



GUIDE DE MISE EN PLACE DES RÉSEAUX D'ACCÈS FTTH

Le déploiement sur l'ensemble du territoire
à l'exception des zones très denses

Cercle de **R**éflexion et d'**E**tude pour le **D**éveloppement de l'**O**ptique

© Cercle C R E D O - Duplication sous réserve d'autorisation

C R E D O

PRÉFACE



Le remplacement du réseau téléphonique en cuivre, établi au siècle dernier, par un maillage de plus d'un million de kilomètres de fibre optique est le plus grand chantier d'infrastructure que la France ait à réaliser au cours des prochaines années.

C'est un grand défi industriel et opérationnel, pour un immense enjeu : celui de faire bénéficier l'ensemble de l'économie, de la société et des territoires français du potentiel et des extraordinaires opportunités de la révolution numérique.

Pour le déploiement de cette infrastructure du 21^{ème} siècle, les pouvoirs publics ont choisi la complémentarité entre initiative privée et initiative publique. L'initiative publique locale est désormais encouragée et soutenue par l'Etat, avec l'objectif d'éviter en amont une nouvelle fracture géographique sur le très haut débit, qui serait un terrible handicap pour les territoires, les entreprises et les citoyens concernés.

Dans une compétition mondiale pour déployer ces nouveaux réseaux, la rapidité et la qualité d'exécution sont des facteurs clé. Même si l'on peut constater le très fort engagement des opérateurs et des collectivités territoriales, l'ARCEP ne peut que soutenir les initiatives visant à fédérer l'information et les compétences en la matière. En outre, afin de mobiliser l'ensemble des énergies, un effort important de communication et de pédagogie est nécessaire pour diffuser l'état de l'art.

Quelles sont les exigences techniques en matière d'architecture des réseaux de fibre à l'abonné ? Quelles sont les caractéristiques des différentes technologies disponibles ? Quels sont les processus de déploiement de ces réseaux et comment les optimiser ? Comment s'effectue le raccordement final des abonnés ?

Autant de questions ici abordées par le Comité Éditorial du CREDO sous l'angle conjoint des normes techniques et réglementaires, dont certaines sont fixées par l'ARCEP.

Les équipes de l'ARCEP sont elles-mêmes fortement mobilisées sur le suivi et l'accompagnement des projets sur le terrain. Elles sont aussi à la disposition de chacun pour répondre à toutes les interrogations sur une réglementation qui peut sembler complexe.

En tant que membre de l'Autorité, engagé depuis plus de dix ans dans l'aménagement numérique du territoire, je partage la passion qui anime le CREDO et je salue l'enthousiasme qu'il manifeste pour transmettre cette passion. Ce guide est une excellente contribution pour aider l'ensemble des acteurs à relever le grand défi du très haut débit.

M. Jérôme COUTANT

membre du collège de l'ARCEP



PRÉAMBULE

La généralisation du très haut débit d'ici 2025, sera un vecteur impératif et incontournable pour le dynamisme, la prospérité et la croissance économique nécessaires au maintien et à la création d'emplois. L'accès à des contenus et services identiques en tout point du territoire sera source d'équité et d'attractivité territoriale.

Pour le CREDO, le réseau cible satisfaisant à tous les critères techniques de pérennité, de disponibilité et de qualité s'appuiera obligatoirement sur un réseau d'accès en « fibre optique ». La construction de ce réseau nécessitera des investissements élevés de l'ordre de 30 Milliards d'euros, branchement compris, pour couvrir le territoire¹. Les intentions d'investissement des opérateurs de services, si elles se concrétisent, pourraient permettre de couvrir jusqu'à 60% de la population à horizon 2020. L'action publique sera déterminante pour assurer une couverture généralisée du territoire. D'ores et déjà les régions et les départements s'organisent. Au niveau des départements, la mise en place de schémas directeurs territoriaux d'aménagement numérique (SDTAN), conformément à l'article L1425-2 du code général des collectivités territoriales (CGCT)² s'inscrit dans cette démarche. En concertation avec tous les acteurs, le schéma directeur permet aux pouvoirs publics d'anticiper et d'organiser la mise en œuvre d'une desserte numérique à très haut débit³ sur l'ensemble du territoire considéré : aires urbaines peu denses, zones périurbaines et rurales - favorisant l'accès de tous à l'internet à très haut débit, dans des conditions aussi proches que possible de ce que l'on peut trouver dans les zones dites très denses (qui correspondent à 148 communes).

Toute autre vision, qui pourrait avoir un intérêt à court terme mais risquerait de freiner, voire de mettre un coup d'arrêt au caractère prioritaire du déploiement des réseaux d'accès FTTH est à proscrire et accentuerait les risques d'une nouvelle « fracture numérique ».

C'est dans cet esprit que depuis janvier 2011, le Cercle oriente ses travaux sur le déploiement des réseaux d'accès FTTH dans les zones moins denses (ZMD), définies comme l'ensemble du territoire français à l'exception des zones très denses (ZTD). En se référant à la décision idoine de l'ARCEP (décision n°2010-1312 du 14 décembre 2010), le CREDO entend fournir aux acteurs du domaine un guide de recommandations, dans le même esprit que le guide de mise en place des réseaux FTTH paru en 2007. Dans ces zones moins denses, le Cercle, fort de son expertise et de sa maîtrise technique, souhaite mettre à disposition des collectivités territoriales un référentiel de l'état de l'art des architectures, des technologies et des techniques de mise en œuvre et d'exploitation des réseaux d'accès FTTH dans une logique de mutualisation des infrastructures.

En expliquant clairement sa vision et en étant force de proposition, le CREDO aspire à participer activement au développement des services numériques sur le territoire.

Ce guide constitue l'aboutissement de plusieurs centaines d'heures d'expertises agrégées et résulte de la vision et de la passion de ses membres. Le Cercle entend fournir aux décideurs et aux acteurs du très haut débit un véritable mode d'emploi pour la refonte des réseaux d'accès tout en garantissant la pérennité des infrastructures et des investissements dans un contexte de mutualisation des coûts.

A sa date de sortie, ce guide représente l'état de l'art vu par les membres du CREDO. Il sera régulièrement complété et mis à jour.

Le Comité Editorial

1 Etude DATAR en 2010 (chiffrage national y compris les zones AMII et ZTD)

2 Nouvel article issu de la loi n°2009-1572 du 17 décembre 2009 relative à la lutte contre la fracture numérique (article 23)

3 L'article L1425-2 du CGCT : Les schémas directeurs territoriaux d'aménagement numérique présentent une stratégie de développement de ces réseaux, concernant prioritairement les réseaux à très haut débit fixe et mobile

QUI SOMMES-NOUS ?

Association interprofessionnelle active depuis 1993, le CREDO, Cercle de Réflexion et d'Etude pour le Développement de l'Optique, regroupe et fédère l'ensemble des métiers et expertises du monde des communications électroniques et des réseaux à très haut débit.

