirectionnelles pour les services de données,
- la télévision numérique terrestre (TNT), qui remplacera progressivement le réseau de diffusion de télévision analogique sur les antennes individuelles ou collectives,

- la boucle locale radio, avec les normes MMDS (à 3,5 GHz), LMDS (à 26 GHz) ou MVDS (à 40 GHz) ; la nouvelle norme générique (WirelessMAN™) qui couvre ces systèmes est le IEEE 802.16, dont la version 802.16d correspond au label WIMAX d'interopérabilité des matériels dans la bande des 3,4 – 3,6 GHz ; en France, les fréquences correspondantes ont été attribuées par l'ARCEP en juillet 2006 à deux titulaires par région. La récente norme 802.16e permettra d'introduire les fonctionnalités liées à la mobilité,
- la téléphonie mobile avec les versions successives du GSM de deuxième génération, GPRS (Global Packet Radio Service), EDGE (Enhanced Data rate for GSM Evolution) et plus récemment de l'UMTS (Universal Mobile Télécommunication System) ou HSDPA; les technologies propriétaires de type QDMA (Quadratic Division Multiple Access), permettant de mettre en œuvre des architectures maillées (meshed networks) fondées sur la combinaison de liaisons par bonds successifs "peer-to-peer", où chaque station terminale joue le rôle de répéteur / routeur,
- les réseaux locaux radio, avec des normes comme :
 - IEEE 802.11b, dite Wi-Fi et ses dérivées 802.11a, 802.11g, 802.11n (avec sa préfiguration pre-n) et 802.11i pour la sécurité,
 - la norme européenne Hiperlan 2, voisine de 802.11a, mais non compatible.
- les liaisons optiques non guidées FSO (Free Space Optic) en point à point pour des applications spécifiques.

Contrairement à certaines idées reçues, il est tout à fait dommageable d'opposer les différentes technologies dans le réseau d'accès. Les technologies se doivent d'être neutres. Elles ne doivent pas constituer la nourriture du débat. Il est nécessaire de positionner ces technologies par rapport à trois paramètres :

- la satisfaction des besoins des utilisateurs, qu'ils soient résidentiels ou professionnels, qu'ils demandent l'accès Internet et/ou la vidéo,
- l'environnement démographique et topologique,
- les aspects économiques.

2.2 PANORAMA DES ARCHITECTURES DE DESSERTE DE TYPE FTTx

2.2.1 TYPES D'ARCHITECTURES DEPLOYEES

2.2.1.1 GENERALITES

L'introduction des technologies « fibre optique » dans le réseau d'accès découle d'un certain nombre d'éléments convergents :

- l'augmentation des besoins des utilisateurs :
 - les besoins des entreprises en communications symétriques sont en croissance régulière quelles que soient leur taille et leur activité, pour passer de 1 à 10 puis 100 Mbit/s, voire 1 Gbit/s à terme,
 - les besoins des usagers résidentiels combinent l'accès à plusieurs programmes de télévision (en haute définition), la navigation Internet, le téléchargement et le transfert de fichiers et les communications téléphoniques et visiophoniques.
- la convergence des applications et des terminaux, favorisée par l'utilisation du protocole IP, conduit à utiliser un média large bande et transparent,
- les technologies traditionnelles (cuivre) atteignent leurs limites liées aux lois de la physique, alors que les technologies alternatives (radio, satellite, CPL) ne sont que des solutions d'attente sur des applications ciblées.

Même si tout le monde s'accorde à penser que le réseau cible, satisfaisant tous les critères de pérennité, est fondé sur la fibre optique jusqu'à l'abonné, les aspects économiques ralentissent son déploiement immédiat. Pour sa part, le coût des équipements optoélectroniques est déjà en forte réduction et bénéficiera encore des effets de volume; la vraie question est liée au coût du génie civil, bien plus important que celui des composants optiques (câble, connectique, équipements actifs).

Dans le réseau d'accès, les fibres optiques peuvent être déployées selon diverses topologies FTTx où la variable « x » décline le niveau plus ou moins profond de déploiement de la fibre vers l'usager final : FTTN (N = Node), FTTC (C = Curb), FTTLA (LA = Last Amplifier), FTTB (B = Building), FTTH (H = Home) ou même FTTD (D = Desk).

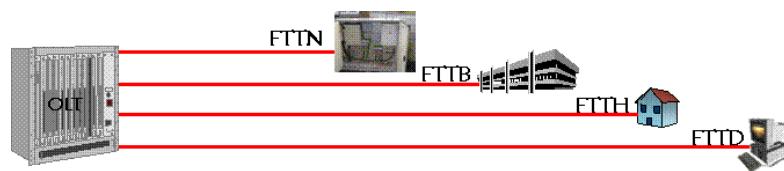


Figure 2.3 : déclinaison des architectures FTTx

2.2.1.2 TOPOLOGIES INTERMEDIAIRES FTTx

Dans les topologies FTTx intermédiaires, la fibre optique ne va pas jusqu'à l'usager. Ce cas de figure est décliné dans les exemples suivants qui correspondent à des situations réelles.

La première approche est une évolution de la filière xDSL qui permet de réduire les problèmes liés à la distance NRA – usager. La mise en place par France Télécom de NRA-HD (prolongée par la notion de NRA-ZO en zones peu denses) au niveau des sous-répartiteurs s'inscrit dans cette approche. Par ailleurs, plutôt que d'installer des DSLAM au sous-répartiteur, ce qui pose des problèmes opérationnels importants, il est également

possible de s'appuyer sur un simple déport de voies multiplexées (par exemple grâce au système DSL-Fibre).

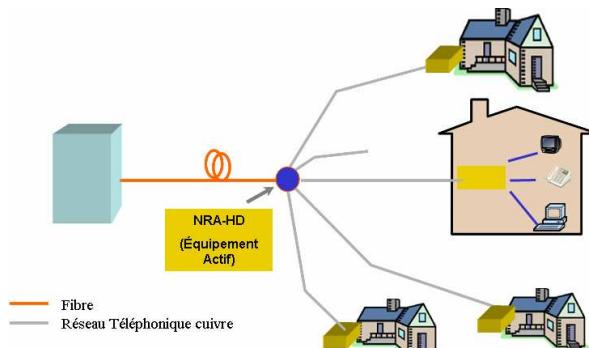


Figure 2.4 : déclinaison d'architecture FTTx - le cas du NRA-HD

Les réseaux câblés HFC (FTTN ou FTTLA) constituent un second exemple. Le dernier tronçon utilise un câble coaxial avec multiplexage fréquentiel. Selon le niveau de pénétration du nœud optique dans le réseau, le réseau coaxial peut être passif (pas d'amplificateur) : c'est le FTTLA.

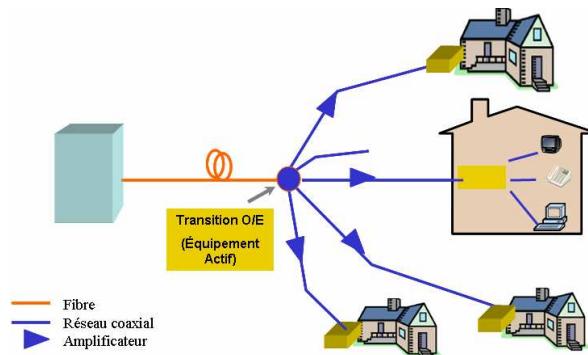


Figure 2.5 : déclinaison d'architecture FTTx - le cas des réseaux câblés HFC

Les architectures Ethernet à terminaison cuivre constituent un troisième exemple. Les normes sont fondées sur la famille Ethernet (802.3), déclinée dans de nombreuses versions selon le débit et le support considéré. On parle souvent de « curb switch Ethernet » puisque l'équipement comprend la fonction « convertisseur de media » ainsi que celle de switch/routeur. Le dernier tronçon peut être fondé sur des technologies découlant des réseaux d'entreprise avec les contraintes de portée inhérentes à ces technologies. De même, on peut utiliser l'infrastructure de distribution électrique existante grâce à la technologie des courants porteurs en ligne (CPL) ; enfin, il peut être envisagé dans certains cas de mettre en œuvre des technologies radio comme le Wi-Fi.

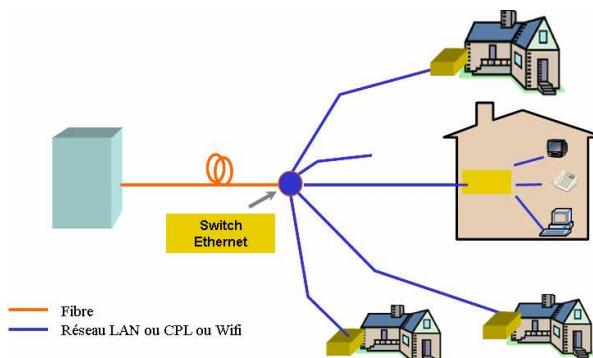


Figure 2.6 : déclinaison d'architectures FTTx - le cas du « curb switch Ethernet »

2.2.1.3 TOPOLOGIES FTTH

Dans une topologie FTTH, plusieurs systèmes peuvent être envisagés :

- les systèmes « point à point » (P2P) sont les plus simples à conceptualiser puisque chaque client est relié au nœud d'accès par une fibre qui lui est dédiée :

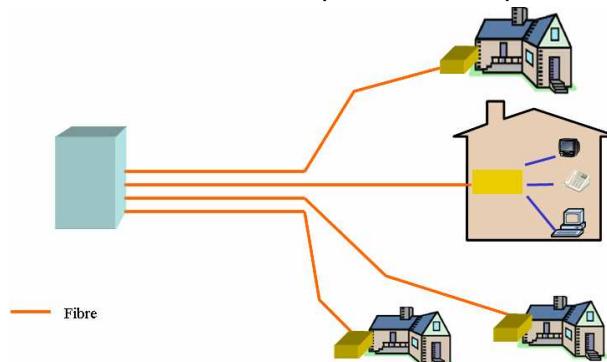


Figure 2.7 : topologie FTTH point à point (P2P)

- les systèmes peuvent également être conçus dans une configuration en « double étoile active », que l'on appelle AON (Active Optical Network) :
 - un équipement « actif » est installé à proximité d'une « grappe » d'utilisateurs d'un secteur géographique donné et regroupe ces utilisateurs,
 - la terminaison finale peut être réalisée en fibre optique après avoir opéré une nouvelle conversion électro-optique du signal.

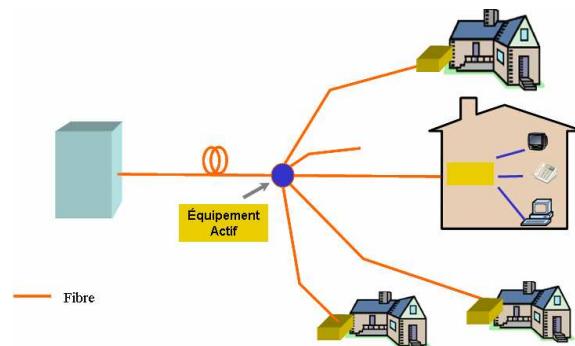


Figure 2.8 : topologie FTTH en double étoile active (AON)

- les systèmes « point à multipoint » regroupés sous le terme générique de PON (Passive Optical Network),
 - un coupleur optique passif est installé en lieu et place de l'équipement actif décrit précédemment,
 - ces systèmes recouvrent plusieurs normes qui se sont succédées au cours du temps (B-PON, E-PON et maintenant G-PON).

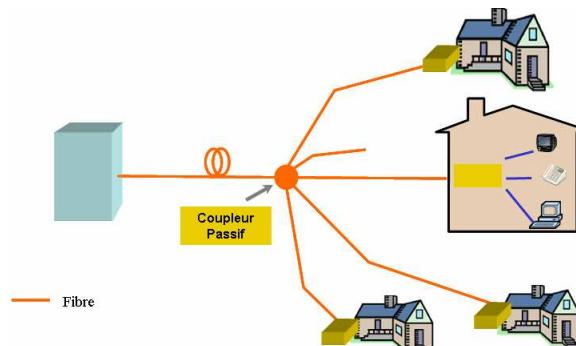


Figure 2.9 : topologie FTTH en PON

2.2.2 CONTEXTE REGLEMENTAIRE ET TYPOLOGIE DES ACTEURS DU FTTH

Un important débat s'est fait jour récemment sur la capacité des réseaux d'accès à satisfaire aux règles imposées par l'article L1425-1 du CGCT qui impose l'ouverture et la neutralité vis-à-vis des opérateurs de services.

Le cadre réglementaire dans lequel se situe l'intervention des collectivités territoriales en matière d'aménagement numérique du territoire impose que les infrastructures mises en place soient neutres et ouvertes vis-à-vis des opérateurs de services.

Les contraintes sont directement dépendantes des technologies utilisées dans le réseau d'accès. Les contraintes liées au dégroupage du réseau cuivre au niveau du NRA ont été largement débattues. Les autres technologies doivent être examinées avec précaution.

Les Pouvoirs Publics et l'ARCEP ont engagé un certain nombre d'initiatives en relation très directe avec les déploiements du très haut débit. Ces actions sont en cohérence avec les décisions du CISI (Comité Interministériel pour la Société de l'Information) piloté par les services du Premier Ministre. Elles sont souvent menées dans le cadre du CRIP (Comité des Réseaux d'Initiatives Publiques) animé par l'ARCEP. Celui-ci regroupe des représentants de l'Association des Opérateurs de Réseaux et Services de Télécommunications (AFORST), de l'Association des Villes et Collectivités pour les Communications Electroniques et Audiovisuelles (AVICCA), de Collectivités Territoriales et d'Opérateurs. La synthèse des travaux du CRIP fait l'objet de publications régulières. Plusieurs groupes de travail ont été constitués :

- au sein du CRIP, un groupe de travail FTTx a été constitué, afin notamment d'évaluer les possibilités de mutualisation des différents systèmes (notamment P2P et PON),
- à l'initiative du Ministère de l'industrie et dans le cadre de la démarche initiée par le CISI, deux groupes de travail ont été constitués :
 - un groupe sur l'aménagement des zones d'activités, qui travaille actuellement à l'élaboration d'un label zone d'activité très haut débit,
 - un autre groupe de travail a été mis en place sur le câblage interne des immeubles collectifs. L'objectif est de faire en sorte que ce câblage puisse être mutualisé entre plusieurs opérateurs. Une approche neutre pourrait être menée en concertation avec les gestionnaires et syndics d'immeubles. Le groupe cherche également à définir un label de logement multimédia.

Dans le cadre du déploiement de réseaux FTTH, les deux grandes familles d'acteurs concernés sont les opérateurs privés et les collectivités territoriales :

- parmi les annonces et projets des opérateurs, en évolution rapide, on peut citer France Télécom, Free, Neuf Cegetel et Numéricâble,
- du côté des collectivités, au-delà du réseau précurseur de Pau (Pau Broadband Country), notons qu'un certain nombre des délégations de service public (DSP) attribuées ou en cours de négociation font explicitement référence aux systèmes FTTx (SICOVAL dans la banlieue de Toulouse, SIPPEREC avec deux DSP, Communauté Urbaine du Grand Nancy, Communauté d'Agglomération du Pays d'Aix, Conseil Général des Hauts-de-Seine).

Les acteurs cités précédemment reflètent la situation à la date de rédaction du document. La liste s'enrichira évidemment dans les prochains mois.

Dans le cadre du déploiement d'architectures FTTH, il est nécessaire de prolonger les infrastructures jusque dans le domaine privé notamment dans les zones d'habitat collectif. Afin de disposer, dans ces zones, d'une infrastructure mutualisable, une dernière catégorie d'acteurs devra être impliquée : les bailleurs, les promoteurs et les syndicats de copropriétés.

3 LA PROBLEMATIQUE DU RESEAU D'ACCES

Ce chapitre est consacré aux principes généraux qui guident la conception et le déploiement des réseaux d'accès.

3.1 ARCHITECTURE GENERIQUE DES RESEAUX D'ACCES

3.1.1 ARCHITECTURE CIBLE

Lors de la conception d'une infrastructure d'accès, il convient de disposer d'une vision à long terme sur les fonctions que celle-ci devra satisfaire à un horizon de plus de 20 ans. A ce titre, les éléments suivants doivent être pris en considération :

- les couches les plus basses (infrastructure physique, fourreaux, chambres) sont des éléments très structurants :
 - elles constituent un élément important du patrimoine des collectivités,
 - contrairement aux équipements, notamment actifs, leur amortissement est généralement calculé sur une période longue.
- ces éléments structurants sont le plus souvent les plus stables et ne font pas l'objet de prise de risque inconsidérée :
 - le graphe de cheminement des fourreaux et des câbles sera presque toujours calqué sur la topographie des voiries,
 - on peut sans risque garantir qu'au final le réseau sera « tout optique ».

Dans la plupart des cas, l'architecture cible FTTH sera mise en œuvre dès l'origine par décision stratégique des acteurs dans une logique d'aménagement à long terme. Par ailleurs, en fonction des opportunités, on pourra envisager une mise en œuvre par paliers successifs avant d'atteindre la cible. Dans ce cas, l'architecture devra impérativement autoriser l'évolution des solutions mises en œuvre : les nœuds constituant le graphe du réseau devront éventuellement héberger des équipements actifs ou passifs selon le palier considéré. Pour faciliter la transition d'un palier au suivant, on disposera de points de flexibilité permettant d'articuler les éléments. Certains nœuds seront définis comme points de flexibilité ; ils permettront la transition sans nécessité de modifier l'ensemble.

La question la plus cruciale pour la collectivité est de déterminer jusqu'où elle compte intervenir dans le cadre de la réglementation en vigueur (article L1425-1 du CGCT). Alors qu'il est indéniable que son implication couvre les couches passives, elle doit s'interroger sur l'activation de l'infrastructure. En effet, le cycle de renouvellement des équipements est très court et l'on peut penser qu'il n'est pas du rôle de la collectivité de faire le choix du système qui sera utilisé par les opérateurs de services.

3.1.2 MODELISATION DE L'ARCHITECTURE

L'architecture mise en œuvre dans le réseau d'accès vers les usagers est de type arborescent.

Le niveau central de l'architecture du réseau d'accès est le nœud d'accès (NA). Le niveau le plus proche de l'abonné peut être défini sous le terme générique PR (point de raccordement). Entre ces deux points, il est nécessaire de définir des nœuds de flexibilité (NF).

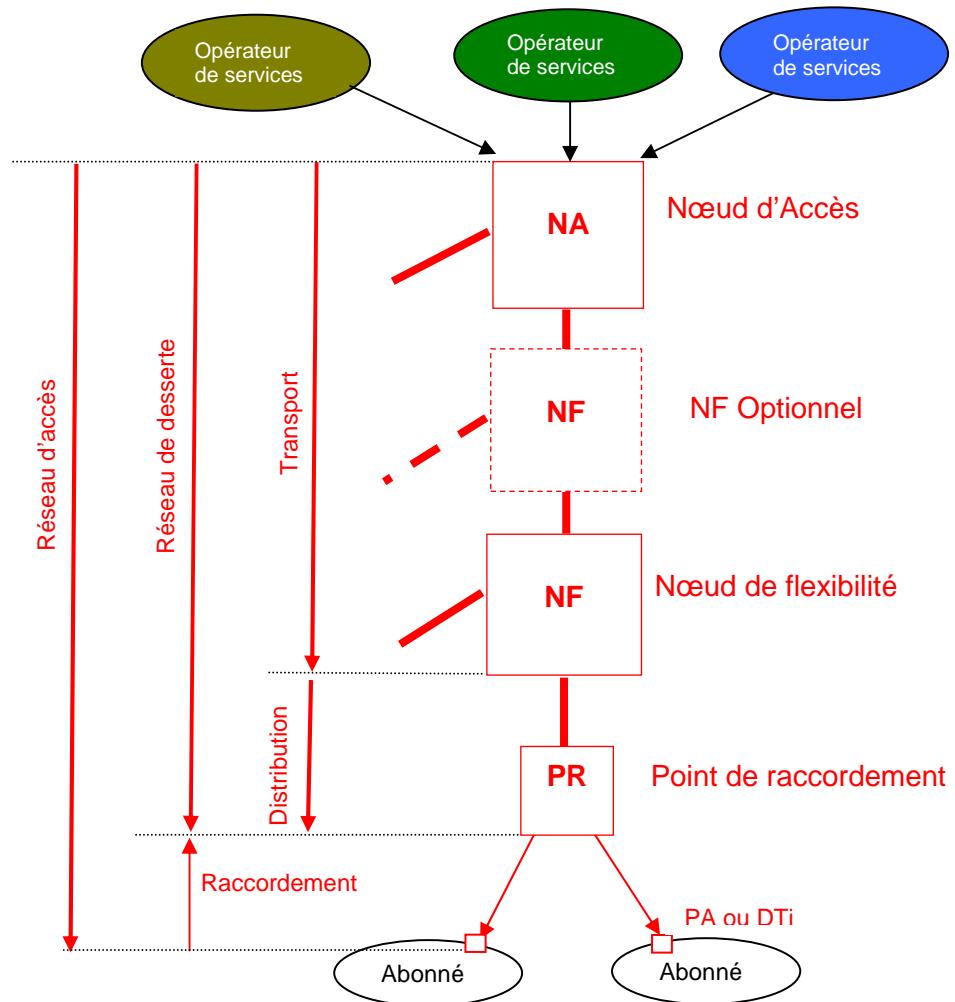


Figure 3.1 : architecture cible FTTH

La zone de raccordement

Elle s'étend des prises d'abonnés au premier coffret de brassage (PR). Elle peut être câblée ultérieurement en fonction des besoins.

Point de Raccordement d'usagers PR

C'est le premier point de flexibilité. Le coffret, en fonction de la configuration de l'habitat, peut être situé dans l'immeuble hébergeant les abonnés ou sur le trottoir. Le PR ne contient pas de matériel actif.

Nœud de Flexibilité NF

Les points de flexibilité permettent d'affecter les fibres et le cas échéant de réduire le nombre de fibres à mesure que l'on remonte du point de raccordement vers le nœud d'accès en utilisant des matériaux actifs ou passifs.

Selon l'architecture, ce nœud peut contenir ou non du matériel actif. Tous les points de flexibilité pouvant abriter du matériel actif devront cependant prendre en compte les besoins

de puissance électrique, climatisation éventuelle, sécurité, dégroupage ou co-localisation (interconnexion avec plusieurs opérateurs).

Il est par ailleurs possible que dans une même armoire deux nœuds de flexibilité soient placés en cascade.

Un réseau donné peut présenter plusieurs niveaux de flexibilité (NF). Le niveau de flexibilité le plus proche de l'abonné peut être accolé au PR.

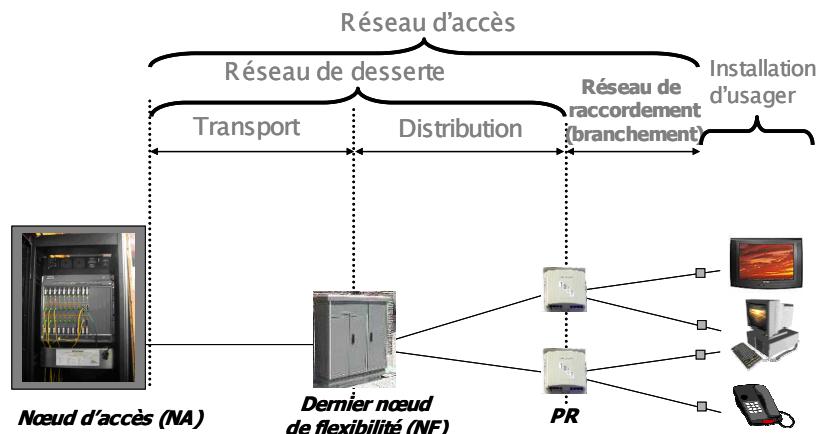


Figure 3.2 : description fonctionnelle du réseau d'accès

Le nœud d'accès est généralement installé dans un local technique adapté, éventuellement dans un « shelter ». Il héberge les équipements actifs du réseau d'accès et ceux qui assurent l'interface avec le réseau de collecte.

Les nœuds de flexibilité sont installés dans des armoires de trottoir (comme c'est le cas pour les sous-répartiteurs du réseau téléphonique cuivre) ou des locaux techniques en pied d'immeuble. Ils permettent d'assurer la mutualisation de manière transparente vis-à-vis de la couche système. Dans le cas des PON, ils accueillent les coupleurs optiques.

Les points de raccordement sont des petits coffrets installés en borne, sur façade ou dans les gaines verticales des immeubles. Ils assurent l'interface avec le câble de branchement d'abonné.

Selon la configuration de l'habitat, ces différentes fonctions ne sont pas positionnées au même endroit, notamment quand on distingue les zones d'habitat collectif et pavillonnaire. De plus, comme le montre la figure suivante, certains de ces éléments sont installés dans le domaine privé, ce qui induit un certain nombre de contraintes supplémentaires.

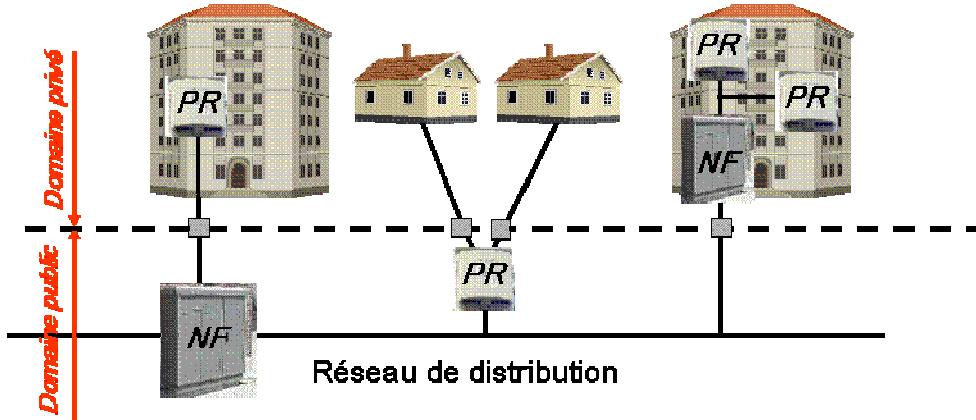


Figure 3.3 : positionnement physique des nœuds

Un éclairage complémentaire est lié à la propriété des matériels à l'intérieur de l'installation d'usager, selon qu'ils appartiennent à l'opérateur de l'infrastructure active, à l'opérateur de services ou à l'usager.

Comme on le montre sur la figure suivante, on peut trouver :

- l'adaptateur de média (transducteur optoélectronique), toujours de la responsabilité de l'opérateur d'infrastructure active,
- la passerelle IP ou le modem, dont certaines fonctions concernent les opérateurs de services,
- le décodeur, qui est lié à l'opérateur de services,
- les terminaux propres à l'usager (téléviseur, PC, combiné téléphonique).

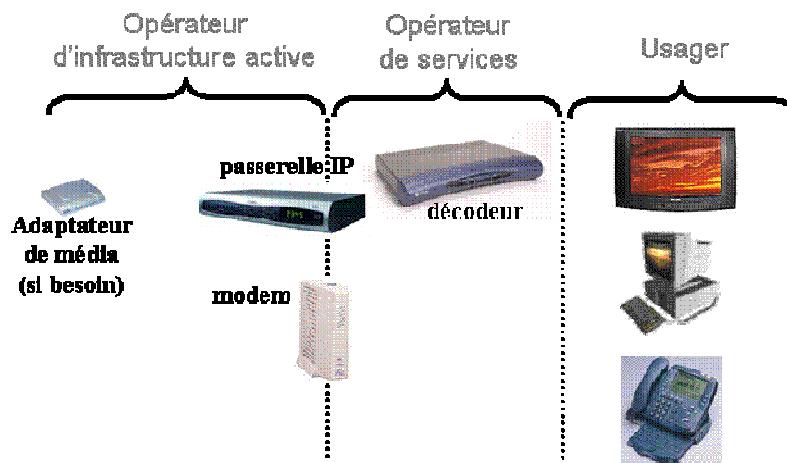


Figure 3.4 : la propriété des différents matériels

3.1.3 COMPOSANTES DU RESEAU D'ACCES

Afin de concevoir et de dimensionner les différents éléments qui constituent un réseau à très haut débit, il convient de structurer les différentes composantes dans une description en trois couches :

- **la couche d'infrastructure**, composée notamment des fourreaux, des chambres, des armoires de rue et des locaux techniques,
- **la couche optique passive**, comprenant notamment les câbles optiques, les boîtiers d'épisurage et les baies de brassage,
- **la couche réseau** qui transporte les services. Elle est constituée des équipements actifs.

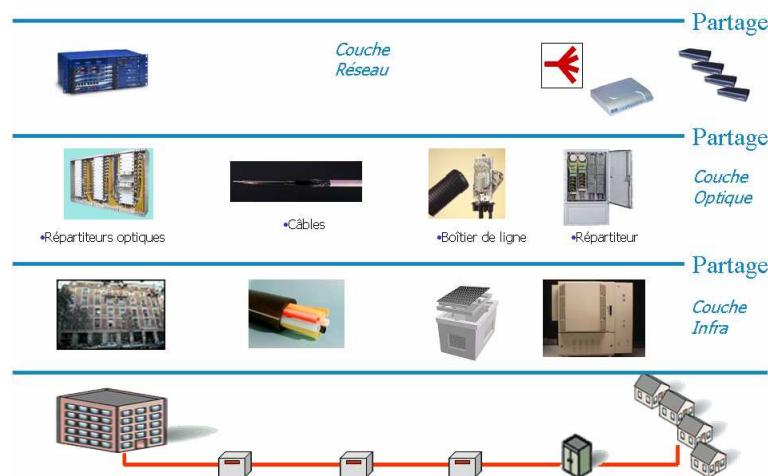


Figure 3.5 : le modèle en 3 couches

3.2 CRITERES DE DEPLOIEMENT ET D'EXPLOITATION

3.2.1 CRITERES DE MUTUALISATION

L'objectif de la mutualisation est de permettre la cohabitation de plusieurs opérateurs de services et de plusieurs systèmes « réseau » (point à point ou PON) sur l'infrastructure déployée.

Le mécanisme peut être traduit par le terme générique de multiplexage, dont les principales familles peuvent être mises à profit :

- multiplexage spatial : les supports sont séparés et regroupés dans des câbles ; c'est un dégroupage total,
- multiplexage fréquentiel : la mutualisation correspond à un partage de fréquences comme dans le cas des réseaux câblés ou du dégroupage partiel de l'ADSL; la situation est la même dans le domaine « optique » : c'est le WDM,
- multiplexage temporel (TDM, synchrone ou asynchrone) : les signaux destinés à différents clients (ou gérés par différents FAI) appartiennent au même flux et sont différenciés par rapport à l'horloge ou grâce aux en-têtes des paquets.

Les conséquences de ces choix diffèrent selon les couches concernées. Lorsque le schéma retenu consiste à offrir de la fibre « noire », la situation est particulièrement simple puisque chaque paire de fibres est allouée à un seul opérateur. La mutualisation se limite alors aux deux premiers niveaux : la couche d'infrastructure et la couche optique passive. Dès que la mutualisation concerne des infrastructures activées, on est amené à prendre en compte la couche réseau actif.

3.2.2 CRITERES DE DIMENSIONNEMENT

Dans le modèle en trois couches décrit précédemment, plus la couche a un poids économique élevé, plus sa définition et sa réalisation doivent être pérennes. Les deux couches passives constituent la base du patrimoine des collectivités territoriales. L'aménageur doit donc largement dimensionner le nombre et le type de fourreaux ainsi que les chambres afin de permettre la mutualisation. Les recommandations seront détaillées dans les chapitres suivants. Elles font l'hypothèse que l'aménageur est une collectivité territoriale avec pour objectif de mettre en place une couverture équilibrée et non discriminatoire sur l'ensemble du territoire. Ce modèle ne correspond pas nécessairement à celui qui serait appliqué par un opérateur privé, conduit à cibler les zones les plus attractives économiquement et à dimensionner les infrastructures pour atteindre un objectif de taux de pénétration commerciale inférieur à 100%.

Lors du déploiement de l'infrastructure, il conviendra donc de dimensionner largement le nombre de fourreaux ; néanmoins, compte tenu de la densification des câbles optiques disponibles sur le marché, une section relativement faible sera nécessaire, qu'il s'agisse de l'addition de fourreaux individuels ou de la mise en œuvre des techniques de fourreaux secondaires.

La figure suivante synthétise les règles de dimensionnement relatives aux deux couches les plus basses à partir de la modélisation présentée précédemment :

- entre le NA et les nœuds de flexibilité NF :
 - les fourreaux doivent avoir la capacité pour recevoir tous les câbles optiques permettant de raccorder à terme tous les logements ou entreprises de la zone, quel que soit le système considéré (point à point ou point à multipoint),
 - néanmoins, les câbles optiques peuvent être installés par palier, avec un premier palier correspondant à 30% du nombre total de points à raccorder.

- à partir du nœud de flexibilité NF jusqu'au PR :
 - la topologie est toujours point à point (en étoile) quel que soit le système considéré (point à point ou point à multipoint) ; en effet, dans le cas des PON, les coupleurs optiques sont localisés au NF,
 - en conséquence, le nombre de fibres optiques doit permettre de raccorder tous les logements ou entreprises de la zone de desserte,
 - les fourreaux doivent avoir une capacité suffisante pour raccorder tous les logements ou entreprises de la zone.

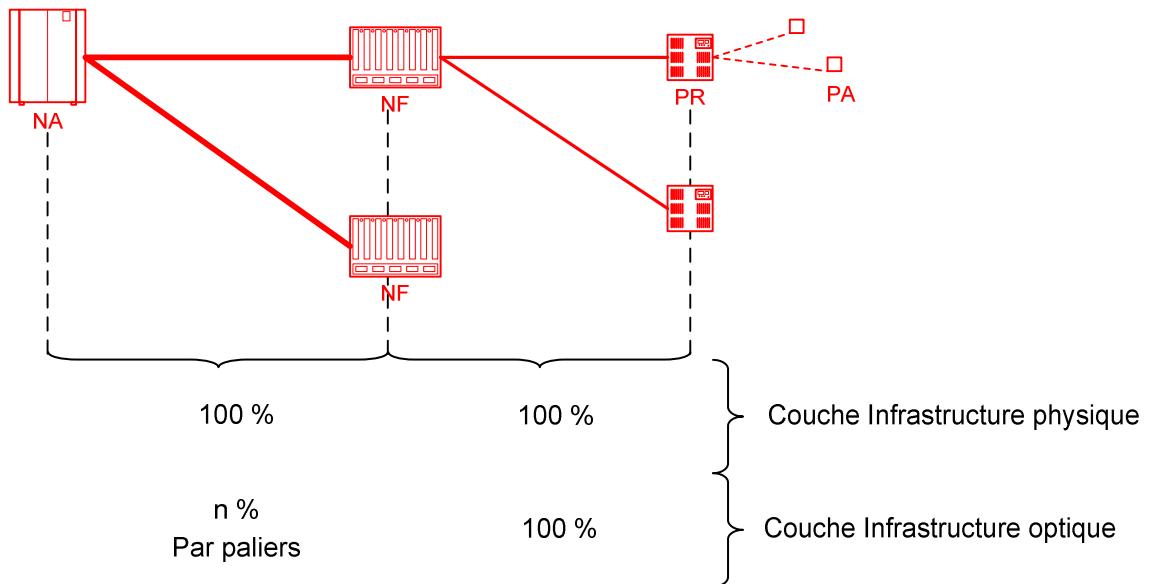


Figure 3.6 : règles générales de dimensionnement des infrastructures

3.3 PROGRESSIVITE DE LA MISE EN PLACE

3.3.1 LA VISION D'UN SCHEMA DIRECTEUR D'EQUIPEMENT

Dans la plupart des cas, l'architecture cible FTTH sera mise en œuvre dès l'origine par décision stratégique des acteurs dans une logique d'aménagement à long terme. Il faudra néanmoins s'assurer que les opérateurs de services, notamment pour le « triple-play » résidentiel, auront suffisamment d'appétence pour adresser le territoire avec ce type de scénario. Les conditions économiques de l'intervention de la collectivité devront donc être « acceptables » pour ceux-ci.

Le schéma directeur doit décrire le réseau cible et, le cas échéant, les différents paliers qui permettent de passer du stade initial au réseau cible. Enfin, il décrit le calendrier de mise en œuvre et de déploiement. Pour les aspects techniques, cela comprend l'architecture système, les choix techniques, les règles de transition vers le palier suivant (sans interruption de services). Les aspects économiques comprennent les coûts d'investissement et d'exploitation, ainsi que les coûts de transition.

3.3.2 UNE MISE EN OEUVRE PROGRESSIVE S'APPUYANT SUR DES OPPORTUNITES DE DEPLOIEMENT

En fonction des opportunités, on pourra envisager une mise œuvre par paliers successifs afin d'atteindre la cible. Plusieurs raisons peuvent conduire à cette stratégie :

- le souci d'étaler dans le temps des investissements lourds,
- la préexistence d'infrastructures (moyen ou haut débit) satisfaisant les besoins à court terme des différentes catégories d'utilisateurs.

Dans une telle hypothèse, on ne négligera pas les problèmes technologiques découlant de la cohabitation de plusieurs technologies (ex ADSL vs VDSL).

Le phasage des différents paliers peut être accéléré dans une zone particulière si d'autres projets (programme d'enfouissement de réseaux aériens, projet de rénovation urbaine, aménagement de lotissements) permettent de modifier le contexte économique en partageant les coûts avec des projets généraux d'aménagement non spécifiques aux télécoms.

En cas de paliers, l'architecture devra autoriser l'évolution des solutions mises en œuvre :

- cela peut concerner la pénétration plus ou moins poussée de la fibre pour se rapprocher de l'usager (FTTN > FTTC > FTTB > FTTH > FTTD),
- dans les paliers intermédiaires, le type et la localisation des équipements actifs devront être pris en compte :
 - les différents nœuds constituant le graphe du réseau devront éventuellement héberger des équipements actifs ou passifs selon le palier considéré,
 - certains nœuds initialement actifs pourront devenir passifs, et inversement,
 - à terme, les nœuds intermédiaires localisés en extérieur seront tous passifs.
- l'alimentation en énergie de ces nœuds devra être possible, soit localement soit à distance.

L'architecture devra donc autoriser l'évolution des solutions mises en œuvre, en intervenant sur une des couches sans remettre en cause la ou les couches inférieures.

Les figures suivantes illustrent comment une même architecture de l'infrastructure passive peut supporter différentes architectures de réseau.

Un premier exemple consiste à passer d'une architecture Ethernet à terminaison CPL à une architecture en double étoile active (AON), le nœud invariant étant situé au niveau d'une armoire de trottoir placée en entrée de la zone à desservir.



Figure 3.7 : architecture Ethernet à terminaison CPL



Figure 3.8 : architecture en double étoile active (AON)

De la même façon, on voit l'évolution vers une architecture FTTH en point à point ou en PON ; l'armoire de trottoir ne contient alors que des éléments passifs ; dans le cas du PON, c'est là que sont installés les coupleurs optiques.



Figure 3.9 : architecture FTTH point à point



Figure 3.10 : architecture FTTH PON

Dans tous les cas la même infrastructure (fourreaux et chambres) permet d'assurer la pérennité de l'investissement.

3.3.3 L'IMPORTANCE DU NŒUD DE FLEXIBILITÉ

Pour faciliter la transition d'un palier au suivant, on disposera de points de flexibilité permettant d'articuler les éléments. Ils permettront la transition sans nécessité de modifier l'ensemble. Des exemples concrets sur le rôle et l'utilisation de ces nœuds de flexibilité seront donnés dans le chapitre 6 consacré à la conception et à la mise en place de la couche d'architecture réseau qui est en charge du transport des services. Ces nœuds de flexibilité constituent un élément clé pour satisfaire les objectifs de mutualisation.

3.4 DECLINAISON DU MODELE D'ARCHITECTURE EN FONCTION DES TYPOLOGIES D'HABITAT

Nous fournissons dans ce chapitre des éléments d'orientation quant au positionnement et à la matérialisation des différents nœuds fonctionnels du réseau d'accès, en fonction de différentes typologies d'habitat. Le dimensionnement de l'infrastructure sera décliné dans les chapitres suivants en reprenant cette typologie.

La déclinaison de l'architecture cible sur le terrain dépend de la configuration et du type d'habitat à desservir. Nous avons pris en compte quatre configurations d'habitats pour illustrer cette mise en œuvre :

- la desserte en habitat urbain dense,
- la desserte en habitat urbain pavillonnaire,
- la desserte en habitat rural dispersé,
- la desserte de zone d'activité économiques.

3.4.1 DESSERTE EN HABITAT URBAIN DENSE



Figure 3.11 : architecture de desserte en habitat urbain dense

Dans le cas d'une agglomération urbaine de moyenne importance, le Nœud d'Accès (NA), point d'interconnexion avec les opérateurs, pourra être hébergé dans un des bâtiments publics.

Dans le cas d'un habitat dense, les Nœuds de Flexibilité (NF) pourront prendre la forme d'armoires de rue ou être hébergés en pied d'immeuble, en particulier pour les immeubles à forte densité de population (et donc à fort potentiel de connectivité).

Les Points de Raccordement d'abonnés (PR) seront localisés en pied d'immeuble ou dans les dessertes d'étage. Les abonnés seront raccordés à la demande sur ces points de raccordement.

3.4.2 DESSERTE EN HABITAT URBAIN PAVILLONNAIRE

Dans le cas d'un tissu résidentiel constitué de logements individuels (type pavillonnaire), les Nœuds de Flexibilité (NF) prendront principalement la forme d'armoires de rue. Les Points de Raccordement d'abonnés (PR) seront matérialisés par des armoires de rue ou des coffrets de poteau si le réseau emprunte la voie aérienne.

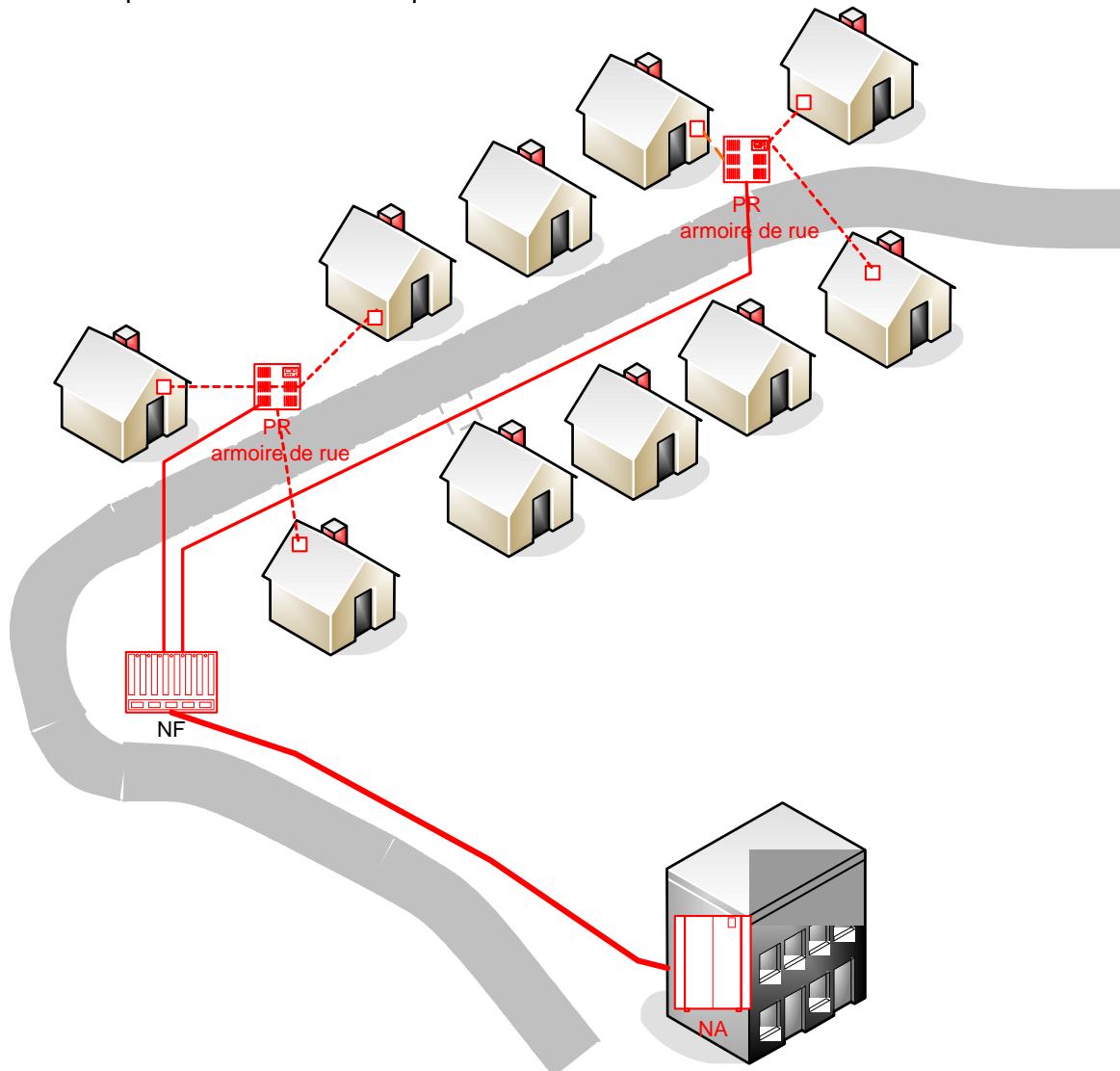


Figure 3.12 : architecture de desserte en habitat urbain résidentiel

3.4.3 DESSERTE EN HABITAT RURAL DISPERSE

Dans le cas d'un habitat rural dispersé, les Nœuds d'Accès (NA), points d'interconnexion avec les opérateurs, sont localisés à distance dans l'agglomération urbaine de moyenne importance la plus proche.

Un Nœud de Flexibilité pourra être implanté dans un bâtiment public. Les Points de Raccordement d'abonnés (PR) seront matérialisés par des coffrets de rue ou de poteau. Les abonnés seront raccordés à la demande sur ces points de raccordement.

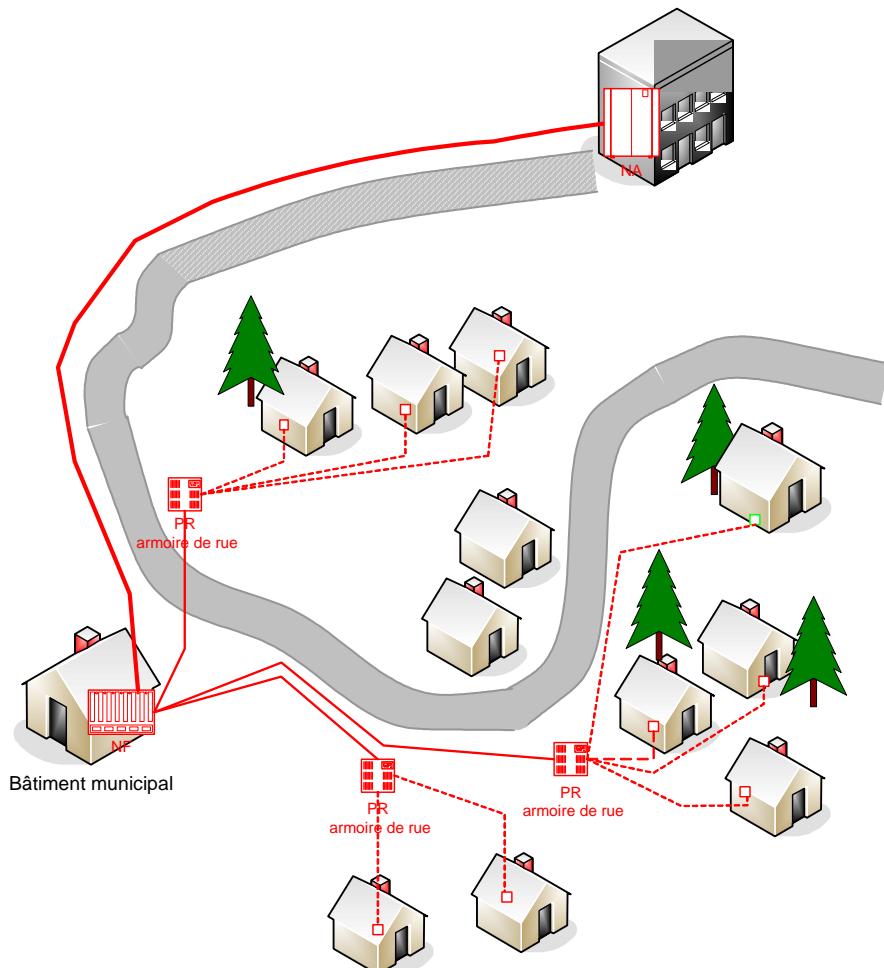


Figure 3.13 : architecture de desserte en habitat rural dispersé

3.4.4 DESSERTE DE ZONE D'ACTIVITES ECONOMIQUES

Dans le cas de la couverture d'une zone d'activités économiques, pour faire face à l'évolution des besoins des entreprises, il est nécessaire de prévoir à minima un Nœud de Flexibilité (NF) pour couvrir la zone. Ce Nœud pourra être matérialisé par une armoire de rue ou être hébergé dans un local technique associé à la zone.

Les Points de Raccordement d'abonnés (PR) prendront le plus souvent la forme de coffrets de rue.

Les besoins étant sensiblement différents, l'ingénierie diffère des dessertes précédentes par la densité et le dimensionnement de l'infrastructure.