Par la parution de nombreux guides de recommandations, fruit de l'expertise et des retours d'expériences de ses membres, le CREDO poursuit sa vocation : « promouvoir et favoriser l'utilisation de la technologie fibre optique dans les réseaux ».

Sa démarche se veut globale et prend en compte l'organisation du marché, le cadre réglementaire, ainsi que les spécifications techniques portant sur le choix des architectures, des règles d'ingénierie, des composants et des méthodes d'installation. Les procédures de qualification, d'exploitation et de maintenance des réseaux sont aussi traitées dans les guides.

Les travaux du Cercle s'inscrivent dans **une logique d'infrastructures neutres et mutualisées**, essentielle pour assurer le développement de la concurrence entre les opérateurs de services et l'émergence de nouveaux usages et applications. En complément de ses guides, le CREDO anime périodiquement des cycles de conférences et des forums sur ces domaines.

Dès 1997, le CREDO a accompagné les collectivités territoriales qui souhaitaient déployer des boucles régionales, métropolitaines et locales motivées par la création de Groupes Fermés d'Utilisateurs (GFU). En 1998, paraissait un premier ouvrage de recommandations, sur ce thème, permettant de guider les élus et leurs services techniques dans leurs choix technologiques et financiers.

En 2004, le vote de la Loi pour la confiance dans l'économie numérique introduisait l'article L1425-1 dans le Code général des collectivités territoriales. Il donnait aux collectivités et à leurs groupements la possibilité d'intervenir dans le domaine des communications électroniques afin de pallier un éventuel déficit d'offres privées sur leurs territoires. À la faveur d'un contexte réglementaire adapté, le CREDO décida d'accompagner les collectivités territoriales pour

qu'elles jouent un rôle majeur dans le nouveau panorama des communications électroniques et qu'elles assurent pleinement leur mission d'aménagement numérique du territoire.

Le CREDO a contribué à cette dynamique en publiant un ouvrage intitulé « **Territoires Numériques** » guide de mise en place des réseaux haut débit. Cette publication a permis d'éclairer les décideurs sur les enjeux techniques et économiques et favoriser le développement des services de communications électroniques sur leurs territoires. Dès 2003, le CREDO écrivait : « *L'attractivité et la compétitivité des territoires passent par la mise en place d'infrastructures, supports de réseaux de télécommunications neutres, ouvertes et mutualisables, aussi bien dans les réseaux de collecte que dans celui de l'accès. Seule une infrastructure fibre optique offrant des possibilités de déploiement de services à Très Haut Débit répondra à ces attentes.* ».

L'expérience montre que l'investissement de la collectivité dans un réseau de collecte permet de mutualiser les investissements d'infrastructure, de couvrir les besoins des opérateurs de services (fixes et mobiles), de favoriser le haut débit sur le territoire, de désenclaver les entreprises et de réaliser le lien entre les grands réseaux nationaux et la distribution des services vers les usagers.

Dans la continuité de ses travaux sur les réseaux de collecte, le CREDO publiait en 2007, un guide « **Développement des réseaux à Très Haut débit - Guide de mise en place de réseaux FTTH** », ouvrage entièrement dédié à la description des règles de conception, de mise en œuvre, d'exploitation et des services dans les réseaux d'accès FTTH. Un guide dont l'objectif premier était d'accompagner les collectivités dans la mutation du haut débit vers le très haut débit. Dans son ouvrage, le CREDO mettait en évidence la mutualisation des infrastructures passives du génie civil à la fibre. Nous écrivions à l'époque : « *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 services* ».

Dans sa réflexion, le CREDO n'intégrait pas le concept de « zones très denses »⁴ et de territoires à l'exception des zones très denses⁵, tout en sachant que les opérateurs se concentreraient sur les zones à fort potentiel. Le CREDO bâtissait une architecture générique applicable partout et pour tous dont le dimensionnement et les caractéristiques dépendaient uniquement de la typologie de la zone à desservir et des contraintes techniques.

Dans sa démarche, le CREDO invitait les collectivités à intégrer les déploiements FTTH dans des schémas directeurs, notion de réseau cible et souhaitait que les aménageurs et promoteurs intègrent les déploiements optiques dans leurs cahiers des charges.

Aujourd'hui, la mise en œuvre des SDTAN au niveau départemental s'inscrit dans cette démarche et nous conforte dans notre action.

Dans le cadre de ses travaux sur le déploiement des réseaux fibres optiques hors des zones très denses, le CREDO a mené une réflexion sur la montée en débit sur cuivre et en juin 2011 a édité un fascicule intitulé : « **Les conditions pour que la Montée en Débit sur cuivre ne soit pas un frein au déploiement du FTTH** ». Cet ouvrage exprime clairement la vision du CREDO pour que les opérations de montée en débit (MeD), temporaires mais souvent nécessaires pour éviter une fracture numérique du très haut débit, s'inscrivent dans une logique de déploiement généralisé des réseaux FTTH. Ce document met en évidence, sous forme de recommandations, les risques, les enjeux et le rôle que doivent exercer les Collectivités Territoriales pour mener pleinement leur mission d'aménagement numérique du territoire et ne pas être réduit à un simple rôle de financeur.

⁴ Vocabulaire introduit par la réglementation ARCEP (cf infra), correspondant respectivement à : des aires urbaines très denses, soit 148 communes en France en 2011

⁵ Les autres communes, soit les aires urbaines moins denses, les zones périurbaines et rurales

RECOMMANDATIONS DU CREDO

Le guide contient dans le corps des différents chapitres qui le constituent un grand nombre de recommandations spécifiques en complément desquelles il nous est apparu important de mettre en relief les recommandations générales suivantes :

R1 : Le réseau d'accès « cible » satisfaisant à tous les critères de pérennité, disponibilité, qualité et capable de supporter les évolutions tendancielles et inéluctables des usages et des débits s'appuiera obligatoirement sur un **réseau fibre optique**.

En dehors des zones très denses, le réseau d'accès très haut débit devra s'inscrire dans une logique de **mutualisation des infrastructures**, essentielle pour le développement de la concurrence entre les opérateurs et l'émergence de nouveaux usages et applications. Les collectivités territoriales auront l'opportunité de jouer un rôle primordial en faisant déployer pour leur compte des infrastructures neutres.

R2 : L'élaboration du **schéma directeur territorial d'aménagement numérique** (SDTAN) établi à l'initiative des collectivités à l'échelle du département se positionne comme l'outil stratégique indispensable et prépondérant pour assurer une desserte progressive, cohérente, réfléchie et générale du très haut débit. Pour le CREDO, le schéma directeur doit intégrer l'ensemble des besoins, que les déploiements soient financés par des fonds publics, privés ou mixtes.

R3 : Le CREDO préconise de prolonger la démarche des SDTAN par des **études d'ingénierie** pour préciser les modalités de progressivité d'investissement et les contributions éventuelles des solutions de montée en débit ainsi que leur phasage pour atteindre le réseau FTTH cible, tout en tenant compte de la propriété des infrastructures.

R4 : Le CREDO invite les acteurs du très haut débit, en particulier les collectivités territoriales, à définir un **référentiel commun des règles d'ingénierie et des méthodes d'exploitation**. Ce guide de mise en place des réseaux d'accès FTTH sur l'ensemble du territoire à l'exception des zones très denses s'inscrit comme une première contribution à cette démarche.

R5 : Il est impératif de **ne pas limiter l'ambition des projets FTTH aux seuls services des fournisseurs d'accès** (Triple, voire Quadruple Play), mais de prendre en compte dès le départ, dans l'équation économique du déploiement, toutes les retombées positives que pourra apporter le fibrage du territoire, en particulier en terme de développement durable, ainsi que pour les services à la personne.

R6 : Les facteurs clé pour la réussite des projets de déploiement des réseaux d'accès à fibre optique sont notamment :

- L'information et la montée en compétence des élus, responsables publics et des personnels techniques aussi bien de la fonction publique territoriale que des entreprises privées du secteur ;
- La formation et la qualification individuelle et le maintien à niveau des personnels des installateurs et exploitants.

Ce guide de mise en place des réseaux d'accès FTTH hors des zones très denses a pour vocation d'être une référence pour accompagner toutes les initiatives de formation dans toutes les régions.

R7 : Compte tenu du niveau des investissements requis sur une très longue période et de la nécessité de pérennité de l'éco système dans ses aspects législatifs, réglementaires, économiques, techniques et opérationnels, la **stabilité des orientations et des engagements de l'ensemble des acteurs** est une condition indispensable pour la réussite du projet national du très haut débit.

SOMMAIRE

1 Le cadre réglementaire	11
1.1 Le cadre réglementaire du déploiement FTTH en France	12
1.1.1 Accès au très haut débit en fibre optique (FTTH) dans les zones très denses	14
1.1.2 Accès au très haut débit en fibre optique (FTTH) en dehors des zones très denses	16
1.1.3 Recommandation pour l'accès au très haut débit en fibre optique pour certains immeubles des zones très denses, notamment ceux de moins de 12 logements	17
1.2 La régulation ex ante de l'Arcep	17
1.2.1 Les nouvelles obligations pesant sur France Telecom sur l'accès à la boucle locale	18
1.2.2 Les nouvelles obligations pesant sur France Telecom sur l'accès à la sous-boucle	18
1.2.3 Nouvelle obligation sur l'offre de gros d'accès activé (bitstream)	19
1.2.4 Prise en compte des appuis aériens dans le périmètre de l'offre d'accès au génie civil	19
1.3 La législation	20
1.3.1 Les textes fondateurs	20
1.3.2 Les récents textes de lois	20
1.4 Action de l'État	22
1.4.1 Le Programme National Très Haut Débit	22
1.4.2 Le FANT	23
1.4.3 Les SDTAN et SCORAN	23
1.4.4 La circulaire Premier Ministre du 16 août 2011	25
2 Les réseaux de communications électroniques	27
2.1 Historique et évolution des réseaux de communication	28
2.1.1 Les services et les applications	28
2.1.2 Usagers professionnels	30
2.1.3 Usagers résidentiels	31
2.2 Typologie des réseaux de communications électroniques	32
2.2.1 Les réseaux d'opérateurs (backbone et accès	33
2.2.2 Les réseaux de collectivité	37
2.2.3 Les réseaux locaux d'entreprise	37
2.2.4 Les différentes technologies des réseaux d'accès	38
2.3 Panorama des architectures de desserte de type FTTx	39
2.3.1 Généralités sur le type d'architectures déployées	39
2.3.2 Topologies intermédiaires FTTx	40
2.3.3 Topologies FTTH	41
3 La problématique du réseau d'accès	43
3.1 Généralités sur les réseaux d'accès	44
3.1.1 Architecture cible	44
3.1.2 Composantes du réseau d'accès	44
3.1.3 Critères de mutualisation	45

3.1.4 Progressivité de la mise en place	45
3.1.5 Les rôles des documents fondateurs	46
3.1.6 La valorisation des infrastructures existantes	46
3.2 L'architecture générique des réseaux d'accès FTTH	47
3.2.1 Modélisation de l'architecture FTTH	47
3.2.2 Conception du réseau de collecte et optimisation des sites NRO	49
3.2.3 Le rôle et le positionnement du Point de Mutualisation (PM)	51
3.2.4 Critères de dimensionnement en fonction des typologies d'habitat	55
3.3 Palier intermédiaire : La Montée en Débit	56
3.3.1 Montée en débit sur cuivre	56
3.3.2 Montée en débit par les autres technologies	61
4 Technologies et composants du réseau d'accès	65
4.1 Composantes du réseau d'accès	66
4.2 Couche infrastructures	67
4.2.1 Les fourreaux	67
4.2.2 Le sous tubage	71
4.2.3 Micro-tubes pour pose en pleine terre	71
4.2.4 Les matériels pour l'installation et le raccordement	73
4.2.5 Les chambres et regards	75
4.3 Couche optique passive	76
4.3.1 Ingénierie et systèmes de câblage	76
4.3.2 La fibre optique	77
4.3.3 Les câbles	79
4.3.4 La connectique optique	93
4.3.5 Les composants optiques	98
4.3.6 Les noeuds d'exploitation du réseau	104
4.3.7 Les boîtiers de raccordement de câbles	115
5 Règles et techniques de mise en œuvre de la couche infrastructure	121
5.1 Types et choix de fourreaux	122
5.2 Tranchées traditionnelles et mise en place des fourreaux	122
5.3 Technologies de génie civil allégé	122
5.3.1 Nouveau cadre normatif	122
5.3.2 Les principes	123
5.3.3 Matériaux et techniques	123
5.3.4 Les étapes pour la réalisation d'une tranchée mécanisée	124
5.3.5 Caractéristiques de l'outil de tronçonnage	126
5.4 Sous-tubage	128
5.4.1 Sous-tubage de fourreaux PeHD	128
5.4.2 Sous-tubage d'autres Types de fourreaux	129

5.5 Aménagement des sites	129
5.5.1 Locaux techniques	129
5.5.2 Implantation des sites : shelters ou armoires	130
5.6 Mutualisation des locaux techniques pour des services d'hébergement	130
5.7 Techniques de contrôle de la couche infrastructure	132
5.7.1 Contrôle du génie civil	132
5.7.2 Contrôle des fourreaux	132
5.7.3 Essais d'étanchéité	132
5.7.4 Calibrage (mandrinage) d'une conduite	133
5.7.5 Contrôle des chambres	134