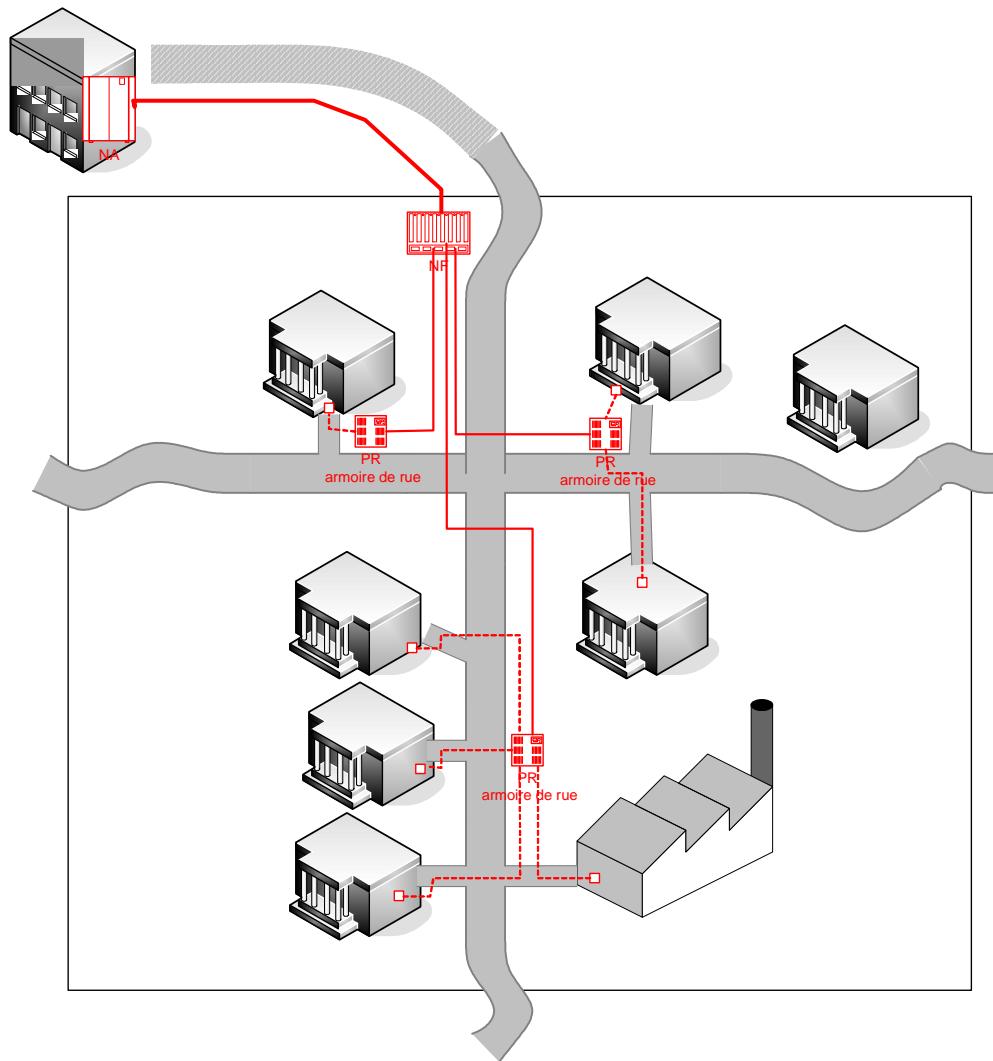


Figure 3.14 : architecture de desserte de zone d'activités économiques

4 CONCEPTION ET MISE EN PLACE DE LA COUCHE INFRASTRUCTURE

4.1 INGENIERIE ET DIMENSIONNEMENT DE LA COUCHE INFRASTRUCTURE

Ce chapitre fournit les éléments de dimensionnement de la couche « infrastructure » qui comprend les génies civils, fourreaux, chambres, locaux techniques, armoires de rue, etc. La déclinaison de l'architecture cible sur le terrain dépend de la configuration et du type d'habitat à desservir.

Les éléments suivants permettent de dimensionner l'infrastructure :

- la capacité des nœuds en nombre d'abonnés desservis – capacité NA, capacité du ou des NF et capacité PR,
- la capacité des liaisons d'interconnexion en nombre de fibres – capacité NA-NF, capacité NF-PR , capacité PR-PA,
- la distance entre les nœuds d'interconnexion – distance NA-NF, distance NF-PR, distance PR-PA.

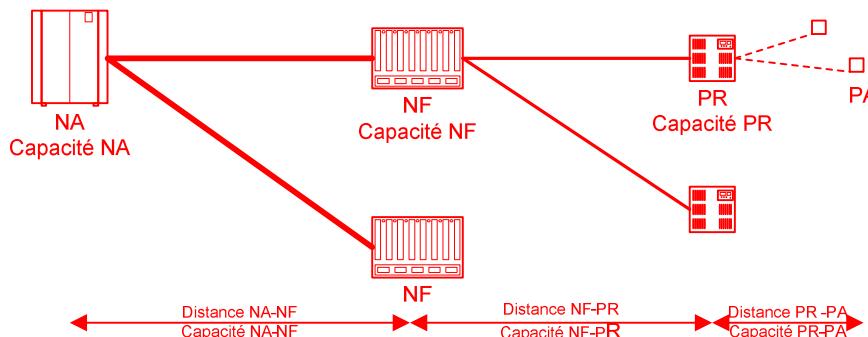


Figure 4.1 : éléments de dimensionnement du réseau d'accès

La nature du nœud de flexibilité peut varier à la fois dans sa forme (armoire, coffret, boîtier...) et ses fonctions (mutualisation du réseau, mise en attente de fibres de réserve, point de brassage pour affecter les différentes sorties d'un coupleur vers les clients dans le cas d'un PON....)

4.1.1 OPTIMISATION DU RESEAU D'INFRASTRUCTURE

Le réseau d'infrastructure sera optimisé si l'ensemble de la couche infrastructure et de la couche optique passive est exploité par un seul et même gestionnaire qui met les liens à la disposition des différents opérateurs de service. Si plusieurs gestionnaires peuvent intervenir sur toute ou partie du réseau, le dimensionnement de l'infrastructure (nombre de fourreaux, chambres de colocalisation) devra être prévu en conséquence.

L'optimisation du réseau d'infrastructure passera par un dimensionnement couvrant 100% des besoins actuels (avec une hypothèse de taux de pénétration à 100%), complété des réserves nécessaires pour les évolutions futures (nombre usagers : extension, évolution du Plan Local d'Urbanisme (PLU), augmentation des débits, besoins d'autres opérateurs, etc.).

La couche infrastructure étant la plus lourde et la plus coûteuse à mettre en œuvre, il est recommandé de dimensionner chambres et fourreaux par rapport à l'architecture système la plus complète (point à point).

4.1.2 PROGRESSIVITE DE LA MISE EN PLACE

Le programme de mise en place tiendra compte de l'opportunité d'effectuer des travaux de génie civil par mutualisation avec la réalisation d'autres infrastructures (par exemple programme d'enfouissement de réseaux).

Chaque opération de génie civil devra s'accompagner de la pose à minima de fourreaux en quantité suffisante pour couvrir les besoins futurs. Le dimensionnement s'appuiera sur les PLU afin de tenir compte de l'urbanisation future des zones.

Les dimensionnements et caractéristiques du futur réseau FTTH devront être intégrés dans les schémas directeurs et cahiers de charges des aménageurs et promoteurs.

Lorsque la mise en place de fourreaux s'effectue par méthode traditionnelle, la recommandation est de poser à minima 3 à 4 fourreaux de dimensions Ø 32,6 / 40 mm.

Il est recommandé que les Collectivités mettent en œuvre une politique efficace de coordination des travaux de voirie, afin d'optimiser l'utilisation des différentes opportunités de pose d'infrastructures dans le cadre de travaux mutualisés. Le règlement de voirie pourra être un outil complémentaire à cette politique de coordination, permettant aux Collectivités de gérer plus sereinement leur patrimoine de voirie.

4.1.3 INFRASTRUCTURE PRE-DEPLOYEE

La notion d'infrastructure pré-déployée touche à la réalisation d'un quartier ou d'une zone, dans le cadre d'un plan d'aménagement d'ensemble. Dans ce cas, l'infrastructure sera composée de fourreaux en quantité et dimensionnement suffisants pour supporter les besoins à long terme pour la zone en question.

Suivant le modèle retenu par le donneur d'ordre, l'infrastructure sera dimensionnée pour abriter la couche optique d'un ou plusieurs réseaux si la cohabitation de plusieurs gestionnaires d'infrastructure a été envisagée.

4.1.4 INFRASTRUCTURE DEPLOYEE A LA DEMANDE

Dans le cas d'une infrastructure déployée à la demande, le dimensionnement pourra être adapté à la technologie retenue. Dans le cas de l'utilisation d'une technique de « micro génie civil », compte tenu de la rapidité et du moindre coût de la technologie, il sera possible de ne déployer l'infrastructure que pour des besoins à court et moyen terme. Cette technologie peut également être considérée comme une solution d'attente avant mutualisation d'opérations de génie civil traditionnel avec d'autres infrastructures (eau, gaz, énergie...).

4.1.5 DIMENSIONNEMENT DE LA COUCHE D'INFRASTRUCTURE

Ce chapitre permettra le dimensionnement des différents nœuds et des liens entre ces nœuds. Le nombre d'abonnés définira la capacité des liens en nombre de fibres. Le paragraphe 4.2 fournit des « équivalences » entre le nombre de fibres et la capacité du fourreau permettant d'accueillir le câble correspondant.

4.1.5.1 DESSERTE EN HABITAT URBAIN DENSE

Dans le cas d'une agglomération urbaine de moyenne importance, le Nœud d'Accès (NA) point d'interconnexion avec les opérateurs, pourra être hébergé dans un des bâtiments publics ou bien de façon dégroupée dans un bâtiment d'un opérateur déjà présent.

Dans le cas d'un habitat dense, les Nœuds de Flexibilité (NF) prendront la forme d'armoires de rue ou seront hébergés en pied d'immeubles s'ils abritent une forte densité de population. Dans ce dernier cas, il pourra y avoir deux niveaux de points de flexibilité et de brassage.

Les Points de Raccordement d'abonnés (PR) seront localisés en pied d'immeuble ou dans les dessertes d'étage. Les abonnés seront ainsi raccordés à la demande sur ces points de raccordement.

| Dimensionnement des différents nœuds | | |
|--------------------------------------|---|------------------------|
| Nœud fonctionnel | Paramètre de dimensionnement | Ordre de grandeur |
| Point de raccordement (PR) | Capacité PR | 12 à 24 abonnés |
| Nœud de flexibilité (NF) | Capacité NF | 100 à 1 000 abonnés |
| Nœud d'accès (NA) | Capacité NA | 4 000 à 30 000 abonnés |
| Dimensionnement des différents liens | | |
| Liaison | Infrastructure de support | Ordre de grandeur |
| (PR) – (PA) | Gaine technique Apparent | 10 - 50m |
| (NF) – (PR) | Fourreaux Colonne montante Façade | 100 - 500m |
| (NA) – (NF) | Fourreaux Égouts | 1 000 - 2 000m |

Tableau 4.1 : dimensionnement de la couche d'infrastructure – habitat urbain dense

4.1.5.2 DESSERTE EN HABITAT URBAIN PAVILLONNAIRE

Dans le cas d'un habitat pavillonnaire, les Nœuds de Flexibilité (NF) prendront généralement la forme d'armoires de rue. Les Points de Raccordement d'abonnés (PR) seront matérialisés par des coffrets de rue ou des coffrets sur poteau, voire des boîtiers en chambre.

| Dimensionnement des différents nœuds | | |
|--------------------------------------|--|------------------------|
| Nœud fonctionnel | Paramètre de dimensionnement | Ordre de grandeur |
| Point de raccordement (PR) | Capacité PR | 4 à 8 abonnés |
| Nœud de flexibilité (NF) | Capacité NF | 100 à 500 abonnés |
| Nœud d'accès (NA) | Capacité NA | 5 000 à 50 000 abonnés |
| Dimensionnement des différents liens | | |
| Liaison | Infrastructure de support | Ordre de grandeur |
| (PR) – (PA) | Fourreaux Aérien | 10 - 100m |
| (NF) – (PR) | Fourreaux Aérien télécom ou énergie basse tension | 100 - 1 000m |
| (NA) – (NF) | Fourreaux Aérien | 1 000 - 5 000m |

Tableau 4.2 : dimensionnement de la couche d'infrastructure – habitat urbain pavillonnaire

4.1.5.3 DESSERTE EN HABITAT RURAL

Dans le cas d'un habitat rural dispersé, les Nœuds d'Accès (NA) sont localisés à distance dans l'agglomération urbaine de petite ou moyenne importance (typiquement un chef-lieu de canton).

Une alternative pour pallier cet éloignement des zones par rapport au NA consiste à densifier le réseau de collecte pour en améliorer sa couverture et créer ainsi des points de présence plus nombreux à partir desquels la desserte sera plus aisée.

Un nœud de flexibilité pourra être implanté dans un bâtiment public (ex : mairie). Les Points de Raccordement d'abonnés (PR) seront matérialisés sous la forme de coffrets de rue ou de poteau. Les abonnés seront raccordés à la demande sur ces points de raccordement.

Le raccordement tout optique de bout en bout n'étant pas toujours directement réalisable, des techniques palliatives et provisoires pourront être mises en œuvre dans la partie distribution, soit par des techniques radio (Wi-Fi, WIMAX), soit par des techniques filaires (CPL ou déport DSL). Dans tous ces cas, il sera judicieux de réaliser la partie transport du réseau (typiquement du nœud d'accès jusqu'au nœud de flexibilité situé dans la commune à desservir) au moyen de la fibre optique plutôt que par des techniques sans fil. Le déploiement de la fibre optique utilisera avantageusement les infrastructures existantes : fourreaux disponibles, réseau d'énergie moyenne et basse tension, poteaux télécoms.

| Dimensionnement des différents nœuds | | |
|--------------------------------------|--|------------------------|
| Nœud fonctionnel | Paramètre de dimensionnement | Ordre de grandeur |
| Point de raccordement (PR) | Capacité PR | 2 à 4 abonnés |
| Nœud de flexibilité (NF) | Capacité NF | 50 à 500 abonnés |
| Nœud d'accès (NA) | Capacité NA | 2 000 à 10 000 abonnés |
| Dimensionnement des différents liens | | |
| Liaison | Infrastructure de support | Ordre de grandeur |
| (PR) – (PA) | Fourreaux Aérien | 50 - 500m |
| (NF) – (PR) | Fourreaux Aérien | 500 – 3 000m |
| (NA) – (NF) | Fourreaux Aérien télécom ou énergie (basse ou moyenne tension) | 3 000 – 10 000m |

Tableau 4.3 : dimensionnement de la couche d'infrastructure – habitat rural

4.1.5.4 DESSERTE DE ZONES D'ACTIVITES ECONOMIQUES

Afin de faire face à l'évolution des besoins des entreprises, il est nécessaire de prévoir à minima un Nœud de Flexibilité (NF) sur la zone. Ce nœud constitue le point de partage des clients pour les différents opérateurs qui désireront offrir des services sur la zone considérée. Suivant l'importance de la zone, il se matérialisera par une armoire de rue ou un local technique.

Dans le cas de zones à construire, nous recommandons de prévoir une sécurisation physique du réseau et une double adduction des bâtiments.

Les points de raccordement prendront des formes différentes suivant le choix de la technologie retenue (câblage traditionnel, fibre soufflée, dérivation-piquage tendu). Il conviendra donc de prévoir, soit un coffret en limite de parcelle, soit une petite chambre de dérivation (type L1T) au droit de la parcelle à desservir.

| Dimensionnement des différents nœuds | | |
|--------------------------------------|--|------------------------|
| Nœud fonctionnel | Paramètre de dimensionnement | Ordre de grandeur |
| Point de raccordement (PR) | Capacité PR | 1 à 4 abonnés |
| Nœud de flexibilité (NF) | Capacité NF | 10 à 50 abonnés |
| Nœud d'accès (NA) | Capacité NA | 2 000 à 10 000 abonnés |
| Dimensionnement des différents liens | | |
| Liaison | Infrastructure de support | Ordre de grandeur |
| (PR) – (PA) | Fourreaux | 10 - 300m |
| (NF) – (PR) | Fourreaux | 100 - 1 000m |
| (NA) – (NF) | Fourreaux Aérien télécom ou énergie | 1 000 - 3 000m |

Tableau 4.4 : dimensionnement de la couche d'infrastructure – desserte de zone d'activités économiques

NB : Dans le cas de parcelles recevant des immeubles mutualisés (ex : pépinière d'entreprises), il conviendra de dimensionner le raccordement en fonction du potentiel d'accueil.

4.1.6 REGLES DE REPERAGE DES FOURREAUX

Il est important de définir des règles d'identification des fourreaux pour en assurer l'exploitation et la maintenance.

Les différents fourreaux situés dans une même tranchée (ou rainure) devront pouvoir être identifiés soit par marquage distinctif, soit par un code de couleur.

La présence de fourreaux dans le sol sera signalée par la présence d'un grillage avertisseur.

Un fil de localisation par détection électromagnétique pourra permettre de repérer plus efficacement la présence des fourreaux dans le sol.

4.2 TECHNOLOGIES ET COMPOSANTS DE LA COUCHE INFRASTRUCTURE

La couche d'infrastructure est constituée des fourreaux, chambres, micro-tubes et tous les accessoires liés à ces composants.

Avertissement : les termes fourreaux, tubes, conduites désignent des composants proches ou identiques. Leur choix est dicté par la culture propre aux métiers concernés.

4.2.1 LES FOURREAUX

Dans le cas d'une infrastructure neuve, les fourreaux seront de type Polyéthylène Haute Densité ; ces produits sont adaptés à la pose de câbles optiques ou le sous-tubage par des techniques de soufflage à l'air ou flottage à l'eau. Les fourreaux PVC sont déconseillés, sauf sur courte distance, leur tenue en pression étant trop faible.

Les fourreaux PeHD seront conformes à la norme NFT 54072 classe A ou B.

4.2.2 LES TUBES ET MICRO-TUBES

Il faut distinguer quatre familles de micro-tubes :

- les tubes pour sous-tubage de fourreaux PeHD,
- les multitubes pour sous-tubage de fourreaux PVC ou béton,
- les multitubes directement enterrables,
- les tubes pour la pénétration à l'intérieur des immeubles.

Ces produits seront utilisés pour assurer les parties transport, distribution et raccordement du réseau de desserte.

On retrouvera le plus gros diamètre sur les parties transport et distribution et les plus petits diamètres sur les parties distribution et raccordement.

| Dimensionnement du micro-tube | \varnothing 3,5 / 5 mm | \varnothing 8 / 10 mm | \varnothing 10 / 12 mm |
|-------------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Capacité du câble | 12fo | 72fo | 96fo |

Tableau 4.5 : correspondance entre les dimensions des micro-tubes et les capacités des micro câbles

4.2.2.1 SOUS-TUBAGE DE FOURREAUX EXISTANTS EN PEHD

Le sous-tubage des fourreaux PeHD sera réalisé par l'emploi de tubes en polyéthylène HD. Les diamètres les plus courants sont : \varnothing 8 / 10 mm et \varnothing 10 / 12 mm. Les tubes de dimension inférieure imposent des précautions particulières de pose ; la pose de ces micro-tubes sera réalisée par tirage au moyen d'outils et de méthodes appropriés ou, préférentiellement, par soufflage à l'air.

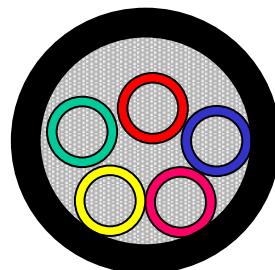


Figure 4.2 : sous tubage de fourreaux existants

Les tubes seront systématiquement mis sous pression pendant et après la pose afin d'éviter toute déformation accidentelle qui pourrait perturber la pose du câble par la suite.

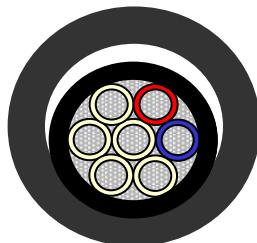
| Dimensionnement conduite d'accueil / Dimension des micro-tubes | $\varnothing 26,6 / 32$ mm | $\varnothing 32,6 / 40$ mm | $\varnothing 40,8 / 50$ mm |
|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| $\varnothing 8 / 10$ mm | 3 | 5 | 7 |
| $\varnothing 10 / 12$ mm | | 3 | 5 |

Tableau 4.6 : capacité de sous tubage (nombre de micro-tubes) dans une conduite existante

4.2.2.2 SOUS-TUBAGE DE FOURREAUX PVC OU AUTRES

Dans le cas de sous-tubage d'un fourreau ne résistant pas à la pression (cas des fourreaux PVC), il est recommandé d'utiliser pour le sous-tubage, un multtube (ensemble de tubes réunis sous une enveloppe de forme cylindrique ou en nappe) qui sera posé par tirage traditionnel ou par poussage

Figure 4.3 : sous-tubage de fourreaux PVC par multitubes pré-assemblés



Le tirage devra être exécuté avec un treuil équipé d'un dynamomètre enregistreur. Les efforts de tirage maximum admissibles sont précisés par le fabricant de micro-tube. La liaison du micro-tube avec la cablette du treuil se fait par des chevilles expansibles appelées « clou de tirage ». Le poussage est exécuté avec un appareil muni d'un limiteur de force de poussée.

| Dimension du micro-tube | $\varnothing 3,5 / 5$ mm | $\varnothing 8 / 10$ mm | $\varnothing 10 / 12$ mm |
|--|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Modularité des micro-tubes élémentaires pré-assemblés dans un multtube – gammes existantes | 1 | 1 | 1 |
| | 3 à 4 | 3 à 4 | 3 à 4 |
| | 7 | 7 | 7 |
| | 12 à 13 | 12 à 13 | 12 à 13 |
| | 24 | - | - |

Tableau 4.7 : gammes et modularités de faisceaux multitubes pré-assemblés

4.2.2.3 POSE EN PLEINE TERRE DE MICRO-TUBES

Dans certaines configurations, il peut être intéressant de poser directement en pleine terre un ensemble de micro-tubes. Dans ce cas, on aura recours à l'emploi d'un multtube dont la protection extérieure est dimensionnée pour préserver les micro-tubes de toute déformation. Une autre solution consiste à rassembler sous une même enveloppe (plus fine) des tubes de résistance plus élevée (ex : $\varnothing 8 / 12$ mm)

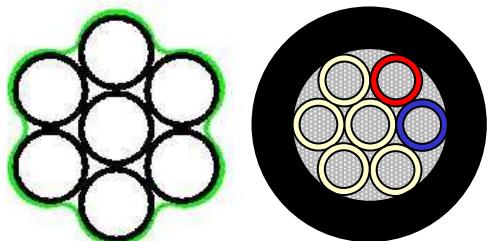


Figure 4.4 : multitubes pré-assemblés

| Dimension du micro-tube | $\varnothing 3,5 / 5$ mm | $\varnothing 8 / 10$ mm | $\varnothing 8 / 12$ mm | $\varnothing 10 / 12$ mm |
|--|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Modularité des micro-tubes élémentaires pré-assemblés dans le multtube – gammes existantes | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | 3 à 4 | 3 à 4 | 3 à 4 | 3 à 4 |
| | 7 | 7 | 7 | 7 |
| | 12 à 13 | 12 à 13 | 12 à 13 | 12 à 13 |
| | 24 | - | - | - |

Tableau 4.8 : gammes et modularités de faisceaux multitubes pré-assemblés

4.2.3 LES MANCHONS ET DERIVATIONS

4.2.3.1 ACCESSOIRES POUR FOURREAUX

Pour assurer le raccordement de deux fourreaux entre eux, il faudra disposer de :

- coupe tube,
- outil de chanfreinage,
- manchon.

Les fourreaux qui sont conservés en attente sont obturés après réception par des bouchons appropriés.

Figure 4.5 : accessoires de manchonnage de fourreaux



4.2.3.2 ACCESSOIRES POUR MICRO-TUBES

4.2.3.2.1 Raccords et bouchons

Une norme Européenne, en cours de rédaction, définit les caractéristiques des bouchons, des raccords droits, des raccords passe câble avec étanchéité à l'eau ou au gaz (pour pénétrer dans les immeubles).

Les raccords et bouchons doivent être garantis pour la même pression d'utilisation que les conduites.

La force d'extraction du raccord doit être supérieure à 50N.

Figure 4.6 : raccord de micro-tubes



4.2.3.2 Systèmes de dérivation



Dans le cas de la dérivation d'un ou plusieurs micro-tubes provenant d'un multitube, on protège la ou les dérivations au moyen d'un boîtier assurant une protection mécanique, en chambre ou directement enterré.



Figure 4.7 : dérivation de micro-tubes

Le système de dérivation doit permettre de garantir un rayon de courbure minimal sur les micro-tubes :

| Diamètre extérieur micro-tube Ø mm | Rayon de courbure minimum mm |
|------------------------------------|------------------------------|
| 5 | 60 |
| 8 | 200 |
| 10 | 240 |

Tableau 4.9 : rayons de courbure applicables aux micro-tubes

4.2.4 LES CHAMBRES ET REGARDS

Les chambres utilisées répondent aux normes NF P 98050 et NF P 98051. Une chambre de tirage est composée des sous-ensembles suivants :

- une ossature en béton armé correspondant à la chambre proprement dite,
- une rehausse éventuelle permettant la compensation d'une élévation ou d'un dénivelé du sol,
- une grille de protection,
- un cadre en acier,
- un ou plusieurs tampons.

Chaque chambre possède:

- des masques permettant la pénétration de la multitubulaire (des fourreaux, micro-conduites),
- un puisard (cône en partie basse) pour l'évacuation des eaux de pluie et d'infiltration,
- des accessoires complémentaires éventuels (support équerre de câbles, poteau support de câbles, crosse de descente, échelons de descente, anneau de tirage scellé ou vissé en fond de chambre ou sur paroi, etc.).

Les dimensions des chambres sont adaptées à leur utilisation :

- tirage,
- stockage ou lovage de câble,
- raccordement / distribution.

Au droit des points stratégiques (desserte de zone, interconnexion avec un autre réseau, etc.), des chambres propres à chaque utilisateur et dédiées au raccordement seront

implantées à proximité immédiate des chambres mutualisées. Ces chambres sont appelées par la suite chambres de raccordement. Ce même type de chambres peut être implanté régulièrement afin d'assurer un logement de câble en vue des futurs raccordements. Le schéma ci-dessous représente un exemple d'implantation de différents types de chambres dans le cas d'un contexte de location de fourreaux.

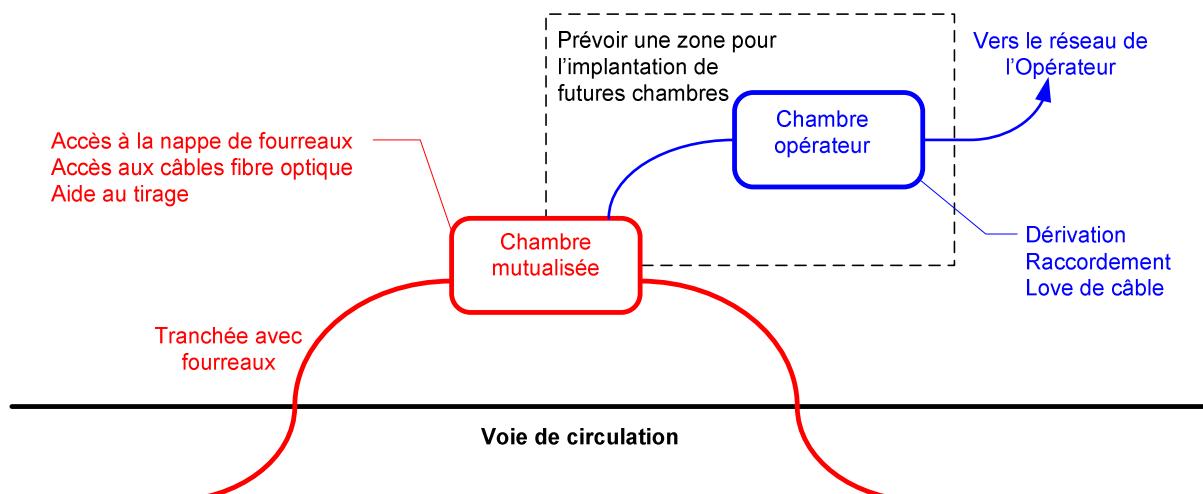


Figure 4.8 : schéma d'implantation de chambre

Les chambres implantées en accotement, sur trottoir

Les chambres implantées en accotement sont de type LxT.

| Chambre | Dimension intérieure L x l x P (cm) | Cas d'emploi |
|---------|--|---|
| L0T | 42x24x30 | Dérivation sans épissure |
| L1T | 52x38x60 | Dérivation sans épissure |
| L2T | 116x38x60 | Dérivation petits câbles ou multi conduites |
| L3T | 138x52x60 | Dérivation avec épissure |
| L4T | 187x52x60 | Dérivation avec épissure |
| L5T | 179x88x120 | Dérivation avec épissure |
| L6T | 242x88x120 | Dérivation avec épissure |

Tableau 4.10 : types de chambres, dimensions et fonction

Tampon : ces chambres peuvent être équipées de tampon type 125kN ou 250kN.

Les chambres installées sous chaussée

Les chambres implantées sous chaussée sont de type KxC. La norme définit 3 tailles différentes pour ce type de chambre.

| Chambre | Dimension intérieure L x l x P (cm) | Cas d'emploi |
|---------|--|---|
| K1C | 75x75x75 | Dérivation petits câbles ou multi conduites |
| K2C | 150x75x75 | Dérivations avec épissures |
| K3C | 225x75x75 | Dérivations avec épissures |

Tableau 4.11 : types de chambres, dimensions et fonctions

Tampon : ces chambres doivent être équipées de tampon type 400kN.

Les trappes

La norme NF P 98311 définit trois familles de trappes pour fermeture des chambres :

- 125 kN : pour les chambres implantées en zones piétonnières, en trottoirs et zones comparables et aires de stationnement pour voitures,
- 250 kN : pour les chambres implantées en zones piétonnières, en trottoirs, caniveaux dans les rues, accotements des routes et parkings accessibles aux poids lourds,
- 400 kN : pour les chambres implantées sur des voies de circulation (y compris les rues piétonnes), sur les accotements stabilisés et les aires de stationnement pour tous types de véhicules routiers.

Il existe de nombreux modèles de trappes : classiques, articulées, verrouillées, multi-tampons, à remplissage, assistées.

Grilles de protection

Afin d'éviter tout risque lié à la chute d'une trappe sur les câbles optiques, il est fortement recommandé d'équiper toutes les chambres d'une grille de protection. Ces grilles, généralement articulées, peuvent disposer d'un dispositif de verrouillage par cadenas. Elles seront traitées anticorrosion et de ce fait, pourront être réalisées en acier galvanisé à chaud, polyester renforcé fibre de verre, inox.

Chambres en PVR

En lieu et place de la plupart des chambres traditionnelles, sous chaussée ou en zone piétonnière on peut utiliser des chambres et regards en polyester renforcé de verre (PVR). Ces chambres se composent de sections complètes de 15 cm de hauteur qui s'emboîtent les unes sur les autres. Très résistantes (40 tonnes à la charge verticale et plus de 200 kg/cm² à la charge latérale), elles autorisent une manipulation manuelle par une seule personne (poids d'une section environ 25 kg).

La mise en œuvre est simple et rapide avec des gains à l'installation significatifs sans modification des règles d'installation.



Figure 4.9 : chambre PVR

4.3 REGLES ET TECHNIQUES DE MISE EN OEUVRE DE LA COUCHE INFRASTRUCTURE

4.3.1 TYPES ET CHOIX DE FOURREAUX

Afin de faciliter la mise en œuvre des câbles, les tubes sont rainurés intérieur et pré-lubrifiés. Le coefficient de frottement doit être inférieur ou égal à 0,1.

Les fourreaux sont de couleur noire et comportent un marquage métrique. Les raccordements des fourreaux s'effectuent par des manchons étanches garantissant une pression nominale de 10 bars ; ils sont d'un encombrement réduit pour faciliter la pose mécanisée; des bagues de serrage assurent le blocage des tubes à raccorder.

| Dimension du fourreau (mm) | Dimension maximum du câble (mm) |
|----------------------------|---------------------------------|
| Ø 18,0 / 22,0 | Ø 14,0 |
| Ø 21,6 / 26,0 | Ø 17,0 |
| Ø 25,0 / 31,0 | Ø 20,0 |
| Ø 26,2 / 32,0 | Ø 20,0 |
| Ø 32,6 / 40,0 | Ø 25,5 |
| Ø 40,8 / 50,0 | Ø 32,0 |
| Ø 51,0 / 63,0 | Ø 40,0 |

Tableau 4.12 : choix des dimensions de fourreaux ou tubes en fonction des diamètres de câble à supporter

4.3.2 CONFECTON DES TRANCHEES ET MISE EN PLACE DES FOURREAUX

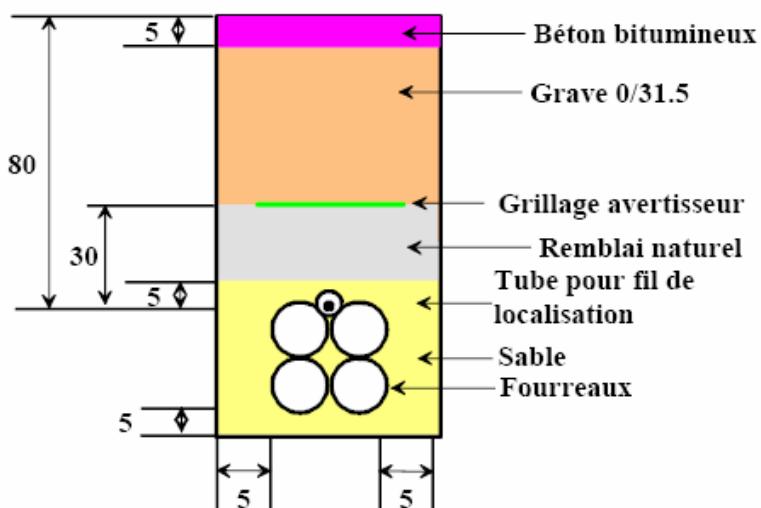


Figure 4.10 : confection de tranchée et mise en place des fourreaux sous chaussée

4.3.3 NOUVELLES TECHNOLOGIES DE GENIE CIVIL ALLEGÉ

4.3.3.1 INTRODUCTION

De nouvelles techniques de génie civil allégé ont vu le jour pour permettre de réduire les coûts de réalisation, minimiser les temps de mise en œuvre et diminuer la gêne occasionnée par les chantiers. Elles font appel à la réalisation de micro-rainures ou de micro-tranchées pratiquées dans le revêtement de la chaussée ou des trottoirs.

L'évolution des techniques de tranchage et l'apparition de matériaux de remblai technique, ont permis d'utiliser les couches superficielles de la chaussée (fond de fouille à 40 cm environ) pour répondre à la forte demande des collectivités en termes de réseaux de télécommunication. Cette ressource nouvelle permet de mettre en œuvre rapidement et de façon contrôlée (garantissant l'intégrité de la chaussée) des canalisations multitubulaires à des coûts inférieurs aux techniques traditionnelles.

Le micro-tranchage urbain s'appuie sur un procédé global qui intègre de manière cohérente la méthode, le matériel, le matériau, l'exploitation et le contrôle. Il réalise une « réfection définitive immédiate » et permet de réduire les durées d'immobilisation pour restituer aux usagers leur rue ou leur trottoir très peu de temps après l'intervention (quelques minutes à quelques heures).

4.3.3.2 LES PRINCIPES

4.3.3.2.1 La micro-rainure

La micro-rainure fait appel à des techniques de sciage du revêtement. Pour cette raison, elle ne peut être réalisée que dans un matériau homogène (enrobé) ; de ce fait, sa profondeur est limitée à l'épaisseur de la couche de revêtement.

La largeur de sciage est de 10 à 20 mm ; la profondeur est d'environ 100 mm.

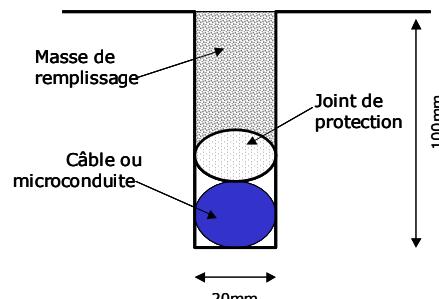


Figure 4.11 : coupe d'une saignée réalisée en micro-rainurage

4.3.3.2.2 La micro-tranchée

La micro-tranchée est caractérisée par une largeur généralement comprise entre 8 et 15 cm pour une profondeur de quelques dizaines de cm (généralement moins de 40 cm). En fond de micro-tranchée on dépose des fourreaux ou micro-conduites dans lesquels des câbles seront installés ultérieurement.

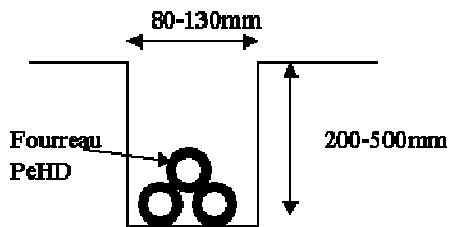


Figure 4.12 : coupe d'une saignée réalisée en micro-tranchage classique - Pose de plusieurs fourreaux

4.3.3.3 INTERET DU PROCEDE DE MICRO-TRANCHEE

Ce procédé permet d'ouvrir chaque jour 600 mètres de tranchées, poser les fourreaux, remblayer et restituer la chaussée à la circulation, même en présence de fort trafic. Les intérêts sont multiples :

Pour le Gestionnaire de voirie :

- cadences importantes de réalisation pour une gêne moindre de trafic,
- conditions homogènes et contrôlées de pose garantissant la qualité de la chaussée restituée,
- restitution rapide de la voirie à la circulation.

Pour le Maître d'Ouvrage :

- coûts de construction,
- ouvrage sécurisé de performances au moins identiques à celles obtenues de façon traditionnelle,
- respect des normes de sécurité et d'environnement.

Pour le concessionnaire :

- ré-intervention sur les ouvrages de proximité non entravée.

Pour les riverains :

- minimisation des nuisances induites par le chantier.

Pour les usagers de la voirie :

- réduction des restrictions de circulation.

4.3.3.4 PROJET DE NORME ET TECHNIQUES ACTUELLES DE MICRO-TRANCHEES

A la date de parution de cet ouvrage, la micro-tranchée (ou tranchée de faibles dimensions) n'est pas encore normalisée, ni au niveau français ni au niveau européen. Compte tenu de ses dimensions, la micro-tranchée n'est pas compatible avec la norme actuelle relative aux tranchées «classiques» (norme NFP 98-331), sur laquelle s'appuient notamment de nombreux règlements de voirie de collectivités, pour ce qui concerne l'enfouissement de réseaux sous chaussée. Aujourd'hui, une collectivité souhaitant autoriser les micro-tranchées sur son domaine routier est généralement contrainte de déroger à son règlement de voirie.

Un projet de norme française sur les tranchées de faibles dimensions est à l'étude. Lancé en 2005-2006, ce projet devrait aboutir au plus tard en 2008.

Sans attendre la définition d'un cadre normatif, plusieurs entreprises ont développé leurs procédés de réalisation de micro-tranchées. Ces techniques peuvent varier sensiblement d'une entreprise à l'autre : dimensions exactes des micro-tranchées, matériels et organisation des chantiers, coût et cadence, techniques de remblaiement et de réfection, etc.

Dans les paragraphes suivants nous avons pris le parti de présenter, à titre d'exemple, les techniques de génie civil allégé développées par une entreprise du marché. Compte tenu de ce qui vient d'être exposé, les données techniques, descriptifs de matériels et autres informations relatives aux procédés ne sont pas à prendre comme des «normes» en matière de génie civil allégé, ou encore comme une préférence du C.R.E.D.O pour les techniques de cette entreprise, mais plutôt comme des illustrations et exemples concrets de déroulement des chantiers de micro-tranchées. D'autres entreprises pourront proposer des solutions de génie civil allégé différentes mais également adaptées au contexte.

4.3.3.5 MATÉRIAUX ET TECHNIQUES

Les enjeux précédents ont conduit à l'utilisation de matériaux et d'équipements existants ou ayant fait l'objet d'adaptations spécifiques pour répondre à des critères de production industrielle : cadences importantes, modes et qualités contrôlés, aléas réduits, nuisances minimisées, évacuation et tri des déchets.

4.3.3.5.1 Canalisation

L'utilisation de la micro-tranchée est optimisée avec la pose de fourreaux en faisceaux, qui permettent d'installer un maximum de tubes dans la tranchée, d'avoir une canalisation stable et de faciliter l'enrobage, améliorant ainsi les caractéristiques mécaniques de la canalisation.

4.3.3.5.2 Excavation

La micro-trancheuse utilisée permet l'évacuation simultanée des déblais pour mise en décharge contrôlée, assure une coupe propre et permet des cadences de pose de 400 à 800 ml/jour avec évacuation journalière totale du chantier et limitation de l'encombrement sur une demi-chaussée.

4.3.3.5.3 Remblai

La tranchée est remblayée au moyen d'un matériau fourni par l'industrie du béton prêt à l'emploi (BPE). Il est autocompactant, non essorable, à acquisition rapide de portance et ré-excavable. Le type de produit choisi garantit le comblement des vides, l'enrobage de la canalisation et un comportement homogène avec le reste de la chaussée.

Lors d'essais expérimentaux, en condition de chantier, des cadences importantes de remblai ont été obtenues (200 mètres linéaires remblayés en moins de 20 minutes), et le délai de restitution de la chaussée réduit à 2 heures après comblement.

4.3.3.5.4 Réfection de la couche de roulement

La réfection définitive est effectuée au moyen de la traditionnelle technique du rabotage (largeur 0,5 m, épaisseur 50 mm), suivie d'un enrobé à chaud. C'est la meilleure garantie pour rendre à la couche de roulement ses qualités en termes de résistance à la compression, de souplesse et d'aspect.



Figure 4.13 : machine de micro-tranchage en milieu urbain

4.3.3.6 CONSTRUCTION DE RESEAUX EN MILIEU URBAIN ET SEMI-URBAIN SOUS CHAUSSEE

4.3.3.6.1 Application

- réalisation de micro-tranchées pour le déploiement de réseaux optiques en milieu urbain.

4.3.3.6.2 Procédé

- roue de tronçonnage à entraînement axial avec aspiration et stockage simultanés des déblais,
- pose mécanisée du réseau et comblement de la tranchée avec un mortier auto-plaçant à prise rapide.

4.3.3.6.3 Spécificité

- véhicule routier facilement mobilisable,
- insonorisation des composants,
- chargement des déblais par aspiration,
- absence de projections et de poussières lors des travaux de terrassements,
- procédé rapide de déploiement du réseau.

4.3.3.6.4 Avantages

- propreté des tranchées et du chantier,
- circulation des véhicules maintenue pendant les travaux,
- gêne aux riverains limitée,
- sécurité du chantier accrue,
- préservation des corps de chaussée,
- restitution rapide de la chaussée,
- réduction des coûts de construction.

4.3.3.6.5 Innovation

- tranchage et aspiration des déblais combinés,
- mortier de comblement auto-plaçant à prise rapide.

4.3.3.6.6 Cadence

- jusqu'à 600 ml/jour en ville

4.3.3.6.7 Caractéristiques de l'outil de tronçonnage

- type : roue de tronçonnage à entraînement axial,

| Largeur de coupe | Profondeur de tranchée |
|------------------|------------------------|
| 80 à 110 mm | 200 à 380 mm |
| 80 à 120 mm | 200 à 430 mm |
| 90 à 130 mm | 265 à 500 mm |

Tableau 4.13 : micro-tranchage en milieu urbain sous chaussée - largeurs et profondeurs des micro tranchées

- outil de coupe monté sur double pivot : rayon de tranchage = 9 m,
- déport latéral de l'outil extérieur machine : 250 mm côté droit.

4.3.3.6.8 Schéma technique

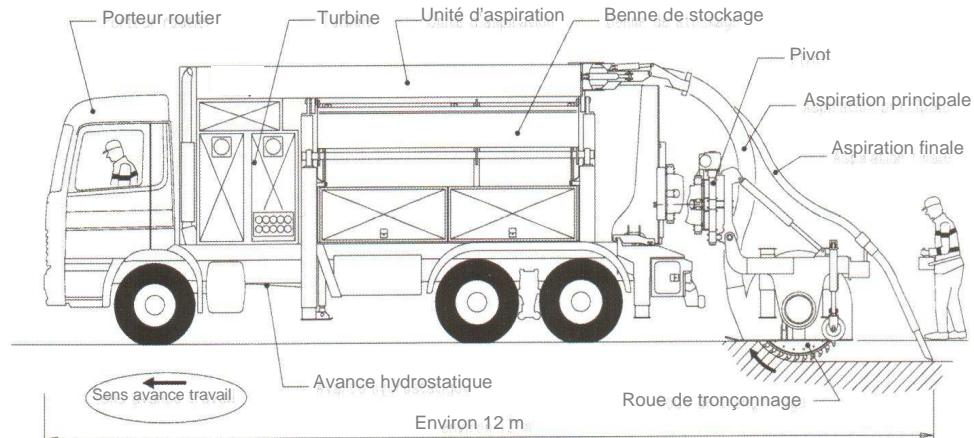


Figure 4.14 : schéma technique de la machine de micro-tranchage en milieu urbain ou semi-urbain sous chaussée

4.3.3.6.9 Organisation et mise en œuvre

Etape 1 - Préparation étude et détection

La mise en œuvre doit impérativement être intégrée dès la phase d'étude et inclure :

- une campagne de détection non destructive des réseaux existants,
- une gestion rigoureuse des arrêtés de circulation et de stationnement.

Figure 4.15 : étapes de mise en œuvre de micro-tranchage - détection des réseaux existants sous chaussée



Etape 2 - Tranchage

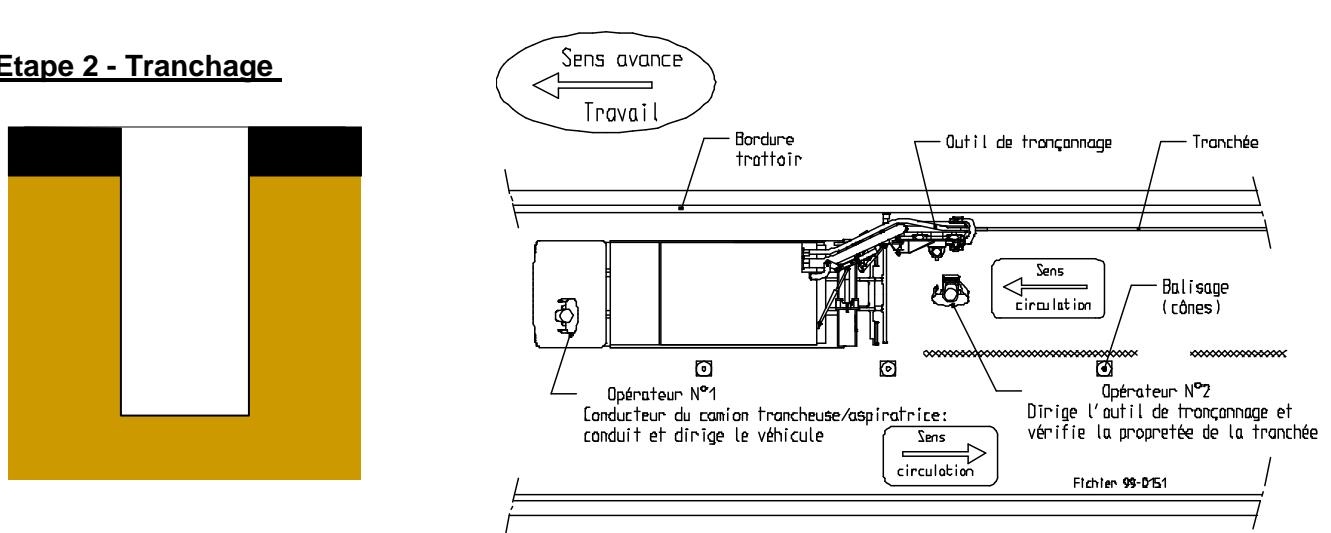


Figure 4.16 : étapes de mise en œuvre de micro-tranchage - tranchage

Etape 3 – Pose des fourreaux

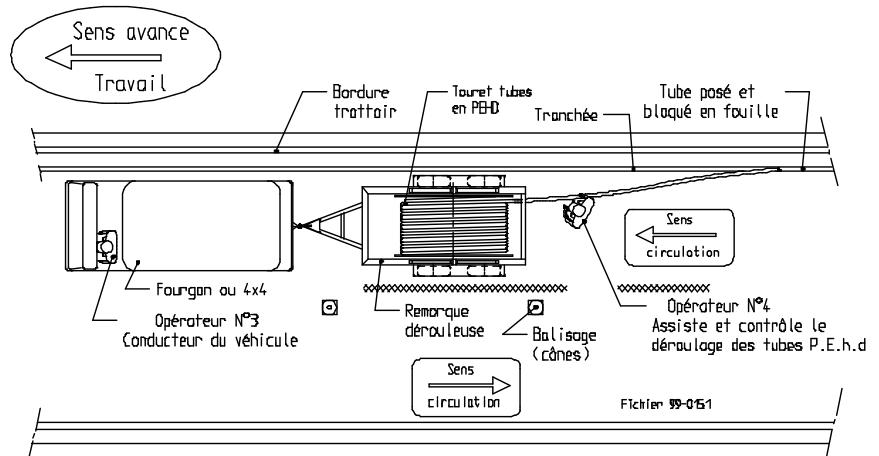
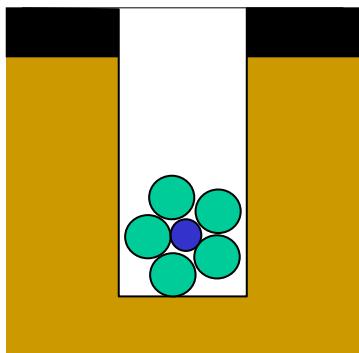


Figure 4.17 : étapes de mise en œuvre de micro-tranchage - pose de fourreaux

Etape 4 – Remblaiement béton

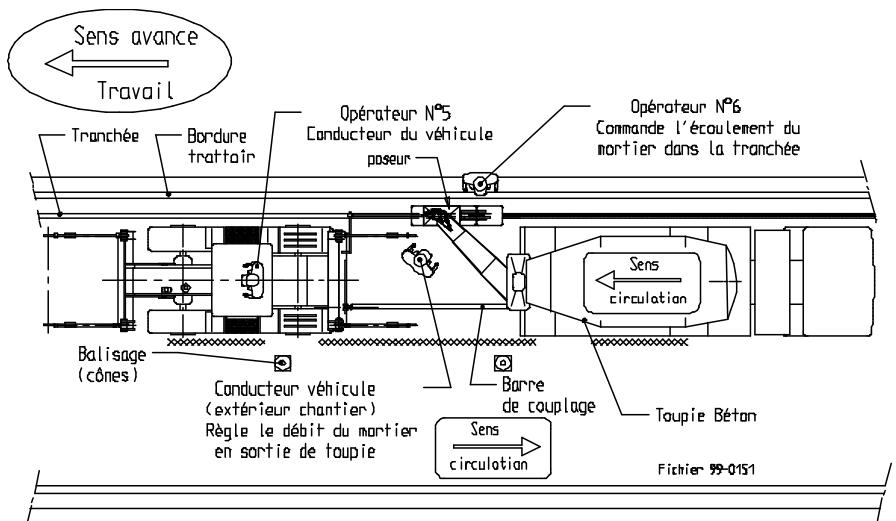
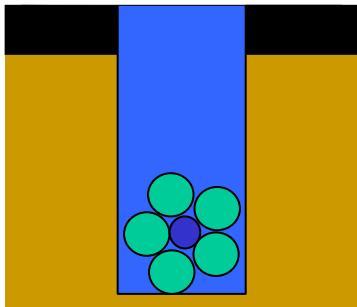


Figure 4.18 : étapes de mise en œuvre de micro-tranchage - remblaiement béton

Etape 5 – Réfection de la couche de roulement

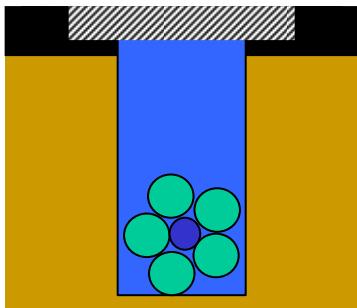


Figure 4.19 : étapes de mise en œuvre de micro-tranchage – réfection de la couche de roulement

4.3.3.7 CONSTRUCTION DE RESEAUX EN MILIEU URBAIN SOUS CHAUSSEE ET TROTTOIR.

4.3.3.7.1 Application

- réalisation de micro-tranchées pour le déploiement de réseaux optiques en milieu urbain. Utilisé pour le tranchage perpendiculaire à la chaussée principale permettant ainsi l'adduction.

4.3.3.7.2 Procédé

- roue de tronçonnage à entraînement axial avec aspiration et stockage simultanés des déblais.

4.3.3.7.3 Spécificité

- trancheuse puissante et compacte,
- réalisation de tranchées longitudinales et transversales (connexions chez les abonnés),
- insonorisation des composants,
- chargement des déblais par aspiration,
- absence de projections et de poussières lors des travaux de terrassements.

4.3.3.7.4 Avantages

- propreté des tranchées et du chantier,
- circulation des véhicules maintenue pendant les travaux,
- gêne limitée des riverains,
- sécurité du chantier accrue,
- préservation des corps de chaussée,
- restitution rapide de la chaussée,
- réduction des coûts de construction.

4.3.3.7.5 Innovation

- trancheuse puissante et compacte avec pilotage radiocommandé,
- tranchage et aspiration des déblais combinés.

4.3.3.7.6 Cadence

- jusqu'à 600 ml/jour

4.3.3.7.7 Caractéristiques de l'outil de tronçonnage

- type : roue de tronçonnage à entraînement axial,

| Largeur de coupe | Profondeur de tranchée |
|------------------|------------------------|
| 80 à 120 mm | 200 à 430 mm |
| 90 à 130 mm | 265 à 500 mm |
| 90 à 130 mm | 450 à 700 mm |

Tableau 4.14 : micro-tranchage en milieu urbain sous trottoir- largeurs et profondeurs des micro-tranchées

- outil de coupe monté sur pivot,
- déport latéral de l'outil sur glissière.

4.3.3.7.8 Schéma technique

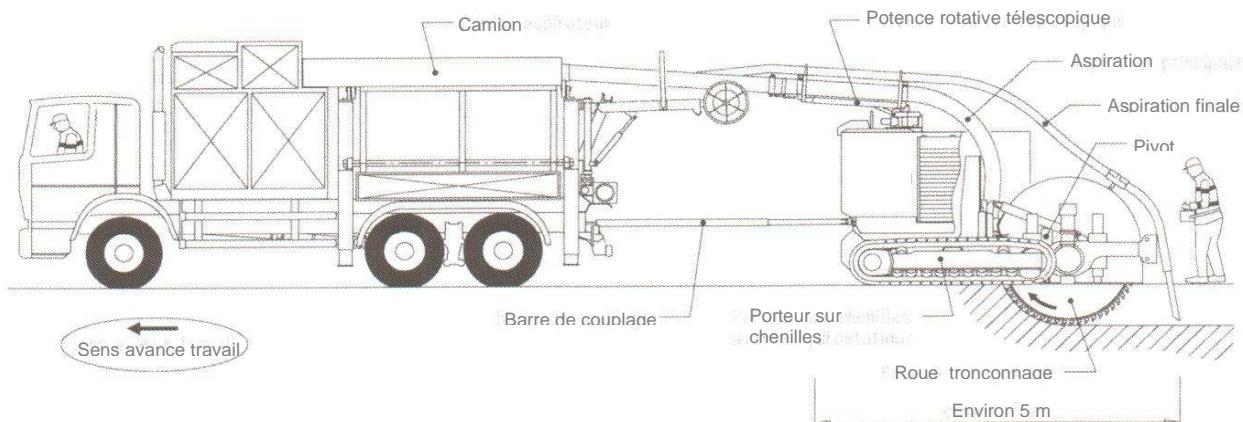


Figure 4.20 : schéma technique de la machine de micro tranchage en milieu urbain sous chaussée ou trottoir

4.3.3.8 CONSTRUCTION DE RESEAUX DE FIBRES OPTIQUES SUR ROCADES URBAINES, VOIES EXPRESSES ET AUTOROUTES.

4.3.3.8.1 Application

- réalisation de saignées pour le déploiement de réseaux optiques sur autoroutes et voies expresses.

4.3.3.8.2 Procédé

- sciage à sec avec aspiration et stockage simultané des déblais,
- pose mécanisée simultanée d'un câble à fibres optiques et d'un joint de protection,
- rebouchage avec un coulis bitumineux coulé à chaud.

4.3.3.8.3 Spécificité

- véhicule routier facilement mobilisable,
- insonorisation des composants,
- chargement des déblais par aspiration,
- absence de projections et de poussières lors des travaux de terrassements,
- procédé rapide de déploiement de réseau.

4.3.3.8.4 Avantages

- propreté des tranchées et du chantier,
- circulation des véhicules maintenue pendant les travaux,
- gêne aux riverains limitée,
- sécurité du chantier accrue,
- préservation des corps de chaussée,
- restitution rapide de la chaussée,
- réduction des coûts de construction.

4.3.3.8.5 Innovation

- sciage à sec et aspiration des déblais combinés.

4.3.3.8.6 Cadence

- jusqu'à 2500 ml/jour sur autoroute

4.3.3.8.7 Caractéristiques de l'outil de tronçonnage

- type : disque de sciage à sec à entraînement axial,
- largeur de sciage : 10 mm,
- profondeur de sciage : jusqu'à 100 mm,
- déport latéral de l'outil extérieur machine : 250 mm côté gauche.



Figure 4.21 : vue d'une micro tranchée

4.3.3.8.8 Schéma technique

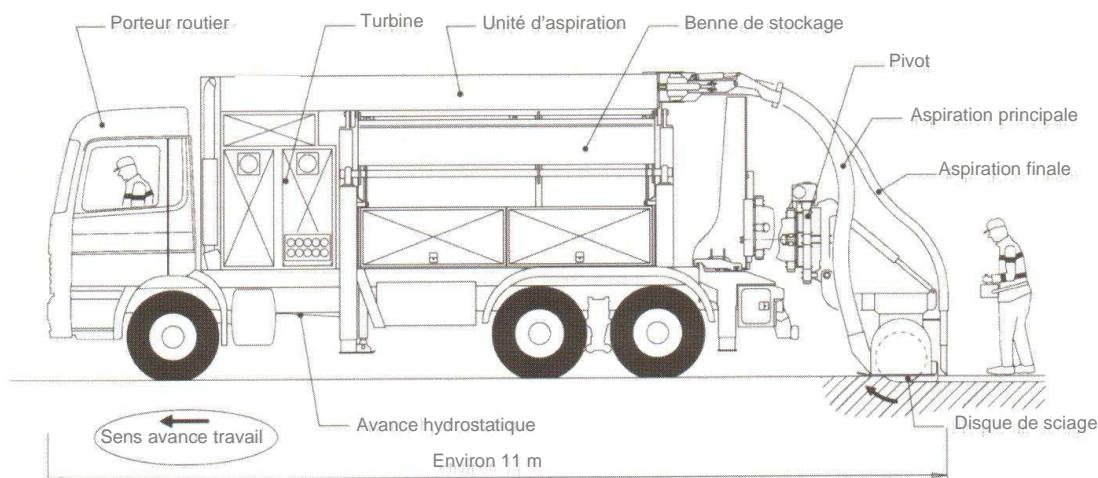


Figure 4.22 : schéma technique et vue de la machine de micro-tranchage pour voies expresses, rocades, autoroutes

4.3.3.9 CONSTRUCTION DE RESEAUX EN MILIEU URBAIN SOUS TROTTOIR.

4.3.3.9.1 Application

- réalisation de micro-tranchées pour le déploiement de réseaux FTTH en milieu urbain jusqu'à l'immeuble.

4.3.3.9.2 Procédé

- réalisation d'une micro-tranchée 15 mm x 100 mm,
- sous trottoir jusqu'à l'immeuble,
- manœuvré par un seul intervenant à la demande,
- coupe, pose de câble et rebouchage.

4.3.3.9.3 Spécificité

- machine compacte,
- insonorisation des composants,
- chargement des déblais par aspiration,
- absence de projections et de poussières lors des travaux,
- procédé rapide de déploiement du réseau.

4.3.3.9.4 Avantages

- liberté de déplacement des piétons,
- respect de l'environnement lors de l'exécution des travaux,
- garantie de l'intervention ultérieure sur l'infrastructure dans les mêmes conditions de sécurité.

4.3.3.9.5 Innovation

- tranchage et aspiration des déblais combinés,
- position latérale de l'outil de coupe,
- avance de l'outil jusqu'au pied du mur.

La machine

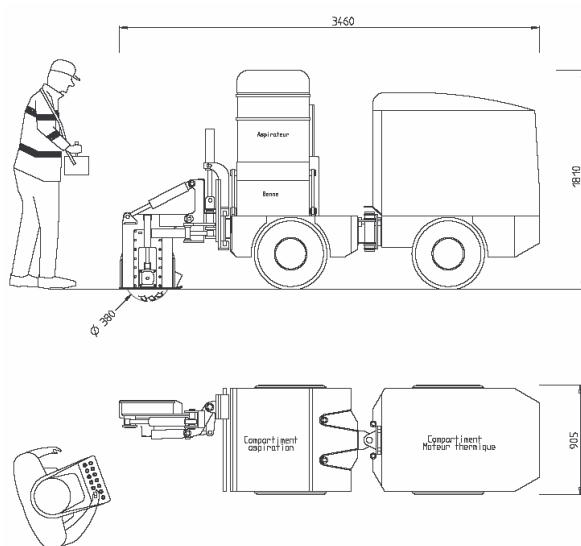
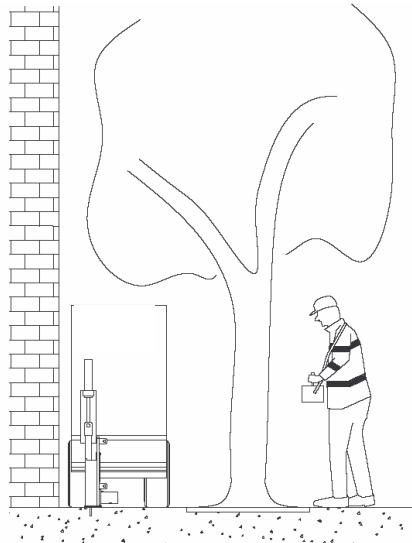


Figure 4.23 : schéma technique et vue de la machine de micro tranchage sous trottoir

Procédé

Passage possible sur trottoir entre les obstacles (arbres, mobilier urbain, signalisation...). Passage au plus près du mur



Micro-tranchée réalisée jusqu'au pied du mur grâce à l'avancé de l'outil.

Pas d'encombrement de la chaussée pendant les travaux.

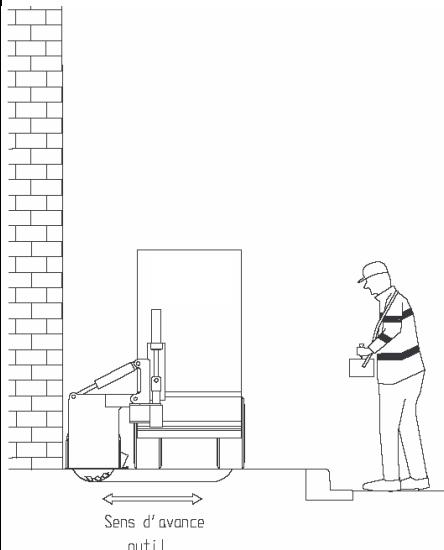


Figure 4.24 : schémas du procédé de tranchage sous trottoir

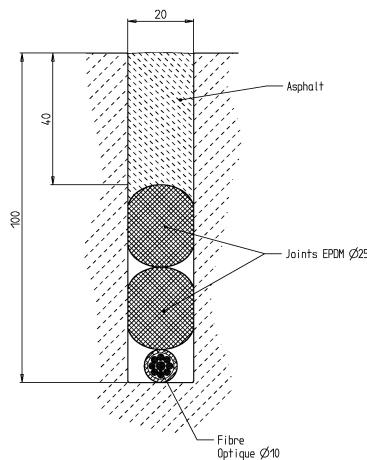
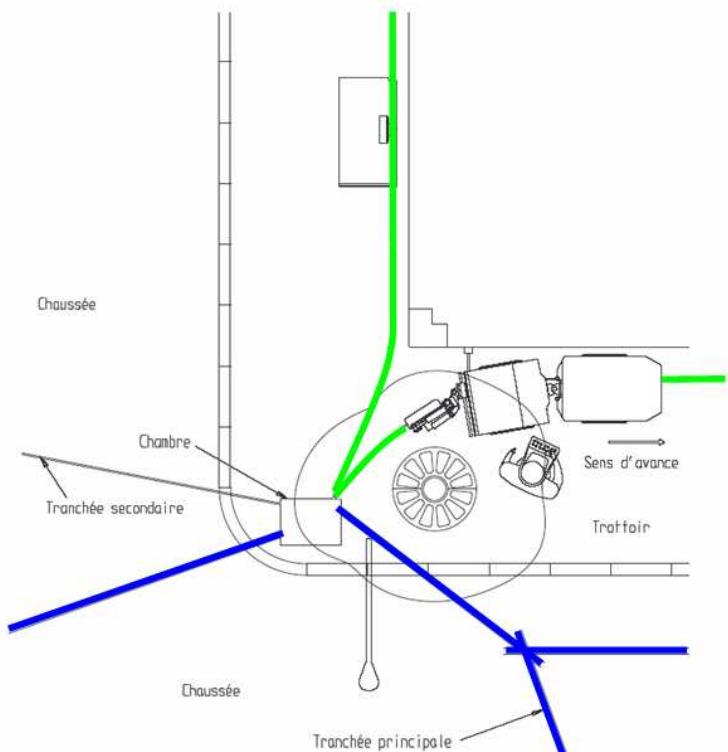


Figure 4.25 : coupe de micro-tranchée sous trottoir



Pose de chambre intermédiaire sous trottoir.
Liens de raccordement le long des murs pour éviter les réseaux, le mobilier urbain et la signalisation.

4.3.4 SOUS-TUBAGE

Le sous-tubage est réalisé de différentes façons suivant la nature du fourreau.

4.3.4.1 SOUS-TUBAGE DE FOURREAUX PEHD

Le sous-tubage est réalisé à l'aide de tubes individuels. Ces micro-tubes sont posés par soufflage (préférentiellement à l'air). L'avantage de la pose par soufflage est l'absence de contrainte mécanique et de déformation des micro-tubes pendant la pose. Pour obtenir les meilleurs résultats, il est impératif de respecter la procédure de pose :

- calibrage de la conduite existante (lorsque la conduite est vide),
- utilisation d'un appareil équipé avec un kit chaînes adapté au diamètre et au nombre de micro-tubes à poser,
- pressurisation des micro-tubes avant le début du soufflage,
- une vanne permet une montée progressive de la pression d'air dans la conduite PeHD pendant la pose des micro-tubes,
- utilisation d'un refroidisseur d'air,
- limitation de la force de poussée sur les micro-tubes pendant la pose.

Cette méthode permet la pose de micro-tubes sur des longueurs de 2000 mètres maximum (suivant le profil et la nature de la conduite). Un lubrificateur permet d'améliorer sensiblement les performances de pose.



Figure 4.26 : système de pose de micro-tubes par soufflage



Figure 4.27 : pose en conduite occupée avec un câble

La capacité maximum de soufflage des micro-tubes dans une conduite peut être définie par les deux exemples suivants :

- le rapport entre la surface totale extérieure des micro-tubes et la surface intérieure de la conduite ne doit pas être supérieure à 0,45 pour des longueurs de pose de 1800 mètres et de 0,55 pour des distances de 600 mètres maximum,
- le diamètre apparent ou le cercle inscrit de l'ensemble des micro-tubes ne doit pas dépasser 80 % du diamètre intérieur de la conduite.

Il est possible de poser par soufflage à l'air des micro-tubes dans une conduite PeHD occupée par un câble.

4.3.4.2 SOUS-TUBAGE D'AUTRES YPES DE FOURREAUX

Dans le cas de fourreaux n'acceptant pas une mise en pression (cas des fourreaux PVC), on utilise préférentiellement un multtube et dans ce cas, on a recours à une pose traditionnelle au treuil.

4.4 AMENAGEMENT DES LOCAUX TELECOMS

4.4.1 LOCAUX TECHNIQUES POUR NŒUDS D'ACCÈS

Les locaux techniques hébergeant des Nœuds d'Accès doivent impérativement satisfaire aux exigences suivantes.

- *Pérennité des conditions d'usage* : le coût de migration d'un NA est absolument prohibitif, les locaux devront conserver leur usage sans interruption pendant plus de 30 ans. Cette pérennité sera difficile à garantir sans un titre de propriété des locaux, ainsi qu'un contrat d'usage bien spécifique (copropriétés, nuisances au voisinage),
- *Dégroupage* : a minima, on réservera de l'espace au sol et dans les adductions pour les opérateurs en « dégroupage distant » qui aménagent leur propre local à proximité du local et renvoient leurs fibres sur le NA. Le « dégroupage actif » consiste à héberger les équipements actifs tiers et requiert dès lors un supplément d'espace et de capacité de refroidissement,
- *Inondations* : le local ne peut pas être situé en zone inondable ; s'il est au sous-sol d'un immeuble, on veillera à ce qu'il ne soit pas au niveau le plus bas,
- *Accessibilité des câbles* : une étude de faisabilité portera sur les abords du bâtiment (congestion des infrastructures de génie civil), l'adduction et le cheminement intérieur des câbles jusqu'au local. Les sections de passage varieront de 6 à 9 cm² pour 1000 fibres, dépendant des types de câbles. Les câbles qui ne sont pas aux normes d'incendie du bâtiment (zéro halogène) seront entourés d'une protection coupe-feu sur leur parcours intérieur,
- *Accessibilité des personnels* : les modes d'opérations étant sujets à évoluer au cours des trente prochaines années l'intervention de tiers non accompagnés doit être possible, ainsi que l'accès des véhicules pour les opérations d'entretien lourd,
- *Alimentation électrique dédiée* : la mise à la terre sera soignée. Selon l'état du réseau électrique alimentant le local et de la capacité d'intervention en cas de panne, il peut être nécessaire d'équiper le site d'une autonomie (onduleur et batteries), voire d'un générateur diesel, alimentant les équipements et les groupes de froid,
- *Capacité de refroidissement* : toute l'énergie électrique consommée par les équipements de télécommunications est rejetée dans le local sous forme de chaleur. On comptera environ 2 W par port optique. Un NA servant 20000 foyers servis en point à point devra évacuer environ 40 kW de chaleur (4 kW en PON) ! Ceci constitue bien souvent le point le plus difficile quant au choix d'un local, particulièrement en milieu urbain,
- *Surface au sol* : prévoir environ 1,8 m² par 1000 fibres traitées, entrantes ou sortantes. Les équipements actifs prendront 1,3 m² pour 1000 ports optiques. Un site servant 20000 foyers réservera de 10 à 15 m² pour les alimentations sécurisées et de 12 à 20 m² pour le refroidissement, selon les systèmes choisis,
- *Sécurité* : pas de fenêtre, portes renforcées et report d'alarmes.

Les points accessibles aux opérateurs de service, en particulier les nœuds NA doivent être dimensionnés et organisés pour pouvoir colocaliser les matériels actifs des opérateurs clients de l'infrastructure.

4.4.1.1 ACCES DES CLIENTS AUX FIBRES MUTUALISEES

Les deux cas de figure d'accès des clients aux fibres mutualisées sont représentés sur la figure ci-dessous.

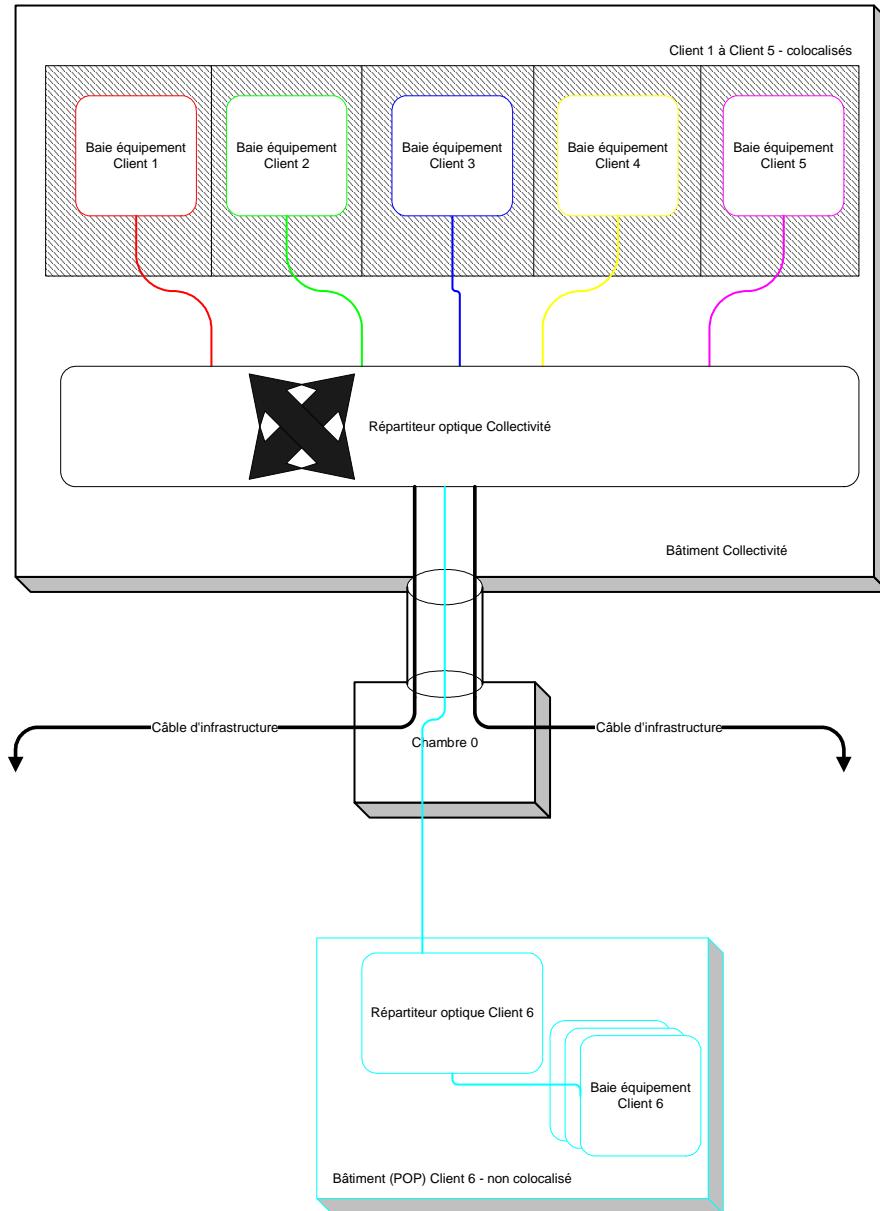


Figure 4.28 : organisation des centres télécoms NA - accès des clients colocalisés et externes

Cas n°1 : le client non co-localisé

C'est le cas du client 6 représenté sur la figure 4.28. Celui-ci dispose d'un site extérieur au bâtiment de la collectivité qui abrite le répartiteur optique d'accès aux fibres. Pour permettre à ce client d'accéder aux fibres, un câble optique est installé entre son local et la "chambre 0", première chambre de la collectivité, située à l'extérieur du bâtiment, sur la voie publique (cette chambre constitue le point d'entrée vers le bâtiment).

L'installation du câble entre le local client et la "chambre 0" est réalisée généralement sous la responsabilité du client. Le prolongement de ce câble entre la "chambre 0" et le répartiteur optique de la collectivité s'effectue en règle générale sous la responsabilité et le contrôle de la collectivité ou du gestionnaire. Le câble sortant de la "chambre 0" et pénétrant dans le bâtiment de la collectivité doit avoir des caractéristiques conformes aux exigences techniques liées à la sécurité des milieux traversés (incendie, propagation des fumées, etc.).

Cas n°2 : le client co-localisé

C'est le cas des clients 1 à 5 représentés sur la figure 4.28. Ceux-ci installent leurs équipements à l'intérieur du bâtiment de la collectivité au plus près du répartiteur optique d'accès aux fibres.

Pour permettre à ces clients d'accéder aux fibres, des liaisons fibres optiques intra-bâtiment sont mises en place entre les baies d'équipement des clients et le répartiteur optique de la collectivité.

La collectivité doit prévoir l'ensemble des moyens techniques (faux plancher, chemins de câbles) permettant un passage aisément de ces câbles intra-bâtiment entre la zone client et le répartiteur optique.

4.4.1.2 CONTRAINTES LIÉES À LA COLOCALISATION

Organisation d'un local client :

Une zone spécifique doit être réservée pour les clients. Cette zone est destinée à recevoir les équipements actifs des clients. Chaque équipement est généralement installé dans un ensemble de baies télécoms au format ETSI ou 19". En pratique, un espace d'au minimum 20 m² sera réservé à l'usage des clients.

Cette zone peut ou non être cloisonnée. Un cloisonnement intérieur en "box" est recommandée pour isoler les locaux clients entre eux.

Accès des personnes :

Pour des raisons de maintenance, l'accès des personnels des clients ou leurs sous-traitants sur les équipements actifs doit être possible 24h/24 7j/7.

La collectivité devra mettre en place les procédures d'accès à la zone clients, et les contrôles associés pour garantir l'accès permanent et sécurisé aux équipements.

Fourniture des sources d'énergie :

Les équipements actifs clients sont bien entendu alimentés. La collectivité doit s'organiser pour fournir l'énergie nécessaire à leur alimentation. A défaut d'une telle fourniture, chaque client devra contracter ses propres abonnements auprès d'EDF.

Compte tenu de leur nature, les équipements actifs seront alimentés soit sur le secteur primaire soit sur une source secondaire de type 48 V. La fourniture d'une source primaire est impérative. La fourniture d'une source secourue (derrière onduleurs) est un plus qui peut permettre d'alléger les ateliers d'énergie associés aux équipements actifs des clients.

La fourniture d'une source secondaire de type 48 V secourue est une option qui peut permettre aux clients de s'affranchir de leurs ateliers d'énergie. Cette fourniture permet de mutualiser les coûts et l'encombrement associés aux ateliers d'énergie.

Climatisation, chauffage des locaux :

La collectivité doit s'organiser pour mettre en place les systèmes de conditionnement d'air permettant de réguler la température des locaux mis à disposition des clients. A défaut d'une telle fourniture, chaque client devra installer ses propres systèmes, sous réserve que les espaces clients soient clos et cloisonnés.

4.4.2 ARMOIRES DE RUES

L'armoire de rue sera choisie différemment suivant que l'on sera en présence d'un nœud de réseau passif type PON ou P2P ou d'un nœud de réseau actif avec équipements.

4.4.2.1 LES ARMOIRES ACTIVES

Les armoires actives seront conçues autour de l'équipement. Chaque armoire nécessite une étude particulière en fonction de son environnement climatique, des équipements installés, de leur plage de fonctionnement et de leur puissance réjection thermique. En fonction des contraintes d'alimentation électrique, il sera nécessaire de prévoir un atelier d'énergie.

4.4.2.2 LES ARMOIRES PASSIVES

Comme en sous-répartition cuivre, l'armoire passive sera dimensionnée pour assurer le maximum de confort aux intervenants. Il ne faudra donc pas s'étonner que le volume soit au minimum le double de celui que l'on aurait à capacité égale au central. Un minimum de protection type IP45 garantira le bon fonctionnement de l'ensemble.



Figure 4.29 : armoire de rue de 576 connecteurs câblée à 100%. Cette armoire à une emprise au sol de 1.40 x 0.60 mètres.

4.4.3 LES SHELTERS ET LOCAUX TECHNIQUES D'IMMEUBLES

Ces locaux techniques ont pour application la sous-répartition passive ou le déport d'équipements actifs. Dans les deux cas, on peut considérer que les règles de dimensionnement des locaux techniques sont applicables. Généralement les équipements passifs ou actifs sont les mêmes qu'au central.

4.5 TECHNIQUES DE CONTROLE DE LA COUCHE INFRASTRUCTURE

Le réseau d'infrastructure est la base du système de transmission des données. Toute erreur de conception ou non-conformité aura un impact sur le coût de déploiement et/ou limitera les performances du système.

L'objectif du contrôle du réseau d'infrastructure est de s'assurer de la qualité des prestations du génie civil (pose des fourreaux et des chambres, remblaiement, revêtement,...), en fonction du cahier des charges et des plans préalablement établis.

Les chapitres suivants présentent les principaux contrôles qui doivent être réalisés durant la phase d'exécution des travaux, et complétés par une « réception » finale, comprenant l'établissement de Procès Verbaux de recette.

4.5.1 CONTROLE EN COURS DES TRAVAUX

Le contrôle, pendant la phase d'exécution des travaux, permet au maître d'œuvre (ou à son représentant) de s'assurer de la conformité de la qualité du chantier. Le maître d'œuvre a donc un rôle de surveillance qui doit lui permettre de valider certaines phases et d'autoriser la poursuite des travaux.

4.5.1.1 CONTROLE DU GENIE CIVIL

Les étapes importantes liées au génie civil sont :

- la validation du tracé et des plans de l'Avant Projet Détailé,
- le respect des techniques de pose préconisées (enterrées, fonçage, chemins de câble, caniveaux,...),
- le respect des cotes (profondeurs, hauteurs, longueurs, largeurs, positionnement des chambres),
- les techniques et la qualité de pose et de protection des fourreaux,
- les pénétrations dans les bâtiments,
- le remblaiement et le compactage des tranchées,
- la pose de grillage avertisseur,
- les réfections de surface.

4.5.1.2 CONTROLE DES FOURREAUX

Les principaux éléments à vérifier sont :

- leur nombre,
- le type (diamètre, épaisseur, matière : PVC, PeHD),
- les matériaux de pose et de protection (sable, béton, gaines, ...),
- le calibrage (envoi d'un calibre dans chaque tube pour s'assurer qu'il n'est pas obstrué), l'aiguillage, l'obstruction à chaque extrémité et la tenue à la pression (PeHD),
- la pose «en nappe» des fourreaux, si celle-ci est demandée, pour éviter leurs croisements et garder une cohérence de leur disposition,
- la présence de bouchons au niveau des extrémités des fourreaux (qui dépassent de ~30 cm à l'intérieur des chambres pour les PeHD et qui sont coupés à ras pour les PVC),
- la présence d'un fil de pré aiguillage.

Dans le cas de micro-conduites

- passage d'une mini éponge, avec à l'intérieur une pression d'air de 8 bars,
- passage d'un mandrin de calibrage. Le passage du mandrin doit être effectué à une pression d'air de 10 bars maxi,
- test d'étanchéité à la pression 10 bars pendant 15 min

Un bouchon étanche est installé à chaque extrémité des micro-tubes après ces tests.



Figure 4.30 : accessoires de contrôle des micro-tubes

4.5.1.2.1 Essais d'étanchéité

Les essais d'étanchéité sont réalisés pour tous les fourreaux PeHD.

La vérification consiste à mettre le fourreau sous une pression de 1 bar. Dans un délai de deux heures après cette mise en pression, la pression dans le fourreau doit rester inchangée. Pour s'affranchir des variations de température éventuellement importantes résultant du refroidissement ou du réchauffement de l'air insufflé dans le fourreau, le temps "zéro" de la mesure est toujours pris une heure environ après une première mise en pression, celle-ci étant alors réajustée à la valeur de 1 bar.

4.5.1.2.2 Calibrage (mandrinage) d'une conduite

Le calibrage, également appelé mandrinage permet de vérifier la non obturation, l'ovalisation des fourreaux et le respect du rayon de courbure.

Il s'agit de contrôler le libre passage, dans la conduite, d'un calibre constitué d'une tige comportant un disque central de diamètre D (contrôle de l'ovalisation) et de deux disques latéraux de diamètre d (contrôle des rayons de courbure).

Le mandrinage est réalisé après le remblayage et le compactage et avant la réalisation des réfections des surfaces définitives (pour d'éventuelles interventions de réparation).

La fiche contrôle établie pour chaque tronçon de vérification doit comporter notamment :

- le repérage des chambres d'origine et d'extrémité avec les masques,
- la désignation du gabarit propulsé,
- la longueur de la section en essai,
- les dessins des masques avec la désignation des types de fourreaux,
- les observations éventuelles.

Après mandrinage, l'aiguillage du tube peut-être réalisé (à l'aide d'une drisse nylon).

On utilise des types de mandrins adaptés à la nature et au diamètre des conduites à contrôler :

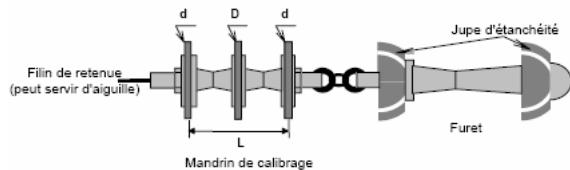


Figure 4.31 : mandrin adapté au contrôle des conduites PVC

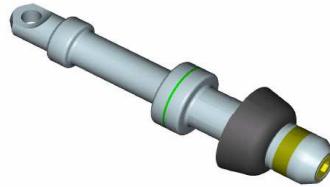


Figure 4.32 : mandrin adapté au contrôle des conduites PeHD

| Type ∅ mm | Conduites PVC | | | | | | Conduites PeHD | | |
|--------------|---------------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------------------|-----------|-----------|
| | 25 / 28 | 30 / 33 | 42 / 45 | 56 / 60 | 75 / 80 | 96 / 100 | 26 / 32 et 27 / 33 | 32,6 / 40 | 40,8 / 50 |
| D | 22 | 27 | 38 | 50 | 70 | 90 | 22 | 28 | 36 |
| D | 16 | 21 | 32 | 44 | 64 | 84 | 16 | 26 | 32 |
| L | 90 | 90 | 90 | 90 | 200 | 200 | 90 | 90 | 150 |

Tableau 4.15 : dimension des mandrins en fonction des types et dimensions de la conduite à contrôler

4.5.1.3 CONTROLE DES CHAMBRES

L'objectif du contrôle des chambres est de s'assurer de leur conformité, pour éviter de lourds travaux de réfection en cas d'anomalies. Les principaux éléments à vérifier sont :

- le type de chambre,
- le respect de la résistance à la charge de la trappe,
- le nivellation du sol,
- la localisation et l'orientation de la chambre,
- le remblaiement et le compactage autour de la chambre,
- le positionnement, l'orientation et la qualité de confection des masques,
- les aspects de surface et intérieurs (dimensionnel, présence d'un puisard, qualité de fabrication, etc.),
- le scellement du cadre, du type de tampon, de son adéquation avec le corps de la chambre, du dispositif de verrouillage.

4.5.2 RECETTES FINALES

Les recettes finales consistent à établir des procès-verbaux de réception des infrastructures réalisées.

Si les contrôles n'ont pas été effectués aux cours des travaux, elles portent sur la totalité des travaux. Dans le cas contraire, les recettes peuvent s'effectuer par échantillonnage en s'appuyant sur les rapports des expertises des travaux initiaux.

Les procès-verbaux valident la réalisation des infrastructures, telles qu'elles ont été définies dans le cahier des charges.

Ils portent sur l'ensemble des éléments cités précédemment et sont complétés par le contrôle des travaux « hors enterrés » et des parties visibles.

4.5.3 LES DOCUMENTS DE FIN DES TRAVAUX

A la fin des travaux et après l'établissement des PV de réception, l'entrepreneur doit fournir au maître d'œuvre un Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE) en exemplaires papier (2 minimums) accompagnés des supports informatiques.

Ce dossier contient notamment:

- les plans de récolelement détaillés (localisation géographique et données techniques des ouvrages réalisés),
- les procès-verbaux rédigés et accompagnés des résultats des tests (compactage, calibrage, mise sous pression,...),
- les synoptiques des chambres avec la position et l'organisation des fourreaux (plan des masques).

5 CONCEPTION ET MISE EN PLACE DE LA COUCHE OPTIQUE PASSIVE

5.1 INGENIERIE ET DIMENSIONNEMENT DE LA COUCHE OPTIQUE PASSIVE

Ce chapitre fournit les éléments d'orientation pour la spécification et le dimensionnement de la couche optique passive. Les éléments à prendre en compte sont les suivants :

- la capacité des nœuds en nombre d'abonnés desservis et conséutivement en nombre de fibres – capacité NA, capacité du ou des NF et capacité PR,
- la capacité des liaisons d'interconnexion en nombre de fibres – capacité NA-NF, capacité NF1-NF2 ou NF-PR, capacité PR-PA,
- la distance entre les nœuds d'interconnexion – distance NA-NF, distance NF-PR, distance PR-PA.

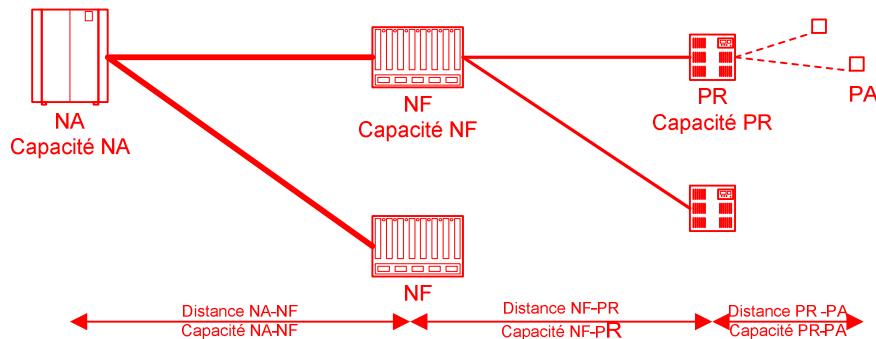


Figure 5.1 : éléments de dimensionnement du réseau d'accès

5.1.1 DESSERTE EN HABITAT URBAIN DENSE

Dans ce cas, le Nœud d'Accès (NA) est hébergé dans un des bâtiments publics ou bien de façon dégroupée dans un bâtiment d'un opérateur déjà présent. Les Nœuds de Flexibilité (NF) prennent la forme d'armoires de rue ou sont hébergés en pieds d'immeubles dans le cas d'immeubles à forte densité de population.

Les Points de Raccordement d'abonnés (PR) sont localisés en pied d'immeuble ou dans les dessertes d'étage. Les abonnés seront ainsi raccordés à la demande sur ces points de raccordement.

Dans le cas d'une architecture point multipoint de type PON les coupleurs se situeront au niveau du nœud de flexibilité et/ou au NA.

Dans le cas d'une architecture mutualisée, il convient de prévoir au niveau des nœuds de flexibilité la possibilité de réaliser un brassage pour connecter les abonnés vers les différents opérateurs.

| Dimensionnement des différents nœuds | | |
|--------------------------------------|------------------------------|--|
| Nœud fonctionnel | Paramètre de dimensionnement | Ordre de grandeur |
| Point de raccordement (PR) | Capacité PR | 12 à 24 abonnés |
| Nœud de flexibilité (NF) | Capacité NF | 100 à 1 000 abonnés médiane à 500 abonnés |
| Nœud d'accès (NA) | Capacité NA | 4 000 à 30 000 abonnés médiane à 15 000 abonnés |
| Dimensionnement des différents liens | | |
| Liaison | Paramètre de dimensionnement | Ordre de grandeur |
| (PR) – (PA) | Distance PR – PA | 10 - 50m |
| | Capacité PR – PA | 1 à 2 fo |
| (NF) – (PR) | Distance NF – PR | 100 - 500m |
| | Capacité NF – PR | 12 à 24 fo |
| (NA) – (NF) | Distance NA – NF | 1 000 – 2 000m |
| | Capacité NA – NF | 144 à 1024 fo |

Tableau 5.1 : dimensionnement de l'architecture de desserte en habitat urbain dense

5.1.2 DESSERTE EN HABITAT URBAIN PAVILLONNAIRE

Dans ce cas, les Nœuds de Flexibilité (NF) prennent généralement la forme d'armoires de rue. Les Points de Raccordement d'abonnés (PR) sont matérialisés sous la forme de coffrets de rue, de coffrets sur poteau voire de boîtiers en chambre.

| Dimensionnement des différents nœuds | | |
|--------------------------------------|------------------------------|--|
| Nœud fonctionnel | Paramètre de dimensionnement | Ordre de grandeur |
| Point de raccordement (PR) | Capacité PR | 4 à 8 abonnés |
| Nœud de flexibilité (NF) | Capacité NF | 100 à 500 abonnés |
| Nœud d'accès (NA) | Capacité NA | 5 000 à 50 000 abonnés médiane à 15 000 abonnés |
| Dimensionnement des différents liens | | |
| Liaison | Paramètre de dimensionnement | Ordre de grandeur |
| (PR) – (PA) | Distance PR - PA | 10 - 100m |
| | Capacité PR – PA | 1 à 2 fo |
| (NF) – (PR) | Distance NF – PR | 100 – 1 000m |
| | Capacité NF - PR | 4 à 8 fo |
| (NA) – (NF) | Distance NA – NF | 1 000 - 5 000m |
| | Capacité NA - NF | 100 à 500 fo |

Tableau 5.2 : dimensionnement de l'architecture de desserte en habitat urbain pavillonnaire

5.1.3 DESSERTE EN HABITAT RURAL DISPERSE

Dans ce cas, les Nœuds d'Accès (NA) sont localisés à distance dans l'agglomération urbaine de petite ou moyenne importance (typiquement un chef lieu de canton).

Une solution alternative pour pallier cet éloignement des zones par rapport au NA est d'envisager une densification du réseau de collecte pour en améliorer sa couverture et créer ainsi des points de présence plus nombreux à partir desquels la desserte sera plus aisée.

Un nœud de flexibilité pourra être implanté dans un bâtiment public (ex : mairie). Les Points de Raccordement d'abonnés (PR) seront matérialisés sous la forme de coffrets de rue, ou de poteau. Les abonnés seront raccordés à la demande sur ces points de raccordement.

| Dimensionnement des différents nœuds | | |
|--------------------------------------|------------------------------|---|
| Nœud fonctionnel | Paramètre de dimensionnement | Ordre de grandeur |
| Point de raccordement (PR) | Capacité PR | 2 à 4 abonnés |
| Nœud de flexibilité (NF) | Capacité NF | 50 à 500 abonnés |
| Nœud d'accès (NA) | Capacité NA | 2 000 à 10 000 abonnés |
| Dimensionnement des différents liens | | |
| Liaison | Paramètre de dimensionnement | Ordre de grandeur |
| (PR) – (PA) | Distance PR – PA | 10 - 500m |
| | Capacité PR – PA | 1 à 2 fo |
| (NF) – (PR) | Distance NF – PR | 500 - 3000m |
| | Capacité NF – PR | 2 à 8 fo |
| | Distance NA – NF | 5 000 - 10 000m |
| (NA) – (NF) | Capacité NA – NF | 1 fibre par abonné technologies palliatives: En déport DSL : (1 fo pour 192 lignes) En wifi, wimax, CPL : 1 fo par point de desserte |

Tableau 5.3 : dimensionnement de l'architecture de desserte en habitat rural dispersé

5.1.4 DESSERTE DE ZONES D'ACTIVITES ECONOMIQUES

Pour couvrir une zone d'activités, il est nécessaire de prévoir au minimum un nœud de flexibilité (NF) qui est le point de partage des clients pour les différents opérateurs désirant offrir des services sur la zone. Ce nœud de flexibilité pourra, suivant la dimension de la zone, prendre la forme d'une armoire de rue ou bien encore être hébergé dans un local technique associé à la zone.

Les points de raccordement prennent des formes différentes suivant le choix de la technologie retenue (câblage traditionnel, fibre soufflée, dérivation-piquage tendu).

| Dimensionnement des différents nœuds | | |
|--------------------------------------|------------------------------|------------------------|
| Nœud fonctionnel | Paramètre de dimensionnement | Ordre de grandeur |
| Point de raccordement (PR) | Capacité PR | 1 à 4 abonnés |
| Nœud de flexibilité (NF) | Capacité NF | 10 à 50 abonnés |
| Nœud d'accès (NA) | Capacité NA | 2 000 à 10 000 abonnés |
| Dimensionnement des différents liens | | |
| Liaison | Paramètre de dimensionnement | Ordre de grandeur |
| (PR) – (PA) | Distance PR - PA | 10 - 300m |
| | Capacité PR – PA | 2 à 4 fo |
| (NF) – (PR) | Distance NF – PR | 100 - 1000m |
| | Capacité NF - PR | 2 à 24 fo |
| | Distance NA – NF | 1 000 – 3 000m |
| (NA) – (NF) | Capacité NA - NF | 50 à 200 fo |

Tableau 5.4 : dimensionnement de l'architecture de desserte de zone d'activités économiques

5.2 TECHNOLOGIES ET COMPOSANTS DE LA COUCHE OPTIQUE PASSIVE

5.2.1 CHOIX DE LA FIBRE

La fibre la plus couramment employée dans le domaine des télécommunications demeure la fibre monomode G652.B & G652.D (standard UIT-T repris par la CEI 60793). Grâce à son faible affaiblissement linéique et à sa bande passante, elle permet la réalisation de liaisons longue distance à très hauts débits. Ces fibres sont préconisées dans les réseaux de collecte et d'accès.

Afin de rapprocher la fibre au plus près de l'utilisateur, de nouvelles fibres moins sensibles aux contraintes de courbures ont vu le jour ; elles répondent au standard G657 de l'UIT-T. Elles sont préconisées dans le câblage intérieur du PR à la prise de l'abonné ainsi que pour les cordons éventuels de branchement de terminaux dans la zone d'abonné.

5.2.1.1 LES FIBRES G652 – SMF (SINGLE MODE FIBER – MONOMODE)

La fibre G652 est une fibre dont la dispersion chromatique est :

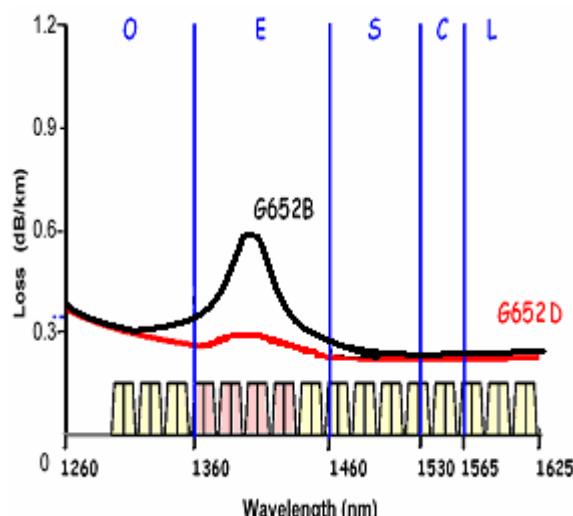
- nulle aux alentours de 1310 nm,
- de l'ordre de 18 ps/nm.km à 1550 nm.

Cette présence de dispersion chromatique lui permet d'être très peu sujette aux effets non linéaires apparaissant à des puissances optiques importantes.

Les fibres G652B & G652D à faible PMD* ($\leq 0.2 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$) sont compatibles avec l'évolution des transmissions vers des plus hauts débits. Les fibres G652A & G652C sont, quant à elles, limitées par une valeur plus forte de PMD ($\leq 0.5 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$) et sont, de ce fait, peu utilisées.

*PMD : Dispersion des Modes de Polarisation (cf. normes CEI 60793-2-50-méthodes de mesure, CEI 60794-valeurs en câble)

5.2.1.2 LA FIBRE G652.B vs G652.D - FAIBLE PIC OH



La fibre G652B supporte les applications de multiplexage actuelles (WDM* : Wavelength Division Multiplexing) utilisant les bandes C et L. Elle supporte d'ores et déjà des débits supérieurs au térabit/s. Toutefois, elle ne permet pas l'utilisation de la bande E de part sa forte atténuation à 1383nm (pic d'absorption OH⁻).

La fibre G652D dont le pic OH⁻ a été diminué**, voire supprimé, permet l'utilisation la bande E.

**Atténuation 1383nm < atténuation 1310nm et < 0.4dB/km

*CWDM (Course WDM) : largeur du canal de transmission = 20 nm

DWDM (Dense WDM) : largeur du canal = 2 nm

Figure 5.2 : courbe d'affaiblissement des fibres G652

La G652 demeure la fibre de référence des réseaux d'accès. Les nouveaux réseaux mis en place utiliseront la G652D afin de garantir une évolution possible de l'utilisation de la bande E.

5.2.1.3 LES FIBRES G657, FIBRES A FAIBLE RAYON DE COURBURE

La fibre G657 supporte les très faibles rayons de courbure rencontrés dans le câblage d'intérieur. Elle démocratise ainsi l'utilisation de la fibre optique dans l'habitat.

Il existe 2 catégories de fibres : A & B. Seule la G657A garantit une compatibilité avec les fibres G652.

Exemple de valeur de perte d'insertion d'une soudure :

- G652-G652 ou G657-G657 = 0.02dB,
- G657A-G652 = 0.05dB.

Pour des applications à plus faible rayon de courbure, on pourra utiliser la fibre G657B, moins sensible à ce facteur, mais qui ne sera pas obligatoirement compatible avec la G652 pour la soudure, le diamètre de champ de mode pouvant être plus faible.

Exemple de valeurs constatées mesurées

| | G657A | G652 |
|---|---------|----------|
| Macro-courbure ϕ en mm avec 10 tours | | |
| ϕ 15 | 1,43 dB | 35,00 dB |
| ϕ 20 | 0,19 dB | 4,70 dB |
| ϕ 30 | 0,00 dB | 0,08 dB |
| ϕ 40 | 0,00 dB | 0,00 dB |

Extrait des normes G657 & G652

| | G652 | G657A | G657B |
|---------------------------------------|-----------|-----------|---------|
| MFD1310 | 8,6-9,5 | 8,6-9,5 | 6,3-9,5 |
| | +/-0,7 | +/-0,4 | +/-0,4 |
| sensibilité aux macro-courbures en dB | | | |
| 100 tours R= 30mm | | | |
| att1625 | 0,5 | | |
| 10 tours R= 15mm | | | |
| att 1550 | NS | 0,25 | 0,03 |
| att1625 | NS | 1,0 | 0,10 |
| 1 tours R= 10mm | | | |
| att 1550 | NS | 0,75 | 0,10 |
| att1625 | NS | 1,5 | 0,20 |
| 1 tours R= 7,5mm | | | |
| att 1550 | NS | NS | 0,5 |
| att1625 | NS | NS | 1,0 |
| Atténuation en dB/km | | | |
| att 1310 | 0,4 | 0,4 | 0,5 |
| att 1550 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| att 1625 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| PMD a | 0,20 | 0,20 | TBD |
| dispersion chromatique | | | |
| λ_{zero} | 1300-1324 | 1300-1324 | TBD |
| pente a λ_{zero} | 0,093 | 0,092 | TBD |
| NS non spécifié et TBD à définir | | | |

Tableau 5.5 : caractéristiques des fibres G652 et G657

5.2.1.4 TYPOLOGIE DES FIBRES A DEPLOYER

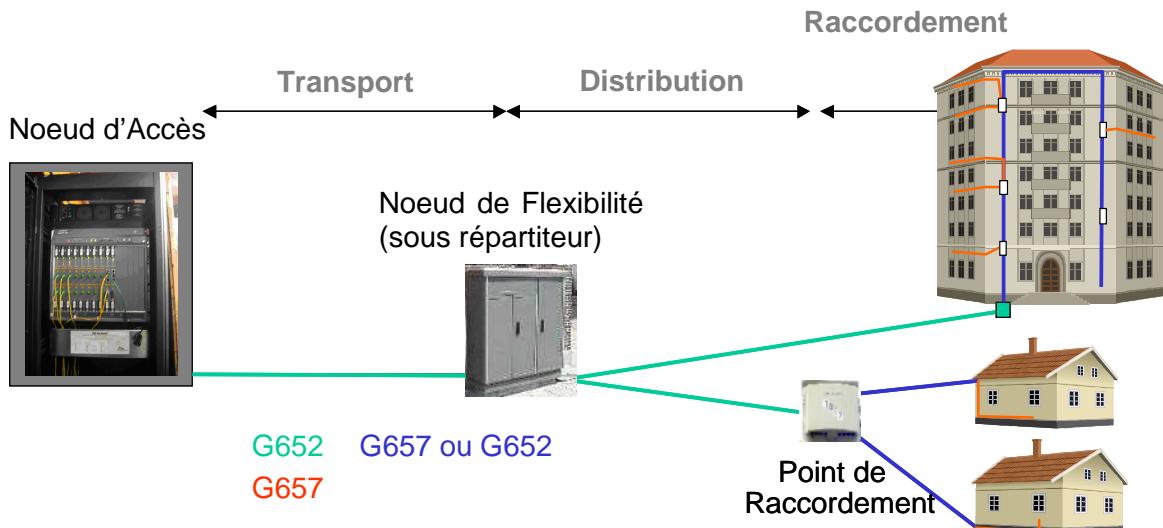


Figure 5.3 : positionnement des types de fibre dans l'architecture

5.2.2 LES CABLES DU RESEAU D'ACCES

Dans le cas des réseaux d'accès, la minimisation des travaux de génie civil, la facilité et la simplicité d'accès aux fibres sont des paramètres primordiaux pour la performance technico-économique d'une infrastructure optique.