6 Règles et techniques de mise en œuvre de la couche optique passive 135

6.1 Pose des câbles dans l'infrastructure d'accès souterraine	136
6.1.1 Les contraintes appliquées au câble	136
6.1.2 Pose de câbles au treuil	136
6.1.3 Pose du câble par « soufflage – tirage »	137
6.1.4 Pose du câble par soufflage (air)	138
6.1.5 Pose du câble par flottage (eau)	140
6.1.6 Pose des micro-câbles par soufflage à l'air dans les micro-tubes	141
6.2 Pose des câbles dans l'infrastructure d'accès aérienne	142
6.2.1 Utilisation des appuis des réseaux aériens de distribution publique d'énergie électrique basse tension et d'éclairage public	142
6.2.2 Utilisation des appuis France Telecom	142
6.2.3 Techniques de mise en œuvre	142
6.3 Mise en œuvre des joints et coupleurs	145
6.3.1 Déploiement en souterrain génie civil occupé	145
6.3.2 Déploiement en aérien	149
6.4 Epissage et ré-intervention	149
6.4.1 Epissage par fusion	149
6.4.2 Epissage mécanique	150
6.5 Mise en œuvre des raccordements d'abonnés	150
6.5.1 Mode de Pose des Points de branchement Optique (P.B.O)	150
6.5.2 Mode de pose des câbles pour un raccordement abonné	150
6.5.3 Déroulement d'une intervention de raccordement	151
6.6 Scénarios de déploiement	151
6.6.1 Introduction	151
6.6.2 Utilisation génie civil FT	152
6.6.3 Utilisation du réseau de distribution électrique HTA/BT	152
6.6.4 Utilisation de génie civil existant : collectivités ou aménageur	153
6.6.5 Création génie civil aérien ou souterrain	153

7 La Couche optique active	155
7.1 Ingénierie et dimensionnement de la couche optique active	156
7.2 Technologies et composants de la couche optique active	157
7.2.1 Les applications réseaux Ethernet point à point	157
7.2.2 Les applications réseaux double étoile active (AON)	158
7.2.3 Les réseaux PON	158
7.2.4 Les composants des réseaux FTTH	162
7.3 Architectures et dimensionnement	164
7.3.1 Architecture et dimensionnement Ethernet point à point	164
7.3.2 Architecture et dimensionnement Ethernet en double étoile active	164
7.3.3 Architecture et dimensionnement PON	165
7.3.4 Tableau comparatif des solutions P2P, AON et PON	166
7.4 Règles et techniques de mise en œuvre de la couche optique active	166
7.4.1 Principe d'activation progressive	167
7.4.2 Contraintes de mutualisation	168
8 Qualification, exploitation et maintenance du réseau d'accès	171
8.1 Test, recette et mise en service de la couche optique passive	172
8.1.1 Introduction	172
8.1.2 Cible de la recette	172
8.1.3 Types de tests à réaliser	173
8.2 Tests recette et mise en service de la couche réseau	176
8.2.1 Constitution du « circuit » de la couche optique	177
8.2.2 Synthèse des tests réalisés	178
8.2.3 Nature des tests réalisés	179
8.2.4 Activation des services	180
8.3 Exploitation et maintenance du réseau d'accès	183
8.3.1 Généralités	183
8.3.2 Organisation	183
8.3.3 Les missions d'exploitation	183
8.3.4 Les missions de maintenance	184
8.3.5 La documentation et les outils d'exploitation	185
8.4 Exploitation et maintenance de la couche réseau	188
8.5 Exploitation et maintenance de la zone d'abonné	190
8.6 Données et critères de mesure	190
8.6.1 Données de mesure	190
8.6.2 Critères d'acceptation	191
8.6.3 Paramétrage OTDR	191
8.6.4 Dossier de mesure de raccordement (avec reflectometrie)	193

9 Liste des figures et tableaux	194
9.1 Liste des Figures	194
9.2 Liste des Tableaux	198
10 Recommandations UIT et normes IEEE	200
11 Acronymes	201
12 Liste des adhérents au CREDO	207
13 Liste du Comité éditorial et des contributeurs	208
13.1 Comité éditorial	208
13.1.1 Ligne editoriale	208
13.1.2 Comité editorial et Auteurs	208
13.1.3 Auteurs et Contributeurs	208
13.2 Comité de relecture	208
14 Références	209
14.1 Publications Antérieures du CREDO	209

Dans le présent guide, les textes de couleur orange correspondent à des liens hypertexte, pour les suivre rendez-vous sur la page :

<http://www.cercle-credo.com/Informations/Liens>

Ou



Pour la signification des acronymes utilisés dans le guide, se reporter au chapitre 11.



1 LE CADRE RÉGLEMENTAIRE

LE CADRE RÉGLEMENTAIRE

1.1 LE CADRE RÉGLEMENTAIRE DU DÉPLOIEMENT FTTH EN FRANCE

Dans son rôle de régulateur du marché des communications électroniques et conformément à la loi de modernisation de l'économie (LME), l'Autorité de régulation des communications électroniques et des postes (ARCEP) définit le cadre réglementaire applicable aux déploiements FTTH en France.

L'Autorité a adopté⁶ **deux décisions structurantes** :

- une décision adoptée en décembre 2009 définissant les modalités d'accès aux lignes FTTH et particulièrement dans les zones **définies comme très denses (ZTD)** : «décision 2009-1106 sur les modalités de l'accès aux services FTTH et à la mutualisation dans les zones très denses». Depuis 2009, les ZTD correspondent à 148 communes ou encore 20 agglomérations urbaines.
- une décision adoptée en décembre 2010 **en dehors de ces zones** : « décision 2010-1312 sur les modalités de l'accès aux services FTTH et à la mutualisation sur l'ensemble du territoire à l'exception des zones très denses ».

La loi de modernisation de l'économie (LME d'août 2008, article L. 34-8-3 – cf infra) dispose que tout opérateur « *ayant établi dans un immeuble bâti ou exploitant une ligne de communications électroniques à très haut débit en fibre optique*⁷ permettant de desservir un utilisateur final fait droit aux demandes raisonnables d'accès à ladite ligne émanant d'opérateurs, en vue de fournir des services de communications électroniques à cet utilisateur final».

La LME définit ainsi la notion d'opérateur d'immeuble reprise par l'ARCEP dans ses décisions. « *L'accès est fourni dans des conditions transparentes et non discriminatoires en un point situé, sauf dans les cas définis par l'Autorité de régulation des communications électroniques et des postes, hors des limites de propriété privée et permettant le raccordement effectif d'opérateurs tiers, à des conditions économiques, techniques et d'accessibilité raisonnables.* » Ce point d'accès, appelé « **Point de mutualisation** » par l'ARCEP permet donc de mutualiser le réseau entre opérateurs en aval de ce point. Ce principe fondamental de **mutualisation** a notamment pour objectif de lever les obstacles liés au câblage des immeubles, en désignant un opérateur d'immeuble (OI), responsable de la partie mutualisée des réseaux installés, tout en offrant la concurrence entre opérateurs, au bénéfice des occupants.

Ainsi, la première décision précise d'une part les principes généraux relatifs aux modalités de l'accès (mise à disposition d'informations, tarification et transparence) et, d'autre part, les cas dans lesquels, en ZTD exclusivement, le point de mutualisation peut se situer dans les limites de la propriété privée, ou celui de mise à disposition dans un immeuble d'une fibre optique supplémentaire sur demande d'un opérateur, permettant à ce dernier de disposer d'un réseau dédié de bout en bout garantissant un modèle de concurrence par les infrastructures.

⁶ L'ARCEP a procédé à plusieurs consultations publiques, tenu compte de l'avis de l'Autorité de la concurrence et des observations de la Commission européenne avant adoption. Les décisions ont ensuite été homologuées par le ministre chargé des communications électroniques avant publication au journal officiel (JORF).

⁷ Expression officielle

La deuxième décision répond quant à elle à certaines contraintes économiques et techniques spécifiques aux territoires en dehors des ZTD et nécessitant de ce fait davantage de mutualisation, plus en amont dans les réseaux des opérateurs et sur le domaine public.

Que ce soit en ZTD ou en dehors, le principe de neutralité technologique est respecté, les différents choix technologiques des acteurs du marché étant pris en compte dans le dimensionnement et la localisation du point de mutualisation (*cf infra*).

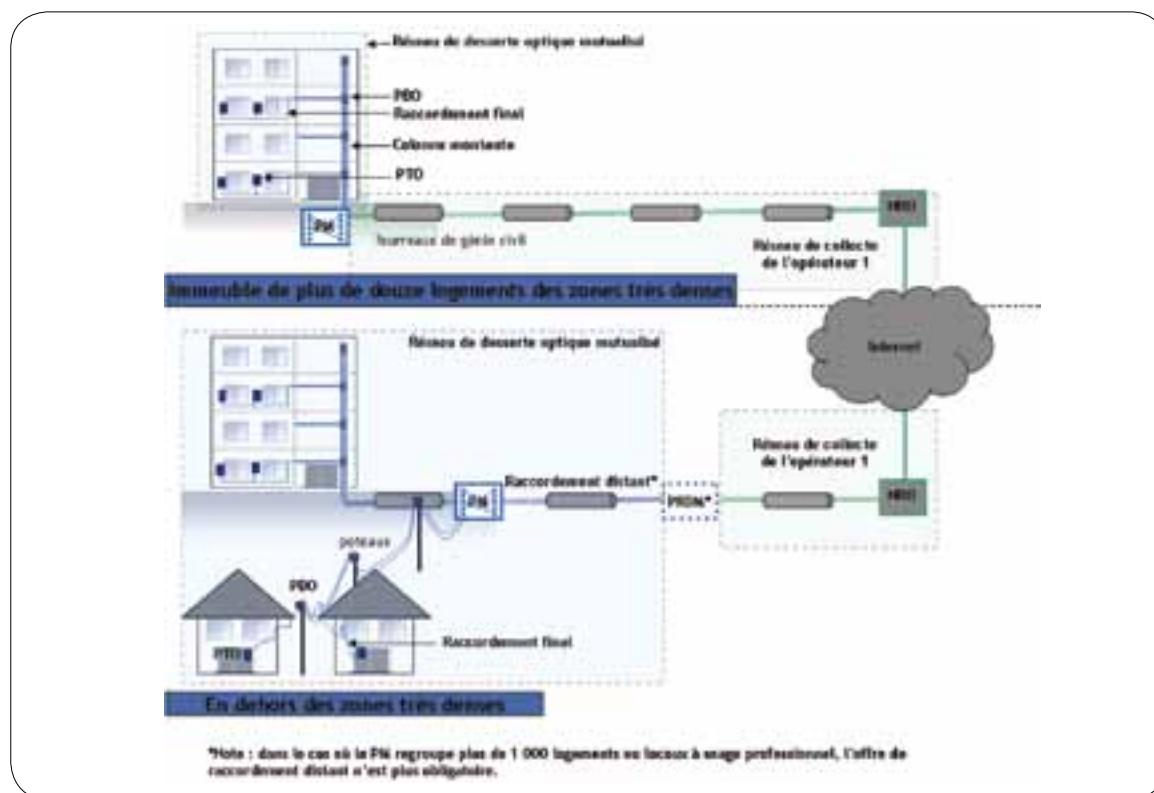


Figure 1.1 : position du point de mutualisation (source ARCEP)

Dans les deux décisions, le régulateur définit le nouveau vocabulaire introduit :

- **Ligne de communications électroniques à très haut débit en fibre optique :** liaison passive d'un réseau de boucle locale à très haut débit constituée d'un ou de plusieurs chemins continus en fibres optiques et permettant de desservir un utilisateur final.
- **Opérateur d'immeuble :** toute personne chargée de l'établissement ou de la gestion d'une ou plusieurs lignes dans un immeuble bâti, notamment dans le cadre d'une convention d'installation, d'entretien, de remplacement ou de gestion des lignes signée avec le propriétaire ou le syndicat de copropriétaires, en application de l'article L. 33-6 du code

des postes et des communications électroniques. L'opérateur d'immeuble n'est pas nécessairement un opérateur au sens de l'article L. 33-1 du même code.

- **Point de mutualisation (PM) :** point d'extrémité d'une ou de plusieurs lignes au niveau duquel la personne établissant ou ayant établi dans un immeuble bâti ou exploitant une ligne de communications électroniques à très haut débit en fibre optique donne accès à des opérateurs à ces lignes en vue de fournir des services de communications électroniques aux utilisateurs finals correspondants, conformément à l'article L. 34-8-3 du code des postes et des communications électroniques.

On peut retrouver ces définitions, ainsi que celles de logement abonné, éligible (mutualisé), programmé, raccordable et raccordé, dans le document ARCEP consacré aux définitions et notions utilisées pour décrire et qualifier le déploiement des réseaux FTTH.

<http://www.arcep.fr/fileadmin/reprise/dossiers/fibre/ftth-schemas-ref-terminologie.pdf>

■ **Logement abonné**

logement dont l'occupant a souscrit un abonnement à une offre d'un opérateur commercial basée sur un réseau en fibre optique jusque l'abonné.

■ **Logement éligible**

logement pour lequel au moins un opérateur (qui peut être l'opérateur d'immeuble) a relié le point de mutualisation (PM) à son nœud de raccordement optique (NRO), et pour lequel il manque seulement le raccordement final et un éventuel brassage au PM pour avoir une continuité optique entre le NRO de l'opérateur et la prise terminale optique.