Pour répondre à ce nouvel enjeu, le câble doit répondre à de nouveaux besoins :

- la densification en fibres,
- un encombrement et dimensionnel réduit,
- un accès plus aisément et rapide aux fibres,
- une possibilité d'accès en plein câble (Mid span access) pour permettre le piquage en ligne sur un câble optique.

Le câble optique est un produit clé des déploiements des réseaux de télécommunication. L'état de l'art des solutions existantes est présenté ci-après. Il se décline en fonction des infrastructures dans lesquelles ces câbles sont déployés et les méthodes de pose utilisées.

5.2.2.1 SEGMENTATION GÉNÉRALE

Les différentes positions dans l'architecture :

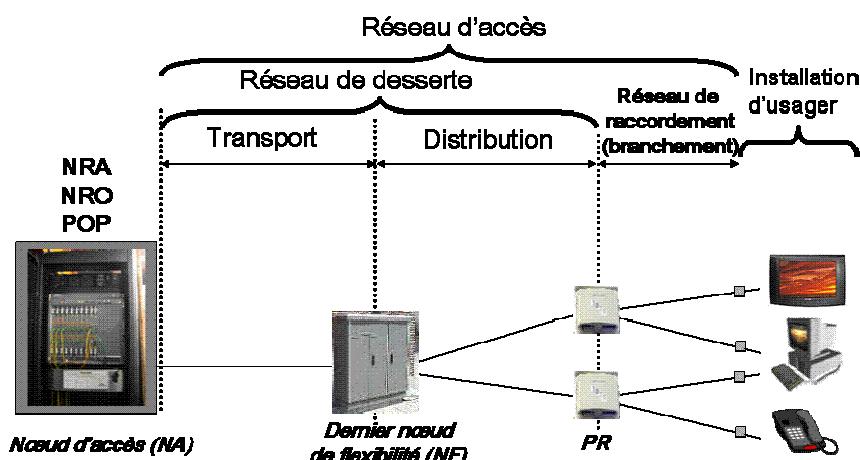


Figure 5.4 : différents segments de l'architecture du réseau d'accès

Les environnements de mise en œuvre:

- urbain dense,
- urbain résidentiel,
- ZAC,
- rural dispersé,
- immeuble.

Les techniques de pose :

- en pleine terre,
- en micro-rainurage,
- en conduite,
- en micro-conduite,
- en égout,
- en aérien.

Les types de câblage employés :

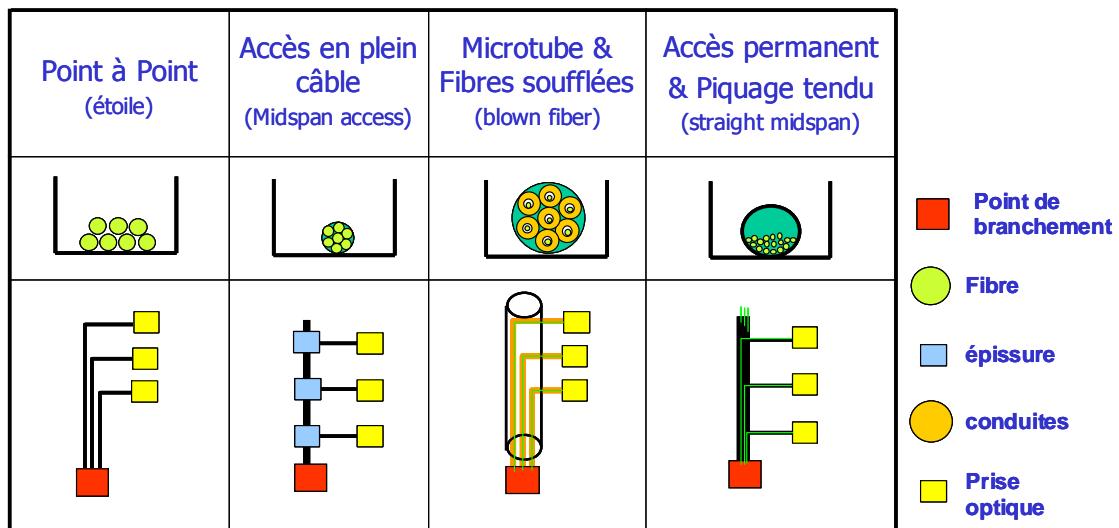


Figure 5.5 : les concepts de câblage

- **point à point** : à partir du point de concentration, consiste à dédier et poser un câble par point à raccorder. Ne nécessite pas d'épissure,
- **accès en plein câble** : un même câble partant du point de concentration dessert une zone. Les fibres sont mutualisées et pourront être affectées à un point de raccordement en tout point du câble où une surlongueur aura été générée au préalable par un love,
- **micro-tubes & fibres soufflées** : réseau de micro-conduites permettant de mutualiser et d'optimiser le génie civil (sous-tubage de fourreaux existants, encombrement réduit en pleine terre ou micro-rainurage). Le déploiement de la fibre se fera par soufflage au fur et à mesure des besoins et en point à point. Chaque tube est dédié à un point de flexibilité ou de raccordement,
- **accès permanent & piquage tendu** : un même câble partant du point de concentration dessert une zone. Les fibres sont mutualisées et pourront être affectées à un point de raccordement en tout point du câble. Le piquage tendu de la fibre s'effectue entre deux ouvertures sans création préalable de surlongeur de câble. Ces câbles garantissent l'accessibilité permanente en tout point et à tout moment.

5.2.2.2 CARACTERISTIQUES GENERALES DES CABLES DE DESSERTE

Les micromodules : pour minimiser les coûts d'installation, ces câbles doivent avoir une conception facilitant leur mise en œuvre, favorisant un accès aux fibres simple, rapide et sécurisé. Les câbles à base de microstructures souples pelables ou déchirables sont indiqués pour ces applications.

Contrairement aux structures « loose tube » rigides, les micromodules souples et déchirables permettent un accès aux fibres sur un mètre en moins d'une minute, sans outil spécifique, par simple pression et tirage entre les doigts. Ces micromodules sont de contenances variables, de 1 à 12 fibres.

Ces microstructures souples permettent de réaliser des accès en plein câble et des piquages en ligne très aisément.

Une structure à base de micromodule simplifiera la mise en œuvre des câbles en boîtes d'épissurage ou en terminaison de câble.

L'étanchéité : pour les applications extérieures, une étanchéité longitudinale est nécessaire. Elle est de préférence assurée par des éléments gonflant à l'eau. Cette étanchéité sèche permet une bonne accessibilité à chacun des micromodules, sans gel à nettoyer.

Protection contre les rongeurs : dans le cas où une protection renforcée aux rongeurs est nécessaire, une armure acier est envisageable. Cette armure va alourdir le câble, le rendant plus difficilement soufflable. De plus, l'armure acier rend le câble plus difficile à mettre en œuvre (ouverture, accès aux fibres, cheminement en parcours non rectiligne).

Pour un niveau de risque très élevé, la protection FRP (Fiber Reinforced Polymer - éléments rigides en fibre de verre) est considérée comme la meilleure protection. Cependant, cette solution présente un coût très élevé et confère au câble une rigidité qui rend son utilisation en réseau d'accès très difficile.

Pour un niveau de risque élevé, les câbles à structure diélectrique avec renforcement fibre de verre "hot melt" réalisent un optimum prix / performance. Le renforcement à base de mèches de verre enduites est nettement préférable dans le cas des réseaux d'accès, de par sa légèreté et sa facilité de mise en œuvre.

Pour un niveau de risque faible, l'armure à base de fibres de verre est suffisante. Dans tous les cas, l'utilisation des mèches d'aramide seules est insuffisante pour assurer une résistance aux attaques de rongeurs.

5.2.2.3 CABLES ADAPTES AU SEGMENT TRANSPORT (DU NA AU NF)

Dans ce segment, le système de câblage employé est de type point à point, du nœud d'accès (NA) au nœud de flexibilité (NF).

La capacité en fibres, typiquement de 36 à 864, dépend du palier d'équipement en lien avec les architectures réseaux clientes: P2P, AON ou xPON.

Selon l'environnement concerné, différentes solutions câbles peuvent être retenues.

5.2.2.3.1 Câble pour pose en environnements sévères – pleine terre / égout

Les câbles directement enterrables ou pour cheminements en égout sont systématiquement de type renforcé acier et étanches.

La pose d'un câble optique en pleine terre impose au câble une structure mécaniquement très résistante et une étanchéité totale à l'eau. Pour bien protéger les fibres des chocs et écrasement, ces câbles sont généralement dotés d'une double gaine*, séparées par une armure en acier. La gaine extérieure sera dans tous les cas de type PeHD.

La traction maximale n'est pas un paramètre prépondérant pour la pose en pleine terre. L'étanchéité longitudinale de tous les éléments constitutifs du câble est nécessaire (âme, renforts...).

En égout, particulièrement exposés aux chocs, aux rongeurs et aux agressions chimiques, ces câbles doivent également être protégés par une armure acier placée sous une gaine extérieure PeHD.

(*) Un double gainage peut être demandé pour des résistances à l'écrasement élevées (enfoncissement profond, passage de véhicules sur le chemin de câble, pose en pleine terre...).

Caractéristiques requises :

- température de fonctionnement : -30+60°C,
- tenue à l'écrasement : 4500N/10cm
CEI60794-1-E3.



Figure 5.6 : câble pour environnement sévère

5.2.2.3.2 Câbles pour pose en tunnels et/ou métro

Dans le cas particulier du passage de câbles en tunnel, les contraintes mécaniques et de tenue des matériaux au feu sont très sévères. En effet, le câble optique doit bénéficier d'une robustesse mécanique (écrasement, contact avec corps étrangers...) et assurer une bonne protection contre les rongeurs. Les câbles bénéficiant d'un double gainage et d'une armure acier sont imposés. La tenue au feu et la protection des personnes et des biens étant primordiale, une gaine finale de type LSOH est imposée. Quand on parle de gaine LSOH, le cas du tunnel nécessite de bien spécifier ce que ces quatre lettres signifient. Low smoke : le câble doit dégager très peu de fumée afin de faciliter l'évacuation des personnes en cas d'incendie. Zero Halogène : les fumées émises par le câble doivent être non corrosives et non toxiques (protection des personnes et des biens). Le câble est également non propagateur de la flamme et de l'incendie de type C1 au minimum.

Une norme est reconnue par l'ensemble des acteurs de la profession pour définir les caractéristiques d'un câble pour tunnel : il s'agit de la norme K209B. Cette norme propriétaire de la RATP contient toutes les caractéristiques attendues d'un câble en tunnel.

Caractéristiques requises :

- température de fonctionnement :
-30+60°C,
- tenue à l'écrasement : 3000N/10cm,
- tenue au feu : NFC32070-2-2 classe C1,
HD624-7
ou CEI60332-3-24 (cat. C)



Figure 5.7 : câble pour tunnel

5.2.2.3.3 Câbles pour pose en conduites

Dans les cas d'utilisation de conduites de 33 à 100 mm qui peuvent être déjà encombrées, des câbles légers et denses sont utilisés. Les méthodes de soufflage ou de flottage sont les plus fréquentes et elles ne nécessitent pas de renforts particuliers de la structure du câble.

La traction maximale subie par le câble lors de la pose est toujours inférieure à 500 N. Des valeurs de résistance à la traction de 750 ou 1000 N sont donc largement suffisantes pour pallier les éventuelles tractions manuelles qui peuvent s'avérer nécessaires.

Le câble typique est un câble diélectrique ayant une gaine extérieure en PeHD ou en tout type de matériau à faible coefficient de frottement. Le coefficient de frottement du PeHD est généralement plus faible que celui des matériaux pour usage en intérieur LSOH (Low Smoke Zero Halogen). Dans le cas où le câble pénètre dans un immeuble ou une zone de vie, il est nécessaire de prévoir une gaine LSOH. Les résultats obtenus en soufflage seront moins bons que ceux obtenus avec une gaine PeHD, mais la sécurité des personnes est une exigence réglementaire.

Néanmoins, les derniers progrès en terme de matériaux LSOH, permettent de réaliser des gaines dont le coefficient de frottement est grandement amélioré.

La composition du câble pour conduite sera fondée sur l'utilisation de micromodules (6, 8 ou 12 fibres dans un élément de 1,4 mm de diamètre maximum). Un câble utilisant cette technologie sera plus léger et plus compact que les câbles traditionnels à structures « loose tube ». L'utilisation des micromodules souples et pelables manuellement, rend la mise en œuvre et la maintenance des boîtes de jonction plus rapides, plus sûres et plus simples. L'absence de renforts latéraux augmente la souplesse et facilite l'ouverture du câble.

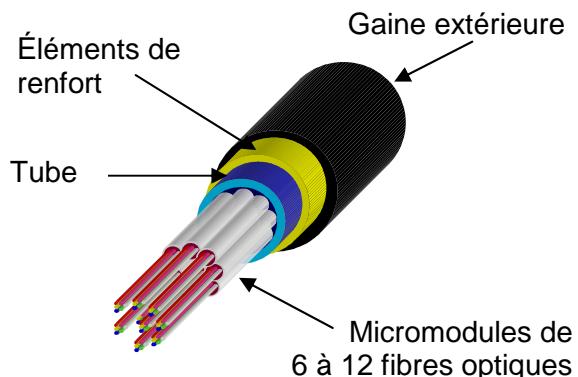


Figure 5.8 : câble à micromodules assemblés

▪ Câble pour pose par soufflage en conduite standard :

Pour le soufflage à l'air ou le flottage à l'eau, le tirage sur moyenne distance, les câbles doivent être légers et denses en fibres. Les câbles à structure micromodules permettent des gains en terme de distance de plus de 40% par rapport aux structures standard. On pourra retenir des forces de traction inférieures à 100 daN (déca-newton).

Les éléments de renforts seront choisis en fonction des besoins de protection aux rongeurs. L'armure acier, par son poids important, est peu recommandée pour la pose par soufflage. L'armure fibre de verre enduite "Hot melt" représente un optimum poids/protection aux rongeurs.

Le coefficient de frottement de la gaine PeHD étant plus faible que la plupart des autres matériaux, on privilégiera ce type de matériau pour réaliser la gaine finale extérieure.

▪ Câble pour pose par tirage en conduite standard :

Le câble doit avoir un ratio $W = \text{traction maximale (daN)} / \text{poids linéique (kg/km)}$ optimisé et supérieur à 1.

Les câbles utilisant des renforts en mèche d'aramide ou en mèche de verre sont souvent préférés dans ce type d'utilisation afin d'améliorer les valeurs de traction maximale. Ici encore, la gaine extérieure PeHD sera préférée.

5.2.2.3.4 Câbles pour pose en micro-conduites

Pour le retubage de conduites existantes ou encombrées, ou la pose de nouvelles conduites, des câbles différents seront utilisés. C'est essentiellement en fonction de la modularité du réseau à mettre en œuvre que des micro-conduites de diamètres différents vont être utilisées. Selon le diamètre des micro-conduites soufflées dans les fourreaux, il sera possible de desservir un nombre de points plus ou moins élevé avec une quantité de fibres modulable.

En fonction du nombre de fibres souhaitées, on dimensionnera les micro-conduites nécessaires. Le nombre de fibres conditionne le diamètre du câble et, par conséquent, le choix la micro-conduite la plus appropriée. Trois structures de câbles optiques sont envisageables : le micromodule, renforcé ou non, et le micro-câble.

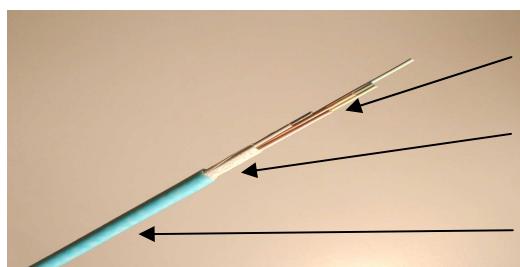
| | Micro module renforcé | Micro-câble | | |
|--|--------------------------|------------------|------------------|--------------------|
| Nombre de fibres | 2 à 12 | 6 à 24 | 36 à 72 | 96 à 144 |
| Diamètre du câble (mm) | 2 (micromodule renforcé) | 4 | 6 | 8 |
| Diamètre de la micro-conduite associée (intérieur/extérieur en mm) | 3,5 / 5 ou 4 / 6 | 5,5 / 7 ou 6 / 8 | 8 / 10 ou 8 / 12 | 10 / 12 ou 11 / 14 |

Tableau 5.6 : caractéristiques des micro-câbles pour micro-conduites

Les micro-câbles 12 à 144 fibres pour pose par soufflage en micro-conduite

Le soufflage de micro-câbles permet de faire transiter dans des conduites, encombrées ou non, des câbles de contenances élevées (jusqu'à 144 fibres). Dans le cas de conduites déjà utilisées, le micro-câble permet d'utiliser le réseau existant pour faire transiter des quantités importantes de fibres optiques, par simple passage de micro-conduites de 5 à 14 mm de diamètre extérieur. Le micro-câble optique permet d'amener un maximum de fibres optiques dans un encombrement très réduit.

Les réseaux d'accès sont de plus en plus fréquemment réalisés avec des conduites pré-tubées de diamètre Ø 8 / 10 mm. Les câbles pour micro-conduites devant être denses, les solutions à base de micromodules seront préférées pour leur encombrement mais aussi leur facilité de mise en œuvre. La structure permet de réaliser des câbles contenant 72 fibres (6 micromodules de 12 fibres) dans un diamètre inférieur à 6mm. La gaine extérieure devra bénéficier d'un coefficient de frottement très faible.



Micromodules souples - accès aux fibres sans outils (pelage manuel).

Ruban hydrogonflant permettant de garantir l'étanchéité du câble sans utiliser de gel.

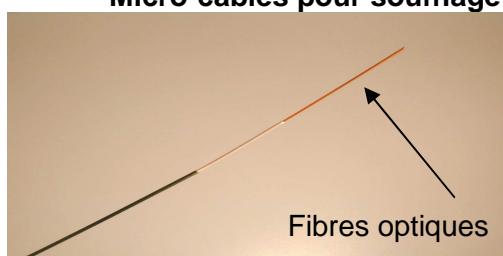
Gaine de protection permettant le soufflage (faible coefficient de frottement dynamique).

Figure 5.9 : câble 72 fibres de 6 mm pour soufflage en micro-conduites de type 8/10.

Le coefficient de frottement dynamique de la gaine doit être donné par le fabricant du câble. En effet, le coefficient de frottement peut fortement augmenter au cours de la pose, aux points de contact avec la conduite. Le coefficient de frottement doit donc rester le plus faible possible au cours du soufflage. Les gaines bénéficiant d'une surface type "peau de requin" (Shark Skin) seront choisies pour les poses en micro-conduites.

Les micro-câbles 1 à 12 fibres

- Micro-câbles pour soufflage en micro-conduite Ø 3,5 / 5mm (ou Ø 4 / 6mm)



Les micro-câbles standard ont un diamètre inférieur à 2 mm afin de pouvoir utiliser les conduites standard de type Ø 3,5 / 5 mm (ou Ø 4 / 6 mm). La gaine extérieure devra avoir un coefficient de frottement le plus faible possible.

Ces micro-câbles sont adaptés à la pose en extérieur (micro-conduites Polyéthylène) ou en intérieur (micro-conduites en matériau LSOH)

Figure 5.10 : micro-câble 6 fibres diamètre 1,4 mm

- **Micro-câbles renforcés pour soufflage ou tirage en micro-conduite Ø 6 / 8mm ou Ø 8 / 10mm**

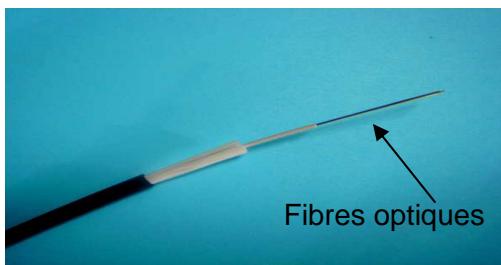


Figure 5.11 : micro-câble renforcée 4 fibres diamètre 3.7mm

Ces micro-câbles ont un diamètre plus important pour permettre un passage plus aisément dans les conduites de diamètre intérieur 6 ou 8mm. L'ajout de renforts de traction en fait des câbles qui peuvent aussi être tirés (pour utilisation de micro-conduites pré-aiguillées). Ces micro-câbles ont un diamètre compris entre 3 et 4mm. La gaine extérieure présentera aussi un coefficient de frottement le plus faible possible.

5.2.2.3.5 Câbles pour pose directe en micro-rainure

Le câble optique posé en micro-rainure doit répondre à des exigences mécaniques particulières. La plage de température de fonctionnement est étendue pour tenir compte des fortes variations de température du milieu. De plus, les résistances radiales doivent être fortes pour résister au poids du matériau de remplissage ainsi qu'au passage des véhicules. Le câble pour micro-rainure sera donc un câble utilisant les structures compactes de type micromodules afin de conserver sa caractéristique essentielle qui est la compacité, tout en bénéficiant d'éléments de protection métalliques pour résister aux importantes contraintes thermiques et mécaniques.

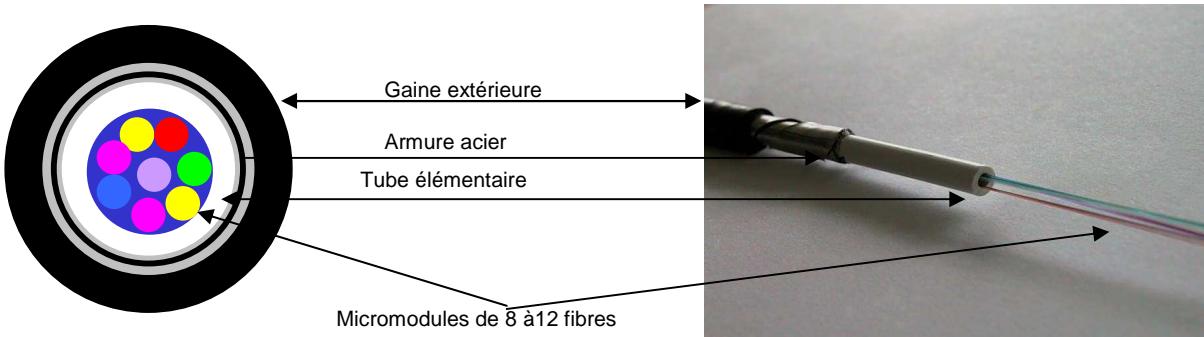


Figure 5.12 : câble pour pose directe en micro-rainure

5.2.2.3.6 Câbles pour pose en aérien

Dans les cas de contraintes spécifiques : distance importante entre le NF et le PR, hameaux excentrés en zone rurale, il est possible de réaliser certaines parties du réseau d'accès avec un câble aérien. Cette technique bien que peu esthétique, permet un déploiement rapide à moindre coût en utilisant des appuis existants (réseau de distribution électrique, éclairage public, fixations sur bâtiments). Cette solution peut être considérée comme provisoire en attendant un enfouissement du câble étalé dans le temps au gré de futurs travaux de génie civil en coordination avec la réalisation d'autres réseaux (adduction d'eau potable, de gaz etc...). La pose de câble aérien peut être réalisée sur des appuis existants appartenant à la collectivité (éclairage public, réseau énergie basse tension) ou loués (poteaux EDF) :

- le mode de pose est rapide et peu onéreux et permettra de relier des points distants en zone rurale,
- la capacité des câbles varie de 6 à 144 fibres,
- certains câbles sont remplis de gel de pétrole pour assurer une étanchéité parfaite,
- la fixation sur les appuis est réalisée à l'aide de pinces,
- la plupart des matériaux de raccordement sont adaptables aux câbles aériens.

Pour les câbles aériens deux structures existent :

- le câble avec porteur excentré, souvent appelé câble en "8",
- le câble autoporté diélectrique (ADSS : All Dielectric Self Supported).

Selon les méthodes d'arrimage et les impératifs de protection diélectrique on choisira une de ces deux structures. Le câble ADSS est nettement plus coûteux que le câble en "8".

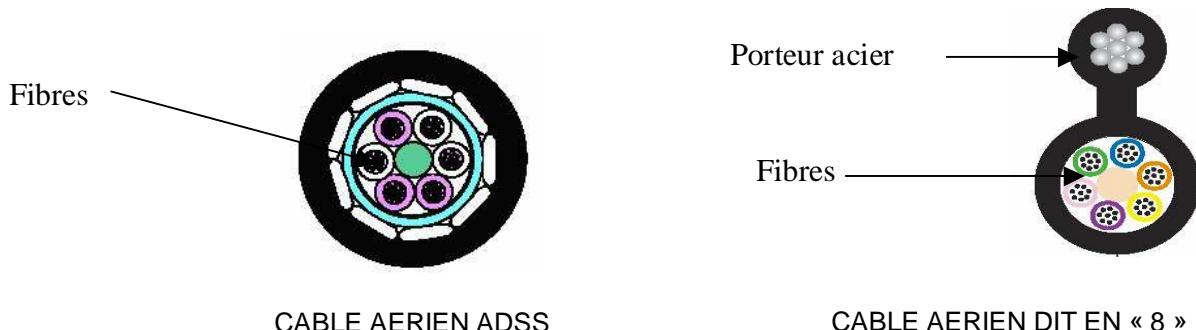


Figure 5.13 : structures de câbles aériens

5.2.2.3.7 Câbles à forte contenance

Les câbles à forte contenance s'avèrent nécessaires dans certaines infrastructures de câblage en point à point. Généralement, il s'agit de câbles pour pose en conduite, en égout ou en pleine terre. Ils disposeront donc des protections adaptées à chacun de ces environnements.

La particularité de ces câbles réside plus dans la constitution de l'âme optique. Celle-ci doit permettre un repérage sûr et aisément de chacune des fibres.

Les fibres colorées individuellement seront de préférence assemblées en micromodules de 12 fibres optiques. Ces micromodules colorés individuellement sont assemblés en sous faisceau (typiquement 6 ou 12 micromodule par faisceau).

Chacun des faisceaux est maintenu par un filin de maintien ou, pour une meilleure résistance mécanique, par une gaine rigide. Les faisceaux repérés au moyen d'un code de couleurs ou une numérotation, sont assemblés entre eux avant de recevoir les protections requises pour l'environnement concerné.

Caractéristiques requises :

- température de fonctionnement : -30+60°C,
- tenue à l'écrasement : 3000 à 4500N/10cm.



Figure 5.14: câble à forte contenance

5.2.2.4 CABLES ADAPTES AU SEGMENT DISTRIBUTION (DU NF AU PR)

5.2.2.4.1 Câbles multifonctions conduite - aérien

De façon à réduire la diversité des câbles, il est préférable d'opter pour des câbles multifonctions, adaptés à la pose en aérien, à la descente le long du poteau puis au passage en conduite. Ces câbles doivent être de section circulaire et seront de préférence non-métalliques. De faible contenance, généralement 12 à 36 fibres monomodes G652 en micromodules de 12 fibres, ces câbles seront de faible diamètre et de faible poids pour une meilleure souplesse de déploiement.

Les câbles de distribution extérieurs sont protégés par une gaine PeHD apportant une forte résistance mécanique : résistance aux chocs, à l'écrasement. La dureté du PeHD doit faciliter les opérations de poussage ou soufflage dans les conduites.

Ces câbles étant très exposés aux intempéries, ils doivent être protégés d'une exposition prolongée aux UV. Une gaine noire stabilisée UV sera préférable.

Pour prévenir les éventuelles pénétrations d'eau, ces câbles sont dotés d'une étanchéité longitudinale. Les technologies d'étanchéité sèches sont préconisées pour faciliter l'accès aux fibres.

L'accès aux fibres en extrémité devra se faire sans outil spécifique, rapidement et en toute sécurité. C'est le cas avec les câbles de type unitube, qui sont tout à fait adaptés pour une préparation simple et rapide. Ils doivent de préférence ne pas avoir de renforts mélangés aux micromodules de fibres. La structure du câble, sans renfort entre les fibres, doit permettre l'accès en plein câble de façon à permettre la dérivation d'une ou de plusieurs fibres sans couper les autres.

Caractéristiques requises :

- température de fonctionnement : -30+60°C,
- résistance à la traction : >800N,
- tenue à l'écrasement : 2000N/10cm,
- pose en aérien : portée jusqu'à 50m.



Figure 5.15 : câble mixte conduite - aérien

5.2.2.4.2 Câbles à Accessibilité Permanente en piquage tendu – conduite ou égout

De façon à minimiser le nombre d'épissure et ainsi diminuer les coûts d'installation du réseau optique, des solutions de câbles optiques à accessibilité permanente existent. Ce câble, de conception originale, contient un grand nombre de micromodules et permet le prélèvement et la dérivation d'un module sur quelques dizaines ou centaines de mètres. Il n'y a donc plus d'épissure, mais poussage du module de fibre dans une micro-conduite prévue à cet effet, typiquement une micro-conduite de Ø 3.5 / 5 mm.

Pour le tirage sous fourreau, les câbles à accessibilité permanente sont protégés par une simple gaine en PeHD.

Caractéristiques requises :

- température de fonctionnement : -30+60°C,
- résistance à la traction : >800N,
- tenue à l'écrasement : 2000N/10cm.



Figure 5.16 : câble à accessibilité permanente

- **Cas de pose en égout** : ces câbles devront être protégés de l'attaque des rongeurs grâce à une armure métallique disposée sous la gaine extérieure (idem câbles de transport).

Les câbles posés en égout réalisent généralement la desserte de zones denses nécessitant une forte contenance de fibres, typiquement de 400 à 800 fo.

Ce grand nombre de fibres disposées en long (non câblées pour permettre le piquage tendu) nécessite de distribuer au mieux les fibres autour du plan neutre de courbure du câble. Aussi, des profils de câbles originaux rectangulaires pourront être recommandés. Cette distribution des fibres et modules suivant l'axe transversal du câble facilite le repérage d'un module parmi d'autres ainsi que son extraction. De plus, ces profils permettent de loger une grande densité de câbles dans les chemins de câbles.

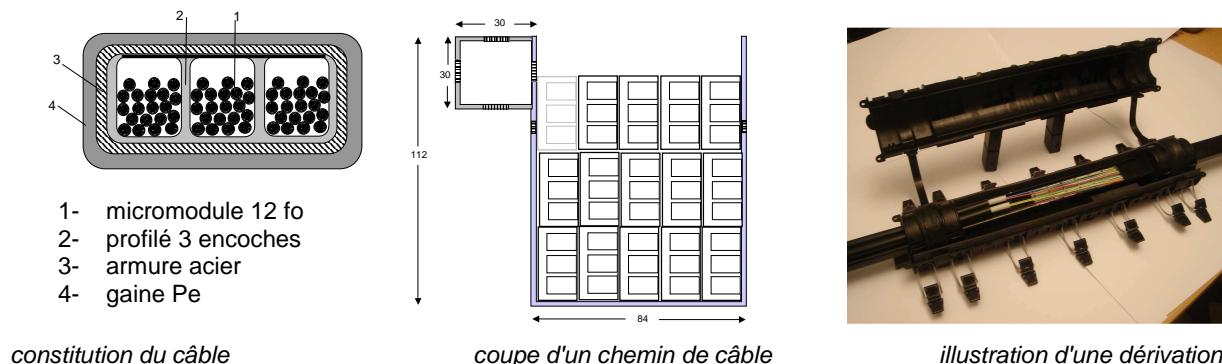


Figure 5.17 : câble à accessibilité permanente organisation et pose en égouts

5.2.2.5 CÂBLES ADAPTÉS AU SEGMENT RACCORDEMENT (DU PR À L'ABONNÉ)

Ces câbles sont le dernier lien vers l'abonné, du point de raccordement jusqu'à la prise dans l'habitation. Ils sont constitués d'un ou deux micromodules 1 fibre. Le diamètre de ces micromodules sera de préférence compatible avec les connecteurs 900µm. La fibre à faible rayon de courbure G657 sera préconisée dans le cas d'un câblage sinueux à l'intérieur de l'habitat ; dans le cas contraire, la fibre standard G652 sera suffisante.

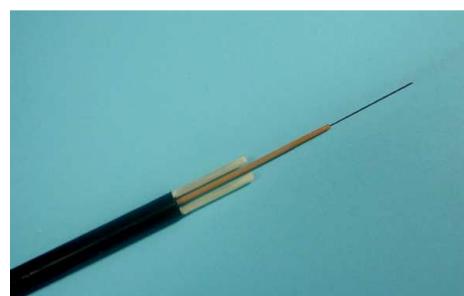
5.2.2.5.1 Raccordement extérieur

Munie d'une gaine en matériau PeHD, ces câbles contiennent un ou deux micromodules de 1 fibre (G652 ou G657). Ils assurent le lien entre le PR extérieur et l'immeuble. Ils doivent permettre un passage souterrain (sous fourreau) ou aérien (jusqu'à 50m de portée).

Caractéristiques requises :

- température de fonctionnement : -30+60°C,
- résistance à la traction : >800N,
- tenue à l'écrasement : 2000N/10cm.

Figure 5.18 : câble de raccordement d'extérieur d'abonné



5.2.2.6 CÂBLES ADAPTÉS À LA DESSERTE D'IMMEUBLE

5.2.2.6.1 Les câbles de distribution intérieurs

Ces câbles doivent permettre la distribution des fibres optiques à l'intérieur de l'immeuble, à chaque étage. Ils sont de contenance variant généralement de 12 à 144 fibres (G652 ou G657).

Les Câbles à Accessibilité Permanente sont les plus adaptés à la problématique du câblage d'immeuble en FTTH, car ils offrent la possibilité de déployer progressivement le réseau, au fur et à mesure de la demande. Le câble est installé en goulotte ou en colonne technique, en passage à chacun des étages et les fibres restent en attente. Le câble sera ouvert ultérieurement, à la demande de connexion d'un ou plusieurs abonnés, pour prélever une ou plusieurs fibres.

Constitués de micromodules de 1 ou plusieurs fibres, ces câbles sont en matériau LSOH et présentent a minima des qualités de non propagation de la flamme (NFC 32070.2.1 C2).

La constitution des micromodules doit être adaptée à l'utilisation prévue : piquage de quelques mètres en vue d'une épissure ou bien piquage jusqu'à 20m en vue du raccordement direct à l'abonné, par poussage ou tirage dans une micro-conduite d'intérieur.

Caractéristiques requises :

- température de fonctionnement : -5+70°C,
- résistance à la traction : > 500N,
- tenue à l'écrasement : 2000N/10cm,
- tenue au feu NFC 32070-2.1/2.2.

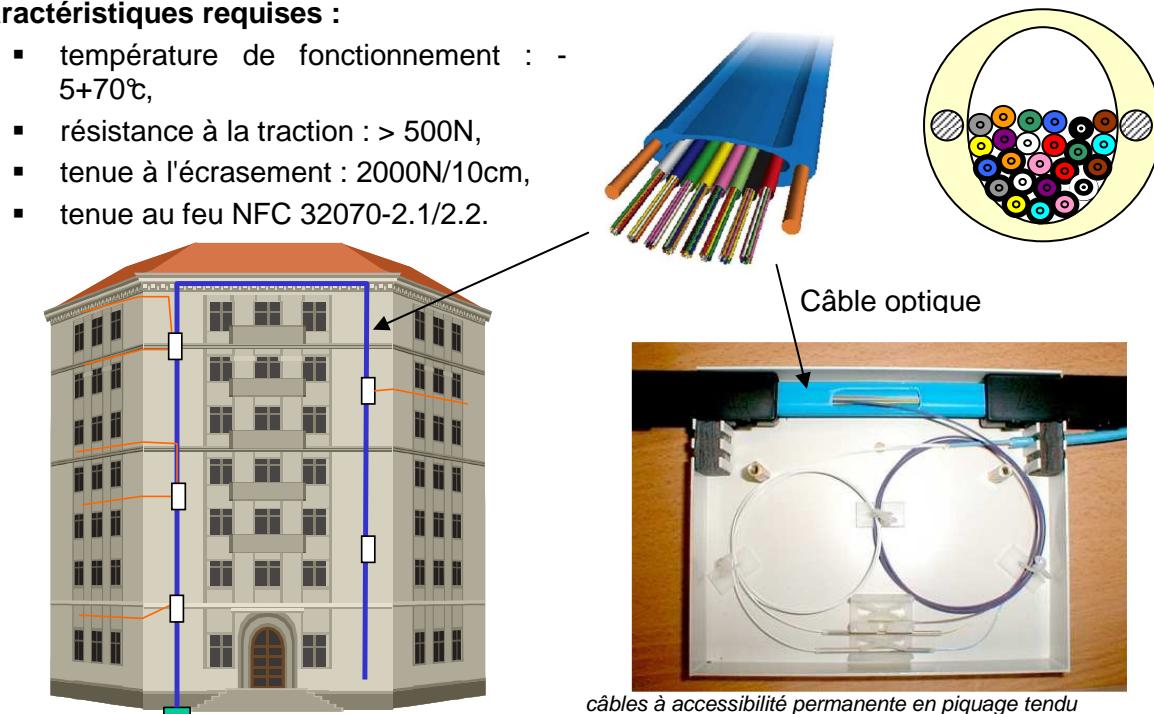


Figure 5.19 : desserte intérieure d'immeuble et câbles à accessibilité permanente adaptés

5.2.2.6.2 Câbles d'abonné - Raccordement intérieur

En matériau LSOH ivoire, ils seront a minima de qualité "non propagation de la flamme" (NFC 32070-2-1 ; C2).

Les produits très souples sont évités car ils rendent difficile le passage dans les gaines existantes ou à travers les murs. La dureté de la gaine doit permettre un collage ou un agrafage direct en façade ou contre la cloison.

Deux catégories de câbles peuvent être considérées :

- catégorie intérieur/extérieur (4mm) : étanche, stabilisé UV, pour pose en façade et en intérieur,
- catégorie intérieur (diamètre <3mm) : non étanche, intérieur uniquement.

Pour la dérivation de fibres prélevées dans les Câbles à Accessibilité Permanente, des **micro-conduites LSOH** seront dimensionnées comme ces câbles de raccordement (LSOH, diamètre 4mm).

Caractéristiques requises :

- température de fonctionnement : -5+70°C,
- résistance à la traction : >150N,
- tenue à l'écrasement : 1000N/10cm,
- résistance à la courbure : rayon mini 15mm (pas d'effet de paille),
- tenue au feu : NFC 32070-2.1/2.2.

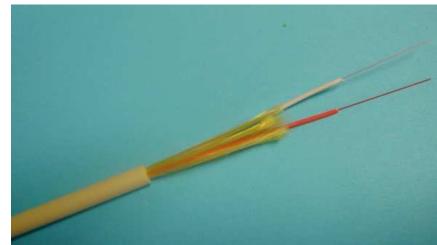


Figure 5.20 : câble d'abonné 2 fibres

5.2.2.6.3 Les cordons d'abonné

Par « cordon d'abonné », on entend le cordon allant de la prise optique d'abonné PA jusqu'à son équipement terminal (ONT).

Ces cordons (de 2 à 5m) peuvent être droits ou spiralés, ils renferment généralement une fibre optique à faible rayon de courbure (G657) et sont équipés d'un connecteur à chaque extrémité. La gaine est en matériau LSOH.

5.2.3 LA CONNECTIQUE OPTIQUE ADAPTEE AUX RESEAUX D'ACCES

La connexion optique, que l'on parle de connecteur ou d'épissure est un composant crucial pour la bonne mise en œuvre d'un réseau d'accès FTTH, et plus particulièrement de la partie raccordement depuis le point de branchement (PR) jusqu'à la prise d'abonné (PA).

Une étude menée en 2002 par l'un des opérateurs majeurs au Japon a confirmé la viabilité de l'épissure mécanique et son adaptation au contexte des réseaux d'accès. Cette étude portait également au bénéfice de cette solution une très forte réduction des coûts d'outillage et une réduction des coûts d'installation proche des 50%. Depuis 2002, la plupart des opérateurs déploient leur réseau FTTH en utilisant une combinaison de différentes technologies réservant en général la fusion aux points du réseau de fortes capacités et l'épissure mécanique aux points de branchement (PR) et à l'installation client (PA).

Dans ce chapitre nous proposons de passer en revue les différents types de connexions en fonction de leur place dans le réseau, de la fonctionnalité du nœud et de l'ordre de grandeur de ce point en quantité de fibres raccordées.

| Rappel du dimensionnement des différents nœuds | | |
|--|-----------------------------|-------------------|
| Nœud fonctionnel | Paramètre | Ordre de grandeur |
| Nœud d'accès (NA) | Nombre de lignes | 4 000 à 30 000 |
| Nœud de flexibilité (NF) | Nombre de fibres | 100 à 1 000 |
| Point de raccordement (PR) | Nombre d'abonnés | 12 à 24 |
| Prise d'abonné | Nombre de fibres à la ligne | 1 ou 2 |

Tableau 5.7 : rappel des dimensionnements des différents nœuds

5.2.3.1 CONNEXIONS AU NŒUD D'ACCES (NA)

5.2.3.1.1 Etat de l'art

Le standard établi en France pour la partie passive des réseaux de télécommunications est le connecteur SC. Ce connecteur est utilisé en finition PC ou APC suivant les opérateurs, les effets de parc ou les applications.



Figure 5.21 : pigtail, raccord et jarretière SC/APC

| Caractéristiques principales d'un connecteur SC | |
|---|--|
| Fibres | 125µm, 250µm |
| Perte d'insertion | <0.5 dB moyenne (1310 nm) |
| Taux de Réflexion | <-30 à -50dB dans le cas du PC ; <-55dB dans le cas du APC |

Tableau 5.8 : caractéristiques principales d'un connecteur de type SC

5.2.3.1.2 Connectique PC ou APC

Force est de constater que la majorité des réseaux de transport en France utilisent le SC/APC depuis les années 97/98 ce qui militerait pour l'utiliser également dans la partie desserte. En contre exemple, la zone Asie, et notamment le Japon, ont fait le choix délibéré du SC/PC pour leur déploiement FTTH et cela depuis maintenant plus de 4 ans. Difficile donc de trancher entre ces deux options; la meilleure solution sera d'en discuter avec l'équipementier ou les opérateurs clients, si la couche réseau est déjà retenue. L'APC sera conseillé si une transmission « analogique » est envisagée ; dans les autres cas, le standard PC suffira. Les autres standards comme le FC, MU et LC sont principalement utilisés du côté des équipements actifs.

5.2.3.1.3 Raccordement aux câbles

Le nœud d'accès est un point de forte capacité qui peut concentrer plusieurs dizaines de milliers de fibres. Pour ces points nous préconisons l'utilisation de pigtailed. Préparés en usine, ils seront raccordés sur site par fusion.



Figure 5.22 : répartiteur avec modules pré-câblés et jarretières 2 mm

5.2.3.1.4 Jarretières (cordons de brassage)

Le standard est actuellement fondé sur des jarretières de 2 mm de diamètre. Cette structure présente des caractéristiques mécaniques suffisantes pour l'environnement du répartiteur. Elle présente l'avantage, par rapport à l'ancienne structure de 3mm, de diminuer de plus de 50% le volume occupé par les cheminements et stockage de ces jarretières.

5.2.3.1.5 Cas des répartiteurs au NA sans connecteur

Il est possible de faire le choix de raccorder directement les équipements sur les têtes de câble réseau sans connecteur. Les modules de la tête de câble sont alors utilisés comme simple cassette d'épissures.

Cette configuration, peu flexible, peut être envisagée sur des réseaux PON à fort taux de partage (1/32 et 1/64), dans le cas où le bilan de liaison serait très tendu du fait du fort affaiblissement apporté par les coupleurs.

En tout état de cause, une telle approche n'est pas conseillée dans le cas général d'une infrastructure « neutre » et « universelle ».

5.2.3.2 CONNEXION DANS L'INFRASTRUCTURE (DU NA AU PR)

5.2.3.2.1 Epissures

L'épissurage par fusion est utilisé massivement pour le raccordement des câbles en ligne, en chambre souterraine ou en aérien. C'est également, au Nœud d'Accès, la méthode préconisée pour le raccordement des pigtails des têtes de câble. Le coût de l'équipement et la technicité nécessaire pour la mise en œuvre de l'épissure soudée sont justifiés sur ces opérations de raccordement de masse qui durent parfois plusieurs jours.

5.2.3.2.2 Connecteurs aux points de flexibilité

Les pigtails avec raccordement par soudure sont préconisés pour ces nœuds de réseau de forte capacité.

5.2.3.3 CONNEXION DANS LE RACCORDEMENT D'ABONNE (DU PR AU PA)

5.2.3.3.1 L'épissure mécanique

Le raccordement d'abonné est caractérisé par un certain nombre de facteurs qui rendent pertinente l'utilisation de l'épissure mécanique sur cette partie du réseau, notamment :

- les coûts d'équipement. Dans cette phase de déploiement massif, il est important de pouvoir équiper chaque installateur à moindre coût comme c'est le cas pour le cuivre ou le coaxial,
- la vitesse d'installation. Pour rendre effectif un déploiement massif et être concurrentiel en terme de délai de raccordement, l'opérateur doit pouvoir mettre en ligne de nombreuses équipes d'installateurs.

L'épissure mécanique, aussi performante que la fusion, répond à ces deux critères essentiels. Son utilisation est devenue aussi souple que celle d'une épissure cuivre.



Figure 5.23 : exemple d'épissures mécaniques pour les réseaux FTTH et outillage de mise en œuvre

Caractéristiques

Les caractéristiques essentielles de l'épissure mécanique sont sa fiabilité dans l'environnement du branchement d'abonné, sa perte par insertion voisine de la fusion, sa tenue à la traction essentielle si l'on ne veut pas de risque de rupture de signal pendant les manipulations et enfin son outillage qui doit être accessible en terme de prix pour faciliter sa diffusion.

| Caractéristiques principales d'une épissure mécanique | |
|---|--------------------------------|
| Fibres | 125µm, 250µm |
| Perte d'insertion | < 0.1 dB moyenne (1310 nm) |
| Réflexion | < -40 dB typique |
| Traction | > 4 N |
| Longueurs d'onde | 1310nm, 1490nm, 1550nm, 1625nm |
| Plage de température | -40°C à +75°C |
| Temps de montage | < 3 minutes |
| Coût outillage | < 1000 € |

Tableau 5.9 : caractéristiques principales d'une épissure mécanique

5.2.3.4 CONNEXION CHEZ L'ABONNÉ (PA)

Le point de livraison des services optiques chez l'abonné est baptisé PA (prise d'abonné) ou également DTI dans les différents standards. Le raccordement de la prise d'abonné peut être réalisé soit en technique traditionnelle pigtail + épissure, soit en mettant en œuvre un cordon pré-connectorisé, soit directement en connectique de terrain.

5.2.3.4.1 Pigtail + épissure

Cette méthode présente l'avantage d'avoir le même type de raccordement au point de branchement et chez l'abonné puisque dans les deux cas on utilise une épissure mécanique.

L'inconvénient est l'encombrement de l'ensemble qui nécessite une zone de lovage importante ainsi qu'un emplacement pour les épissures.

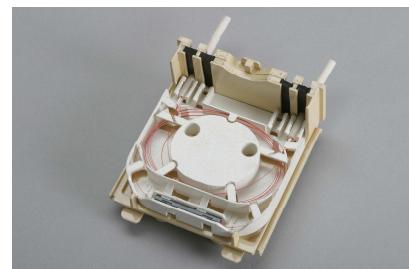


Figure 5.24 : exemple de l'intérieur d'un boîtier mural d'intérieur avec cassette de lovage et emplacement pour les épissures

5.2.3.4.2 Mise en œuvre par cordons « pré-connectorisés »

Une deuxième technique consiste à mettre en œuvre, pour réaliser la liaison PR-PA, un cordon pré-connectorisé coté PA.

Le cordon est tiré de l'extrémité PA vers le point de raccordement où il est épissuré. Coté abonné, la prise murale assure la protection de la fiche d'extrémité du cordon et son raccordement sur un raccord optique.

5.2.3.4.3 Connectique à mise en œuvre sur site

Dans la même logique de réduction des coûts d'intervention et d'intégration dans l'environnement du client, des études ont été réalisées pour réduire ce volumineux stockage et supprimer si possible l'épissure.

Le résultat de ces études est la connectique type FMC pour « Field Mountable Connector ». Sorte de micro pigtail, ce connecteur regroupe dans l'encombrement d'une fiche standard un pigtail et une épissure mécanique.

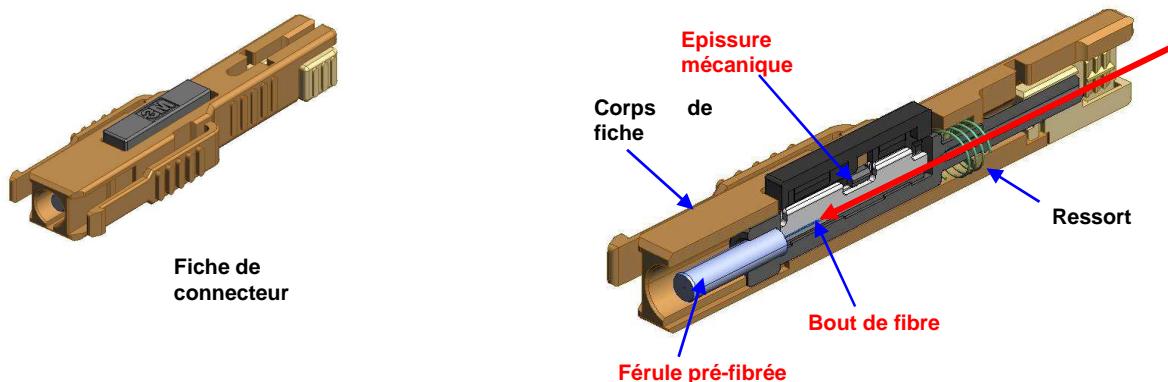


Figure 5.25 : vue en coupe d'un connecteur FA au standard NTT pré-fibré avec épissure incorporée

Adaptation aux standards

Cette première vague de connecteurs au « standard Asie » a désormais son équivalent au « standard SC ». Les produits sont spécifiquement adaptés aux câbles et fibres européens et notamment aux gaines 900 µm semi-libres très utilisées en France.