■ **Logement éligible mutualisé**

logement éligible pour lequel plusieurs opérateurs ont relié le PM point de mutualisation à leur nœud de raccordement optique.

■ **Logement programmé**

logement situé dans la zone arrière d'un point de mutualisation pour lequel le point de mutualisation a été installé et mis à disposition des opérateurs tiers, au sens de l'annexe II de la décision 2009-1106.

■ **Logement raccordable**

logement pour lequel il existe une continuité optique entre le point de mutualisation et le point de branchement optique, ou entre le point de mutualisation et la prise terminale optique si le point de branchement optique est absent.

■ **Logement raccordé**

logement pour lequel il existe une continuité optique entre le point de mutualisation et la prise terminale optique.

L'utilisation de cette terminologie (et la reprise du document, en référence) est recommandée à l'occasion des discussions que pourront avoir les acteurs : collectivités, opérateurs, représentants de l'État - notamment au préalable de signatures de conventions, délégations de service public et en phase de concertation sur les « zones AMII » (cf *infra*).

En publiant en juin 2011 la recommandation sur « les modalités de l'accès aux lignes à très haut débit en fibre optique pour certains immeubles des zones très denses, notamment ceux de moins de 12 logements », l'ARCEP complète le cadre réglementaire pour le déploiement du FTTH.

Avec ces décisions et recommandations, le cadre réglementaire du déploiement de la fibre optique sur le territoire français est donc entièrement fixé en France, ce qui a permis aux opérateurs d'affiner leurs stratégies d'investissement (annonces des opérateurs sur des accords de co-investissement pour le fibrage des ZTD et en dehors de ces zones, positionnement des opérateurs de gros en tant que délégataires de DSP en dehors des ZTD).

L'ARCEP a également publié en juillet 2011 un guide sur le déploiement de la fibre optique à l'usage des élus et des collectivités territoriales. Ce guide est une référence utile car il présente les principales dispositions du cadre réglementaire du haut et du très haut débit (pour le FTTH et la montée en débit).

1.1.1 ACCÈS AU TRÈS HAUT DÉBIT EN FIBRE OPTIQUE (FTTH) DANS LES ZONES TRÈS DENSES

Décision n° 2009-1106 de l'Autorité de régulation des communications électroniques et des postes en date du 22 décembre 2009 précisant, en application des articles L. 34-8 et L. 34-8-3 du code des postes et des communications électroniques, les modalités de l'accès aux lignes de communications électroniques à très haut débit en fibre optique et les cas dans lesquels le point de mutualisation peut se situer dans les limites de la propriété privée.

Les zones très denses définies par l'ARCEP répondent à plusieurs critères : elles sont constituées des communes appartenant à une unité urbaine de plus de 250 000 habitants, comportant plus de 20% de logement collectifs de plus de 12 logements et sont prises dans les communes « centre » ainsi que les communes périphériques ayant plus de 50% de logement collectifs de plus de 12 logements.

Elles regroupent 148 communes réparties sur 20 agglomérations, ce nombre de communes est extensible en fonction des évolutions urbaines (actuellement établie à partir des données INSEE 1999 et 2006).

Concernant les dispositions relatives aux modalités d'accès aux lignes :

i) Cet accès est proposé par l'opérateur d'immeuble au niveau du point de mutualisation sous forme passive ; cette offre passive, contenue dans l'offre de référence publiée par l'OI (cf *infra*), permet à un opérateur tiers de disposer d'une fibre dédiée (mise à disposition de façon permanente) ou partagée (mise à disposition de façon temporaire et nécessitant un dispositif de brassage au PM). Au-delà de quatre fibres installées et exploitées dans un logement ou un local à usage professionnel, un accès peut être proposé plus en amont dans le réseau, sous forme active ou passive ;

ii) Toujours dans des conditions raisonnables et non discriminatoires, l'accès aux ressources associées est garanti par l'OI :

- accessibilité du PM pour l'intervention des opérateurs tiers, disponibilité des fourreaux d'adduction pour venir se raccorder au PM et lien avec la copropriété pour traiter les éventuels problèmes (en cas d'adduction saturée si identique à celle choisie par l'OI, d'adduction réalisée par voie aérienne ou pour les immeubles câblés en façade) ;
- informations communiquées par l'OI aux opérateurs tiers :

> relatives à l'immeuble : adresse physique, nombre de logements desservis, contacts ; dans le mois qui suit la signature de la convention ;

> relatives au PM : identifiant, adresse physique, caractéristiques techniques et immeubles desservis ; 3 mois avant la mise en service commerciale du PM.

iii) Les conditions tarifaires d'accès respectent les principes de non discrimination (enjeu de dynamique concurrentielle), d'objectivité (à partir d'éléments de coût clairs et opposables), de pertinence (par une équitable prise en charge des coûts, selon le choix technique adopté par chaque opérateur) et d'efficacité (optimisation des coûts d'investissement).

Selon ces principes, les opérateurs intéressés peuvent co-investir en participant au financement (*ab initio*) des lignes, via un mécanisme de partage des coûts, en échange de droits pérennes. Les primo-investisseurs bénéficient d'une prime, eu égard au risque d'investissement encouru ;

iv) L'offre de référence de l'opérateur d'immeuble précise : les conditions d'installation d'une fibre optique dédiée ou d'un dispositif de brassage, l'accès aux lignes par mise à disposition d'une fibre dédiée ou partagée et l'accès aux ressources associées ; pour chacune de ces prestations, l'offre précise les conditions de souscription et de réalisation, les informations préalables, les caractéristiques techniques, les processus de livraison et de service après-vente, les délais et préavis, la qualité de service et les conditions tarifaires.

Concernant les zones très denses exclusivement :

Dans le cadre d'une demande de co-investissement *ab initio*, antérieure à l'établissement des lignes dans l'immeuble, un opérateur est en droit de bénéficier d'une fibre optique dédiée pour chaque logement, depuis le PM, ou de pouvoir installer un dispositif de brassage des lignes au niveau ou à proximité du PM ; le point de mutualisation peut être placé dans les limites de la propriété privée, dans le cas uniquement des immeubles qui, soit comportent au moins 12 logements ou locaux à usage professionnel, soit sont reliés par des galeries visitables d'un réseau public d'assainissement quel que soit le nombre de logements ou locaux professionnels.