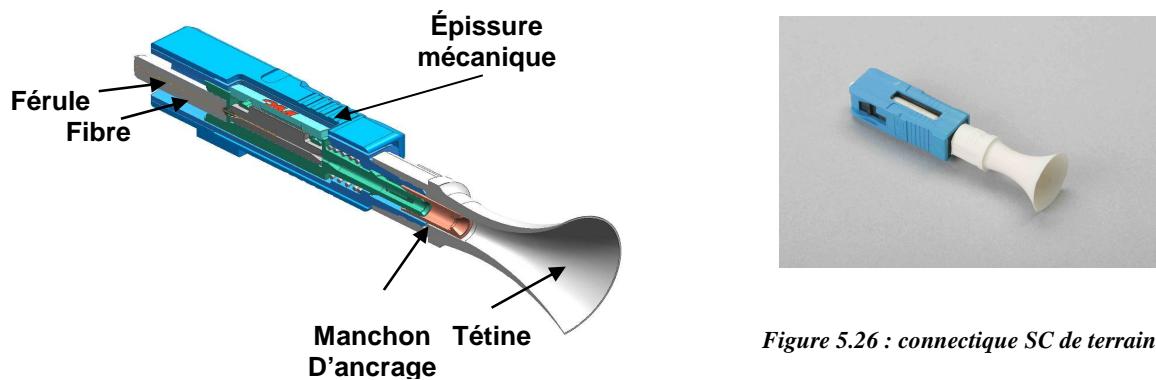


Figure 5.26 : connectique SC de terrain

Mise en œuvre

L'intérêt du connecteur de terrain est d'utiliser la même mise en œuvre que l'épissure mécanique, ce qui permet à l'installateur de minimiser ses coûts d'outillage et de formation. Cette nouvelle génération de connecteur permet d'obtenir des temps d'installation comparables au cuivre.



Figure 5.27 : sacoche de ceinture pour l'outillage épissure et connecteur.

Figure 5.28 : holder pour la mise en place de la fibre et son sertissage dans le connecteur

Caractéristiques

Les caractéristiques essentielles du connecteur FMC sont, comme pour l'épissure, sa fiabilité dans l'environnement du branchement d'abonné, sa perte d'insertion voisine de la fusion, sa tenue à la traction, essentielle si l'on ne veut pas de risque de rupture de signal pendant les manipulations et enfin son outillage qui doit être accessible en terme de prix pour faciliter sa diffusion.

| Caractéristiques principales d'un connecteur de prise d'abonné | |
|--|--------------------------------|
| Dimensions | Suivant IEC61754 (norme SC) |
| Fibres | 125µm, 250µm |
| Perte d'insertion | < 0,3 dB typique, max. 0,6 dB |
| Réflexion type UPC | < -40 dB typique |
| Longueurs d'onde | 1310nm, 1490nm, 1550nm, 1625nm |
| Plage de température | -40°C à +75°C |
| Coût outillage | < 1000 € |
| Temps de montage | < 3 minutes |

Tableau 5.10 : caractéristiques principales d'un connecteur de prise d'abonné

Installation dans la prise d'abonné (PA)

Cette connectique simplifie la mise en œuvre chez le client et permet de réduire l'encombrement de la prise murale à un format voisin de la prise cuivre en T. Le raccordement ne nécessite plus de cassette de lovage pour protéger l'épissure et la fibre 250µm.



Figure 5.29 : prise d'abonné

De gauche à droite :

- prise murale avec une sortie SC,
- intérieur d'une prise avec un connecteur montage sur site type SC,
- intérieur d'une prise hybride cuivre / optique avec un connecteur SC et un RJ45 (cas d'utilisation du même fourreau pour le RTC et le FTTH).

5.2.4 LES ACCESSOIRES DE RACCORDEMENT ADAPTES AUX RESEAUX DE DESSERTE

5.2.4.1 LE REPARTITEUR AU NŒUD D'ACCES (NA)

5.2.4.1.1 Critères de choix

Le Nœud d'Accès peut recevoir de 4000 à 30000 fibres. Cette concentration importante de lignes oblige à repenser complètement le répartiteur de réseau et son environnement suivant 3 critères essentiels.

Le volume à 100% de la capacité

Comme pour les centraux cuivre, le dimensionnement doit tenir compte de la capacité finale majorée de 20 à 30%, de la circulation et des passages autour du répartiteur.

A titre d'exemple, nous fournissons ci-après l'implantation des deux capacités extrêmes dans une salle de répartition :

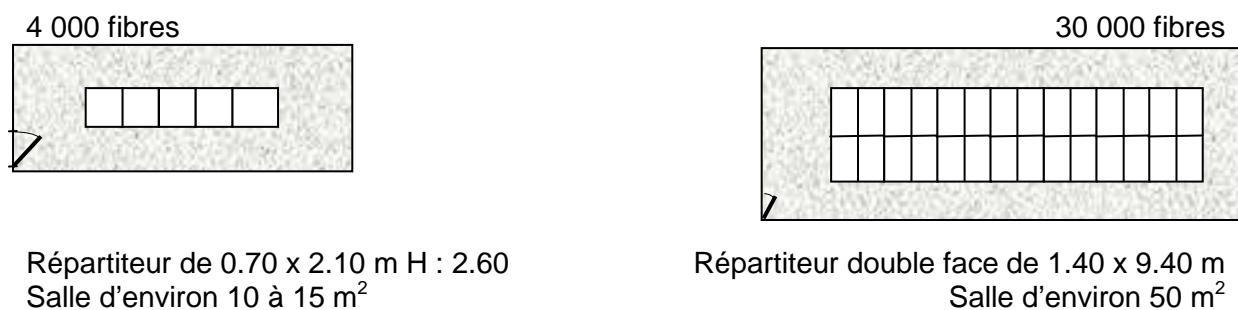


Figure 5.30 : caractéristiques d'un répartiteur 4000 et 30000 fibres

Par expérience, on peut considérer qu'un ratio de 1000 points de connexion au m³ est acceptable et exploitable sur des répartiteurs dépassant 5000 fibres. Ce volume comprend toutes les fonctionnalités depuis l'amarrage des câbles jusqu'aux cheminements et réserves de jarretières.

L'exploitation à 100% de la capacité

La pose et la dépose des jarretières sont courantes en phase d'exploitation. Elles doivent constituer des opérations simples sans risque de perturbation pour les circuits actifs. A ce stade du choix, il faudra privilégier les répartiteurs aérés et fonctionnels avec tous les circuits bien visibles. Attention à la trop haute densité qui se révèle souvent difficile à exploiter.

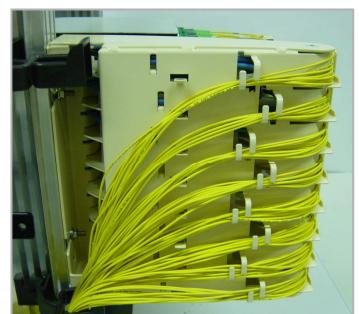


Figure 5.31 : exemple d'une tête de câble avec 100% des jarretières

L'évolutivité

Le répartiteur est installé pour 10 à 20 ans ; aussi est-il important qu'il soit évolutif et accepte tous les changements :

- sa capacité : il doit être possible de doubler ou tripler la capacité du répartiteur par adjonction de nouvelles poutres ou armoires sans en compromettre sa gestion et son exploitation,

- câbles : possibilité de monter n'importe quel type de câble et capacité en pied de répartiteur. Une poutre 800 fibres peut tout aussi bien être alimentée par un câble réseau à 800 fibres que 130 mini-câbles 6 fibres venant des équipements,
- connectiques : possibilité de mixer sur un même répartiteur des connectiques de différentes générations,
- coupleurs : possibilité d'implanter des coupleurs suivant les besoins des nouvelles applications,
- épissures : possibilité de raccordement sans connectique par simples épissures,
- têtes de câbles : possibilité de faire coexister sur un même répartiteur des générations différentes de têtes de câble.



Figure 5.32 : tiroir et ferme de répartition modulaire, chaque module 12 connecteurs étant indépendant des autres.

5.2.4.1.2 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.

Le nœud de réseau passif

Le répartiteur est un point de flexibilité au sein même du réseau passif. Il permet notamment :

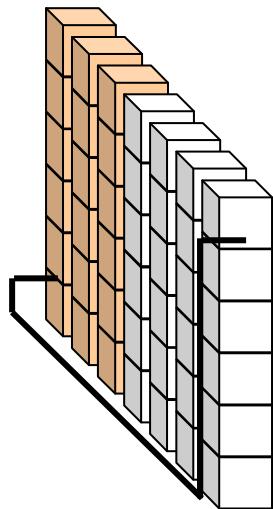
- de modifier la topologie du réseau,
- d'affecter des ressources en fonction de la demande,
- d'insérer de nouveaux dispositifs tel des coupleurs,
- d'effectuer des tests.

Le nœud d'accès est typiquement un nœud d'interconnexion avec les équipements actifs.

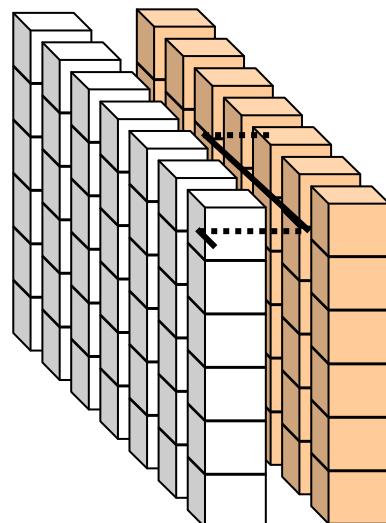
5.2.4.1.3 La configuration du nœud

Têtes réseaux et équipements

Pour ces capacités, nous préconisons d'avoir au répartiteur des têtes réseaux et des têtes équipements. La distribution optique entre les câbles réseau et les équipements autorise l'affectation des ports des équipements vers n'importe quelle fibre réseau.



Répartiteur simple face avec têtes réseau et équipements du même côté



Répartiteur double face avec têtes réseau et équipements sur deux travées

Figure 5.33 : exemples de configurations de nœud de brassage

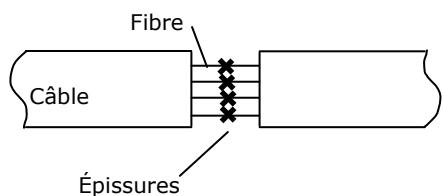
Brassage ou interconnexion

Les liaisons dans le répartiteur se font par jarretières. Par nécessité d'optimisation du bilan optique, notamment sur certains PON, il est possible qu'une des extrémités de la jarretière soit directement soudée dans une des deux têtes, ce qui économise la perte d'insertion d'un des deux connecteurs. Pour une facilité de test, il est préférable de laisser la connectique du côté des têtes de réseau.

5.2.4.2 LES BOITES D'EPISSURES

5.2.4.2.1 Définitions

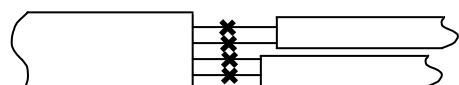
Sur les réseaux FTTH, les boîtes d'épissures ont de multiples applications et sont utilisées dans différents environnements. Quelques exemples d'utilisation sont fournis ci-après :



Joint droit

Continuité de câble sur la boucle principale
BTI : Transition de câble en entrée d'immeuble ou pour un simple abonné résidentiel

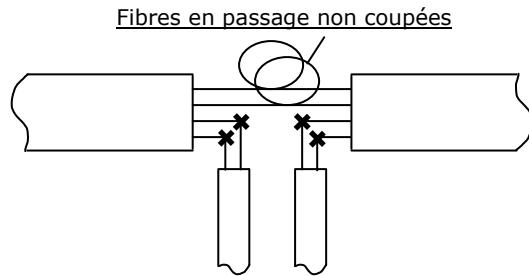
Figure 5.34 : boîte d'épissures en fonction joint droit



Distribution

Eclatement d'un câble vers plusieurs rues ou immeubles. En pied d'immeuble fonction BTI + distribution des différentes cages d'escalier
Point de flexibilité primaire ou secondaire.

Figure 5.35 : boîte d'épissures en fonction distribution

**Piquage**

Alimentation d'une boucle secondaire à partir d'une boucle principale.

Alimentation d'immeubles à partir de points de branchement montés en cascade sur le même câble.

Point de raccordement d'abonné en colonne montante.

Figure 5.36 : boîte d'épissures en fonction piquage

Environnement

Tous les types d'environnement sont envisageables, le maximum étant fait pour utiliser les infrastructures existantes ou les cheminements déjà empruntés par les réseaux existants notamment :

- chambre souterraine,
- poteau télécom,
- appui aérien partagé,
- égout visitable,
- façade,
- sous-sol,
- gaine technique.



Figure 5.37 : boîtier sur appui aérien



Figure 5.38 : boîtier pour chambre souterraine

5.2.4.2.2 Critères de choix

L'environnement

Suivant l'environnement, le choix sera réalisé entre 3 classes de produits :

- boîtes de raccordement étanche IP68 pour chambres et égouts,
- boîtes d'extérieur IP55 pour bornes et IP53 pour poteaux et façades,
- boîtes d'intérieur IP31 pour colonnes montantes, cages d'escalier, intérieur chez l'abonné.

L'IP désigne le degré de protection de l'enveloppe des matériels selon la norme NF EN 60 529. Le premier chiffre désigne la protection contre les corps solides le second la protection contre la pénétration d'eau.

De nombreux produits sont utilisés sur deux classes comme par exemple les boîtes étanches utilisées en pied d'immeuble ou les points de branchement d'extérieur installés en colonne montante. Cette polyvalence des matériels permet de gagner en flexibilité pour les installateurs.

La capacité

Nombre d'épissures et types d'épissures au point de raccordement.

Les câbles

Nombre de câbles arrivant au nœud de raccordement avec leurs caractéristiques (capacité, type de structure). Possibilité ou non de traiter des fibres ou des tubes non coupés en passage dans les points de piquage.

5.2.4.2.3 Recommandations sur les boîtes étanches

En FTTH, 4 fonctionnalités sont particulièrement importantes pour le choix du produit :

Gestion fibre à fibre

En FTTH, chaque fibre est indépendante des autres. Il faut donc faciliter l'affectation des fibres des câbles vers n'importe quelle fibre du point d'épissure.

L'organiseur interne doit être conçu pour permettre ce routage et faciliter l'affectation et la réaffectation des fibres.



Figure 5.39 : protection d'épissures étanche avec organisateur à gestion fibre à fibre

Entrées de câble

Le FTTH sous-entend des raccordements au fil de l'eau des clients, l'augmentation des capacités de l'infrastructure et la création de nouvelles artères dans le temps. Ceci impose d'installer de nouveaux câbles au fil de l'eau sur des boîtes en service. Pour cette opération, privilégier des kits d'entrée de câble à mise en œuvre à l'extérieur de l'enveloppe pour éviter au maximum le risque de chute d'outil sur des fibres actives.

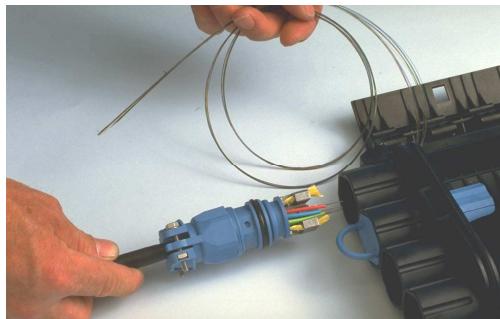


Figure 5.41 : introduction d'un nouveau câble sur une boîte déjà en service

Ouverture fermeture

Préférer des systèmes d'ouverture fermeture de l'enveloppe sans réglage et si possible sans outil spécifique. Faire également attention à la qualité des joints et leur possibilité de remplacement.



Figure 5.40 : fermeture d'une protection d'épissure sans outil

Adaptabilité aux nouvelles applications

Comme pour le répartiteur, le point d'épissure doit pouvoir s'adapter à l'évolution du réseau. L'organiseur interne devra être suffisamment modulaire pour accueillir différents types d'épissures et des modules techniques comme les cassettes coupleurs, etc.

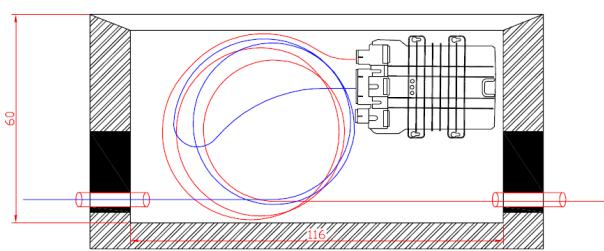


Figure 5.42 : schéma pour pose d'une boîte de raccordement dans CH L2T

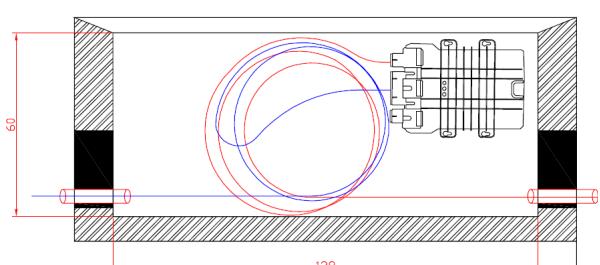


Figure 5.43 : schéma pour pose d'une boîte de raccordement dans CH L3T

5.2.4.3 LES NŒUDS DE FLEXIBILITÉ PASSIFS

5.2.4.3.1 Définition

Le nœud de flexibilité passif va permettre de faire de l'affectation de fibre en fonction des demandes. Les nœuds passifs vont prendre des formes différentes suivant leurs capacités, l'environnement dans lequel ils seront installés et la fréquence de mouvement des fibres.

Le point le plus important est de déterminer s'il y a ou non nécessité de connecteurs pour le brassage, l'affectation des fibres pouvant également être réalisée par épissure. Le choix entre ces deux options dépend de la fréquence envisagée pour la réaffectation des « circuits » optiques.



Figure 5.44 : Nœud de Flexibilité en armoire de rue

5.2.4.3.2 Environnement

4 possibilités existent pour implanter cette fonction :

- le local technique,
- le coffret d'intérieur installé dans un couloir,
- l'armoire de rue
- le coffret étanche.

Figure 5.45 : armoire de rue de 576 connecteurs câblée à 100%.

Cette armoire à une emprise au sol de 1.40 x 0.60 mètres.



5.2.4.3.3 Recommandations

Compte tenu de la difficulté d'obtenir l'autorisation d'implanter des armoires de rue au cœur des villes, les solutions d'intérieur seront privilégiées pour les points de flexibilité avec connectique. Un nœud de 1000 fibres correspond à une baie d'environ 1 m³. Pour des points d'épissures, les boîtes et coffrets en chambre sont recommandés.

Figure 5.46 : coffret extractible monté sur châssis basculant pour nœud de flexibilité d'environ 100 fibres



5.2.4.3.4 Sécurité et exploitation

Un tel nœud, lorsqu'il est implanté en armoire de rue, est difficilement « partageable » entre plusieurs acteurs différents, au sens de son exploitation :

- brassage et affectation de fibres,
- implantation de coupleurs pour les besoins de mise en œuvre d'un PON,
- maintenance,
- etc.

Dans le cas général, son exploitation sera assurée par le gestionnaire d'infrastructure qui assurera, pour le compte de l'ensemble des opérateurs clients de l'infrastructure, les affectations de fibres et la mise en œuvre éventuelle des coupleurs.

Si l'exploitation doit être « partagée », on privilégiera l'implantation de plusieurs « armoires opérateurs » interconnectées sur l'armoire du gestionnaire par des faisceaux de câbles « breakout » (câbles sous forme de jarretières assemblées).

5.2.4.4 LES NŒUDS DE FLEXIBILITÉ ACTIFS

Les armoires actives seront conçues autour de l'équipement qu'elles abritent, en fonction de leur environnement climatique, des équipements installés, de leur plage de fonctionnement et de leur réjection thermique. En fonction des contraintes d'alimentation électrique il sera nécessaire de prévoir un atelier d'énergie.

5.2.4.4.1 Les contraintes liées à la sécabilité

L'exploitation d'un tel nœud, implanté en armoire de rue, est difficilement « partageable » entre plusieurs acteurs différents. Dans le cas général, les équipements hébergés seront dédiés aux services proposés par le gestionnaire d'infrastructure qui en assurera l'exploitation.

5.2.4.4.2 Recommandations

Si plusieurs opérateurs doivent planter des matériels actifs dans ces nœuds pour déployer leurs services, il est conseillé de prévoir l'implantation de plusieurs « armoires » interconnectées sur l'armoire du gestionnaire par des faisceaux de câbles « breakout ».

5.2.4.5 LES POINTS DE BRANCHEMENT

5.2.4.5.1 Définition

Il existe principalement trois types de points de branchement :

- extérieur sur façade ou poteau,
- pied d'immeuble,
- boîtier de palier.



Extérieur sur façade ou poteau

Ce matériel est utilisé lorsque la distribution est aérienne, aéro-souterraine ou comme ici lorsque le réseau est posé directement en façade. Suivant la distance aux abonnés le boîtier dessert de 4 à 6 logements.

Figure 5.47 : coffret de point de raccordement de façade



Pied d'immeuble

Le boîtier de pied d'immeuble peut avoir deux fonctions très différentes :

- point de flexibilité pour l'affectation des fibres suivant les paliers ou les cages d'escalier,
- point de branchement de 10 à 50 fibres desservant tout l'immeuble avec départ direct des câbles 1 ou 2 fibres de tous les abonnés.

Figure 5.48 : coffret de point de raccordement de pied d'immeuble



Palier

Le boîtier de palier est monté en colonne ou directement en apparent. Il dessert un ou deux paliers. Sa capacité est variable de 6 à 12 fibres.

Figure 5.49 : coffret de point de raccordement de palier

5.2.4.5.2 Recommandations

S'il n'y a pas trop de contrainte de taille notamment dans les immeubles, privilégier un coffret « polyvalent » qui permettra de répondre à tous les cas d'emploi.

5.2.5 COHERENCE ENTRE CABLES ET ACCESSOIRES DE RACCORDEMENT

L'ensemble des technologies présentées aux chapitres précédents correspond à l'état de l'art des innovations du domaine.

A l'occasion de l'étude d'ingénierie et du choix des composants associés, il convient bien évidemment de s'assurer de la cohérence et de la compatibilité des choix de produits réalisés.

5.3 REGLES ET TECHNIQUES DE MISE EN OEUVRE DE LA COUCHE OPTIQUE PASSIVE

5.3.1 POSE DES CABLES DANS L'INFRASTRUCTURE D'ACCES

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

5.3.1.1 LES CONTRAINTES APPLIQUEES AU CABLE

Les principales contraintes subies par un câble lors des opérations de pose sont :

- la traction,
- la torsion ou le vrillage,
- le pliage (faible rayon de courbure),
- l'écrasement,
- les contraintes climatiques.

Les opérations de mise en œuvre peuvent être séquencées ainsi :

- établissement d'un plan de pose,
- transport et stockage des composants,
- pose et installation des câbles,
- raccordement des câbles.

5.3.1.1.1 La traction

La résistance d'un câble à la traction dépend de sa structure. L'effort de traction exercé sur le câble dépend bien entendu du type de pose. La force de traction maximale admissible par le câble est indiquée par le fabricant.

5.3.1.1.2 La torsion ou le vrillage

Lors de la pose, on veillera à ce que le câble ne subisse pas de torsion. Les inscriptions sur la gaine pourront servir de témoin. Pour le tirage au treuil, il sera utile d'accrocher le câble à la cablette 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.

5.3.1.1.3 Le pliage (faible rayon de courbure statique ou dynamique)

Les valeurs fixées par le constructeur permettent de garantir un niveau minimum de contrainte sur les fibres. Il faut veiller, lors de la réalisation de "love" au sol ou en chambre de tirage, à dévider les spires de câble par rotation du touret, soit en utilisant un dérouleur de câble, soit en faisant rouler le touret. Dans le cas de pose en conduite extérieure, 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.

5.3.1.1.4 L'écrasement

Pendant les opérations de pose, on apportera un soin particulier au "stockage intermédiaire" des câbles. Lorsqu'il sera nécessaire de mettre un câble en attente, sans que ce dernier soit protégé, un balisage approprié sera utilisé pour éviter qu'il ne soit écrasé par des objets, des personnes ou des véhicules.

5.3.1.1.5 Les contraintes climatiques

Les températures de pose seront typiquement limitées entre 0°C et 45°C (voir fiche technique du fabricant).

5.3.1.2 POSE DE CABLES AU TREUIL

Elle se pratique de moins en moins. Les méthodes de soufflage ou de flottage remplacent progressivement l'utilisation des treuils sur ce type de réseaux.

Une telle opération devra être menée et contrôlée pour limiter les contraintes, 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 de tirage.

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

5.3.1.2.1 Recommandation pour le tirage de longueurs de 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.

5.3.1.2.2 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.

5.3.1.2.3 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 et d'un limiteur de force au niveau de cet entraîneur.

5.3.1.3 POSE DU CABLE PAR « SOUFFLAGE – TIRAGE »

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 soufflage, 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. Cette technique ne s'applique pas sur les tracés particulièrement sinueux ; le système reste limité au maximum de traction toléré par le câble et au maximum de pression d'air admissible dans la gaine. Pour que cette technique apporte les gains espérés, il est souhaitable que l'on puisse raccorder les éléments de conduit entre eux en assurant une étanchéité. Pour cela les conduits ne seront jamais coupés au ras des chambres de tirage.

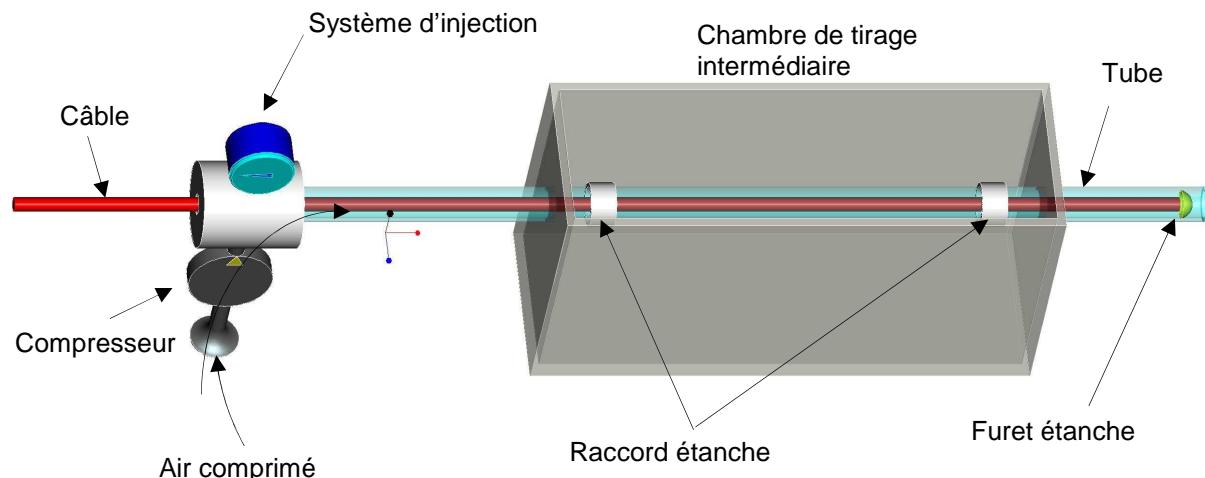


Figure 5.50 : pose par soufflage - tirage

Par rapport au soufflage:

- 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,
- ne s'applique pas dans les conduites d'un diamètre inférieur à 30 mm intérieur.

5.3.1.4 POSE DU CABLE PAR SOUFFLAGE (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 entraîné 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 du fourreau.

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.

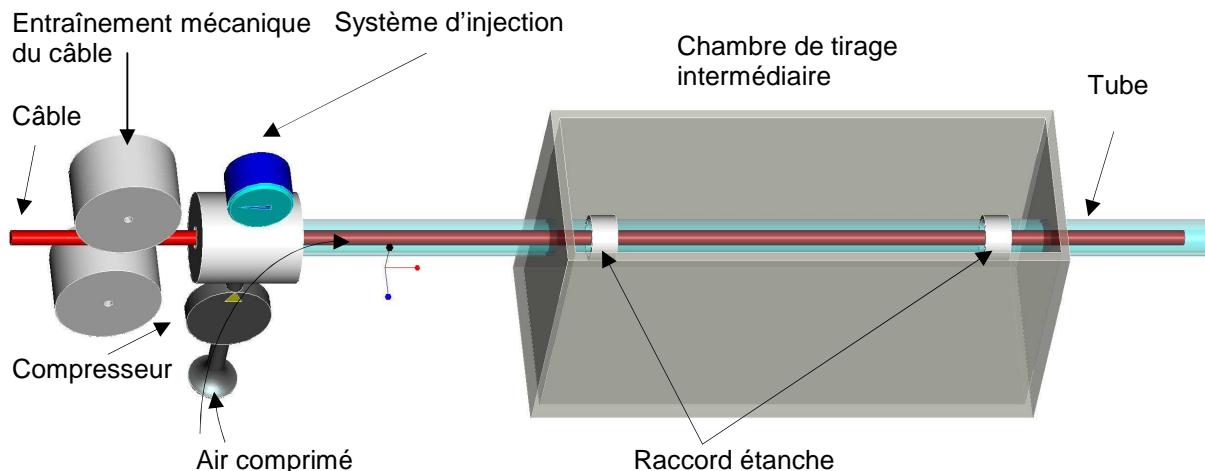


Figure 5.51 : pose par soufflage

5.3.1.4.1 Impact sur les câbles

Le procédé s'applique à tous les câbles à fibres optiques de Ø 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 5 à 10 daN.

Plus la densité du câble est faible, 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 dans un réseau accidenté.

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 le fourreau et verra ses distances de pose raccourcies, mais il sera surtout un handicap à la pose d'un 2ème câble et à son usage dans les accessoires de réserve de lovage.

5.3.1.4.2 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 à une température de 60°C.

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

Les fourreaux non pré-lubrifiés doivent être lubrifiés avec un lubrifiant peu visqueux conçu spécialement pour le soufflage, à raison d'environ 0,5 à 1 litre par km suivant le diamètre du fourreau. 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 pré-lubrifiées 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 pré-lubrifiées en allongeait encore la distance maximale de pose.

Le rapport D/d (Diamètre intérieur du fourreau sur diamètre du câble) optimal est de l'ordre de 2 à 2,5. Il est néanmoins possible de descendre jusqu'à des valeurs de l'ordre de 1,3 qui correspondent à un taux d'occupation du fourreau de 80%. 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.

5.3.1.4.3 Pose de câbles multiples

Lors de la pose d'un 2ème (voire 3ème) 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 70 % du diamètre intérieur de la gaine. Si ces 2 conditions sont remplies, on peut espérer atteindre avec le 2ème câble la moitié de la distance du 1^{er} câble posé à l'air par soufflage ou assurer la pose sur la même distance que le 1^{er} câble en utilisant la pose par flottage.

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.

5.3.1.4.4 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 chambres 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 de mousse est passé, même si le calibrage du fourreau n'est pas garanti, un câble nu a beaucoup plus de chances de traverser un tube légèrement aplati, que s'il est muni d'un furet ou d'une tête sonique.

Il est utile de rappeler ici que :

- la méthode de pose par soufflage à l'air 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 lavage 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. Les constructeurs d'appareillage commercialisent des programmes de simulation, permettant d'optimiser préalablement la solution pour la pose.

Caractéristiques du compresseur :

| Pression | |
|--|--|
| Pression exigée | 15 bars (maximale), minimum 8 bars. La perte de longueur maximale de pose est d'environ 10% par bar en moins |
| Débit minimum nécessaire, selon les dimensions du fourreau | |
| Ø 3,5 / 5 mm | 1 000 litres / minute |
| Ø 8 / 10 mm | 1 500 litres / minute |
| Ø 27 / 32 mm | 5 500 litres / minute |
| Ø 33 / 40 mm | 7 500 litres / minute |
| Ø 42 / 50 mm | 10 000 litres / minute |

Tableau 5.11 : caractéristiques du compresseur pour la pose par soufflage

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.

5.3.1.5 POSE DU CABLE PAR FLOTTAGE (EAU)

Cette méthode est identique à celle du soufflage ; seul le médium change, l'eau remplace l'air.

Les performances obtenues grâce à cette technique sont supérieures à celles du soufflage.

| Dimensions du fourreau | Longueur posée avec un seul appareil |
|------------------------|--------------------------------------|
| Ø 41 / 50 mm | 11 000 m |
| Ø 33 / 40 mm | 10 000 m |
| Ø 27 / 33 mm | 6 000 m |

Tableau 5.12: distance de pose par flottage pour un câble de 11mm de diamètre

La quantité d'eau nécessaire est définie suivant un tableau en fonction du diamètre intérieur du fourreau et le diamètre extérieur du câble. L'approvisionnement en eau s'effectue de diverses façons : citerne plastique en location, bâche type « poche à eau » pliable posée au sol, citerne sur véhicule, rivière, canal, étang, etc.

A titre d'exemple : dans un tube PeHD Ø 27 / 33 mm, la quantité d'eau nécessaire pour la pose d'un câble sur 4 800 mètres est de 2 500 litres environ.

Cette technique permet également la pose de câble énergie HT et HTB sur des longueurs de 3 000 mètres.

Les appareils de pose sont les mêmes à l'exception de quelques accessoires supplémentaires et une pompe à eau à débit variable qui se substitue au compresseur d'air.

5.3.1.5.1 Avantages de la méthode

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

Elle ne génère par ailleurs pas d'échauffement exagéré dû au compresseur.

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

5.3.1.5.2 Inconvénients de la méthode

Il est nécessaire d'amener l'eau (environ 0,5-1,5 litres par mètre courant de gaine).

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.

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

5.3.1.6 POSE DES MICRO-CABLES PAR SOUFFLAGE A L'AIR DANS LES MICRO-TUBES

Le soufflage de micro-câbles doit être effectué avec des appareils adaptés présentant toute sécurité pour le câble et avec un affichage des paramètres nécessaires pendant la pose.

On distingue principalement deux familles de micro-câbles :

- les **micro-câbles** de diamètre extérieur de 0,8 à 3 mm,
- les **mini-câbles** de diamètre extérieur de 3 à 8 mm.

Dans le cas de la pose de micro-câbles, l'appareil de soufflage doit être équipé d'un limiteur de couple de haute précision.

Pour les mini-câbles de diamètre 3 à 6 mm, l'appareil de soufflage doit pouvoir transmettre une force de poussée de 100 N avec un moteur électrique ou une force de poussée de 180 N avec un moteur pneumatique.

Pour la pose de mini-câbles de diamètre 5 à 8 mm dans des réseaux longues distances, tels que le long des voies ferrées, autoroutes ou autres, l'appareil doit permettre une force de poussée maximum de 300N. Cette poussée est réalisée par deux courroies assurant une meilleure transmission sur le câble.

Le câblage des derniers mètres, pour une distance de l'ordre de 100m, requiert une nouvelle génération d'appareil de pose, d'un coût plus adapté. Cet appareil fonctionne en mode pousseur ou en soufflage à l'air ou en soufflage avec furet étanche en tête de câble. Il doit être capable d'installer sans difficulté des micro-câbles ou des mini-câbles de diamètre allant jusqu'à 5 mm.

La pose à l'air dans les micro-tubes nécessite des pressions d'air maximum de 15 bars.

Les longueurs de pose dépendent de différents composants :

- micro-tubes en PeHD rainuré à l'intérieur avec paroi interne présentant un faible coefficient de friction (inférieur à 0,1),
- un micro-câble léger et rigide ayant une gaine extérieure de faible frottement dans le tube (inférieur à 0,1),
- une lubrification à l'intérieur du micro-tube avant la pose avec un lubrifiant spécifique, la quantité et la répartition à l'éponge devront être effectuées suivant une procédure établie,
- une pose avec un compresseur refoulant un air refroidi exempt d'huile,
- utilisation d'un lubrificateur situé en amont est fortement recommandée.

A titre d'exemple, un micro-câble Ø 6 mm peut être porté dans un micro-tube Ø 8 / 10 mm sur une longueur de 2200 mètres.

La qualité des différents composants permet de poser directement le micro-câble dans les tubes par poussée avec l'appareil de pose, sur des longueurs de l'ordre de 100 mètres, sans injection d'air.

Ces longueurs dépendent bien sûr du nombre de courbes et du parcours du micro-tube.

5.4 TEST, RECETTE ET MISE EN SERVICE DE LA COUCHE OPTIQUE PASSIVE

5.4.1 INTRODUCTION

Un réseau FTTH, qu'il soit point à point, PON ou AON, induit le déploiement d'une quantité importante de fibres. Par ailleurs, la réalisation et l'exploitation de ce réseau d'accès est soumis à de très fortes contraintes économiques.

Sachant que les tests de mise en service de la couche réseau sont très fortement liés au support de transmission, c'est-à-dire à la couche optique passive, il est très difficile de dissocier les tests à réaliser à chacune de ces deux étapes.

Dans un cadre idéal, il est nécessaire de valider à la fois les deux tronçons NA-NF et NF-NR lors du déploiement de la couche optique passive, puis le lien NA-PR, voire NA-abonné, lors de la mise en service de la couche réseau. Cette démarche permet, en effet, de maîtriser parfaitement la qualité du réseau et d'établir clairement les limites de responsabilité entre le gestionnaire d'infrastructure et les opérateurs de service qui s'appuieront sur cette infrastructure.

Lorsque les contraintes économiques nécessitent d'alléger les tests de caractérisation du réseau, des aménagements restent possibles quant aux mesures à réaliser. Ces aménagements sous-entendent une bonne complémentarité entre la phase de déploiement du réseau et sa phase de mise en service.

5.4.2 CIBLE DE LA RECETTE

Ce chapitre a pour but d'identifier les tests optiques à effectuer pour qualifier le réseau de desserte d'un réseau d'accès FTTH.

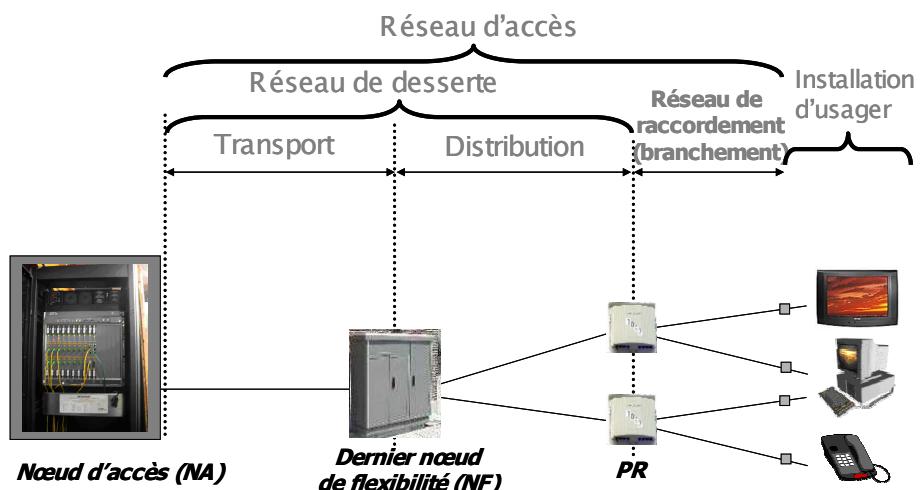


Figure 5.52 : différents segments de l'architecture du réseau d'accès

Le réseau de desserte est mis en place à l'établissement de l'infrastructure et doit être qualifié à ce stade. Le raccordement est mis en place au fil de l'eau à l'occasion du « branchement » des usagers et sera qualifié à ce moment.

Le réseau de desserte est lui-même composé de :

- la partie transport reliant le noeud d'accès au noeud de flexibilité,
- la partie distribution reliant le noeud de flexibilité au point de raccordement (PR).

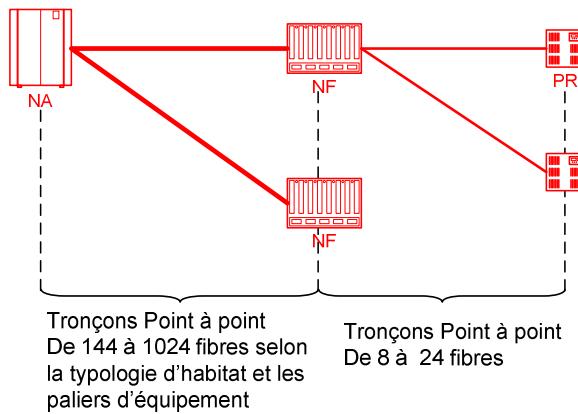


Figure 5.53 : dimensionnement des tronçons sur le réseau de desserte

Les mesures à effectuer sur cette partie du réseau s'apparentent aux mesures traditionnelles sur fibres optiques réalisées sur des tronçons point à point, à savoir réflectométrie et photométrie. Elles diffèrent cependant dans leur réalisation, entre les tronçons NA-NF d'une part et les tronçons NF-PR d'autre part :

- de par la densité des fibres sur chacun des tronçons,
- de par les contraintes de réalisation des tests induites par la localisation et la nature des nœuds PR qui peuvent ne pas être connectorisés.

Le tronçon reliant le NA au(x) NF est commun à tous les abonnés. Le tronçon reliant le NF au PR est commun à un groupe d'abonnés. Ces différents tronçons seront ultérieurement mis à disposition d'opérateurs qui y activeront leur couche réseau.

Compte tenu des frontières de responsabilités entre le gestionnaire de l'infrastructure et les opérateurs de service qui activeront cette infrastructure, il est important d'apporter un soin particulier à sa qualification, dans la limite de faisabilité des tests. En effet, un réseau mal qualifié pourra poser un problème de responsabilité lors du branchement d'abonnés puisque l'installateur risquera alors d'être confronté à des problèmes techniques antérieurs à son intervention.

De la même manière, l'exploitation et la maintenance en sera optimisée et simplifiée, puisque les coupures seront moins nombreuses et les coûts d'intervention réduits.

5.4.3 TYPES DE TESTS A REALISER

5.4.3.1 CAS DU TRONÇON NA-NF

Une fois le câble optique raccordé, l'ensemble de la liaison NA-NF devra être qualifiée par réflectométrie dans les deux sens de transmission et aux deux longueurs d'ondes (1310nm et 1550nm).

La longueur d'onde 1490nm utilisée dans les réseaux PON étant très proche de la deuxième fenêtre à 1550nm, elle ne nécessite pas de validation spécifique.

Ces mesures permettent de déterminer l'affaiblissement total d'un câble ou d'un tronçon : connecteur, fibre, épissure, et de localiser, le cas échéant, la position des défauts.

Toutes ces informations seront intégrées au système de gestion géographique (SIG).

Dans le cas des tronçons de transport mettant en œuvre plusieurs nœuds de flexibilité, afin de minimiser le nombre de tests, il sera possible de constituer la chaîne de liaison complète (pose des jarretières optiques ou épissures au NF) même si par la suite, l'architecture du réseau de transport devait être modifiée.

La réflectométrie permet de qualifier les points suivants :

- la distance totale de la liaison,
- le bilan optique aux deux longueurs d'ondes 1310 et 1550 nm,
- la position, l'affaiblissement et la réflectance de chaque événement (épissure, point de connexion, ...),
- l'atténuation linéique de chaque tronçon de câble,
- l'absence d'impact sur le câble lors de l'installation.

Une mesure réflectométrique, pour être valable, doit se faire dans les 2 sens. En effet, la valeur réelle d'affaiblissement d'un événement est la moyenne des 2 valeurs prises dans chacun des sens de transmission. L'utilisation d'une bobine amorce est aussi recommandée.

Pour bien analyser ces tests, il est important de connaître les caractéristiques de chaque élément :

- l'affaiblissement linéique de la fibre (fiche technique câblier),
- la valeur maximale d'atténuation des épissures, des points de connexion et des connecteurs,
- les deux premiers paramètres serviront au calcul du bilan optique théorique aux deux longueurs d'ondes 1310 et 1550 nm qui tiendra compte de l'affaiblissement linéique de la fibre, de la valeur moyenne des épissures par fusion et des raccordements,
- la valeur maximale de la réflectance.

Les tests permettront de vérifier que les tronçons de câbles ont été posés sans contraintes et que les opérations de raccordement en cassette, de nettoyage et de fusion ont été réalisées suivant les règles de l'art.

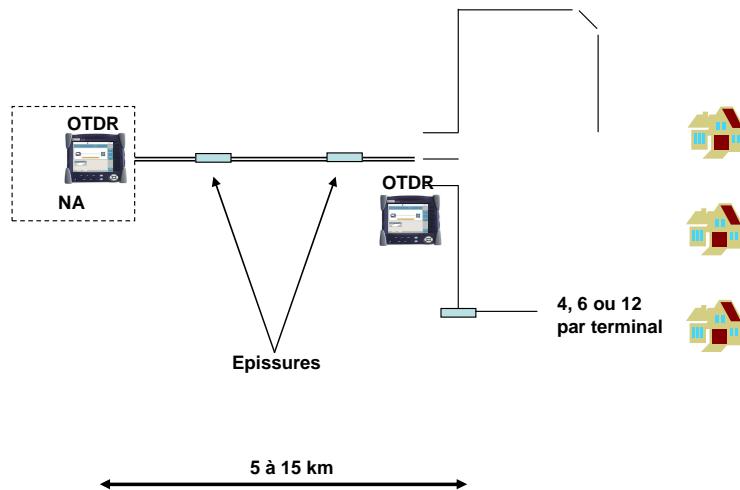


Figure 5.54 : tests OTDR

La mesure de réflectométrie pourra être complétée par une mesure d'insertion. Ce test consiste à injecter, à l'aide d'une source lumineuse, stabilisée et calibrée, une puissance P1 à l'origine du lien et de mesurer le niveau de puissance P2 reçu à l'autre extrémité. L'affaiblissement est mesuré en dB avec un radiomètre calibré, à 1310 nm et 1550 nm voire 1490 nm. Chaque circuit est testé dans les deux sens.

Cette mesure, si elle n'est pas réalisée explicitement, devra être déduite des mesures réflectométriques. Elle constitue une donnée de « caractérisation » de la liaison qui sera fournie aux opérateurs de service et leur permettra de mettre au point l'ingénierie des réseaux utilisant cette liaison.

5.4.3.2 CAS DU TRONÇON NF-PR

Si la nature du nœud PR le permet (présence de connecteurs), le test du tronçon NF-PR peut être réalisé dans les mêmes conditions que le précédent. Dans le cas d'une mise en service d'un groupe d'abonnés sur le même PR, le test pourra porter sur le tronçon NA-PR constitué.

Cependant, en règle générale, il ne sera pas possible de réaliser ces tests comme pour la partie transport. En pratique, la réalisation opérationnelle du test doit tenir compte de la nature du nœud et des contraintes associées, accessibilité, connectorisation, etc. Il ne sera pas possible de réaliser des tests exhaustifs de réflectométrie à partir du PR si celui-ci est constitué d'un boîtier de haut de poteau qui n'est pas connectorisé.

Au stade de l'établissement de l'infrastructure, sans pour autant « qualifier » chacune des fibres du tronçon, la collectivité ou le gestionnaire d'infrastructure doit s'assurer que les travaux ont été correctement réalisés. Pour cela, ils pourront :

- procéder à des tests par échantillonnage et par exemple tester une fibre par tronçon,
- procéder, sur cette fibre de référence, à des tests simplifiés. Par exemple réaliser une réflectométrie dans un seul sens à partir du NF vers le PR, sans bobine de fin de fibre à cette extrémité. La PR n'étant pas connectorisé, le placement d'une bobine de fin de fibre dans ce nœud ne sera pas aisément réalisable. Ce test simplifié permettra :
 - de démontrer qu'aucune contrainte n'existe sur la liaison,
 - de confirmer la longueur du lien,
 - de caractériser la réalisation de la connectique de la fibre de référence côté NF.
- procéder, si possible, à une mesure d'insertion bidirectionnelle. Cette mesure sera réalisée par injection d'un signal optique aux différentes longueurs d'ondes à partir d'une source lumineuse et par mesure du niveau de puissance (dB) reçu à l'extrémité à l'aide d'un photomètre. Cette mesure permettra de déterminer les limites de responsabilité en cas d'échec de la mise en service du réseau lors de la phase suivante,
- procéder à une recette avec réserve, permettant de faire réintervenir le prestataire dans le cadre de la maintenance ultérieure de l'infrastructure, en cas de problème résiduel révélé ultérieurement.

5.5 EXPLOITATION ET MAINTENANCE DU RESEAU D'ACCES

5.5.1 GENERALITES

Les missions d'exploitation et de maintenance des réseaux d'accès à très haut débit sur fibres optiques sont cruciales pour garantir une disponibilité maximum des services aux clients. Pour cela, en complément des autres outils de tests et de diagnostic, la mise en place d'une solution de supervision et de test centralisé (RFTS) associée à une documentation informatisée et détaillée du réseau (SIG) doit être considérée.

Ces différents systèmes assurent une surveillance permanente du réseau en comparant les valeurs mesurées aux valeurs de référence et permettent de diminuer notamment le temps de diagnostic lors d'un dérangement.

5.5.2 ORGANISATION

La mise en place de l'organisation d'exploitation et de maintenance d'un réseau FTTH sera guidée par :

- les contraintes d'optimisation des ressources,
- un objectif prioritaire de qualité et de disponibilité optimum du réseau,
- le paramètre économique associé,
- l'environnement concurrentiel.

La durée de vie d'une infrastructure FTTH devra être au moins équivalente aux infrastructures cuivre existantes. Pour assurer cette longévité il faudra :

- veiller à l'ingénierie,
- organiser et suivre la mise en œuvre,
- développer l'exploitation et la maintenance de niveau 1.

Pour assurer une exploitation et une maintenance de qualité, il est impératif de mettre en place une organisation structurée. Certaines tâches sont généralement réalisées par le gestionnaire d'infrastructure, d'autres pourront être sous-traitées, en particulier la maintenance de niveau 1.

La proximité entre l'exploitation et la maintenance, qui peut être parfois consécutive à la qualité de la construction et de l'exploitation, peut amener à regrouper les deux activités au sein d'une même entité. Les principales fonctions sont énumérées ci-après.

5.5.2.1 EXPLOITATION

La fonction exploitation est une tâche qui va regrouper plusieurs activités :

- l'étude des routes et chemins optiques,
- l'élaboration des dossiers techniques,
- le raccordement des équipements,
- la réalisation de mesures et cahier de recette,
- l'élaboration des procédures d'exploitation,
- le suivi et de mise à jour de la documentation,
- l'administration de la base de données du SIG,
- l'évolution du logiciel SIG.

5.5.2.2 MAINTENANCE

La fonction maintenance va s'appuyer sur les règles d'exploitation définies au préalable qui prennent en compte :

- des méthodes et procédures de maintenance, avec le maintien en condition opérationnel (MCO) grâce à la maintenance curative et préventive,
- une centralisation des dérangements sur un même site,
- un suivi des tickets d'incident par rapport au contrat souscrit et aux contraintes de qualité de service,
- un suivi et une mise à jour de la documentation,
- la planification des travaux programmés (préventif).

5.5.3 LES MISSIONS D'EXPLOITATION

5.5.3.1 LA FOURNITURE DE CIRCUITS

La fourniture de circuits est une des premières missions de l'exploitation. Elle comprend :

- la création d'un circuit optique pour la mise à disposition d'un nouveau lien ou le raccordement d'un nouvel abonné (P2P),
- la mise en place de coupleurs pour le compte d'un opérateur de transport PON et la création de circuits point à multipoints associée,
- la modification et la suppression de circuits optiques.

La réalisation de cette tâche est généralement confiée à un prestataire externe et nécessite un contrôle et une coordination. Elle se décompose de la manière suivante :

- l'étude du routage, avec ses interconnexions, et du bilan optique (en cohérence avec les règles d'ingénierie). Celui-ci pourra se faire à partir d'un système de gestion et de documentation du réseau,
- la mise en place des accessoires de raccordement avec connexion des fibres,
- l'établissement du cahier de recette qui sera la base contractuelle avec le client.

5.5.3.2 LES CALCULS DE BILANS

Le bilan optique sera calculé aux deux ou trois longueurs d'onde (1310 et 1550 nm voire 1490 nm). Il devra tenir compte des valeurs d'affaiblissement de chacun des composants constitutifs du circuit et prévoir les pertes d'insertion dues aux coupleurs (splitters) qui seront mis en œuvre sur le circuit :

| Composant | Valeur moyenne d'affaiblissement |
|--|--|
| épissure soudée | 0,1 dB |
| épissure mécanique | 0,2 dB |
| Connecteur | 0,5 dB |
| fibre optique | 0,37 dB/km à 1310 nm et 0,20 dB/km à 1550 nm |
| Pour les coupleurs, à défaut de disposer des spécifications constructeurs, on utilisera les valeurs moyennes suivantes dans le calcul du bilan optique | |
| coupleur 1/4 | 7 dB |
| coupleur 1/8 | 10 dB |

Tableau 5.13 : valeur moyenne d'affaiblissement des différents composants d'un circuit optique

Compte tenu de la perte d'insertion liée aux splitters, le calcul du bilan optique est très important à affiner.

5.5.3.3 LES MESURES DE CIRCUITS

En général effectuées par un prestataire, elles se déclinent en 2 types de mesures :

- mesure de rétrodiffusion faite avec un réflectomètre optique (OTDR) dans les deux sens de transmission,
- mesure d'insertion bidirectionnelle.

5.5.4 LES MISSIONS DE MAINTENANCE

5.5.4.1 LA MAINTENANCE PREVENTIVE

La maintenance préventive a pour but d'anticiper d'éventuelles dégradations du réseau. Cette opération peut se faire soit au travers de contrôles visuels réguliers des éléments du réseau, effectués au titre des missions d'exploitation, soit de manière automatique, à partir d'un système de supervision qui analyse en temps réel et en permanence les variations dans le temps.

Des seuils d'alarmes pourront aussi être définis, pour permettre une meilleure programmation des opérations de maintenance ou rénovation du réseau.

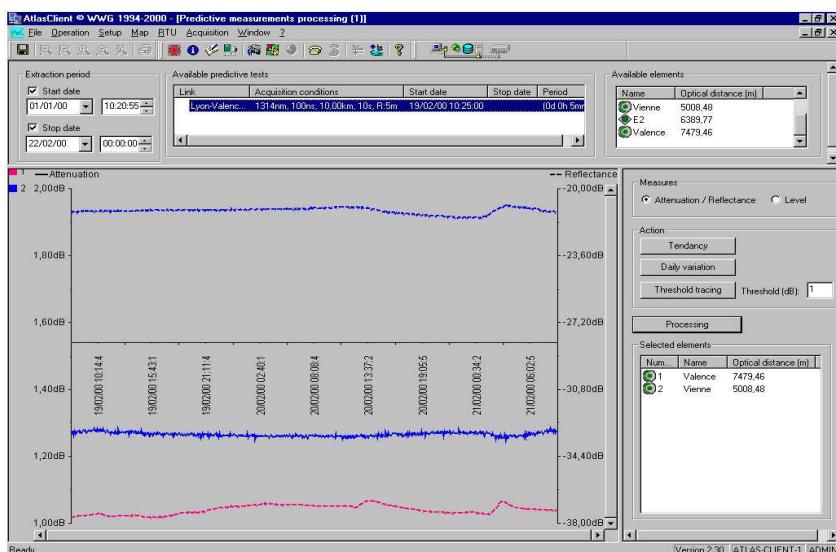


Figure 5.55 : surveillance dans le temps atténuation et réflectance

5.5.4.2 LA MAINTENANCE CURATIVE

Dès la détection d'un incident, que ce soit à partir des équipements, d'un système de supervision ou à l'issue d'un appel client, un processus de traçabilité doit être mis en place pour un bon suivi du service client :

- ouverture d'un ticket d'incident,
- analyse du défaut,
- intervention sur site,
- remise en état et validation,
- clôture du ticket d'incident.

Toute cette procédure est généralement liée à des contrats de services garantissant une disponibilité maximum, avec des garanties de temps d'intervention (GTI) et ou des garanties de temps de rétablissement (GTR).

L'efficacité de la maintenance curative est liée d'une part à une définition précise des procédures de maintenance et d'autre part à la disponibilité de ressources compétentes et d'outils d'analyse et de supervision adaptés et calibrés.

5.5.4.3 LES TRAVAUX PROGRAMMES

Dans le cadre d'opérations programmées sur le réseau ou liées à la maintenance préventive, le Gestionnaire devra informer les clients par courrier, suivant les modalités définies par contrat. A la fin de l'intervention, un cahier de recette comprenant les tableaux de mesures et les courbes sera transmis au client.

5.5.5 LA DOCUMENTATION ET LES OUTILS D'EXPLOITATION

5.5.5.1 DOCUMENTATION

La qualité de service d'un réseau dépend en grande partie de la qualité de sa documentation et d'un accès rapide à l'information. Elle s'articule autour d'un système de gestion informatisé (SIG) et d'une base papier, nécessaire pour les interventions sur le terrain lorsqu'il n'est pas possible d'accéder au système de gestion ou pour gérer certaines données disponibles uniquement au format papier (plans). En complément, des procédures sont nécessaires :

- **procédure de signalement d'un incident** : cette procédure précise les différentes étapes de suivi de l'incident (ouverture du ticket d'incident, rapport de diagnostic, méthode d'intervention, de contrôle avec le client ainsi que la clôture du ticket d'incident). Elle indique les informations essentielles fournies par le client pour que l'intervention soit lancée et se déroule dans les meilleures conditions (référence, caractéristiques.....). Elle précise les moyens mis en œuvre et les procédures d'escalade,
- **procédure d'accès aux sites** : c'est un document établi sous la forme d'un mail ou d'un fax qui précise les contacts et les numéros de téléphone et les moyens d'accès,
- **procédure de test.**

5.5.5.2 SYSTEME DE GESTION

Le système de gestion est l'élément fédérateur d'une bonne organisation de l'exploitation et de la maintenance. Il doit être opérationnel dès le début du déploiement de l'infrastructure et même, si possible, en amont du déploiement.

Le système de gestion permet de normaliser et hiérarchiser le réseau, de répondre instantanément à une demande ou question d'un technicien ou d'un client, de s'engager sur des critères techniques de qualité. Il permet de favoriser la circulation de l'information entre les différentes équipes (commerciales, juridiques, techniques du gestionnaire du réseau), les installateurs et sous-traitants. La généralisation du Web favorisera la circulation de l'information. En permettant de répondre aux engagements pris, et en permettant de prendre en compte les contraintes des clients, il consolide l'image de la société.

Le coût d'investissement est modéré par rapport au service rendu. La plate-forme matérielle/logicielle et l'intégration des données représentent quelques % du coût de l'infrastructure. Le système de gestion doit être ouvert, évolutif en limitant au maximum les développements spécifiques afin de limiter les coûts d'exploitation à venir. Il doit être simple et convivial pour obtenir l'adhésion du personnel. Il doit offrir une haute disponibilité (performances, sécurité, fiabilité).

Plus précisément, le système de gestion doit permettre :

- la visualisation des différents niveaux de localisation (ville, routes ...),
- la visualisation de l'infrastructure du réseau (fourreaux, chambres de tirage, locaux techniques, baies de connexion, têtes optiques, câbles, circuits optiques),
- la gestion de l'environnement (calpinage faux plancher, distribution alimentation, climatisation...),
- la visualisation de la saturation des liens (taux d'occupation),
- le calcul de la disponibilité des ressources,
- le calcul des routages en fonction du niveau de sécurisation recherchée,
- le calcul de l'affaiblissement d'un circuit optique,
- la gestion des circuits optiques, des contrats et des clients,
- la gestion des états (circuit En service/Hors Service, élément défectueux),
- l'inventaire patrimonial (locaux techniques, câbles, baies de brassage, tiroirs de répartition, jarretières....),
- la production d'informations de synthèse sur l'état du réseau (tableaux de bord et statistiques),
- la gestion des historiques,
- la gestion des évolutions (base de données étude).

L'installation et la recette du réseau optique produisent de nombreux documents : courbes OTDR, dessins, tableaux de mesures, schéma d'épissures, etc. Ces informations, disponibles sous différents formats électroniques ou sous forme papier, sont souvent classées puis oubliées.

Lors des modifications ou des évolutions du réseau, cette documentation disparate est rarement mise à jour car elle n'est pas facile d'accès. Après quelques années de fonctionnement, il devient très difficile d'avoir une documentation qui reflète fidèlement l'état actuel du réseau. Il est alors nécessaire de compter sur la mémoire des différents intervenants. Ce manque de mise à jour de la documentation pénalisera l'exploitation et la maintenance du réseau.

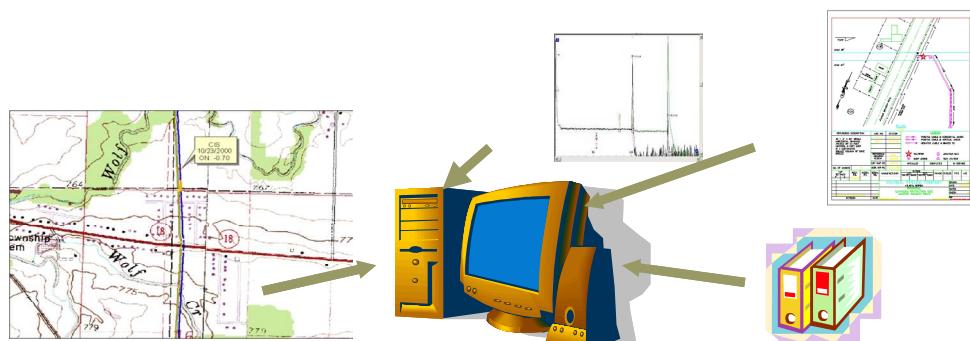


Figure 5.56 : système global de gestion

Pour répondre à ces impératifs, les logiciels de documentation de réseau utilisent, en les associant, des bases de données relationnelles et des systèmes d'information géographique (SIG). Une caractéristique essentielle à ce niveau est de choisir des produits qui soient ouverts, évolutifs et correspondent aux standards de l'industrie.

Une application de gestion de documentation de réseau doit pouvoir communiquer avec d'autres applications comme, par exemple, des systèmes de surveillance (RFTS).

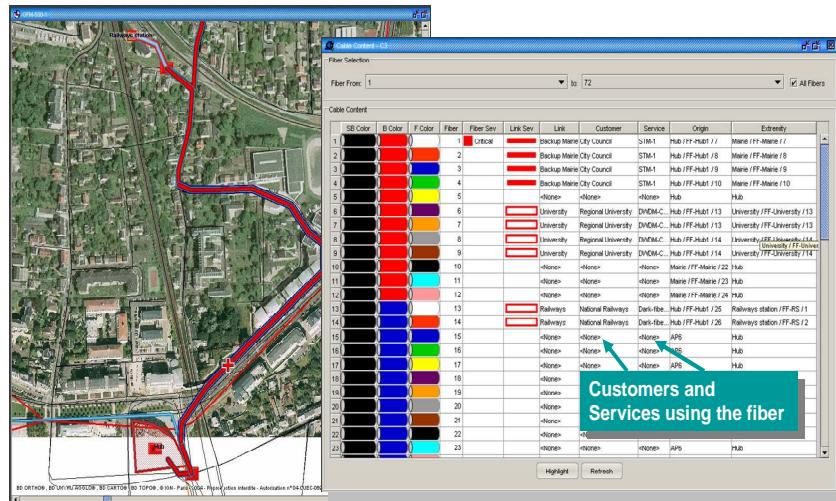


Figure 5.57 : cartographie

5.5.5.3 LA BASE DE DONNEES DOCUMENTAIRE

Un réseau « virtuel » est construit avec le logiciel de documentation. Il simule chaque élément du réseau tel que : les liaisons, les épissures, les bâtiments, les équipements, les baies de brassages, etc.

La quantité d'information pour chacun de ces éléments dépend du niveau de détail souhaité. Il faut évidemment garder en mémoire qu'un niveau de détail élevé nécessitera un effort plus important pour collecter les informations.

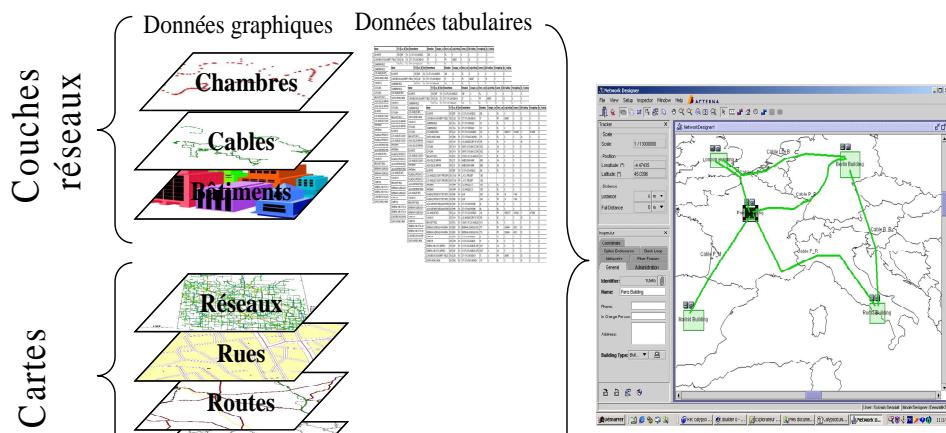


Figure 5.58 : gestion de l'infrastructure

Ci dessous figurent les différentes catégories d'information qui doivent être gérées par un logiciel de documentation de réseau :

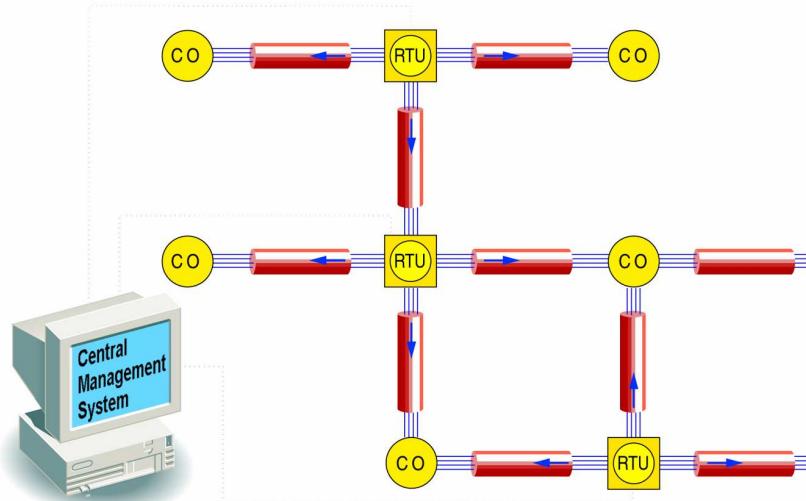
- câble optique : nombre de fibres, code couleur, type de câble (fournisseur et modèle), caractéristiques constructeur des fibres (affaiblissement, dispersion chromatique, dispersion de mode de polarisation, coefficient de rétrodiffusion). Installation : date, société, touret utilisé : numéro, longueurs optique et physique, affaiblissement, date et responsable du test, fourreaux,
- point d'accès au réseau : adresse, type, placement : aérien, enterré, marquage, longueur de lovage de câble,

- épissures : type (fabricant, modèle, taille, capacité, ports). Installation : date, société, détail des connexions avec l'indication des ports utilisés, longueur de lovage de câble,
- bâtiments : adresse, nom
- baie de brassage : le bâtiment où elles sont situées avec l'étage et le numéro du local, type (fabricant, modèle, taille, capacité, ports). Installation : date, société. Connexions : quels sont les câbles connectés et à usage des ports de sortie (SDH, IP, DWDM), jarretière, longueur de lovage de câble,
- information sur les clients : nom, contact, liste des liaisons louées et/ou des services,
- liaisons : mesures associées : courbes de réflectomètre, affaiblissement, ORL, propriétaire / client,
- documents : dessins CAD, photos, contrats.

5.5.5.4 LES OUTILS DE SURVEILLANCE ET D'AIDE A L'EXPLOITATION

Les systèmes de surveillance de câbles optiques deviennent les outils incontournables de la maîtrise du réseau optique et d'aide à l'exploitation.

La topologie d'un réseau de fibre optique dans le réseau d'accès est plus complexe que dans le cas des réseaux longues distances. Dans ce cadre, la localisation d'un défaut est beaucoup plus complexe, d'autant plus que les techniciens du réseau d'accès ont à faire face à des technologies différentes qui nécessitent des compétences variées.



Les principaux avantages d'un système de surveillance de câbles optiques sont repris ci-dessous :

- diminution du temps de rétablissement,
- détection des dégradations avant que le service soit affecté,
- détection des intrusions,
- démarcation entre les différents intervenants,
- attraction de nouveaux clients.

6 CONCEPTION ET MISE EN PLACE DE LA COUCHE RESEAU

La couche « réseau » désigne, dans cet ouvrage, la combinaison de tous les éléments actifs qui s'appuient sur le couche optique passive pour transporter les services jusqu'aux équipements des usagers.

6.1 INGENIERIE ET DIMENSIONNEMENT DE LA COUCHE RESEAU

L'ingénierie système doit tout d'abord permettre de positionner les nœuds principaux du réseau d'accès, notamment :

- les NA qui assurent l'interface avec les réseaux de collecte et hébergent les matériels actifs de transmission sur le réseau de desserte,
- les nœuds de flexibilité (NF) qui reçoivent des matériels passifs ou actifs selon le type de système considéré ; cette seconde hypothèse s'applique aux systèmes à double étoile active (AON = Active Optical Network).

L'optimisation de l'architecture système conduit à trouver le meilleur compromis technico-économique entre les éléments suivants :

- les nœuds de flexibilité :
 - ils doivent desservir un nombre suffisant de prises pour bénéficier d'une souplesse réelle dans le brassage des fibres,
 - ils ne doivent pas desservir des zones trop étendues, de façon à limiter les longueurs de fibres, puisque cette partie du réseau est toujours une étoile.
- la localisation des NA est liée aux paramètres suivants :
 - l'interconnexion avec les réseaux de collecte,
 - les performances des liaisons en terme de bilan optique, ce qui se traduit par une distance typique entre un NA et les terminaisons qu'il dessert,
 - le nombre de fibres optiques qui doivent être regroupées et brassées dans le même local.

Deux stratégies peuvent être considérées :

- d'un coté, on peut chercher à réduire le nombre de NA, notamment en raison de la difficulté à trouver les emplacements pour positionner ces locaux, surtout en zone urbaine ; néanmoins, cette approche atteint ses limites dès que la zone à desservir conduit à des longueurs de liaisons non compatibles avec les choix système,
- au contraire, on peut chercher à réduire la taille des zones d'action des NA, ce qui réduit le coût de construction du réseau de desserte; néanmoins, cela conduit d'une part à augmenter leur nombre et d'autre part à reporter les problèmes sur le réseau de collecte qui deviendra ainsi plus coûteux.

L'ingénierie de déploiement du réseau passif doit permettre de faciliter le phasage de mise en place des équipements puisque tous les logements/entreprises ne demanderont pas à être raccordés en même temps.

Elle doit garantir la neutralité du réseau vis-à-vis du choix des opérateurs.

6.2 TECHNOLOGIES ET COMPOSANTS DE LA COUCHE RESEAU

6.2.1 LES APPLICATIONS RESEAUX ETHERNET POINT A POINT

L'ensemble des normes IEEE a permis d'étendre largement le champ d'application de l'Ethernet par rapport aux normes historiques comme FDDI. Pour l'utilisation sur fibres optiques, les normes se déclinent en plusieurs versions selon le type de fibre, la longueur d'onde et le débit :

- 10Base-F : 10 Mbit/s sur fibre multimode à 850 nm (budget optique : 12 dB),
- 100Base-FX (« Fast Ethernet » 802.3u) :
 - 100 Mbit/s sur fibre multimode à 1310 nm (budget optique : 11 dB),
 - on trouve également de nombreuses solutions propriétaires permettant d'atteindre 20, 40 et 60 km.
- 1000Base-X (« Gigabit Ethernet » 802.3z) :
 - 1000Base-SX : 1 Gbit/s sur fibre multimode à 850 nm (budget optique : 7,5 dB),
 - 1000Base-LX : 1 Gbit/s sur fibre multimode ou monomode à 1310 nm (budget optique : 10,5 dB),
 - certains constructeurs ont également créé d'autres interfaces permettant d'atteindre plusieurs dizaines de kilomètres, notamment 1000Base-LH (Long Haul) et 1000Base-ZX (Extended distance).
- 10GBase-LR (802.3ae) : 10 Gbit/s sur 10 km à 1310 nm sur fibre monomode,
- les standards 100Base-BX et 1000Base-BX respectivement à 100 Mbit/s et 1 Gbit/s qui permettent le transport Ethernet sur une seule fibre. Ce transport est réalisé par l'utilisation en émission et réception de deux longueurs d'onde différentes 1310nm et 1550 nm. Ces interfaces sont utilisées notamment en « Ethernet métro », pour le FTTH.

Schéma d'une chaîne de liaison type

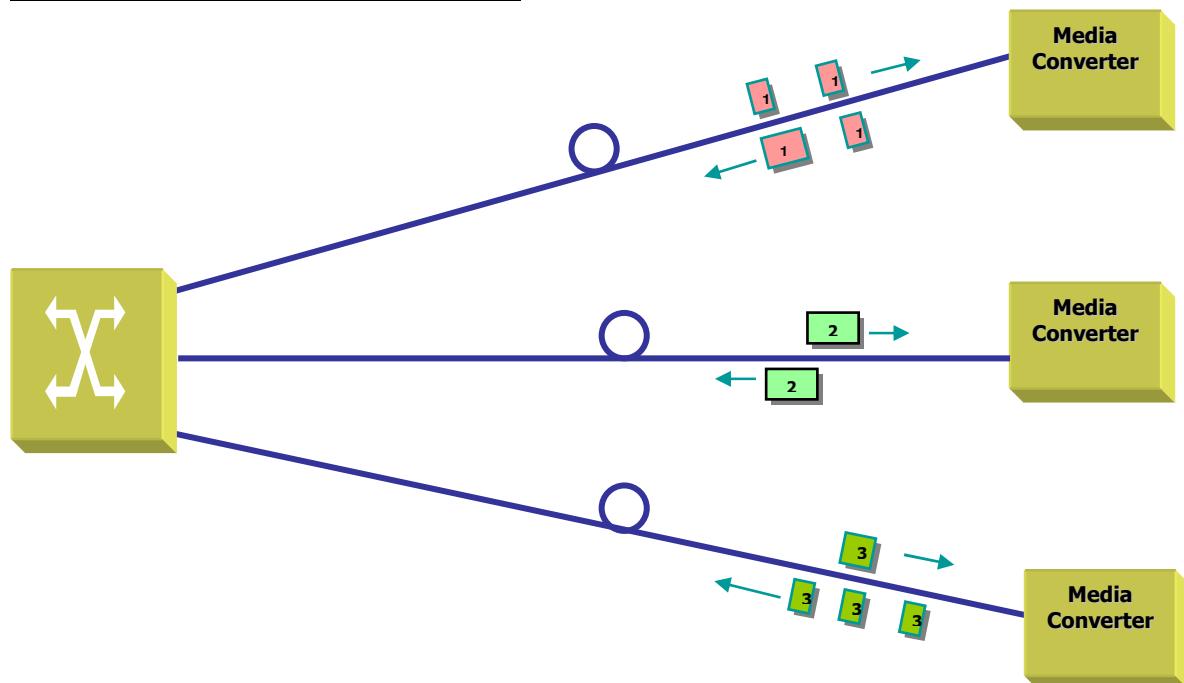


Figure 6.1 : schéma d'une chaîne de liaison Ethernet point à point

Cette architecture de transmission point à point est la topologie de réseau la plus simple puisqu'à chaque raccordement d'abonné correspond une connexion distincte, sur un équipement actif situé au NA.

Le transport de l'information s'appuie sur le protocole Ethernet et les équipements d'extrémité sont le plus souvent du type Fast Ethernet (100Mbits/s) ; afin de passer à des débits supérieurs (1 Gbit/s par exemple), ces équipements doivent être changés, mais le support reste le même. En effet, la simplicité de l'architecture autorise une personnalisation simple et complète des débits et services apportés à chaque abonné, qui dispose d'un support d'accès non partagé jusqu'au NA.

6.2.2 LES RESEAUX ETHERNET A DOUBLE ETOILE ACTIVE (AON)

Ces systèmes sont fondés sur les mêmes principes que les systèmes « point à point » Ethernet décrits précédemment. Néanmoins, ils combinent les liaisons en deux niveaux de cascade. Des équipements actifs sont placés entre ces deux niveaux afin d'assurer le routage et la conversion optoélectronique des signaux, ce qui justifie le terme générique de double étoile active (AON = Active Optical Network). Ces équipements sont situés dans le nœud de flexibilité décrit précédemment.

Les débits des liaisons amont (entre le NA et le nœud de flexibilité) sont évidemment toujours supérieurs aux débits des liaisons aval (entre le nœud de flexibilité et les terminaisons optoélectroniques).

Schéma d'une chaîne de liaison type

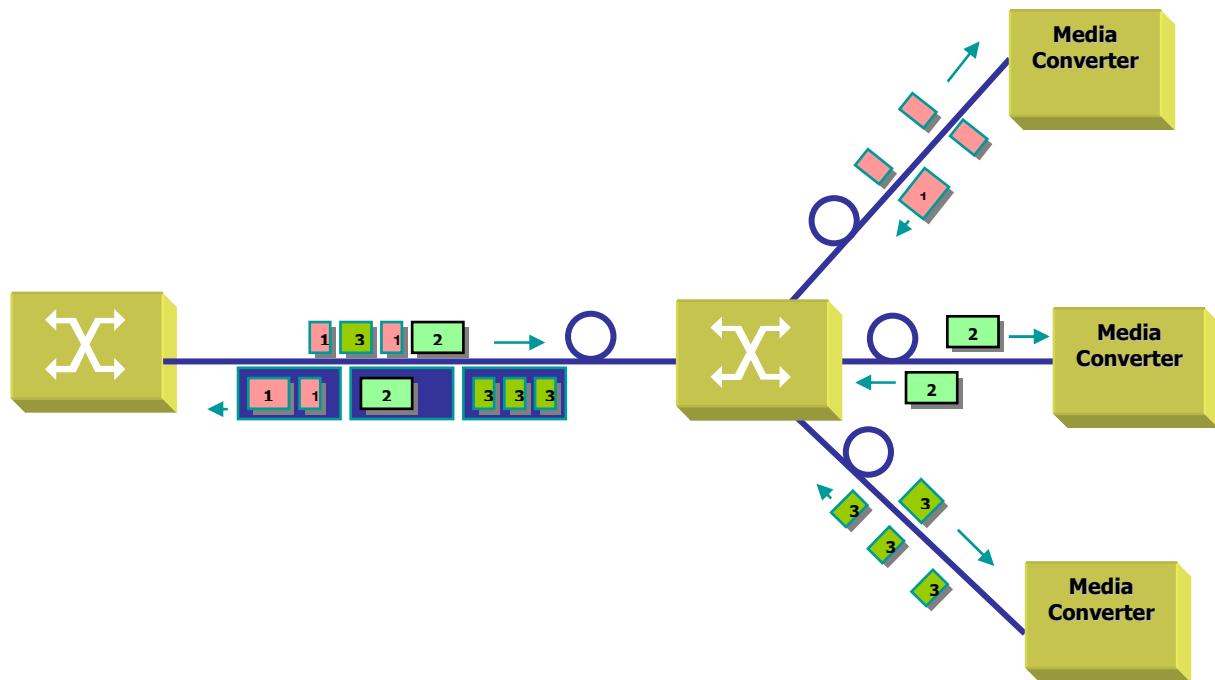


Figure 6.2 : schéma d'une chaîne de liaison Ethernet AON

C'est pour réduire le foisonnement de fibres au NA qu'a été conçue la solution dite en double étoile active ; elle décharge le NA en installant en aval un deuxième équipement actif. Cet équipement pourra être installé dans une armoire de rue.

6.2.3 LES RESEAUX x-PON

Par rapport aux architectures point à point, les architectures point à multipoint (PON) présentent l'avantage de partager certains équipements entre plusieurs abonnés, réduisant d'autant le coût de construction initial ; de plus, les conditions d'exploitation/maintenance s'en trouvent améliorées, réduisant ainsi les coûts de fonctionnement.

Depuis plusieurs années, plusieurs versions de PON se sont succédées, liées à l'évolution des technologies et à l'origine des promoteurs :

- les systèmes précurseurs des années 90 sont fondés sur du multiplexage fréquentiel,
- la norme B-PON (FSAN de l'ITU-T), promue par le monde des télécommunications, est fondée sur le protocole ATM,
- en revanche, la norme E-PON découle de l'environnement Ethernet,
- la récente norme G-PON (ITU G.894.1-4) tend à concilier les deux approches.

Les normes relatives aux systèmes PON définissent des paramètres génériques de conception système :

- les débits en voie descendante et remontante :
 - jusqu'à 2,488 Gbit/s symétriques pour le G-PON. Néanmoins, les déploiements réels se limitent souvent à 1,244 Gbit/s en voie remontante.
 - 1 Gbit/s symétrique pour l'E-PON.
- le taux maximum de couplage optique (nombre de terminaisons sur un même PON) :
 - les normes G-PON et E-PON permettent un taux de 1:64 ; les déploiements actuels s'effectuent majoritairement avec un taux ne dépassant pas 1:32.
- les longueurs d'onde sont spécifiées comme suit : 1490 nm en voie descendante et 1310 nm en voie remontante,
- la mise en œuvre du multiplexage en longueur d'ondes pour démultiplier la capacité des fibres est autorisée, mais les constructeurs ne sont pas encore prêts à ce jour,
- une longueur d'onde supplémentaire (à 1550 nm) en voie descendante est réservée à l'introduction éventuelle d'un système RF en overlay.

Le débat entre les différentes sortes de PON demeure très ouvert, d'autant plus que d'autres normes prometteuses sont en cours de discussion (PON-DWDM, qui permet notamment la mise en place d'une architecture de desserte logique point-à-point sur une infrastructure physique multipoint, PON à 10 Gbit/s) ce qui confirme que le taux de rentabilité des équipements doit être calculé sur une période courte (environ 5 ans).

Schéma d'une chaîne de liaison type

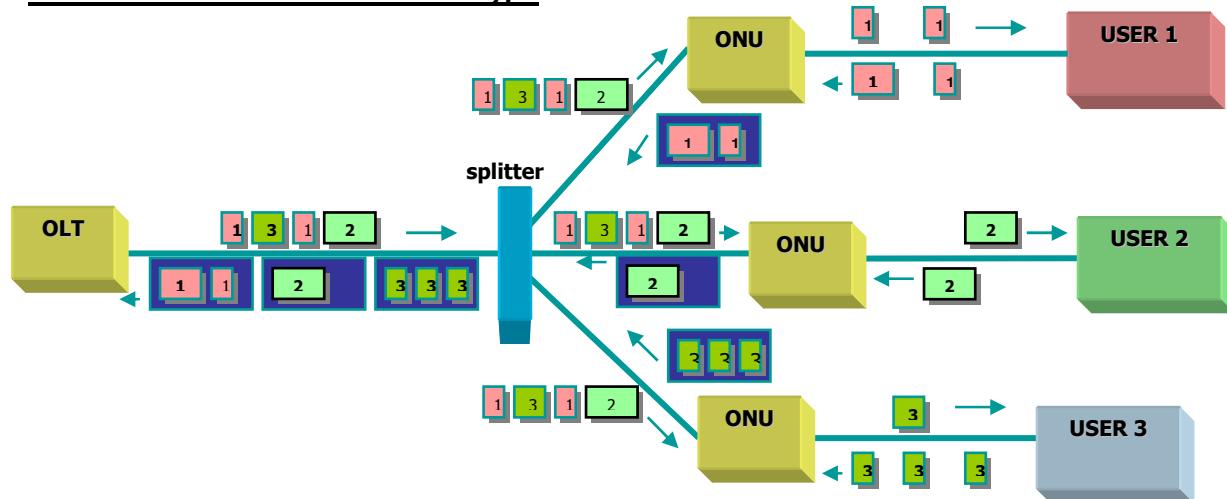


Figure 6.3 : schéma d'une chaîne de liaison PON

Au plan fonctionnel, un réseau PON s'apparente beaucoup à un réseau AON, puisque la bande passante est partagée entre les différents utilisateurs. Il en diffère cependant par le fait que le commutateur Ethernet actif est remplacé par un coupleur optique passif. Cependant, contrairement aux réseaux point à point et AON, le PON procède à une première agrégation des données sous forme optique au lieu de la faire uniquement sous forme électronique. Ceci permet de réduire le nombre de fibres et la consommation électrique au niveau du NA.

Un réseau PON comporte un nœud de distribution central, sur lequel sont connectées des sources multiples de services (vidéo, Internet et téléphonie classique). Ce nœud, localisé au NA, est lui même interconnecté, via la fibre optique, aux utilisateurs finals.

Le PON est constitué de trois composants : l'OLT « Optical Line Terminal » ou « Terminaison de Ligne Optique », des « splitters » ou coupleurs/découpleurs optiques, des ONT (ONU) « Optical Network Terminaison » (« Optical Network Unit ») ou « Terminaison de Réseau Optique ».

Du NA vers l'abonné, la transmission sera dite large bande puisque l'information sera envoyée à tous les abonnés. Afin d'assurer la confidentialité de l'information, les données sont isolées par un cryptage spécifique à chaque ONT. Dans le sens remontant, la bande passante est partagée entre les utilisateurs grâce à un multiplexage temporel; chaque ONT émet un signal à tour de rôle. Pour 1Gbit/s disponible entre 32 utilisateurs, chacun a accès au minimum à 34 Mbit/s en continu et le débit instantané peut être configuré à 1Gbit/s. Le cryptage peut induire, cependant, une réduction de la bande passante efficace qui doit être considérée dans le cas des applications de type IPTV.

Le PON utilise principalement deux longueurs d'ondes, une dans chaque sens : 1490nm dans le sens descendant, 1310nm dans le sens montant. Ces deux longueurs d'ondes sont utilisées pour un service de transport de données (data, VoIP, VideoIP). Dans le cas d'un service de vidéo RF, une troisième longueur d'onde à 1550nm est utilisée pour transporter le signal.

6.2.4 LES COMPOSANTS DES RESEAUX FTTH

Les trois types de réseaux FTTH considérés comportent deux composants actifs :

- l'OLT « Optical Line Terminal » ou « Terminaison de Ligne Optique », localisé au NA qui sera, dans le cas d'une architecture point à point, un switch ou un routeur,
- l'ONT « Optical Network Terminaison » ou « Terminaison de Réseau Optique » (également appelée ONU « Optical Network Unit » dans le cas d'une terminaison multi utilisateurs dans une architecture FTTB), situé chez l'abonné et qui sera, dans le cas d'une architecture point à point, un simple convertisseur de media.

Dans le cas du point à point, la situation est extrêmement simple puisqu'à chaque port d'OLT correspond un ONT distinct.

Le PON intègre un troisième composant qui est passif : le « splitter » ou coupleur/découpleur, situé au NA et/ou au nœud de flexibilité, qui permet d'effectuer le partage entre les abonnés.

6.2.4.1 L'OLT – OPTICAL LINE TERMINAL

L'OLT est installé dans le NA (Nœud d'Accès). C'est un équipement actif qui transforme le signal électrique venant du réseau de l'opérateur, en signal optique en direction des ONT usagers. Il inclut :

- la gestion du protocole point à multipoint,
- les fonctions d'authentification des ONT et des usagers du PON,

- la gestion de la qualité par l'allocation dynamique de la bande passante disponible (Dynamic Bandwidth Allocation),
- la gestion de la classe de service,
- la gestion du niveau de service (Service Level Agreement),
- la gestion de fonctions de partage actif tel que VLAN,
- la fonction de proxy IGMP dans le cas de diffusion vidéo sur IP en multicast.

Un OLT est généralement un châssis rackable 19 " dans lequel sont insérées des cartes d'interfaces permettant de connecter, d'une part le réseau cœur de l'opérateur côté amont, d'autre part le réseau d'accès fibres en direction des abonnés, côté aval. Ce châssis est généralement redondé afin de se prémunir d'éventuelles pannes électriques.



Figure 6.4 : exemple d'OLT industriel

Il permet généralement d'intégrer des cartes d'accès qui peuvent être insérées au fur et à mesure des besoins. Chacune d'entre elles permet de connecter une ou plusieurs grappes d'utilisateurs (point à point ou PON), à partir d'un débit de 1 ou 2 Gbit/s selon la technologie.

Une carte contrôleur intégrée dans l'équipement permet de configurer les cartes d'interface et de gérer le protocole SNMP qui est utilisé pour interroger ou modifier les paramètres relatifs aux cartes d'interface et aux ONT.

Certains châssis possèdent une fonction de commutation (switch) interne qui permet d'exécuter une première agrégation du débit (pour les châssis existants cette fonction suppose généralement un niveau de contention non nul).

| Nombre de cartes | Nombre de PON par carte | Nombre de Clients par PON | Nombre d'abonnés potentiels |
|------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 16 | 1 | 32 | 512 |
| Longueur | Largeur | Hauteur | Poids |
| 505 mm | 482 mm | 177 mm | 20 Kg |
| Consommation | | | |
| 300 W moyenne | | | |

Tableau 6.1 : caractéristiques type d'un OLT PON industriel

6.2.4.2 LES COUPLEURS (SPECIFIQUES AU PON)

Les coupleurs sont des éléments passifs qui permettent de partager le signal optique vers n ONT dans le sens descendant et d'agrégier n signaux optiques en un seul signal dans le sens montant. n peut varier de 2 à 64 dans un réseau PON. Une configuration classique est d'utiliser deux niveaux de coupleurs 1 vers 4 ou 1 vers 8 ; c'est-à-dire que le signal est divisé deux fois en 4 ou 8 branches.



Figure 6.5 : exemple de coupleurs industriels

Ces coupleurs/splitters sont installés dans le réseau d'accès, au NA ou au niveau des NF.

Deux technologies de coupleurs existent : la technologie fusion étirage et la technologie PLC (« Planar Lighwave Circuit ») :

- fusion étirage : elle repose sur la fusion et l'étirage de deux fibres optiques. Cette technique a l'avantage d'être la moins chère, mais ces coupleurs occupent un volume plus grand que les coupleurs PLC pour des taux de couplages supérieurs à 1 vers 8

et il est difficile d'obtenir une bonne répartition (uniformité) du flux lumineux entre les branches. Cette technologie est utilisée pour les petits facteurs de division (1 vers 2, 1 vers 4, voire 1 vers 8),

- PLC : cette technologie repose sur la création de guides d'ondes par photolithographie (procédé similaire à celui utilisé pour la création de circuit intégrés). Elle permet d'obtenir des composants avec une meilleure uniformité entre les branches et dans un tout petit volume. Elle est utilisée pour des coupleurs à partir de 1 vers 8, 1 vers 16, 1 vers 32 et 1 vers 64.

| Longueur | Largeur | Hauteur |
|----------|---------|---------|
| 50 mm | 4 mm | 4 mm |
| Tmin | Tmax | Split |
| -40°C | + 75°C | 16 |

Tableau 6.2 : caractéristiques type d'un coupleur

6.2.4.3 L'ONT – OPTICAL NETWORK TERMINAISON

L'ONT est l'équipement actif installé chez l'abonné qui permet de transformer le signal optique venant de l'OLT en signal électrique. Une « box » pourra lui être connectée pour la livraison des services triple-play. Il réalise les fonctions relatives à Qualité de Service, en liaison avec l'OLT. Dans le cas où ce boîtier doit servir une fonction vitale (alarme, numéro d'urgence), son alimentation électrique doit être secourue.

Ce boîtier peut posséder :

- un ou plusieurs connecteurs RJ45, une connexion WIFI, une connexion CPL pour le service de données,
- un ou plusieurs connecteurs RJ11 pour le téléphone analogique,
- un connecteur coaxial pour la télévision.

Dans certains cas, ces fonctionnalités sont éclatées entre plusieurs boîtiers :

- ONT délivrant une liaison Ethernet,
- « Home Gateway » ou « Passerelle Résidentielle » fournissant les prises R45, WIFI, CPL et Téléphone,
- « ONT vidéo » assurant la fourniture des vidéos en mode de diffusion large bande au poste de télévision.

Exemple d'un ONT pour réseau PON

| Interfaces | RJ45 données | RJ11 (POTS), voie | RF Vidéo |
|--------------|--------------|-------------------|----------|
| 16 | 5 | 2 | 1 |
| Longueur | Largeur | Hauteur | Poids |
| 139,7 mm | 212,7 mm | 30,15 mm | 780 g |
| Consommation | | | |
| 12 W | | | |



Figure 6.6 : exemple d'ONT industriel

Tableau 6.3 : caractéristiques type d'un ONT PON industriel

6.3 POSITIONNEMENT DES COMPOSANTS DANS L'INFRASTRUCTURE

6.3.1 ARCHITECTURE ET DIMENSIONNEMENT ETHERNET POINT A POINT

Cette architecture est la plus courante en Europe (Scandinavie essentiellement), où la distinction est la plus franche entre opérateurs d'infrastructure et de services.

Simple du point de vue du déploiement et de l'exploitation, elle s'inspire fortement de l'expérience accumulée sur les réseaux locaux (LAN) et s'appuie sur les volumes d'équipements associés pour réduire les coûts. En effet, elle met en œuvre des composants optoélectroniques peu sophistiqués, contrôlés par une électronique nécessitant une couche de gestion minimale.

La seule limitation à cette solution réside dans le dimensionnement du NA et des câbles qui en sortent. En effet, le raccordement unitaire de chaque abonné à l'équipement actif augmente sensiblement la place requise, le nombre de fourreaux et les besoins en refroidissement.

6.3.2 ARCHITECTURE ET DIMENSIONNEMENT ETHERNET EN DOUBLE ETOILE ACTIVE

L'architecture à double étoile active permet de diminuer le nombre de fibres à gérer au NA, grâce à l'agrégation de trafic créée par le lien entre les deux étoiles actives, réalisé dans une classe de débit supérieure au débit d'accès. On peut imaginer, par exemple, que chacun de ces liens de type Gigabit Ethernet, permette de fournir 24 accès symétriques 100Mbit/s. Cette architecture est très souple puisqu'elle permet de construire les différentes branches du réseau en fonction des besoins de chaque zone. Elle demande cependant de gérer un plus grand nombre de sites actifs. On peut envisager de la combiner à la précédente pour doter certains accès clients d'un débit supérieur (par exemple Gigabit Ethernet pour une entreprise), qui sera dans ce cas acheminé directement en point à point depuis la première étoile active.

Dans cette configuration, un facteur important de dimensionnement est la capacité de dissipation thermique du contenant. Ce point peut devenir critique dans le cas d'utilisation d'armoires de rue non réfrigérées.

6.3.3 ARCHITECTURE ET DIMENSIONNEMENT x-PON (*)

Cette architecture présente le même avantage que l'AON en terme de réduction du nombre de fibres tout en ne nécessitant pas d'équipement actif dans le réseau d'accès.

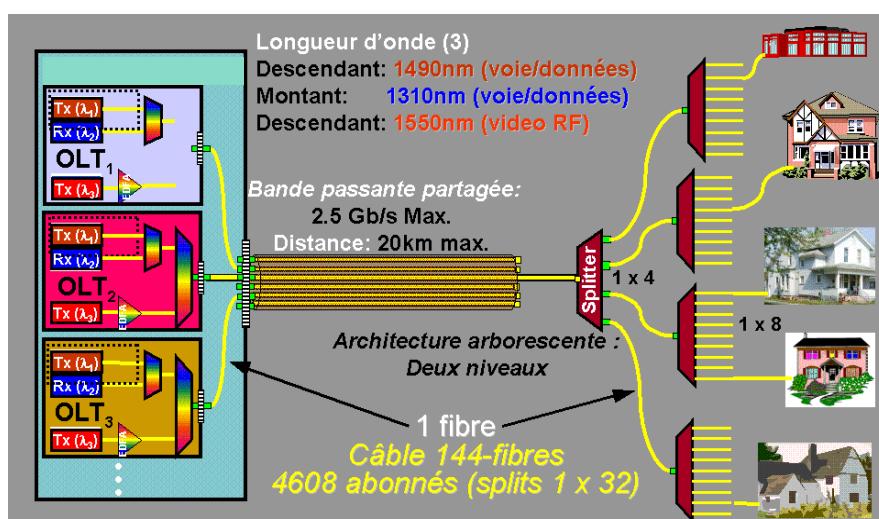


Figure 6.7 : chaîne de liaison type d'une architecture PON

Pour illustrer le gain obtenu entre une architecture point à point et une architecture PON, prenons le cas d'un réseau utilisé simultanément par quatre opérateurs, avec un NA dimensionné pour 1000 abonnés. Le nombre de fibres sur les câbles de la section « Transport » requis dans le cas du point à point est de 1000, soit un groupe de câbles d'une capacité de 1024 Fibres, quand il est de 36 à 40 dans le cas du PON (cas d'un couplage de 32), soit au final un câble de seulement 48 fibres. On obtient donc un résultat permettant de diminuer le nombre de fibres par un facteur 22.

Les détails du calcul dans le cas du PON avec un couplage de 32 sont illustrés dans le tableau suivant, établi dans le cas d'une répartition de 1000 abonnés entre 4 opérateurs :

| | Opérateur A | Opérateur B | Opérateur C | Opérateur D |
|---|--|--------------|-------------|--------------|
| | 400 abonnés | 300 abonnés | 200 abonnés | 100 abonnés |
| Nombre de branches de PON | 400/32=12,5 | 300/32=9,375 | 200/32=6,25 | 100/32=3,125 |
| Majorant nombre de branches | 15 | 11 | 8 | 4 |
| Nombre de fibres dans la partie transport | 38 fibres, étendu à 48 pour garantir une marge d'évolutivité | | | |
| Facteur de gain par rapport au P2P | 1024 / 48 soit environ 22 | | | |

Tableau 6.4 : modélisation des besoins en fibres de transport dans le cas de systèmes PON

(*) l'ensemble des éléments du chapitre 6.3.3 est issu du « Livre Blanc » - Les réseaux PON « Passive Optical Network » - éléments d'appréciation techniques, économiques et réglementaire – 18 Décembre 2006

6.3.4 COMPARAISON DES TECHNOLOGIES

Les données ci-dessous correspondent à des valeurs typiques, obtenues avec les matériels du marché habituellement installés.

| | Point à Point | AON | PON |
|---|---|--|--|
| Distance (kms) | 15 | 15 par segment | 20 |
| Fibre | 1 fibre par abonné de bout en bout | 1 fibre par abonné en partie distribution et raccordement 1 fibre pour n abonnés dans la partie transport | 1 fibre par abonné en partie distribution et raccordement 1 fibre pour n abonnés dans la partie transport |
| Energie | 2 watt / abonné Dissipé au NA | Alimentation dans la partie accès 2 watt / abonné - Dissipé au NF | 0,6 watt / abonné Dissipé au NA |
| Débit garanti | 100Mbit/s ou 1Gbit/s symétriques selon connexion* | 100Mbit/s symétriques * | Jusqu'à 78Mbit/s descendants en split de 32* |
| Débit maximum | 100Mbit/s ou 1Gbit/s symétriques selon connexion* | 100Mbit/s ou 1Gbit/s symétriques selon connexion* | Jusqu'à 2,5Gbit/s en descendant et 1Gbit/s en montant* |
| Dégroupage | Actif et passif au NA | au NA ou au NF | Actif et passif au NF |
| Equipement Actif dans le réseau de desserte | Non | Oui | Non |
| Place occupée | 1U pour 24 à 48 abonnés | Similaire à P2P | 4U pour 512 à 2304 abonnés |

Tableau 6.5 : caractéristiques comparées des systèmes P2P, AON et PON

(*) Ces performances ne seront pas forcément disponibles immédiatement chez l'usager car ils dépendront du taux de contention, de la bande passante disponible chez le fournisseur et de la performance des équipements d'agrégation (switchs/routeurs).

6.4 REGLES ET TECHNIQUES DE MISE EN OEUVRE DE LA COUCHE RESEAU

Si l'architecture Point à Point conduit à des conditions de déploiement simples, dans le cas des systèmes où certains équipements sont partagés (AON et PON), il convient de rechercher les méthodes permettant de minimiser les coûts de premier investissement. On prendra ci-après l'exemple des architectures PON :

- la montée en charge des débits nécessaires sur chaque PON s'étalera sur plusieurs années, permettant ainsi de réaliser une mise en service progressive du système,
- les fibres qui devront être activées pourront être brassées au niveau des points de flexibilité (OLT ou coupleur/splitter) de façon à charger les OLT qui auront été activés initialement avant de mettre en service de nouveaux OLT,
- le positionnement des coupleurs optiques dans le réseau passif est très important :
 - même si les coupleurs optiques peuvent être installés en cascade (par exemple 1:4 suivi de 1:8), il est souhaitable de réduire le nombre de points de flexibilité sur l'ensemble d'un territoire de façon à simplifier la maintenance du réseau ,
 - par la suite, on prendra l'hypothèse qu'un seul niveau de couplage est prévu .
- le cas échéant, ces baies de brassage/couplage peuvent être installées à proximité immédiate des OLT.

La figure 6.8 montre un exemple de dimensionnement pour desservir des ZAE ; pour les deux zones distantes, deux niveaux de couplage optique sont prévus (1:2 puis 1:8) de manière à s'adapter à la topologie, conduisant à l'équivalent d'un couplage 1:16. L'utilisation d'un niveau de couplage moindre permet d'améliorer la portée en optimisant le budget optique.