1.1.2 ACCÈS AU TRÈS HAUT DÉBIT EN FIBRE OPTIQUE (FTTH) EN DEHORS DES ZONES TRÈS DENSES

Décision n° 2010-1312 de l'ARCEP en date du 14 décembre 2010 précisant les modalités de l'accès aux lignes de communications électroniques à très haut débit en fibre optique sur l'ensemble du territoire à l'exception des zones très denses

La décision de l'ARCEP précise, pour le déploiement de la fibre optique sur le réseau de desserte, les modalités organisationnelles, techniques et financières d'accès au point de mutualisation, à partir duquel les réseaux des différents opérateurs sont mutualisés jusqu'aux logements ou locaux à usage professionnel - à savoir principalement :

- la taille du PM : au moins 1000 logements ou locaux à usages professionnels existants au jour d'installation du PM, lorsque l'opérateur d'immeuble ne propose pas d'offre de « raccordement distant » (collecte), au moins 300 sinon ;
- l'obligation de complétude des déploiements : le dimensionnement d'un PM doit permettre de raccorder l'ensemble des prises de sa zone arrière par la mise en place d'un réseau horizontal dans un « délai raisonnable » (2 à 5 ans) et à proximité immédiate⁸ de ces logements ;
- la localisation du PM : en dehors de la propriété privée et facilement « raccordable » (qui a vocation à être raccordé) par plusieurs opérateurs ;
- l'accessibilité aux lignes « dans des conditions raisonnables et non discriminatoires » sous forme passive « à proximité immédiate » d'une infrastructure de génie civil de réseaux de communications électroniques ;
- les principes des offres d'accès et de co-investissement initial (*ab initio*) et *a posteriori* de l'opérateur désigné par convention comme opérateur d'immeuble pour partager avec d'autres opérateurs les fibres posées, voire leur attribuer des fibres dédiées⁹, et pour héberger des équipements passifs et actifs au PM.

Ces offres, publiées antérieurement à l'installation du PM, sont complétées par une offre de gros de location permettant un accès passif à la ligne, afin que les petits opérateurs disposant de capacités d'investissement moindres puissent entrer sur ce marché du THD en zones moins denses ;

- l'obligation de publication par l'opérateur d'immeuble des informations relatives à la zone arrière (ZA) d'un PM, données fournies dans un format exploitable dans un SIG. La communication de ces informations doit notamment permettre la prise en compte effective des éventuelles demandes d'hébergement des équipements actifs et passifs au PM des opérateurs co-financeurs *ab initio*.

Afin de garantir la cohérence des déploiements, l'opérateur d'immeuble proposera, lors de la définition de la ZA d'un PM, une maille géographique plus large (par exemple la commune) et sa partition en différentes zones arrière potentielles de points de mutualisation. Ce découpage, dont la pertinence devra garantir aux opérateurs tiers de pouvoir équiper ultérieurement et dans des conditions raisonnables les ZA potentielles, sera également mis à disposition de l'ensemble des acteurs concernés : les opérateurs (de la liste établie par l'ARCEP, en application de l'article R. 9-2 du CPCE), les collectivités territoriales impactées par la définition de la zone arrière du PM et en particulier celle portant un SDTAN (*cf infra*).

Cette volonté d'articuler les zones arrière entre elles, en évitant les recouvrements ainsi que les trous de couverture, doit « permettre une couverture progressive, cohérente et potentiellement complète du territoire en fibre optique ».

Les informations relatives à la zone arrière d'un point de mutualisation et à la partition d'une maille géographique pertinente en zones arrière de point de mutualisation seront mises à disposition au moins 3 mois avant la mise en service commerciale du PM (date à partir de laquelle le raccordement effectif d'un client final à ce point de mutualisation est possible, le statut du PM étant « raccordable »).

8 La notion de raccordement final, entre le point de branchement optique qui se situe en principe à proximité immédiate des logements et la prise terminale optique de chaque logement, a fait l'objet d'une étude dont les résultats sont attendus à la fin du premier semestre 2012.

9 Décision ARCEP n°2010-1312 : « la présente décision n'impose pas à l'opérateur d'immeuble de faire droit à des demandes émanant d'opérateurs tiers de bénéficier d'une fibre dédiée. »

1.1.3 RECOMMANDATION POUR L'ACCÈS AU TRÈS HAUT DÉBIT EN FIBRE OPTIQUE POUR CERTAINS IMMEUBLES DES ZONES TRÈS DENSES, NOTAMMENT CEUX DE MOINS DE 12 LOGEMENTS

http://www.arcep.fr/uploads/tx_gspublication/20110614-Recommandation-petits-immeubles-ZTD-post-consultation.pdf

Cette recommandation s'inscrit dans la volonté du régulateur de mutualiser la partie terminale des réseaux, que ce soit dans les zones présentant une densité élevée en termes de logements, concurrentielles par nature, ou hors de ces zones, où la mutualisation sera plus importante, et par conséquent les investissements publics et privés nécessairement complémentaires.

Un territoire situé en ZTD est forcément hétérogène en termes de densité urbaine « verticale » (fonction de la taille des immeubles) et « horizontale » (fonction de la concentration des bâtiments).

Sur la base des îlots statistiques INSEE (IRIS), le régulateur a donc défini, au sein d'un comité technique regroupant les opérateurs ainsi que les représentants des collectivités territoriales concernées :

- d'une part les IRIS qualifiés de poches de basse densité dans la recommandation, couverts selon une architecture type zones moins denses, en points de mutualisation avec des zones arrière complètes et cohérentes rassemblant au minimum 300 logements ou locaux à usage professionnel ;
- d'autre part les IRIS couverts avec une architecture comportant des points de mutualisation proches des immeubles, voire en pied d'immeuble (correspondant aux déploiements hors des poches de basse densité dans la recommandation).

Les listes et cartographies de l'ensemble des IRIS des communes des ZTD sont disponibles sur le site de l'ARCEP : <http://www.arcep.fr/index.php?id=11126>

Ainsi, dans les poches de basse densité, pour répondre à une logique de viabilité économique, de cohérence et de complétude des déploiements sur la zone considérée, il est recommandé une architecture monofibre. Il est suggéré à l'opérateur d'immeuble d'anticiper le raccordement ultérieur de tout immeuble (y compris les pavillons) situé dans la zone arrière correspondante, afin d'assurer la complétude du déploiement. Pour favoriser une couverture de la zone arrière du point de mutualisation cohérente avec celle des autres PM situés sur la même maille IRIS, voire à plus grande échelle, il lui est également conseillé d'interroger les opérateurs tiers et les collectivités territoriales concernées.

Ce schéma se rapproche de celui qui a été retenu pour les territoires situés hors des ZTD, sans toutefois engager l'opérateur d'immeuble à respecter un délai de couverture de la zone dont il est responsable.

Dans les zones situées en dehors des poches de basse densité mais regroupant des bâtiments à la typologie peu homogène, le régulateur préconise d'accéder aux demandes raisonnables de fibre dédiée (architecture multi-fibres) quand cela favorise la dynamique concurrentielle et profite aux utilisateurs finals. Il se limite à rappeler les diverses solutions de localisation du point de mutualisation (en chambre, armoire de rue, borne ou façade) sans préciser par ailleurs sa taille minimale, compte tenu de la variabilité des situations et des conditions techniques de réalisation.