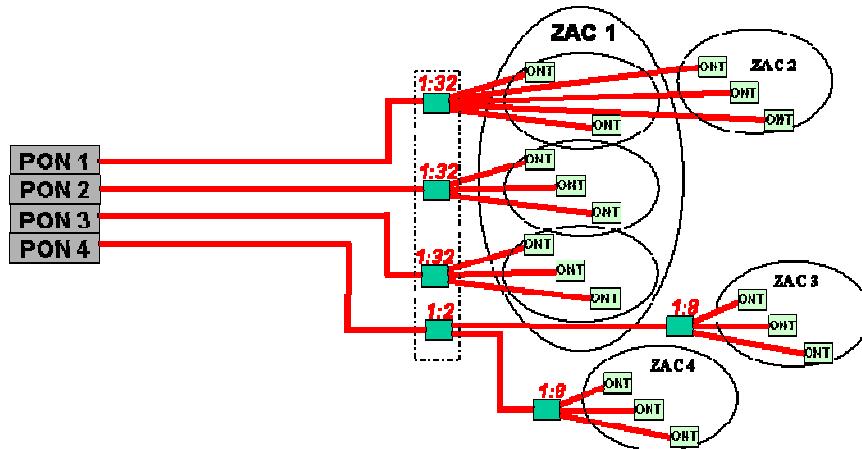


Figure 6.8 : exemple de dimensionnement pour des ZAE distantes

Ce dimensionnement, qui conduit à quantifier le nombre de PON nécessaires pour desservir une zone donnée, découle de l'optimisation autour de 2 paramètres :

- la somme des débits individuels des entreprises ne doit pas dépasser le débit maximum du PON (1 ou 2,5 Gbit/s). Ce paramètre doit également prendre en compte le taux de contention retenu par l'opérateur en fonction de ses critères de garantie de débit,
- le nombre d'entreprises servies par le même OLT ne peut pas dépasser 32 (64 théorique) ; néanmoins, ce taux varie également avec la distance entre la zone à desservir et le NA de rattachement.

Enfin, l'optimisation devra conduire au meilleur compromis entre le nombre de NA de rattachement, qui ne doit pas être trop élevé pour simplifier l'exploitation et la maintenance, et les longueurs moyennes des PON qui influent directement le coût du génie civil.

Le nombre de point de couplage optique en cascade sur un même PON n'est pas nécessairement limité à 1 seul, par exemple dans une armoire en entrée de zone d'activité. Même si ce schéma est recommandé pour optimiser les coûts d'exploitation puisqu'il réduit le nombre de nœuds d'intervention sur un territoire donné, l'expérience de déploiement réel sur le terrain montre, comme sur la figure 6.8, que la desserte de petites zones d'activités distantes peut conduire à introduire deux niveaux de couplage optique.

6.4.1 PRINCIPE D'ACTIVATION PROGRESSIVE

L'ensemble de ces systèmes doit permettre le raccordement des utilisateurs au fur et à mesure de la montée en charge du réseau.

Pour les systèmes point à point, la mise en œuvre est particulièrement simple puisque les équipements optoélectroniques d'extrémité peuvent n'être installés qu'en fonction des besoins de raccordement. Néanmoins, les châssis devant accueillir les modules individuels devront être installés ou prévus dès le premier déploiement du réseau.

Pour les systèmes Ethernet à double étoile active (AON), la mise en place des équipements au niveau du nœud de flexibilité peut être progressive à condition que celui-ci présente des fonctionnalités de brassage et d'affectation des fibres. Les modules optoélectroniques relatifs aux liaisons amont (entre le NA et le nœud de flexibilité) devront être installés dès la mise en service de la zone à desservir alors que ceux relatifs aux liaisons aval (entre le nœud de flexibilité et les terminaisons optoélectroniques) seront installés au fil de l'eau.

Dans le cas d'un PON, la progressivité du raccordement des clients met à profit l'existence d'un nœud de flexibilité qui dessert une zone donnée ; en effet, comme celui-ci héberge plusieurs coupleurs optiques associés à plusieurs PON, on peut réaliser une activation progressive du réseau selon le principe suivant :

- le raccordement des premiers clients s'effectue sur le premier PON par l'intermédiaire de jarretières optiques individuelles entre le répartiteur d'entrée (côté coupleurs) et le répartiteur de sortie (côté ONT),
- dès que le premier PON a atteint la saturation par le débit total ou par le nombre de clients, on poursuit le raccordement en activant le deuxième PON au niveau de l'OLT,
- le même processus s'applique par la suite jusqu'à couverture de la zone.

Cette notion de point de flexibilité dans le réseau d'accès est tout à fait primordiale pour faciliter l'exploitation du réseau. Le dimensionnement des infrastructures doit satisfaire les critères suivants :

- critères fonctionnels :
 - en cas de paliers, l'architecture devra autoriser l'évolution des solutions mises en œuvre en intervenant sur une des couches sans remettre en cause les couches inférieures,
 - les différents nœuds constituant le graphe du réseau devront pouvoir héberger des équipements actifs ou passifs selon le palier considéré, impliquant éventuellement un point énergie.
- critères opérationnels :
 - pour les projets portés par les collectivités territoriales, les infrastructures doivent être partageables de façon à accueillir plusieurs opérateurs de services ; certains matériels doivent n'être accessibles qu'à un seul acteur,
 - l'aménageur doit largement dimensionner le nombre de fourreaux,
 - en particulier, les chambres doivent être positionnées/dimensionnées de façon à autoriser l'évolution du réseau et sa mutualisation.

6.4.2 CONTRAINTES DE MUTUALISATION

Les architectures « point à point » répondent par définition à l'objectif de mutualisation puisque chaque client final est relié au centre de rattachement par une (ou deux) fibre(s) optique(s) qui lui est (sont) dédiée(s). Il faut également souligner que la portion terminale du réseau est toujours fondée sur une topologie en étoile donc point à point.

Dans la configuration PON, on a vu que les différents flux relatifs aux clients appartenant à la même zone géographique sont véhiculés par le même flux PON à très haut débit. Il est donc nécessaire de mettre en place les mécanismes d'exploitation permettant aux différents opérateurs de services qui partagent ce même flux de maîtriser la gestion de leurs abonnés (regroupement des V-LAN), de s'assurer de la qualité du service qui leur est fourni (par exemple : débit garanti) et de l'intégrité des données (clients et exploitation) vis-à-vis de l'opérateur de l'infrastructure et des autres opérateurs de services. L'ensemble de ces contraintes peut occasionner de fortes réticences vis-à-vis des projets de déploiement de ces technologies dans les réseaux d'accès mutualisés. Il paraît important de considérer d'autres solutions fondées sur les couches physiques plus basses sans interférer sur les éléments liés au système lui-même.

La première approche pourrait consister à valoriser les potentialités du multiplexage en longueur d'ondes (WDM). Une longueur d'onde spécifique (donc un flux spécifique) est allouée à chaque opérateur de services. Les signaux correspondants sont insérés sur la fibre optique au niveau du NA par l'intermédiaire d'un multiplexeur optique (composant passif). A l'autre extrémité (figure 6.9) les ONT sont spécialisés (longueur d'onde spécifiques).

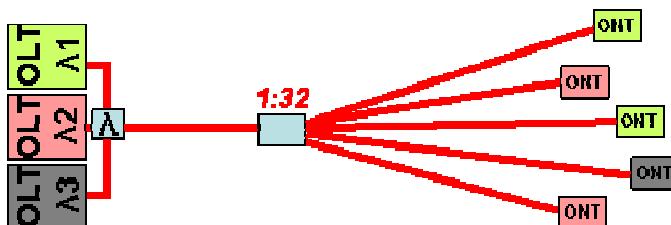


Figure 6.9 : schéma de PON DWDM

Cela implique une mise en œuvre plus délicate au niveau des composants optoélectroniques qui doivent émettre dans la bonne plage de longueur d'onde, ce qui conduit à des surcoûts non négligeables. Le problème est encore plus délicat pour la voie retour qui fonctionne traditionnellement dans la plage 1300 nm. En termes économiques, cette approche présente un surcoût non négligeable au niveau des équipements. De plus, il faut noter que les équipementiers n'offrent pas encore ces solutions à leur catalogue.

La seconde approche, que l'on peut appeler « mutualisation passive », est fondée sur l'existence de la fonction de brassage localisée sur un point de flexibilité passif dans le réseau. Il s'agit en fait, sans rien modifier à la situation d'origine, de spécialiser les OLT, tout en conservant la capacité totale du brassage des PON, puisque n'importe quel ONT de la zone peut être raccordé sur un des PON. Comme le montre la figure 6.10, les ONT ne sont différenciés que par leur raccordement physique (jarretière) au PON du FAI correspondant.

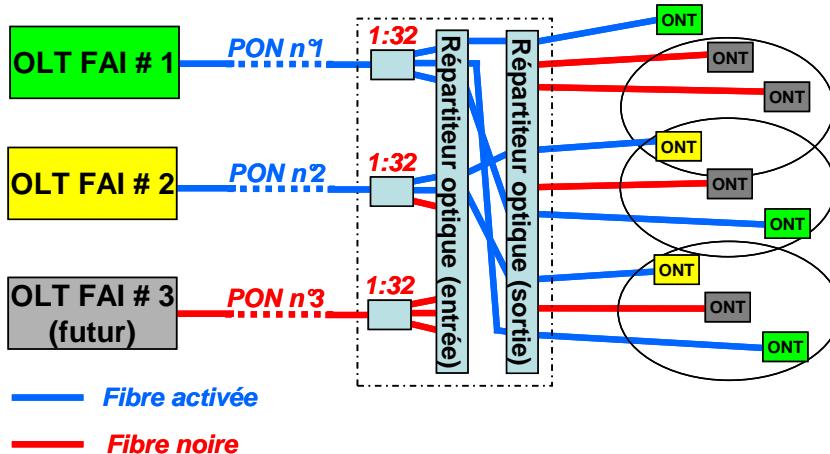


Figure 6.10 : mutualisation passive des PON

Par rapport au déploiement traditionnel, il faut noter que :

- le dimensionnement du réseau de capillarité finale et des baies de brassage est strictement identique,
- la granularité de la partie amont (entre les OLT et les coupleurs) peut conduire à prévoir quelques fibres supplémentaires, ainsi que les châssis destinés à recevoir les cartes PON au fil de l'eau.
- les coûts opérationnels doivent être intégrés afin que les interventions humaines liées à la gestion du dégroupage ne soient pas omises dans le modèle économique.

La troisième approche, que l'on peut appeler « mutualisation active » consiste à mutualiser l'ensemble de l'infrastructure du réseau d'accès, à savoir les ONT, les splitters et les NA. Les flux sont séparés de manière étanche grâce à l'allocation de VLAN spécifique à chaque fournisseur de service. Les flux sont ensuite routés du NA vers les locaux de chaque fournisseur de service par un routage effectué sur les VLAN.

L'analyse précédente démontre les avantages indéniables du second scénario présenté. Il faut rappeler que les principaux avantages des PON sur les autres architectures est le suivant :

- le nombre de fibres à ramener au nœud de rattachement optique est réduit par rapport au point à point :
 - cela simplifie fortement la problématique du brassage des fibres,
 - cette situation est particulièrement cruciale dans le cas de la desserte vers les usagers résidentiels.
- le nombre de terminaisons optiques au niveau du NA est bien moindre et réduit par conséquent considérablement les besoins énergétiques (alimentation des équipements, climatisation, ...)

On doit néanmoins souligner une dernière difficulté potentielle relative au terminal d'abonné (ONT). En effet, certains intervenants indiquent que l'usager doit avoir la possibilité de choisir plusieurs FAI selon le service souhaité alors que le principe de mutualisation passive affecte l'ONT considéré à un seul FAI. Cette situation est actuellement peu courante puisque, d'un point de vue commercial, les offres des FAI combinant l'ensemble des services (triple-play) sont plus attractives que des offres fractionnées. Elle pourrait se développer à l'avenir avec l'établissement d'une nouvelle concurrence entre fournisseurs de service ne disposant par automatiquement d'infrastructure propre. Dans le cas de la mutualisation active, cette difficulté n'existe pas puisque l'ONT est capable de gérer individuellement les services issus de différents opérateurs.

6.5 TESTS RECETTE ET MISE EN SERVICE DE LA COUCHE RESEAU

La mise en service de la couche réseau sera réalisée par les opérateurs de service au moment de l'activation de l'infrastructure et du raccordement des premiers abonnés.

Cette opération nécessite préalablement le « brassage » des circuits de la couche optique et leur qualification en vue de cette mise en service. Une bonne qualification de la couche optique permettra de garantir que la couche réseau pourra :

- transmettre un certain volume de données,
- transmettre ces données dans un certain temps,
- transmettre ces données sans excéder un certain taux d'erreur.

Si le réseau supporte ces 3 paramètres, l'utilisateur final aura la garantie d'avoir une bonne qualité de service.

L'architecture du réseau FTTH et sa construction au fil de l'eau rendent difficile la recette de l'infrastructure. La transposition, sur un réseau FTTH, des procédures de test et recette d'un réseau traditionnel (validation de toutes les fibres) généreraient des coûts de recette élevés.

Les tests à réaliser dépendent en partie des architectures retenues pour la couche réseau :

- architecture de type Ethernet Point à point,
- architecture de type PON,

Les mesures réalisées sur les architectures PON peuvent différer de celles réalisées sur un réseau point à point dans la mesure où :

- la présence de coupleurs réduit les budgets optiques disponibles,
- la présence de coupleurs nécessite, dans le cas où des tests de réflectométrie doivent être conduits, des appareils disposant d'une grande dynamique et de zones mortes réduites,
- l'intervention s'effectue sur un réseau « en service » puisque la fibre est activée.

6.5.1 CONSTITUTION DU « CIRCUIT » DE LA COUCHE OPTIQUE

6.5.1.1 CAS D'UN CIRCUIT DE TYPE ETHERNET POINT A POINT

Dans le cas d'une architecture de type Ethernet (Point à Point ou AON), l'infrastructure de support est composée de tronçons (« circuits ») de fibre point à point constitués de l'aboutement par brassage ou épissurage de tronçons élémentaires. Dans le cas général, chaque circuit est composé de l'aboutement d'au moins 3 segments :

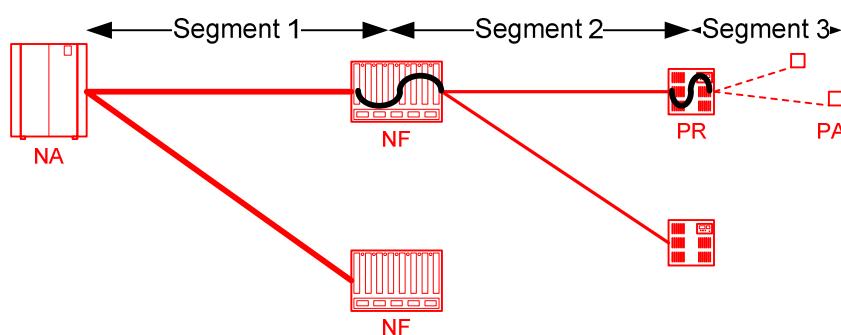


Figure 6.11 : constitution d'un « circuit » point à point FTTH

- le segment 1 correspond au segment « transport » et peut être lui-même décomposé en plusieurs segments élémentaires. Il est installé, recetté et qualifié au moment de l'établissement de l'infrastructure, selon les procédures définies au chapitre 5,
- le segment 2 correspond au segment « distribution ». Il est également installé et recetté au moment de l'établissement de l'infrastructure ; sa « qualification » peut néanmoins demeurer partielle à ce stade, compte tenu des contraintes induites par la nature du nœud PR sur la réalisation des tests,
- le segment 3 est constitué en post câblage au fil de l'eau au moment du raccordement d'abonné dans le cas de la partie terminale.

L'aboutement des segments est réalisé par « brassage » au titre des tâches d'exploitation exposées au chapitre 5. La continuité de la fibre est ainsi réalisée du NA au PR puis du NA au PA et il est envisageable de valider la construction de ce parcours avant la mise en service de l'abonné.

6.5.1.2 CAS D'UN CIRCUIT DE TYPE PON

Dans le cas d'une architecture de type PON, l'infrastructure de support est composée de « circuits » de fibre point à multipoints constitués de l'aboutement de tronçons élémentaires au travers de coupleurs. Dans le cas général, chaque circuit est composé de l'aboutement de 3 segments :

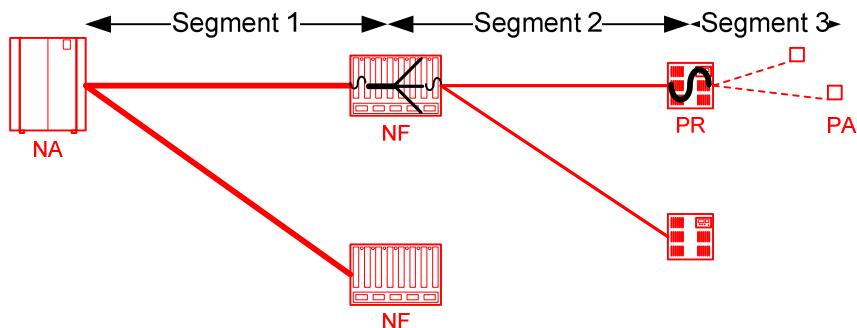


Figure 6.12 : constitution d'un « circuit » point à multipoint FTTH

- le segment 1 correspond au segment « transport » et peut être lui-même décomposé en plusieurs segments élémentaires. Il est installé et réceptionné au moment de l'établissement de l'infrastructure, selon les procédures définies au chapitre 5,
- le segment 2 correspond au segment « distribution ». Il est également installé et réceptionné au moment de l'établissement de l'infrastructure ; sa « qualification » peut néanmoins demeurer partielle à ce stade, compte tenu des contraintes induites par la nature du nœud PR sur la réalisation des tests,
- le segment 3 est constitué en post câblage au fil de l'eau au moment du raccordement d'abonné dans le cas de la partie terminale.

L'aboutement des segments 1 et 2 se fait au travers d'un « coupleur » à n branches. L'aboutement du segment 3 aux précédents est réalisé par « brassage ». L'ensemble de ces opérations est réalisé au titre des tâches d'exploitation exposées au chapitre 5.

6.5.2 SYNTHESE DES TESTS REALISES

Le tableau suivant synthétise les tests réalisés sur les « circuits » aux différentes étapes de leur constitution, en fonction des options d'équipement du réseau. Ces différents tests sont ensuite explicités dans la suite du chapitre. Les tests « circuits » seront ajustés en fonction de la présence ou non de l'OLT raccordé au NA au moment du test.

| | | Désignation | Procédure de test | Equipement de test | |
|--|----------------------|---------------|---|---|------------------------------|
| Test réalisé à l'établissement de l'infrastructure | | Segment 1 | installé, recetté et qualifié au moment de l'établissement de l'infrastructure, selon les procédures définies au chapitre 5. | Réflectomètre Source et Photomètre | |
| | | Segment 2 | installé et recetté au moment de l'établissement de l'infrastructure, selon les procédures définies au chapitre 5. Mesure partielle aux deux longueurs d'onde et dans un seul sens. | Réflectomètre Source et Photomètre | |
| | | Segment 3 | constitué au fil de l'eau au moment du raccordement d'abonné Test de continuité avec une source laser visible qui permet de vérifier la continuité optique selon les procédures définies au chapitre 7. | Laser rouge : VFL | |
| Test réalisé à la « constitution du circuit » | Cas d'un circuit P2P | | | | |
| | | Segment 1+2 | La continuité de la fibre est réalisée du NA au PR. Si les tronçons ont été préalablement testés et qualifiés, il est possible de s'appuyer sur les résultats de mesure de chacun des tronçons pour caractériser le « circuit ». | Source et photomètre Réflectomètre (Optionnel) | |
| | | Segment 1+2+3 | La continuité de la fibre est réalisée du NA au PA. Le circuit peut être qualifié. Dans la pratique, la qualification pourra être effectuée après activation de l'OLT. | Source et photomètre | |
| | | OLT actif | Segment 1+2 | Mesure de puissance au PR En pratique, cette mesure n'est effectuée qu'en absence de mesure 1+2+3 | Photomètre |
| | | Segment 1+2+3 | Mesure de puissance au PA En pratique, cette mesure ne sera réalisée que si les tests de mise en service décrits au chapitre 7 posent problème. | Photomètre | |
| | Cas d'un circuit PON | | | | |
| | | pas d'OLT | Segment 1+2, 1+2+3 | Les bilans optiques plus sensibles du fait de la présence des coupleurs motivent la réalisation de mesures plus systématiques que dans le cas des architectures point à point. Mesure par insertion 1310 et 1550nm | Source optique et Photomètre |
| | | OLT actif | Segment 1+2, 1+2+3 | Mesure de puissance sélective à 1490 nm au PR ou PA | Mesureur de puissance PON |

Tableau 6.6 : synthèse des tests réalisés sur les circuits de la couche optique

6.5.3 NATURE DES TESTS REALISES

6.5.3.1 TEST DU CIRCUIT NA-PR CONSTITUE – SEGMENT 1+2

Pour des raisons économiques, cette étape de validation ne fait pas consensus à l'heure actuelle.

Si les tronçons élémentaires NA-NF et NF-PR ont été préalablement testés et qualifiés, il est possible de s'appuyer sur les résultats de mesure de chacun des tronçons pour caractériser le « circuit » NA-PR constitué. Dans le cas où le segment NF-PR n'a pas été qualifié préalablement, un test en réflectométrie du « circuit » NA-PR serait recommandé mais sa réalisation opérationnelle est contrainte, d'une part par la nature du nœud PR et d'autre part, par des contraintes économiques. En pratique, on pourra s'accommoder à cette étape, d'un test en photométrie.

La réalisation de ce test peut tirer parti de la présence de l'OLT, dans le cas où celui-ci est en service au NA (OLT allumé). Dans le cas contraire le test met en œuvre les composants « classiques » d'une mesure photométrique. Dans tous les cas, ces mesures seront bien sûr comparées avec les valeurs calculées théoriquement et seront enregistrées dans la base documentaire.

6.5.3.2 TEST DE CIRCUIT OLT ETEINT - MESURE PAR INSERTION

Dans le cas où il n'existe pas encore d'OLT en service à l'extrémité NA du circuit, le test s'effectue de manière traditionnelle par une mesure d'insertion avec injection d'un signal optique aux différentes longueurs d'onde du système, à partir d'une source lumineuse et mesure du niveau de puissance (dB) reçu à l'extrémité à l'aide d'un photomètre .

La mesure s'effectue en deux temps :

- mesure de référence de la puissance disponible avant insertion du circuit à mesurer : L'émetteur est relié au récepteur par l'intermédiaire de 2 cordons optiques et d'un raccord optique et on relève la valeur indiquée sur le récepteur,
- insertion du circuit à mesurer et mesure de la puissance résiduelle après insertion : on connecte l'émetteur et le récepteur aux 2 extrémités de la liaison.

L'émetteur est une source laser fonctionnant aux 2 longueurs d'onde 1310 nm et 1550 nm. Il est raccordé au circuit à mesurer, soit avec un cordon connectorisé (FC/PC- SC/PC) dans le cas où la fibre a été pré-connectorisée, soit au travers d'une soudure ou une épissure mécanique avec une jarretière.

Le photomètre est connecté sur la fibre nue par épissure mécanique ou par soudure. On relève les valeurs à 1310 nm et 1550 nm.

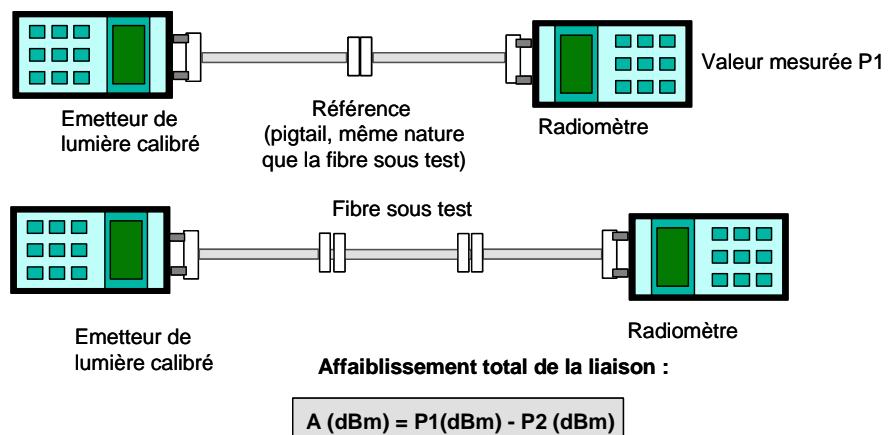


Figure 6.13 : schéma de principe d'une mesure par insertion

6.5.3.3 TEST DU CIRCUIT OLT ALLUME - MESURE DE PUISSANCE SELECTIVE

Dans le cas où l'OLT est présent et allumé à l'extrémité NA, le test peut tirer parti de cet équipement. Une mesure de puissance (dBm) est réalisée, à l'extrémité distante, à l'aide d'un mesureur de puissance sélectif. La longueur d'onde de test dépend de la nature du réseau :

Réseau de type Ethernet Point à point ou AON :

La puissance est mesurée en sortie de la carte OLT et à l'extrémité distante. Le test est réalisé à la longueur d'onde du système Ethernet :

- 1300nm en voie descendante dans le cas d'un fonctionnement sur deux fibres,
- 1550nm en voie descendante dans le cas d'un fonctionnement sur une seule fibre.

Réseau de type PON :

Le testeur PON permet de mesurer la puissance disponible en tout point du parcours optique. Le test s'effectue au PR où on relève la valeur à 1490 nm.

La mesure de puissance relevée est à rapprocher de la puissance de sortie de la carte OLT. Cette valeur est en principe relevée lors de la mise en service de la carte OLT. Elle est en général comprise entre +1,5dBm et +5dBm.

Si on mesure au PR un niveau de -20dBm et que le niveau en sortie de l'OLT est de +2 dBm, le bilan optique en dB sera de : $20 + 2 = 22$ dB.

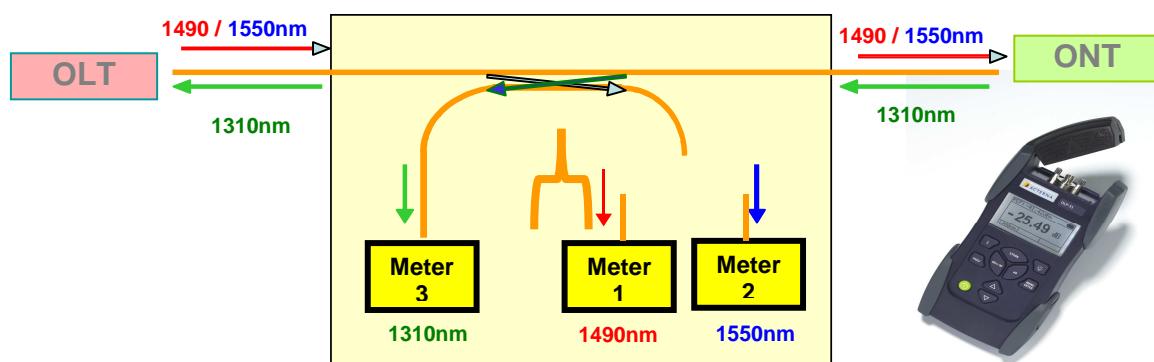


Figure 6.14 : mesure de puissance sélective

6.5.3.4 BILAN OPTIQUE THEORIQUE

Comme évoqué précédemment, les résultats de mesure sont à comparer au bilan théorique optique. Celui-ci sera déterminé à partir des valeurs moyennes suivantes :

| Composant | Valeur moyenne d'affaiblissement |
|--|--|
| épissure soudée | 0,1 dB |
| épissure mécanique | 0,2 dB |
| Connecteur | 0,5 dB |
| fibre optique | 0,37 dB/km à 1300 nm et 0,20 dB/km à 1550 nm |
| Pour les coupleurs, à défaut de disposer des spécifications constructeurs, on utilisera les valeurs moyennes suivantes dans le calcul du bilan optique | |
| coupleur 1:2 | 3,5 dB |
| coupleur 1:4 | 7 dB |
| coupleur 1:8 | 10 dB |
| coupleur 1:16 | 14 dB |
| coupleur 1:32 | 18dB |

Tableau 6.7 : valeur moyenne d'affaiblissement des différents composants d'un circuit optique

Le tableau suivant illustre la reconstitution du bilan de liaison théorique dans le cas d'un réseau PON.

| Composant de l'architecture | Affaiblissement moyen (dB) 1550 nm | Affaiblissement moyen (dB) 1310 nm |
|-----------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 1 coupleur 1 vers 8 | 10 | 10 |
| 10 km fibre optique | 2 | 3,7 |
| 1 connecteur | 0,5 | 0,5 |
| 1 épissure mécanique | 0,2 | 0,2 |
| 5 soudures | 0,5 | 0,5 |
| Bilan moyen | 13,2 dB | 14,9 dB |

Tableau 6.8 : exemple de calcul de bilan optique pour un PON non activé

6.5.3.5 MESURES REFLECTOMETRIQUES

Dans le cas de problèmes rencontrés sur le réseau d'accès, des tests de réflectométrie peuvent être mis en œuvre pour confirmer la nature, l'origine et la localisation de la panne.

Dans le cas d'une architecture de réseau point à point ou AON, le test en réflectométrie pourra être mis en œuvre au NA ou au PR.

Dans le cas d'une architecture PON, ce test aura lieu du PR en remontant vers le NA, à la longueur d'onde de 1625 nm. En effet, en fonction du type de coupleur, de l'architecture retenue (cascade ou non) et de la longueur des branches (très courtes et pratiquement toutes identiques), il peut être très difficile d'obtenir une courbe OTDR facilement interprétable en réalisant le test en sens inverse du NA vers le PR.

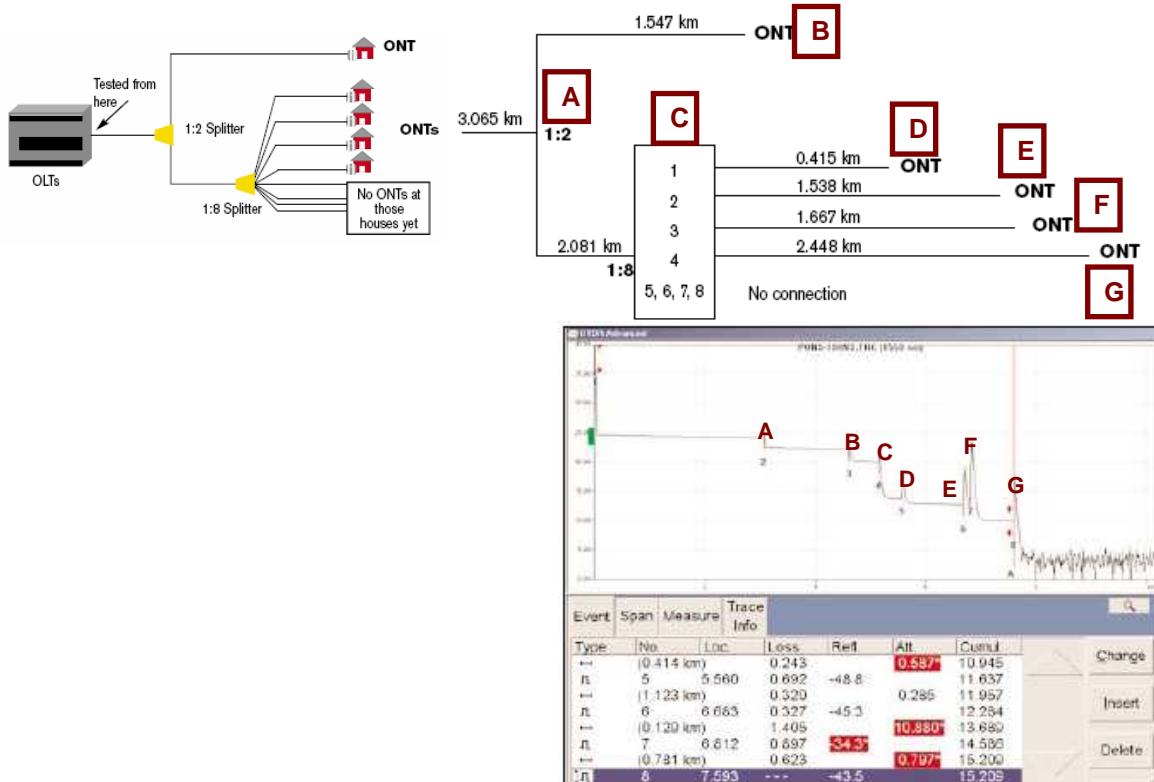


Figure 6.15 : trace OTDR (NA-PR) – infrastructure mettant en œuvre des coupleurs

Pour s'affranchir de cette problématique, de nouveaux modules OTDR de grande dynamique et avec des zones mortes réduites sont dorénavant disponibles (80 cm).

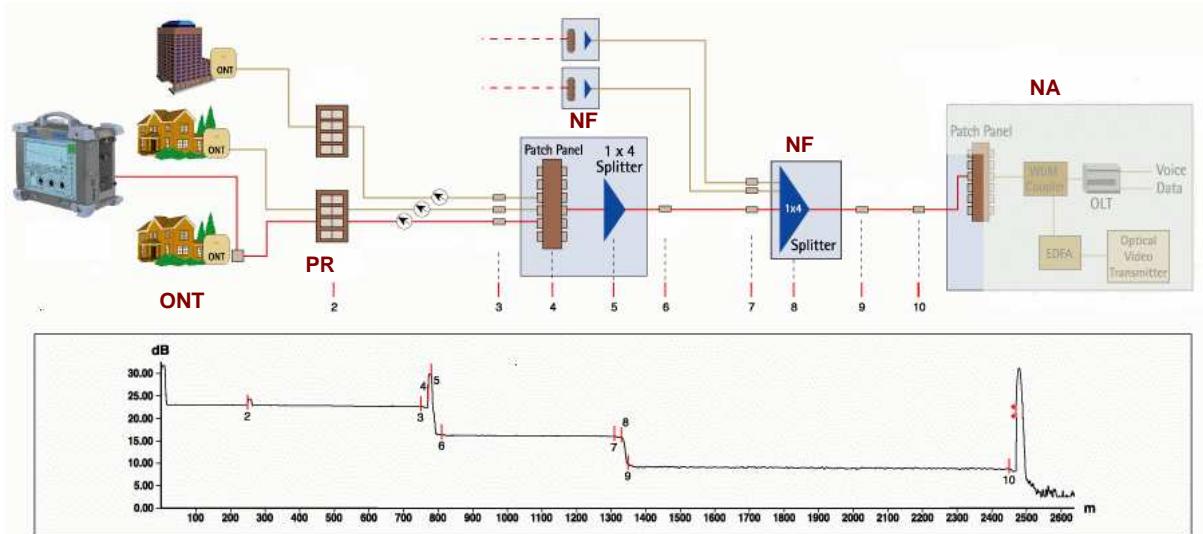


Figure 6.16 : trace OTDR (PR-NA) – infrastructure mettant en œuvre des coupleurs

6.6 EXPLOITATION ET MAINTENANCE DE LA COUCHE RESEAU

Les missions d'exploitation et de maintenance des réseaux d'accès à très haut débit sur fibres optiques sont cruciales pour garantir une disponibilité maximum des services aux clients.

En cas de défaut, grâce aux différents systèmes de gestion des équipements actifs, le gestionnaire du réseau pourra dans une première analyse pré-localiser la zone en cause :

- défaut affectant l'OLT,
- défaut entre NA et clients.

Dans le cas d'un défaut situé entre le NA et le client, le gestionnaire aura la vision des ONT en défaut. Ces informations, couplées à la consultation du SIG, permettront de pré-localiser le tronçon en défaut, en particulier dans le cas d'une architecture Point à Point.

Dans le cas d'une architecture Point Multipoint (PON), la procédure de diagnostic est sensiblement plus complexe et plusieurs cas sont à envisager :

- 1 ONT en défaut,
- plusieurs ONT en défaut raccordés derrière un même coupleur,
- tous les ONT en défaut.

Dans le cas où **un seul ONT est en défaut**, on déplacera un technicien chez le client. Celui-ci validera, par inspection visuelle, l'état de fonctionnement de l'ONT (synchro, puissance..) grâce aux leds en face avant et vérifiera le branchement de l'installation (câble de branchement / prise optique/cordon optique) ; il procèdera, le cas échéant au nettoyage des connecteurs.

En cas de persistance du dysfonctionnement, il procédera à une mesure de puissance (photométrie).

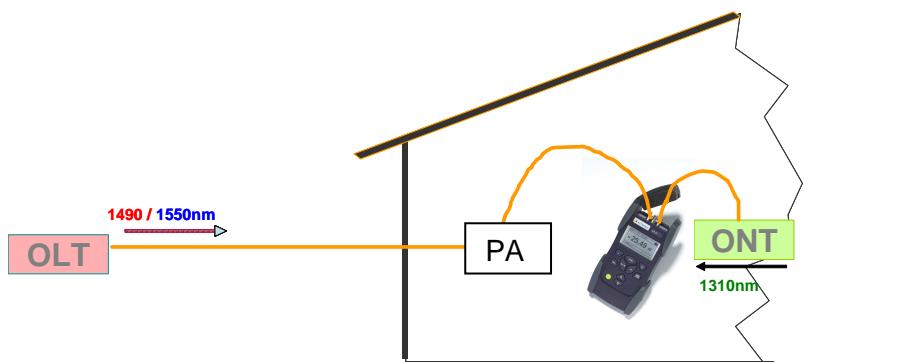


Figure 6.17 : insertion d'un testeur dans l'installation d'abonné

En fonctionnement normal, l'ONT émet un signal à 1310 nm, s'il reçoit le signal à 1490nm de la carte OLT. Le test permettra de vérifier la présence et le niveau du signal.

Si le signal à 1490 nm en provenance de l'OLT est trop faible ou absent, le problème se situe au niveau du parcours optique. Si la réception de signal à 1490nm est correcte et le niveau du signal de l'ONT à 1310 nm trop faible, l'anomalie se situe au niveau de l'ONT.

L'étape suivante permet de valider le parcours optique depuis le point d'accès d'abonné. On branchera un VFL (source laser rouge visible) sur la prise optique afin de suivre le câble sur sa partie visuellement accessible jusqu'au PR.

Si la lumière rouge n'apparaît pas, l'incident se situe entre la prise et le PR, au niveau du câble de branchement ou de la prise.

Si le défaut n'est pas visible de façon évidente (écrasement, travaux en cours...), on réalise en complément du test précédent, une mesure réflectométrique à 1625 nm à la prise optique pour localiser la contrainte.

Dans le cas où **plusieurs ONT sont en défaut**, la consultation de la base de données du SIG permettra de déterminer le PR en défaut. On détachera le technicien sur le nœud de concentration PR en défaut. En première analyse, celui ci utilisera une pince optique pour s'assurer que le signal « passe » de l'OLT vers l'ONT.

Si c'est le cas, le problème se situe entre le PR et l'ONT. Si, par contre, il n'y a pas de signal, le problème se situe entre PR et l'OLT pour une architecture P2P ou entre le(s) coupleur(s) pour une architecture PON.

La localisation se fera alors avec un réflectomètre à 1625 nm que l'on raccordera généralement avec une épissure mécanique.

Si l'accès chez un client est possible, le réflectomètre peut être raccordé au réseau sur la prise terminale optique.

Dans le cas où **tous les ONT sont en défaut**, le problème peut venir soit de l'interface de l'OLT dans le cas d'un PON, soit du câble de transport.

Le technicien se déplacera au NA. En l'absence d'une cause de défaut visuellement évidente au NA, on débranche le câble de la carte OLT et on réalise une mesure réflectométrique.

Les différents cas décrits précédemment illustrent bien l'intérêt, pour le gestionnaire, de la mise en place, en complément des autres outils de tests et de diagnostic, d'une solution de supervision et de test centralisé associée à une documentation informatisée et détaillée du réseau. La complexité technologique actuelle et l'impact économique d'une telle solution sont actuellement en cours de validation.

Les avantages d'un système de supervision et de test centralisé sont les suivants :

- les réseaux qui n'ont pas de possibilité d'avoir des routes optiques de secours seront en situation critique si le câble est coupé (pas de redondance possible),
- Le point de démarcation du défaut (lien physique / équipement) est difficile à déterminer car l'équipement terminal n'est pas de la responsabilité du Gestionnaire,
- une coupure de fibre est plus courante dans le réseau d'accès, car c'est dans cette partie qu'il y a le plus d'interventions et de travaux,
- le réseau d'accès peut également utiliser d'autres technologies (radio, cuivre), il n'est pas toujours possible de disposer des ressources ad-hoc avec les bonnes compétences optiques,
- par nature de la technologie PON, il est plus difficile de localiser un défaut que sur un réseau traditionnel (P2P),
- en zones urbaines denses, les temps de déplacement sur site sont plus longs,
- une documentation détaillée du réseau favorise les échanges et limite les ressources internes.

La mise en place du concept d'exploitation et de maintenance du réseau de transport sera guidée par les contraintes d'optimisation des ressources, de poursuite d'un objectif de qualité et de disponibilité optimum, sans oublier le paramètre économique associé à l'environnement concurrentiel.

La maintenance étant une des conséquences de l'exploitation, la mutualisation des équipes pour ces deux tâches pourra également être considérée.

7 LE CABLAGE D'IMMEUBLE COLLECTIF

7.1 INTRODUCTION

Dans les immeubles collectifs, les derniers mètres du réseau de desserte jusqu'à l'abonné font l'objet d'un traitement particulier. Ce chapitre traite essentiellement des câbles et de leurs interconnexions, depuis l'arrivée des fibres dans l'immeuble jusqu'à la prise optique située dans l'appartement de l'abonné.

L'état actuel des offres de services de télécommunications aux particuliers n'impose pas obligatoirement un câblage tout optique dans l'appartement; le câblage à l'intérieur du logement ne sera donc pas traité dans cet ouvrage. Toutefois, nous conseillons pour les logements neufs de prévoir des réservations entre chaque pièce et un point de l'appartement où pourra être placé, ultérieurement, un coffret ou panneau de communication dans la gaine technique du logement (guide UTE C 90-483).

7.2 LA MUTUALISATION DU CABLAGE

7.2.1 LES MOTIVATIONS D'UNE MUTUALISATION

Outre la réduction des coûts qu'elle procure, la mutualisation du câblage des immeubles est fortement souhaitable. Les opérations de câblage dans les parties communes d'un immeuble collectif présentent les problèmes suivants aux différents acteurs.

Utilisation de ressources rares

L'espace dans les colonnes techniques, dans les goulottes existantes est rare. Il convient d'éviter que cet espace soit dédié à des opérateurs de services au détriment d'autres. Le problème est encore plus aigu dans les fourreaux et goulottes partant des colonnes montantes vers chaque appartement.

Anarchie esthétique

Bien des immeubles ne disposent pas de fourreaux, goulottes, gaines techniques. Les nouveaux câbles et goulottes doivent alors être posés en apparent, posant des problèmes esthétiques très ressentis, et parfois coûteux.

Anarchie sécuritaire et nuisances renouvelées

Les interventions parfois répétitives de plusieurs acteurs différents dans les parties communes de l'immeuble posent des problèmes accrus de nuisance et de sécurité dans les immeubles.

Raccordement d'abonné

Quelque soit l'acteur responsable du câblage d'un immeuble, il est souvent souhaitable de réaliser toutes les connexions d'usager (lien entre PR et usager) en même temps que le câblage d'immeuble. Cela suppose l'adhésion préalable de la communauté des habitants de l'immeuble. Une partie d'entre eux n'utilisera jamais la fibre mise à disposition dans leur domicile. Le câblage au coup par coup est coûteux, gênant pour les habitants, souvent peu esthétique dans les parties communes.

Contraintes d'accès

De moins en moins d'immeubles sont surveillés par un concierge ; leur accès est rendu de plus en plus difficile, rendant les interventions coûteuses.

7.2.2 ROLES ET RESPONSABILITES

Les rôles et responsabilités relatifs à la mise en place et à la gestion du câblage interne aux immeubles collectifs ne sont pas encore déterminés en France. Plusieurs schémas sont envisageables, ils résulteront de concertations entre les différents acteurs : promoteurs, syndics de co-propriétés, bailleurs, opérateurs concessionnaires, collectivités.

Comme dans le cas de l'infrastructure mise en place par une collectivité territoriale sur le domaine public, il est tout à fait souhaitable qu'une seule entité assure l'exploitation et la maintenance de cette infrastructure passive mutualisée de façon à assurer une accessibilité équitable et neutre à cette infrastructure et le bon fonctionnement des "circuit" optiques mis à disposition des opérateurs de services.

Afin de garantir la cohérence et l'intégrité de l'ensemble du réseau, il est fortement recommandé aux gestionnaires de ces installations collectives d'établir des conventions avec la collectivité pour lui transférer la responsabilité de leur exploitation. C'est le cas par exemple de propriétaires qui de leur chef auraient fait câbler leur immeuble ; ils n'auront pas intérêt à en assumer la gestion, qui requiert du savoir faire et leur fait prendre une responsabilité quant à la qualité du service à l'usager.

7.3 ARCHITECTURE DU CABLAGE D'IMMEUBLE

7.3.1 BOITIER DE PIED D'IMMEUBLE (BPI)

A l'entrée des fibres dans un immeuble collectif, il est nécessaire de placer un Boîtier de Pied d'immeuble (BPI), qui assurera les fonctions suivantes.

Changement d'environnement

Un câble posé à l'intérieur d'un immeuble doit répondre aux normes de comportement au feu. A l'extérieur, cette contrainte est relâchée mais l'enveloppe externe du câble doit protéger les fibres des agressions (eau, rongeurs, chocs à la pose etc). On recherchera donc en général à changer le type de câble à la limite des deux types d'environnement, en y plaçant un boîtier de transition.

Répartition

Le BPI fera office de répartiteur pour l'immeuble, brassant les fibres arrivant de l'extérieur sur les fibres desservant la (les) colonne(s) montante(s).

Changement de domaine

En franchissant le mur d'enceinte de la propriété, le câble passe du domaine public au domaine privé. Le câblage en domaine privé sera réalisé soit par la collectivité locale (après autorisation des propriétaires) ou à l'initiative des propriétaires. Le boîtier de pied d'immeuble réalise alors la transition entre des fibres dont la propriété et la responsabilité appartiennent à des personnes différentes. Enfin, en pratique, lors de la réalisation des travaux, les câblages internes et externes ne sont pas réalisés exactement aux mêmes moments ; le BPI sera alors un point de terminaison temporaire.

Hébergement de coupleurs

Pour des architectures de type PON, le BPI peut être choisi pour l'hébergement de coupleurs.

7.3.2 POINTS DE RACCORDEMENT (PR)

Le Point de Raccordement (PR) est le boîtier situé dans les parties communes de l'immeuble à partir duquel on branche le(s) câbles de raccordement d'abonné(s). Il est appelé «point de branchement » dans les guides UTE.

Le raccordement de l'abonné intervient en général dans la phase d'exploitation du réseau ; il découle en effet d'une démarche commerciale auprès de l'usager, et sera en général réalisé par une entreprise différente de celle qui aura posé le câblage vertical. Dans certains cas, toutefois, on pourra convaincre l'ensemble des habitants d'un immeuble d'effectuer tous les raccordements individuels en même temps que la pose du reste de l'infrastructure de l'immeuble.

7.3.3 POINTS D'ABONNES (PA)

Le Point d'Abonné est le boîtier terminal situé chez l'abonné. Il est aussi appelé « prise client » ou « DTI » (dispositif terminal d'installation) dans les normes de câblage. Il contient une « prise optique », c'est-à-dire un connecteur en attente sur son corps de traversée. Le terminal actif de l'usager (« passerelle », « ONT») y sera branché à l'aide d'un cordon optique.

7.3.4 TYPOLOGIES DES IMMEUBLES

Nous classons les immeubles en trois catégories de typologie, auxquelles conviennent des architectures et les systèmes de câblage différents.

| Petite dimension | Moyenne dimension | Grande dimension |
|----------------------|--------------------------|------------------------------|
| 2 à 6 étages | 4 à 10 étages | Minimum de 6 clients / étage |
| 12 logements maximum | Entre 12 et 48 logements | 24 logements minimum |
| 1 cage d'escalier | 1 à 4 cages d'escaliers | Plusieurs cages d'escalier |

Tableau 7.1 : classification des immeubles

7.3.5 ARCHITECTURE POUR LES PETITS IMMEUBLES

Dans le cas des petits immeubles, chaque abonné sera raccordable directement au BPI par un câble dédié. Le BPI jouera alors le rôle d'un Point de Raccordement (PR), décrit dans les chapitres précédents.

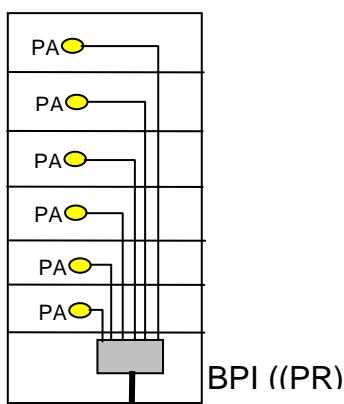


Figure 7.1 : architecture de câblage de petits immeubles

7.3.6 ARCHITECTURE POUR LES IMMEUBLES MOYENS ET GRANDS

Dans le cas des immeubles plus importants, le BPI assure la fonction d'un Nœud de Flexibilité (NF), répartissant les fibres vers les étages des différentes cages d'escalier, où sont disposés les points de branchement (PR), à raison d'un ou plusieurs PR par cage d'escalier, selon le nombre d'appartements desservis par cette cage. Les abonnés seront raccordés au PR le plus proche de leur appartement.

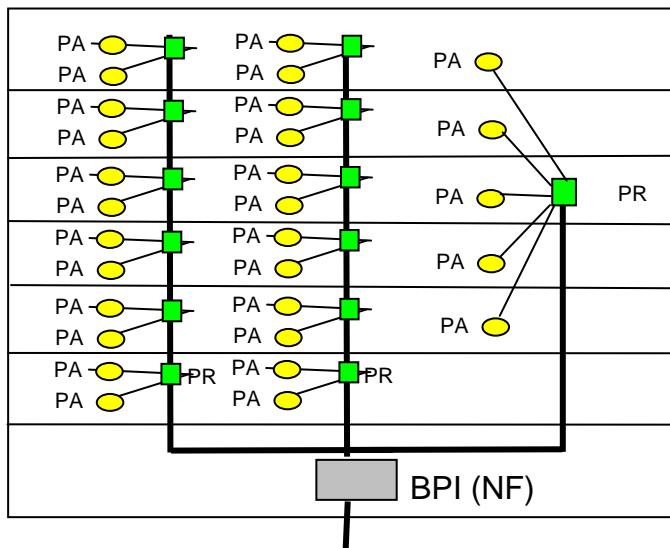


Figure 7.2 : architecture de câblage d'immeubles moyens ou grands

7.3.7 CHOIX D'UN SYSTEME DE CABLAGE

Habitat neuf

Le pré-tubage est une solution recommandée pour préparer l'arrivée de la fibre dans un immeuble neuf. Il peut prendre la forme de multi-conduites de soufflage dans les gaines verticales (voir chapitre 4.2), dont chaque conduite est dérivée au niveau des étages pour se terminer dans l'appartement de l'usager. La fibre optique sera alors posée par soufflage. On peut aussi choisir d'installer des fourreaux classiques dans la colonne montante et les étages pour permettre le tirage ultérieur des câbles à fibres optiques.

Habitat ancien

Dans l'habitat ancien, les deux contraintes principales du câblage sont l'esthétique et le manque de place. Les goulottes ou colonnes montantes, lorsqu'elles existent, sont très souvent remplies. Des percements de dalle sont également nécessaires. Il convient donc de choisir des câbles très denses. Les systèmes de câblage à accessibilité permanente sont particulièrement recommandés dans ce cas (voir chapitre 5.2).

Economie des solutions de câblage

Les solutions de câblage (association de câbles et de produits de connectivité) varieront selon les typologies d'immeubles. Considérant différents concepts de câblage tels que présentés en figure 5.5, des études technico-économiques ont montré que les solutions présentées dans ce guide sont les plus adaptées à chaque catégorie d'immeuble.

Par exemple dans le cas des immeubles de faible densité, nous obtenons les résultats suivants :

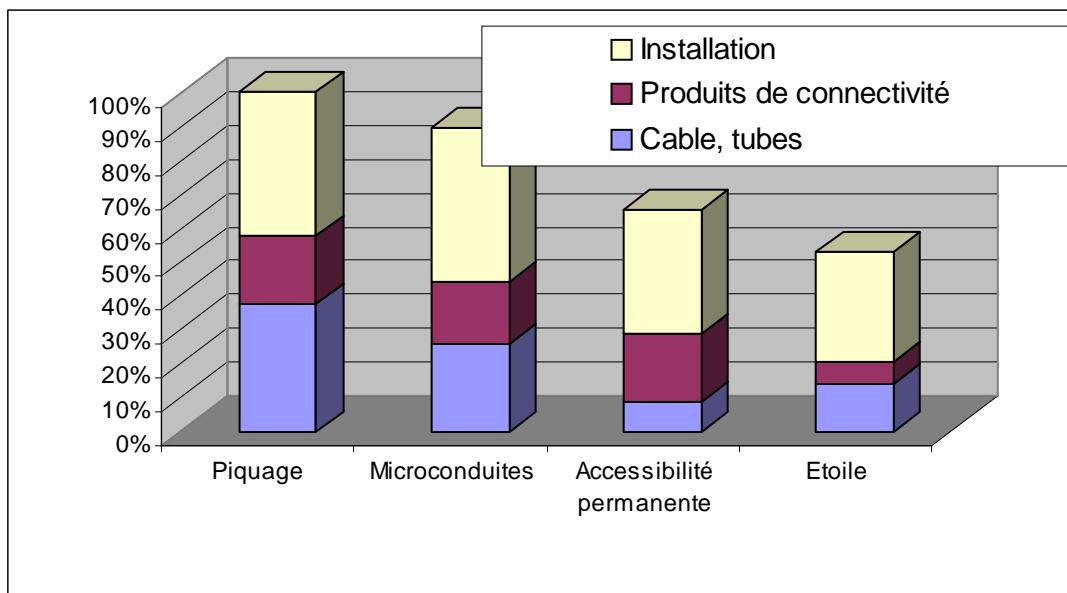


Tableau 7.2 : répartition des coûts d'un câblage d'immeuble en fonction des technologies de câblage

Les solutions pour les petits immeubles

Pour les petits immeubles, on peut envisager de placer un point d'éclatement à l'extérieur des bâtiments, par exemple sous la chaussée afin d'alimenter plusieurs petits immeubles, et réduire les problèmes d'accès à ces immeubles.

Les solutions pour les immeubles moyens

Dans ce type d'immeuble, l'utilisation d'un système de câblage à accessibilité permanente réalise le meilleur compromis technico-économique. Les câbles peuvent contenir jusqu'à 48 micromodules de 1 fibre. Chaque fibre dans le câble est protégée individuellement par une micro-gaine dénudable qui permet son extraction du câble et son traitement.

Cas 1 : Le micromodule peut être réintroduit dans une micro-conduite pour transiter vers l'abonné. Si la longueur du micromodule extrait est suffisante, il débouchera directement sur la prise d'abonné; dans le cas contraire, le micromodule sera abouté au câble d'abonné dans un boîtier jouant alors le rôle de PR individuel. La longueur maximale d'extraction de micromodule est de 20 mètres, elle diminue à mesure qu'on se rapproche du sommet de la cage d'escalier.

Cas 2 : Le micromodule de 1 fibre est épissuré sur le câble d'abonné dans le boîtier de point de raccordement (PR).

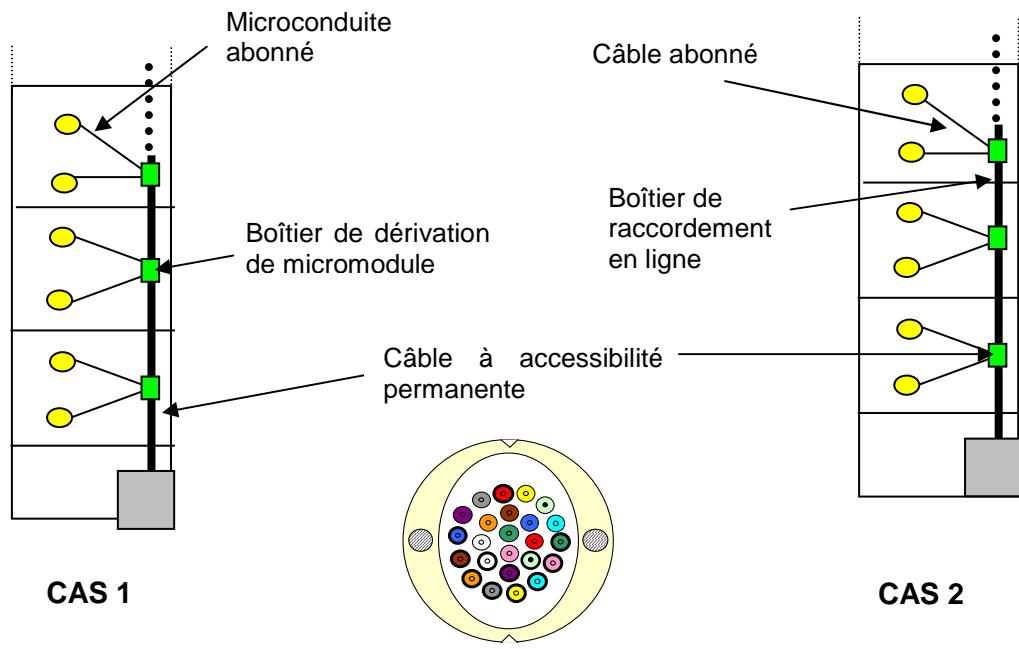


Figure 7.3 : système de câblage d'immeuble à base de câble à accessibilité permanente à fibre unitaire

Les solutions pour les grands immeubles

En général, un nombre important d'appartements est à distribuer à chaque étage et les câbles à accessibilité permanente à base de compact tube sont recommandés dans ce cas. Le compact tube est une structure souple facilement dénudable regroupant un nombre de fibres en général supérieur ou égal au nombre de clients par palier. Ces compact tubes sont rassemblés dans une structure de câble à accessibilité permanente. A chaque étage, un compact tube est extrait sur une longueur de 2 à 3 m puis lové et raccordé vers les câbles d'abonné dans un boîtier d'étage de protection d'épissures.

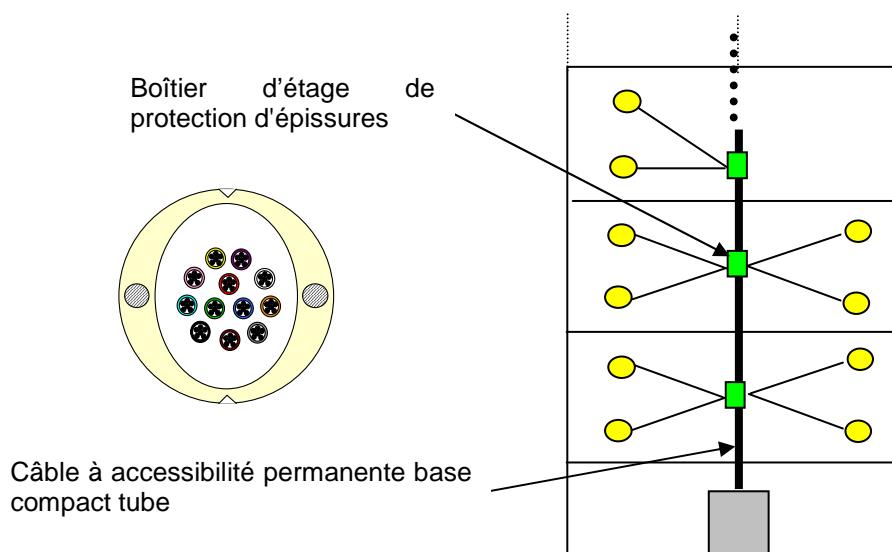


Figure 7.4 : système de câblage d'immeuble : câble à accessibilité permanente à tubes multi fibres

7.4 LA POSE DU CABLAGE

La méthode de pause est très dépendante de l'architecture de l'immeuble, de sa date de construction, de la présence de « colonne montante » et de locaux réservés aux télécommunications.

Le BPI. La position du boîtier de pied d'immeuble est un compromis entre :

- distance minimale du point d'adduction : si le câble d'adduction de l'immeuble n'est pas aux normes de feu (sans fumées toxiques), il devra faire l'objet d'une protection spéciale sur un trajet intérieur,
- réduction de la distance moyenne aux départs de colonnes montantes,
- espace disponible et accessibilité pour le personnel.

Cheminements des câbles vers les étages :

- en sous-sol, cheminement sur des chemins de câbles existants, tubes PVC ou simples embases et colliers,
- les câbles verticaux cheminant en colonne technique seront maintenus sur embase et collier,
- en l'absence de colonne technique ou goulotte existante, on posera une goulotte ou accrochera le câble sur embases au mur suivant les exigences esthétiques.

Points de raccordement aux étages :

- dans les colonnes techniques, une attention particulière sera portée à l'accessibilité du boîtier,
- l'épissurage mécanique est généralement préféré à la fusion, qui requiert une bonne qualification du personnel et une immobilisation coûteuse d'un équipement de soudure.

Point de terminaison Abonné (PA) :

- pose classique : le câble de raccordement débouchant chez l'abonné est épissuré mécaniquement sur un « pigtail » dans le boîtier de terminaison PA,
- préfabriqué : le câble de raccordement est livré déjà terminé en usine dans un PA ; il est alors tiré depuis chez l'abonné jusqu'au PR où il est épissuré mécaniquement. Si cette méthode fait l'économie d'un épissurage sur site, les longueurs de câbles en excès sont gaspillées et le tirage peut être rendu plus fastidieux.

7.5 DIMENSIONNEMENT

Les câbles contiendront les quantités de fibres suivantes. Le dimensionnement du câble d'adduction sera revu à la baisse en présence de coupleurs au niveau du BPI.

| Pour N appartements | Petit immeuble | Immeuble moyen | Immeuble grand |
|-----------------------------|------------------------|--|--|
| Câble montant | N câbles 1 fibre | 1 câble 110% \times N tubes monofibres | 1 câble de r tubes de s fibres, r=nombre étages, s=nombre max appart / étage |
| Câbles abonnés | 1 fibre ⁽¹⁾ | 1 fibre ⁽¹⁾ | 1 fibre ⁽¹⁾ |
| Câbles d'adduction immeuble | N * 110% | N * 110% (Sans coupleurs) | N * 110% (Sans coupleurs) |

Tableau 7.3 : dimensionnement des câbles d'immeuble

Note ⁽¹⁾ : une deuxième fibre peut être ajoutée dans le câble d'abonné si on souhaite constituer une réserve.

7.6 TESTS RECETTE ET MISE EN SERVICE

7.6.1 TEST ET RECETTE DU CÂBLAGE D'IMMEUBLE

La méthode de test et de recette pour le câblage d'immeuble dépend très largement de l'organisation générale du déploiement de l'ensemble de l'infrastructure de desserte.

Dans l'hypothèse où le même acteur réalise en un chantier la continuité du réseau depuis le NA jusqu'aux PR ou au-delà, le câblage d'immeuble s'insérera dans une procédure de test du réseau de bout en bout, décrite au chapitre 5 et 6.

Dans bien des cas, cette procédure devra s'adapter au schéma de livraison des différentes parties du réseau. L'accord des propriétaires des immeubles étant requis, il faut anticiper que le raccordement d'un nombre non négligeable d'immeubles soit réalisé bien après la pose de l'infrastructure principale dans les rues. Suivant l'importance de ces retards de phase on envisagera une réception partielle des tranches réalisées et/ou les réserves contractuelles adaptées pour la réalisation ultérieure des tests de recette.

Si le câblage de l'immeuble (du BPI aux PR et au-delà) est réalisé pour compte d'une entité différente de celle qui déploie le reste de l'infrastructure, par exemple un propriétaire immobilier, il conviendrait de recetter cette installation au minimum par un test de continuité optique au crayon lumineux, voire un test élémentaire de photométrie. Mais là encore, cette recette ne sera que partielle, et son coût peut être excessif. Tant que ce câblage n'est pas abouté au réseau de desserte, la vérification de la connectivité et de la performance optique ne sera que partielle. Si on opte pour une recette avant l'aboutage, il faudra prévoir des réserves contractuelles pour tenir compte des problèmes qui ne seraient révélés que lorsque l'aboutage est réalisé.

7.6.2 TEST ET RECETTE DE L'INSTALLATION D'USAGER

Lors du branchement d'un abonné, il reste à valider la connexion du câble depuis le PR jusqu'à la prise de l'abonné. Si une recette suffisante a été organisée en amont, il n'est pas économique de réaliser de test optique lors de la mise en service. Celui-ci sera requis en cas de problème à la mise en service, ou pourra se faire de façon statistique sur un nombre réduit de connexions d'usagers.

Il appartiendra aux exploitants de déterminer la procédure la plus adaptée. Selon qu'un technicien soit présent ou non chez l'abonné pour la mise en route de ses services, on se reposera plus ou moins sur les performances de fonctionnement des services pour valider le circuit optique.

Si ces performances ne sont pas suffisantes on s'aidera selon le problème d'un « crayon optique » (une source visible rouge), ou d'un photomètre.



Source Visible

- Taille stylo, autonome,
- 0 à 5 km,
- Laser 635 nm,
- Adaptateur UPP 1,25 ou 2,5mm

Figure 7.5 : laser rouge pour le test du raccordement d'abonné

Dans le cas où l'essai ne serait pas concluant, l'installateur devra réaliser une réflectométrie afin d'identifier le point de défaillance du réseau

7.6.3 ACTIVATION DES SERVICES

La mise en service correspond à l'activation (au sens de la liaison Ethernet ou PON) du circuit. Elle est réalisée par le branchement au NA de la carte OLT et le branchement chez l'abonné de ONT. Elle s'accompagne généralement d'un ensemble de tests applicatifs (ping, mesures d'erreurs, supervision SNMP, etc.) nativement implémentés sur l'ensemble des équipements Ethernet.

Les actions de diagnostic et de correction lors de mises en service problématiques requièrent généralement l'intervention, postérieure à la visite de mise en service, de techniciens dotés des matériels requis, qui seront utilisés pour la maintenance.

En cas de problème lors de la mise en service, un technicien validera les 3 paramètres clés :

- connectivité :
 - visibilité et établissement du lien Ethernet, bonne activation du processus d'Auto négociation,
- débit :
 - vérifier que le bon débit (MBit/s) est en service sur le lien et ceci sans erreur,
- qualité de Service (QoS) :
 - vérifier le Temps de Propagation au travers du réseau pour les services nécessitant du temps réel.

Ces trois paramètres sont repris dans la recommandation RFC-2544. Celle-ci, écrite pour les services aux entreprises, présente une méthode de test de "benchmark" pour les liens Ethernet. Un équipement de test doit pouvoir effectuer les 4 tests en mode automatique :

- débit,
- latence,
- «burstability»,
- trames perdues.

La recommandation RFC-2544 représente un moyen pour vérifier la qualité de service d'un client comme définie dans son SLA (Service Level Agreement). Des mesures plus poussées de qualité audio et/ou vidéo pourront aussi être réalisées.

7.7 EXPLOITATION ET MAINTENANCE DE LA ZONE D'ABONNE

Il est conseillé aux propriétaires du câblage d'immeuble d'en concéder l'exploitation et la maintenance à la collectivité ou son gestionnaire. Ceci assurera aux occupants des appartements l'exploitation d'un service de bout en bout allant du NA à la prise d'abonné.

L'exploitation et la maintenance tiendront compte des contraintes suivantes :

- la difficulté d'accès aux points de mesure,
- la fibre est éclairée, le réseau étant en fonctionnement,
- la présence de coupleurs dans les architectures Point-Multipoint.

La maintenance sera réalisée avec plusieurs types d'équipements présentés ci-dessous par ordre d'intervention :

- une pince optique validera la présence d'un signal optique sans ouvrir la liaison,



Figure 7.6 : pince optique

Identificateur de fibres

- 800 à 1700 nm,
- Tonalités 270hz, 1khz, 2 khz,
- Sensibilité: - 40dBm,
- Indication trafic et sens par led,

- un laser rouge ou source visible VFL se raccordera, en cas de panne, sur la prise optique de l'abonné. Si la lumière rouge n'apparaît pas au niveau du PR, probabilité de rupture ou d'écrasement. Si elle apparaît bien au PR, on recherchera une éventuelle contrainte à l'aide d'un OTDR,
- un testeur photométrique PON mesurera les niveaux de puissance à 1310 et 1490 nm en s'insérant sur la liaison,
- un réflectomètre optique avec un module OTDR à 1625 nm filtré. La longueur d'ondes à 1625 nm évitera de perturber le réseau lorsqu'il sera connecté de l'ONT (abonné) vers l'OLT (Noeud d'Accès NA),



Figure 7.7 : réflectomètre optique

7.8 LES NORMES DE CABLAGE D'IMMEUBLE

Le câblage d'immeuble est traité par les guides UTE à caractère normatif C 15-900 et C 90-483 Ed3.

8 ACRONYMES

| Acronyme | Terminologie | Définition |
|----------|--|---|
| A | | |
| ADSL | Assymetric Digital Subscriver Line | Technologie de transmission de signaux numériques sur les paires cuivre utilisées dans le réseau de distribution du RTC |
| ADSS | All Dielectric Self Supported | Technologie de câble aérien autoporté |
| APC | Angled Physical Contact | Désigne une technique utilisée dans les raccordements monomodes nécessitant un affaiblissement de réflexion élevé. La technique est applicable à différents standards de connecteurs (FC, SC...) et permet d'obtenir, par un contact physique angulaire des deux fibres, une réjection des réflexions (Return-Loss) |
| AFORST | Association Française des Opérateurs de Réseaux et de Services de Télécommunications | Association regroupant des Opérateurs présents sur le marché français dans le but de promouvoir et défendre les intérêts de ses membres. |
| AON | Active Optical Network | Architecture de réseau FTTH mettant en œuvre une double étoile active et des composants électroniques « actifs » dans le réseau d'accès. |
| ARCEP | Autorité de Régulation des Communications Electroniques et des Postes | Organisme français chargé, entre autre de réguler le marché et les services de télécommunications. |
| ATM | Asynchronous Transfer Mode | Technique de transfert asynchrone et de commutation de paquets qui permet de multiplexer des données numériques sur une même ligne de transmission |
| AVICCA | Association des Villes et Collectivités pour les Communications électroniques et l'Audiovisuel | Association regroupant des collectivités territoriales françaises (villes, intercommunalités, départements, syndicats mixtes, etc.) actives pour l'aménagement de leur territoire en réseaux de communications électroniques et le développement des services et des usages. |
| B | | |
| BPI | Boîtier de Pied d'Immeuble | Composant de la couche optique passive positionné en pied d'immeuble et permettant de desservir les usagers de l'immeuble. |
| BPE | Béton Prêt à l'Emploi | |
| B-PON | Broadband Passive Optical Network | Technologie de réseau PON standardisée par l'ITU-T et fondée sur le protocole ATM |
| C | | |
| CAA | Centre à Autonomie d'Acheminement | Central de commutation du réseau téléphonique commuté |
| CAD | Computer Aided Design | Dessin assisté par ordinateur |
| CGCT | Code Général des Collectivités Territoriales | Ensemble des articles de loi régissant le fonctionnement des Collectivités Territoriales |
| CL | Centre Local | Etablissement de France Télécom, intégré dans l'architecture du réseau téléphonique |
| CPL | Courant Porteur en Ligne | Technique de transmission de données permettant d'utiliser le câblage "courants forts" à l'intérieur du logement (indoor) ou au niveau final du réseau de distribution BT de l'EDF (outdoor) |
| CRIP | Comité des Réseaux d'Initiative Publique | Comité animé par l'ARCEP et regroupant les acteurs de l'aménagement « numérique » du territoire. |
| CWDM | Coarse Wavelength Division Multiplexing | Technique de multiplexage en longueurs d'ondes. Les longueurs d'ondes sont ici relativement espacées. |
| D | | |
| DECT | Digital Enhanced (ou European) Cordless Telecommunications | Système développé en même temps que le GSM. Principalement dédié aux liaisons sans fil (cordless) sur courte distance |
| DOE | Dossier des Ouvrages Exécutés | Terme d'ingénierie décrivant les dossiers de récolement et recette dans une construction |
| DSLAM | Digital Subscriber Line Access Multiplexer | Équipement d'interface permettant de concentrer les accès ADSL au niveau du répartiteur cuivre du NRA |
| DSP | Délégation de Service Public | Moyen réglementaire permettant aux collectivités de gérer les services fournis aux administrés au travers d'un délégataire. Cette solution est beaucoup employée pour mettre en œuvre les infrastructures territoriales de communication. |
| DTI | Dispositif de Termination d'intérieur | Équipement de la couche optique passive décrivant la prise terminale d'abonné également dénommée Point d'Accès (PA) |
| DWDM | Dense Wavelength Division Multiplexing | Technique de multiplexage (optique) en longueur d'ondes permettant de véhiculer plusieurs signaux sur la même fibre optique, par la mise en œuvre de plusieurs (jusqu'à 100 canaux) dans la même fenêtre de transmission (1550 nm) |
| E | | |
| EDGE | Enhanced Data rate for GSM Evolution | Norme compatible avec le GSM (2 ^{ème} génération) permettant d'augmenter les débits |
| E PON | Ethernet Passive Optical Networks | Technologie de réseau PON standardisée par l'IEEE (IEEE 802.3ah) et fondée sur la norme Ethernet |
| ETSI | European Telecommunication Standardization Institute | Organisme Européen chargé de la normalisation pour l'ensemble du domaine des télécommunications |

| F | | |
|--------|--|---|
| FAI | Fournisseur d'Accès à Internet | Fournisseur de services d'accès à l'internet |
| FC | Fiber Connector | Technologie de connecteur optique |
| FC/APC | Fiber Connector / Angled Physical Contact | Connecteur FC de type APC |
| FDDI | Fiber Distributed Data Interface | Standard de transmission de données à 100 Mb/s sur un réseau local en fibres optiques |
| FMC | Field Mountable Connector | Technologie de connecteur optique à montage « terrain » |
| FRP | Fiber Reinforced Polymer | Matière polymère résistante utilisée dans la protection des câbles |
| FSAN | Full Service Access Network | Terme générique regroupant les normes de réseaux d'accès optiques, notamment la recommandation G.982 d'IUT-T. |
| FSO | Free Space Optic | Technologie de liaison point à point mettant en œuvre la transmission des signaux par un faisceau optique en transmission libre (non guidée) dans l'atmosphère |
| FTTB | Fiber To The Building | Architecture de réseau de distribution sur fibres optiques où la terminaison optique est située en pied d'immeuble et dessert les logements situés dans l'immeuble (10 à 50) |
| FTTC | Fiber To The Curb | Architecture de réseau de distribution sur fibres optiques où la terminaison optique est située sur le trottoir et dessert un faible nombre de logements (10 à 20) |
| FTTD | Fiber To The Desk | Architecture de réseau de distribution sur fibres optiques où la terminaison optique est située dans le bureau |
| FTTH | Fiber To The Home | Architecture de réseau de distribution sur fibres optiques où la terminaison optique est située dans le logement des usagers |
| FTTLa | Fiber To The Last Amplifier | Architecture de réseau de distribution hybride sur fibres optiques et coaxial (HFC), où la terminaison optique est située au dernier amplificateur. La distribution finale est réalisée sur câble coaxial |
| FTTN | Fiber To The Node | Architecture de réseau de distribution sur fibres optiques où la terminaison optique dessert un nombre important de logements (250 à 1000) |
| FTTx | Fiber To The x | Terme générique décrivant les différentes architectures de réseau de distribution optique |
| G | | |
| GC | Génie Civil | |
| G PON | Gigabit-capable Passive Optical Network | Technologie de réseau PON standardisée par l'ITU-T |
| GPRS | Global Packet Radio Service | Evolution de la norme GSM de deuxième génération permettant, par l'introduction de techniques de transmission par paquets, d'augmenter les débits |
| GSM | Global System for Mobile Communication | Norme européenne de téléphonie cellulaire très répandue dans le monde, en concurrence avec la norme CDMA |
| GTI | Garantie de Temps d'Intervention | Règle imposée aux sous traitants en charge de la maintenance des réseaux |
| GTR | Garantie de Temps de Rétablissement | Règle imposée aux sous traitants en charge de la maintenance des réseaux |
| H | | |
| HSDPA | High Speed Downlink Packet Access | Protocole de téléphonie mobile constituant une évolution logicielle de la 3G (UMTS). Les performances de cette technologie sont dix fois supérieures à la 3G (UMTS R'99) et permettent d'approcher les performances des réseaux DSL |
| HFC | Hybrid Fiber Coax | Architecture de réseau large bande basée sur l'introduction de technologies optique sur le transport, tout en assurant la distribution finale vers les abonnés par des technologies coaxiales arborescentes |
| I | | |
| IEC | International Electrotechnical Commission | Comité de normalisation international |
| IEEE | Institute of Electrical and Electronics Engineers | Société scientifique basée aux Etats Unis active dans l'établissement de standards dans le domaine des réseaux et télécommunications. |
| IP | Internet Protocol (Protocole Internet) | Mis au point par Vinton Cerf et Robert Kahn au début des années 70, ce protocole de communications attribue à chaque machine une adresse qui permettra l'échange d'informations, transmises de manière discontinue (par paquets). |
| ITU-T | International Telecommunication Union – Telecommunications Standardisation Section | Organisme international chargé d'établir les normes et standards en matière de télécommunications |
| J | | |
| L | | |
| LAN | Local Area Network | Réseau local – Réseau d'entreprise |
| LC | | Technologie de connecteur optique |
| LMDS | Local Multipoint Distribution Service | Version particulière du MMDS |
| LSOH | Low Smoke 0 (Zero) Halogen | Matériau de gainage des câbles optiques permettant de garantir, en cas d'incendie, la faible diffusion de fumées et le non dégagement de substances halogénées |

| M | | |
|--------|---|---|
| MAN | Metropolitan Aera Network | Réseau métropolitain de télécommunications |
| MCO | Maintien en Conditions Opérationnelles | Terme décrivant l'ensemble des actions et moyens permettant de garantir l'état de fonctionnement d'un réseau |
| MGCP | Media Gateway Control Protocol | |
| MMDS | Multichannel Multipoint Distribution System | Système de distribution large bande utilisant la diffusion terrestre sur des fréquences allant de 1 à plusieurs dizaines de GHz |
| MPEG | Motion Picture Expert Group | Groupe ayant défini les standards de compression d'images animées dits MPEG et notamment MPEG-2 mis en œuvre dans les normes DVB |
| MPLS | Multi Protocol Label Switching | Standard permettant l'optimisation du routage des paquets IP dans un réseau d'opérateur ; il est indépendant des protocoles des couches 2 et 3 de l'ISO |
| MU | | Technologie de connecteur optique |
| MVDS | Multipoint Video Distribution System | Autre terminologie utilisée pour le MMDS |
| N | | |
| NA | Nœud d'Accès | Nœud de l'architecture du réseau d'accès optique |
| NF | Nœud de Flexibilité | Nœud de l'architecture du réseau d'accès optique |
| NRA | Nœud de Raccordement d'Abonné | Terme utilisé dans le contexte du dégroupage pour désigner le local de raccordement associé au CAA |
| NRA-HD | Nœud de Raccordement d'Abonné Haut Débit | NRA créés par France Télécom afin de réduire la distance de ligne des abonnés pour certains sites et d'augmenter le débit des services DSL sur ces lignes. |
| O | | |
| OLT | Optical Line Termination | Terminaison optique du réseau d'accès située dans le central de rattachement |
| ONT | Optical Network Termination | Terminaison optique du réseau |
| ONU | Optical Network Unit | Terminaison optique du réseau d'accès située du côté abonné |
| ORL | Optical Return Loss | Réflectance : affaiblissement de réflexion d'onde en retour |
| OTDR | Optical Time Domain Reflectometer | Réflectomètre optique : appareil de mesure destiné à analyser et qualifier une liaison fibre optique |
| P | | |
| P2MP | Point à Multi Point | Terme utilisé pour décrire une architecture de réseau Point à Multi Point |
| P2P | Point à Point | Terme utilisé pour décrire une architecture de réseau Point à Point |
| PA | Prise d'Abonné | Équipement de la couche optique passive décrivant la prise terminale d'abonné |
| PABX | Private Automatic Branch eXchange | Central téléphonique d'Entreprise. |
| PC | Physical Contact | Désigne une technique utilisée dans les raccordements fibre optique et qui permet de mettre en contact et d'aligner deux extrémités de fibre |
| PeHD | Polyéthylène Haute Densité | Matériau de gainage des câbles optiques et de composition des fourreaux |
| PeMD | Polyéthylène Moyenne Densité | Matériau de gainage des câbles optiques |
| PLC | Planar Lightwave Circuit | Technologie de fabrication de coupleurs optiques utilisés dans les réseaux PON |
| PLU | Plan Local d'Urbanisme | |
| PMD | Polarization Mode Dispersion | Dispersion des Modes de Polarisation : phénomène de dispersion dû à la différence de temps de propagation entre deux modes orthogonaux sur une liaison monomode longue distance. |
| PON | Passive Optical Network | Réseau Optique Passif - Terme générique regroupant les architectures de réseau d'accès de type partagé et fondé sur les technologies fibres optiques. Elles se déclinent généralement en PON-RF (radiofréquence), E-PON (PON Ethernet) et A-PON (PON ATM) |
| POP | Point de Présence Opérateur | Local dans lequel sont hébergés les équipements d'un opérateur et à partir duquel il peut délivrer des services. |
| PR | Point de Raccordement d'usagers | Noeud de l'architecture du réseau d'accès à partir duquel sont branchés les clients |
| PVC | PolyVinyl Chloride | Matériau de gainage des câbles optiques et de composition des fourreaux |
| Q | | |
| QDMA | Quadratic Division Multiple Access | |
| QOS | Quality Of Service | Qualité de Service |
| R | | |
| RFC | Request For Comment | Série de documents et normes concernant l'Internet, commencées en 1969. Peu de RFC sont des standards, mais tous les standards de l'Internet sont enregistrés en tant que RFC |
| RFTS | Remote Fiber Test System | Système de surveillance et test de câbles optiques à distance |
| RTC | Réseau Téléphonique Communiqué | Réseau téléphonique général |
| S | | |
| SC | Subscriber Connector | Technologie de connecteur optique |

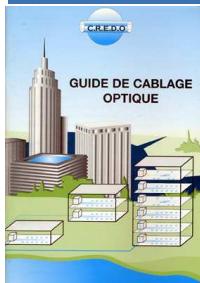
| | | |
|----------|---|---|
| SC/APC | SC - Angled Physical Contact | Connecteur SC de type APC |
| SDH | Synchronous Digital Hierarchy | Hiérarchie de transmission numérique synchrone définie par l'UIT-T ; ex : 155 Mb/s |
| SIG | Système d'Information Géographique | Système d'Information permettant de gérer à partir d'une cartographie, les emplacements des équipements d'un réseau |
| SLA | Service Level Agreement | Contrat décrivant le niveau de service entre un fournisseur et son client |
| SMF | Single Mode Fiber | Fibre optique unimodale ou monomode |
| SOHO | Small Office Home Office | Petits abonnés professionnels |
| T | | |
| TIC | Technologie de l'Information et de la Communication | |
| TNT | Télévision Numérique Terrestre | |
| U | | |
| UIT-T | Union Internationale des Télécommunications | Nouveau nom du CCITT |
| UMTS | Universal Mobile Telecommunication System | Norme GSM dite de troisième génération |
| UTE | Union Technique de l'Electricité | Organisme de normalisation |
| UV | Ultra Violets | |
| V | | |
| VDSL | Very high bit-rate Digital Subscriber Line | Technologie dérivée de l'xDSL, et permettant d'atteindre des très hauts débits sur des distances courtes |
| VLAN | Virtual LAN | Réseau Local virtuel |
| VOD | Video On Demand | La vidéo à la demande est une technique de diffusion de contenus vidéo numériques bidirectionnelle (interactive) offerts ou vendus par les réseaux câblés, comme Internet, ou les réseaux non câblés, comme la téléphonie 3G |
| VOIP | Voice Over IP | La voix sur réseau IP, ou « VoIP » pour Voice over IP, est une technique qui permet de communiquer par la voix via l'Internet ou tout autre réseau acceptant le protocole TCP/IP. Cette technologie est notamment utilisée pour supporter le service de téléphonie IP (« ToIP » pour Telephony over Internet Protocol). |
| VPN | Virtual Private Network | Alors que le WAN traditionnel est basé sur des lignes louées à l'opérateur, le VPN est déployé sur des infrastructures partagées, notamment à travers le protocole IP en utilisant le réseau Internet public (Internet VPN) ou en utilisant des liens IP privés (IP VPN) |
| W | | |
| WAN | Wide Area Network | Réseau d'entreprise s'étendant au-delà des limites du territoire privé, et permettant la mise en place d'applications telles que Intranet, Extranet ou la connexion de télétravailleurs fixes ou nomades (voir aussi V.LAN) |
| WDM | Wavelength Division Multiplexing | Système de multiplexage en longueurs d'onde mis en œuvre dans les transmissions sur fibres optiques et partageant la ressource de transmission (la fibre) entre plusieurs flux transmis par des lasers spécifiques émettant à des longueurs d'ondes différentes; à l'arrivée le signal optique est filtré pour isoler les différents signaux élémentaires |
| Wi-Fi | | Label lié aux matériels conformes aux normes IEEE 802.11 |
| WIMAX | Worldwide Interoperability for Microwave Access | Famille de normes, définissant les connexions à haut-débit par voie hertzienne. |
| X | | |
| xDSL | X Digital Subscriber Line | Terme générique regroupant l'ensemble des technologies permettant la transmission de services haut débit sur les supports à paires torsadées cuivre traditionnels |
| Z | | |
| | | |

9 REFERENCES

9.1 PUBLICATIONS ANTERIEURES DU CERCLE C.R.E.D.O

Guide de câblage optique

Réf. 04/96-001FR



Ce guide, publié en 1996, fait le point sur l'usage des technologies fibre optique dans les infrastructures de câblage d'entreprise - bâtiments, campus, etc. - dans les réseaux fédérateurs et jusqu'à la prise terminale de bureau.

Il s'adresse à tous les acteurs intervenant dans les infrastructures et applications de télécommunications et réseaux.

Cet ouvrage de 46 pages décrit l'architecture générale, les concepts d'ingénierie et produits associés, les caractéristiques des composants mis en œuvre, les règles de mise en œuvre, les règles de contrôle, l'exploitation et les applications ainsi que la normalisation.

Cette brochure est devenue depuis sa publication, l'ouvrage de référence en matière de câblage optique

Glossaire du câblage optique

Réf. 06/97-002FR



Près de 400 définitions du vocabulaire propre à la technologie de la fibre optique sont recensés dans ce glossaire du câblage optique.

Cet ouvrage de 72 pages est organisé par thèmes et comprend 11 rubriques : lois optiques, fibres, câbles, contenants et accessoires, mesures et appareils, composants passifs et actifs, raccordement, systèmes de transmission, pose, outillage... Ce classement en rubriques permet, outre la recherche alphabétique, d'élargir la connaissance à d'autres termes proches, relevant du même domaine.

Mesure et recette d'un câblage optique

Réf. 03/98-003FR



Cet ouvrage présente, dans le cadre de l'état de l'art actuel, les principes et la méthodologie de contrôle des installations à fibres optiques.

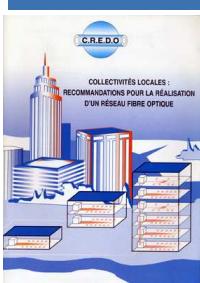
Véritable référentiel du contrôle, cet ouvrage répond à l'attente du marché en matière de clarification des prestations des professionnels.

Pour chaque stade de réalisation, il précise les contrôles et mesures à effectuer et délimite les responsabilités de chaque intervenant.

Outre une méthodologie de mesures et précautions opératoires, le guide propose un cahier de recette pour suivre l'évolution du réseau et en faciliter la maintenance. Il comporte un glossaire spécifique des mesures et recette.

Collectivités Locales : recommandations pour la réalisation d'un réseau fibre optique

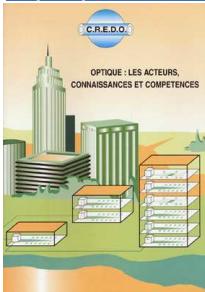
Réf. 10/98-004FR



Ce premier ouvrage de recommandations, publié en 1998 est entièrement dédié aux réseaux métropolitains fibre optique. Il répond à un double objectif : guider les élus locaux désireux de construire des GFUs dans leurs choix technologiques et financiers et fournir aux services techniques un référentiel sur les règles d'architecture, le choix des technologies, les règles de mise en œuvre et de contrôle.

Ce guide de 44 pages est divisé en deux parties. Une première partie destinée à éclairer les maîtres d'ouvrage sur l'apport du MAN (Metropolitan Area Network) à la Collectivité Locale et à ses administrés, son environnement réglementaire, ses modalités de réalisation et de gestion et les coûts afférents. La deuxième partie, à l'intention des services techniques, traite de l'ingénierie de câblage, du choix des composants, des règles d'installation, de mise en œuvre et des étapes de contrôle..

Optique : les acteurs, connaissances et compétences Réf. 09/99-005FR



A lire, pour une conduite efficace de votre projet câblage optique !

Le savoir-faire des intervenants est un élément décisif aussi stratégique que la qualité des technologies pour la réalisation d'un câblage optique. La lecture de ce guide fournit les éléments indispensables pour l'appréciation et le choix du prestataire le mieux adapté aux besoins et objectifs d'un projet.

Cet ouvrage s'adresse aux entreprises qui envisagent de se doter d'un câblage optique : de la PME, pour sa communication d'entreprise, à l'opérateur de télécommunication grande distance. La mise en place d'un réseau de communication se décompose en différentes étapes, de la phase d'étude à l'exploitation, en passant par la réalisation. Le guide reprend cette décomposition en décrivant à chaque étape, les missions correspondantes et les métiers associés : concepteur, acheteur, installateur, intégrateur, expert, Après avoir défini précisément en quoi consiste chaque métier, l'ouvrage détermine les connaissances et compétences que l'on est en droit d'attendre de chaque intervenant.

Réseau fibre optique étendu MAN-WAN : guide de réalisation Réf. 02/01-006FR



Ce ouvrage porte sur la réalisation d'un Réseau Fibre Optique Etendu. Il s'adresse aux spécialistes du domaine et leur apporte des réponses aux questions d'actualité, ainsi que des recommandations sur les réseaux MAN-WAN.

Le guide dresse en premier lieu un état des applications mises en œuvre sur les réseaux longues distances - SDH et DWDM, ainsi que les applications métropolitaines plus spécifiques. Il fait le point sur les différents types de fibres monomodes mis en œuvre sur ces réseaux et les critères de choix associés. Avec de nombreuses photographies et illustrations, il décrit l'état de l'art des différents composants mis en œuvre sur ces infrastructures : câbles, connectique, accessoires de raccordement et répartiteurs, ainsi que les règles de mise en œuvre, de contrôle et d'exploitation. Il est publié sous forme d'une brochure et d'un CD Rom.

La fibre optique dans les réseaux d'entreprise

Réf.05/2002-007FR



Quelle fibre optique choisir pour votre infrastructure de réseau ? Quelle distance déployer ? Quelle connectique mettre en œuvre ? Comment évoluent les normes et standards ? Votre infrastructure supporte t-elle les nouveaux réseaux Gigabit Ethernet ou 10 Gigabit Ethernet ?

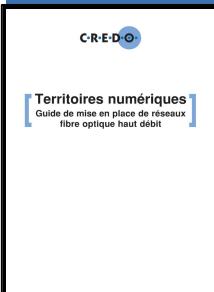
Dans un environnement en forte évolution, le dernier ouvrage du cercle C.R.E.D.O actualise les données sur l'usage des technologies fibre optique dans les infrastructures de réseau d'entreprise - bâtiments, campus, etc.

Ouvrage de référence, ce guide s'adresse à tous les acteurs intervenant dans la réalisation ou l'exploitation d'infrastructures de réseaux de télécommunications.

Il introduit de manière didactique les principes fondamentaux de la transmission optique. Il traite des standards de câblage et des applications de réseaux d'entreprise et de leurs évolutions. Avec de nombreuses photographies et illustrations, il décrit l'état de l'art des différents composants mis en œuvre : fibres, câbles, connectique, répartiteurs et propose, pour chacun de ces composants un guide de choix. Il décrit enfin les règles de mise en œuvre, de contrôle et d'exploitation des infrastructures.

Il est publié sous forme d'un ouvrage de 128 pages et d'un CD Rom.

Territoires numériques : guide de mise en place de réseaux fibre optique haut débit



Le développement de services multimédia à haut débit vers les usagers passe par la mise en place, au niveau régional et local, d'infrastructures de réseaux de collecte et d'accès à base de fibres optiques.

Cet ouvrage est destiné à éclairer les Collectivités Territoriales et acteurs impliqués dans le déploiement des réseaux à haut débit régionaux et métropolitains. Il constitue un véritable « condensé d'expertise » et un référentiel précieux de l'état de l'Art des technologies et pratiques.

Il fournit au lecteur tous les éléments nécessaires sur les enjeux, l'organisation du marché, le contexte réglementaire et l'état de l'Art des architectures et technologies permettant de favoriser le développement des services à haut débit sur le territoire, tout en pérennisant les investissements et infrastructures.

Il est édité sous forme d'un fascicule de 136 pages et d'un CD ROM

9.2 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Les ouvrages suivants ont été utilisés et cités pour partie dans ce guide :

MANUEL D'AIDE A LA REALISATION D'UNE INFRASTRUCTURE DE GENIE CIVIL DE POSE DE CABLE OPTIQUE POUR DES RESEAUX A HAUTS DEBITS (IGC-RHD-RRA)

Sous-dossier n°3 :

Chapitre 1 : Recommandations techniques

Référence : D453PPL3_sd3_V1

Date de création : juin 2004

Version : 1

« Livre Blanc » - Les réseaux PON « Passive Optical Network » - éléments d'appréciation techniques, économiques et réglementaire

18 Décembre 2006

Extrait N°801 de la Revue Générale des Routes

10 LISTE DES MEMBRES ET CONTRIBUTEURS

Cet ouvrage est le fruit d'un travail commun mené entre Septembre 2004 et Juillet 2007. Il a mobilisé de nombreuses ressources et expertises à l'intérieur comme à l'extérieur du Cercle C.R.E.D.O. Nous tenons à adresser nos vifs remerciements à tous ceux qui par leur contribution et soutien ont permis d'achever cette parution.

10.1 LISTE DES CONTRIBUTEURS

Nous tenons à remercier tout particulièrement les sociétés suivantes et leurs représentants, pour leurs avis, contributions, apports et soutien dans la réalisation de cet ouvrage :

| | | | | | |
|---------------|---------------|--------------|----------------------|-----------|-------------------|
| ANCENAY | François | FORTEL | LEBARS | Daniel | FT R&D |
| BARETY | Jean Philippe | MITSUBISHI | LE-DU | Stéfan | CETE DE L'OUEST |
| BEAUFORT | Nicolas | AXIONE | LEGRAND | Thierry | ERI |
| BERNARD | Denis | SYNAPSE | LEMONNIER | Jacques | ACOME |
| BEZADA | Juan | 3M | LEPINE | Paul | CEVAM |
| BILLET | Gilles | IFOTEC | LESUEUR | Philippe | ACOME |
| BIREPINTE | Alain | SCOPELEC | MAMALET | Noel | LYCEE LE DANTEC |
| BOLOGNESI | Gilles | SOBECA | MATTEOTTI | Guy | NAYNA NETWORKS |
| BOURICHON | David | SNCF | MELLIER | Guillaume | CETE DE L'OUEST |
| BRAULT | Dominique | ACOME | MERCIER | Bruno | SOCOTEC |
| BROXOLLE | Didier | | MIGNON | Hervé | SNCF |
| BUYLE | Michel | FIBER FAB | NAVIO | Stéphane | CIR CET |
| CALA | Franck | TYCO | OBERDORF | Pierre | TYCO |
| CHOVIN | Jacques | TYCO | PARIZET | Arnaud | ACOME |
| CORNEIL | William | GRANIOU | PAUTONNIER | Sophie | MITSUBISHI |
| COUSIN | Jérôme | TYCO | PAYRAT | Luc | AETA |
| COUSY | Alain | SOBECA | PERROT | François | CIR CET |
| COZIC | Michel | EXPRIMM SAS | PIERRE | Eric | COLT |
| DAMBLIN | Armelle | CETICE | PLUMETTAZ | Gérard | PLUMETT |
| DANTHINE | Olivier | GNS | POLENI | Jacques | ACTERNA |
| DEMOLLIENS | Thomas | WAVIN | REPISO | Frederic | CIR CET |
| DESPORTES | Bernard | SNCF | REVEILLON | Christian | GRANIOU |
| FABRE | Thomas | ACOME | RICHARD | Claude | AL TEIS |
| FAUVE | Daniel | COMOPTIC | RUDERMAN | Kurt | PENN WELL CORP |
| FILLOLEAU | Bernard | ERECA | RUER | Stephen | ACTERNA |
| FINET | Jean Marc | X-PM | SALAUN | Jacques | 3M |
| GANGLOFF | Eric | INT | SAPET | Paul | CIR CET |
| GEERSTMAN | Pascal | RATP - EXERA | SILLANS | Christian | IFOTEC |
| GIBELIN | Eric | CIR CET | SMRKOLJ | André | DEUTSCH ORLEANS |
| GUIOL | Jacques | ERECA | TARDIF | Eric | MAIRIE DE NEUILLY |
| HELIE | Thierry | ACOME | TETU | Guy | FICOME |
| HENRY | Hervé | ESIGELEC | THEVENOT | Alain | COREL |
| HUMBERT | Joël | SCOPELEC | THIBAUT de MAISIERES | Philippe | FIBAPT |
| HUSSON | Matthieu | LASER2000 | THOMAS | Paul | LYCEE LE DANTEC |
| JACQUOT | Patrick | RTE | TRIBOULET | Michel | E - RESO |
| JARRY | Joëlle | FORMA 2000+ | UGOLINI | Alain | |
| LACHKAR | Jonathan | CIR CET | VIESEN | Yann | ADP |
| LACZNY | Richard | AIRBOX | VIVIER | Marc | SNCF |
| LACZNY | Marc | AIRBOX | WARY | Caroline | CW CONSEILS |
| LAHOZ | Pascal | CETE DE LYON | WATEL | Dominique | TELCITE |
| LAMMENS | David | GRANIOU | WECKER | Gérard | SOGETREL |
| LAMY | Bernard | CISCO | WILLEMANN | Pierre | APA VE |
| LANDOS | Julien | FT R&D | ZAHND | Eric | AUBAY |
| LAURENCOT | Jean Luc | CETE OUEST | ZBINDEN | Alexandre | AIRBOX |
| LAVILLONNIERE | Eric | MITSUBISHI | | | |

10.2 COMITÉ ÉDITORIAL

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

| | | | |
|--|--|--|--|
| <u>MAITRISE D'ŒUVRE EDITORIALE</u> | ZAHND | Éric | AUBAY |
| <u>AUTEURS</u> | ANCENAY BILLET BOLOGNESI BRAULT CHOVIN DEMOLLIENS HUSSON LACZNY LAHOZ LAVILLONNIERE LE-DU LEMONNIER LEPINE LESUEUR MIGNON PAUTONNIER PIERRE POLENI RICHARD SALAUN THIBAUT TRIBOULET WATEL ZAHND | François Gilles Gilles Dominique Jacques Thomas Matthieu Richard Pascal Éric Stefan Jacques Paul Philippe Hervé Sophie Éric Jacques Claude Jacques Philippe Michel Dominique Éric | FORTEL ARUFOG, IFOTEC SOBECA ACOME TYCO WAVIN - NOVOTECH LASER2000 AIRBOX Technologie CETE DE LYON MITSUBISHI MEDAD ACOME CEV ACOME SNCF MITSUBISHI COLT ACTERNA-JDSU ALTEIS 3M FIBAPT E RESO TELCITE AUBAY |
| <u>COMITE DE RELECTURE</u> | BILLET DAMBLIN LAHOZ LE DU THIBAUT TRIBOULET ZAHND | Gilles Armelle Pascal Stefan Philippe Michel Éric | IFOTEC CETICE CETE DE LYON MEDAD FIBAPT E RESO AUBAY |

10.3 LISTE DES ADHÉRENTS* AU CERCLE C.R.E.D.O

3M Télécommunications
 A.D.P.
 ACTERNA / JDSU
 ACOME
 AIRBOX Technologie
 ALTEIS
 ARUFOG
 AUBAY
 AXIONE
 CETE de Lyon
 CETICE
 CEV
 CIRCET
 COLT
 COMOPTIC
 COMPAGNIE DEUTSCH ORLEANS
 CW Conseils
 ERECA
 E RESO
 ERI
 ESIGELEC
 EXERA
 FIBAPT
 FiberFab
 FICOME
 FORMA2000
 FORTEL
 FRANCE TELECOM
 GNS
 GRANIOU
 HEC
 HUB Telecom
 IFOTEC
 LASER2000
 LEGRAND
 LYCEE LE DANTEC
 MEDAD
 MITSUBISHI ELECTRIC ITE
 PLUMETTAZ
 RATP
 RTE / ARTERIA
 SCOPELEC
 SNCF
 SOBECA
 SOCOTEC
 TELCITE
 TYCO
 WAVIN NOVOTECH

* Liste établie en date du 30 Juin 2007.

● Retrouvez toutes nos informations et publications
sur notre site www.cercle-credo.com





**L'association
des métiers et expertises
pour le Très Haut Débit**



32, rue de Ponthieu - 75008 PARIS - T. 01 46 10 67 67 - F. 01 46 10 67 68
contact@cercle-credo.com - www.cercle-credo.com