1.2 LA RÉGULATION EX ANTE DE L'ARCEP

En application du Code des Postes et des Communications Electroniques, le régulateur du marché des communications électroniques, l'ARCEP, est tenu de faire régulièrement une analyse de marchés, qu'elle renouvelle tous les trois ans ou lorsque l'évolution du marché le justifie. La liste des marchés pouvant justifier l'imposition d'obligations réglementaires est recensée par la Commission Européenne. La dernière recommandation (n° 2007/870/CE) de la CE sur les marchés pertinents date de 2007 et fixe à 7 le nombre de marchés pertinents.

Lors de la précédente analyse de marché (2008), l'ARCEP a mis en place une régulation *ex ante*¹⁰ sur le marché des offres de gros d'accès aux infrastructures physiques constitutives de la boucle locale filaire (marché 4). Ce marché constituait les offres d'accès dégroupé à la boucle locale et à la sous-boucle locale cuivre, les offres d'accès aux infrastructures de génie civil de la boucle locale et les offres passives de mise à disposition de fibre optique.

Suite à cette analyse, l'ARCEP a adopté la « Décision définissant les conditions économiques de l'accès aux infrastructures de génie civil de boucle locale en conduite de France Télécom » (offre d'accès aux installations de génie civil de France Télécom pour les réseaux FTTx), conduisant à l'offre pour la résorption des zones rurales inéligibles au haut débit de France Télécom (techniquement : NRA-ZO) et en janvier 2011 aux modalités d'accès à la sous-boucle : PRP.

En juin 2011, suite à une nouvelle analyse des marchés 4 et 5¹¹ l'ARCEP a publié deux nouvelles décisions définissant les nouvelles obligations pesant sur l'opérateur exerçant une influence significative sur les marchés pertinents considérés.

Dans cette nouvelle analyse du marché 4, l'ARCEP fait peser de nouvelles obligations sur France Télécom qui portent entre autres sur :

- l'accès dégroupé à la boucle locale et à la sous-boucle cuivre ; plus particulièrement, l'opérateur historique doit publier une offre technique et tarifaire d'accès à la sousboucle.
- l'accès aux infrastructures de génie civil constitutives de la boucle locale filaire, afin d'y inclure les appuis aériens.

1.2.1 LES NOUVELLES OBLIGATIONS PESANT SUR FRANCE TÉLÉCOM SUR L'ACCÈS À LA BOUCLE LOCALE

L'ARCEP poursuit sa volonté d'extension du dégroupage en France. L'Autorité comptabilisait fin 2011 : 6042 NRA dégroupés par au moins un opérateur alternatif, portant la couverture du dégroupage à quasiment 85,3 % de la population.

Mais le dégroupage doit s'étendre vers des NRA de plus en plus petits (plus de 80% des NRA non dégroupés rassemblent moins de 1000 lignes).

L'ARCEP a donc fait peser l'obligation sur France Télécom de revoir son offre actuelle pour proposer en particulier une offre d'hébergement aux NRA de moins de 1500 lignes. Par ailleurs, l'ARCEP fait évoluer l'offre de raccordement des NRA en fibre optique NRANRA et NRA-POP : offre LFO (Liaison Fibre Optique) qui avait été imposée à France Télécom.

Les améliorations consistent à rendre l'offre plus facilement éligible, en particulier grâce à la possibilité de ne louer qu'un lien fibre optique au lieu de deux, avec une tarification adaptée, et à mettre à disposition des collectivités qui le demandent des informations sur l'éligibilité de cette offre.

1.2.2 LES NOUVELLES OBLIGATIONS PESANT SUR FRANCE TÉLÉCOM SUR L'ACCÈS À LA SOUS-BOUCLE

La précédente analyse de marchés imposait à France Télécom de permettre l'accès à la sous-boucle. France Télécom avait alors publié l'offre NRA-ZO pour le réaménagement du sous-répartiteur en NRA, et l'offre PRP (Point de Raccordement Passif) qui permet à un opérateur d'accéder à la sous-boucle indépendamment des autres opérateurs. Cette offre PRP consiste en l'installation d'une armoire dédiée à l'hébergement des nouvelles têtes de câble cuivre créées juste en amont du sous-répartiteur.

¹⁰ régulation en amont qui s'attache à donner des règles favorisant la concurrence sur le marché ciblé, en situation de monopole par un opérateur dit « puissant » ; lorsque le marché est devenu concurrentiel, le droit de la concurrence est alors appliqué par l'Autorité de la concurrence, régulateur a posteriori (droit de sanction, etc.)

¹¹ Marché 4 : marché de gros des offres d'accès aux infrastructures physiques constitutives de la boucle locale filaire
Marché 5 : marché de gros des offres d'accès HD et THD activées livrées au niveau infranational. Dans l'analyse du marché 5, l'ARCEP fait évoluer l'offre de bitstream pour prendre en compte l'évolution du contexte concurrentiel sur le marché des offres de gros activées.

L'ARCEP a souhaité donner un cadre favorable aux opérations de montée en débit (MED) sur cuivre sur le territoire avec l'objectif de préserver la concurrence et d'orienter les tarifs vers les coûts par le biais d'une offre régulée à l'échelle nationale, appelée **offre PRM (Point de Raccordement Mutualisé)**. Cette offre, publiée par France Télécom en août 2011, remplace l'offre de France Télécom NRA-ZO de réaménagement d'un sous-répartiteur en NRA.

Dans cette offre, l'opérateur historique propose aux opérateurs dégroupeurs des offres financièrement incitatives d'hébergement et de raccordement en fibre optique pour leurs équipements actifs installés au SR aménagé, accompagnées d'une compensation financière correspondant aux coûts dits échoués, c'est-à-dire les coûts initiaux d'installation au NRA d'origine.

Pour être éligible à l'offre, le projet devra satisfaire aux conditions suivantes :

- plus de 80% des lignes devront présenter une atténuation de débit supérieure à 30 dB entre le NRA et le SR, ou 10 lignes au moins inéligibles au haut débit DSL ;
- en outre, le NRA d'origine devra être relié au réseau de collecte par de la fibre optique ;
- et devra se situer en dehors des zones où les opérateurs ont déclaré leurs intentions de déploiement de projets FTTH.

D'après l'ARCEP, 21 000 SR en France seraient concernés.

En parallèle de la publication de la décision d'analyse de marché 4, l'ARCEP a publié un document « La montée en débit via l'accès à la sous-boucle locale de cuivre de France Télécom - Présentation, guide et recommandations », donnant des recommandations destinées aux collectivités territoriales et leurs partenaires privés (opérateur d'opérateurs) sur les modalités de mise en œuvre des projets de montée en débit en mono-injection.

L'ARCEP précise dans ce document que la montée en débit, moins performante que la fibre optique jusqu'au logement (FTTH), doit constituer une étape vers le très haut débit en fibre optique.

1.2.3 NOUVELLE OBLIGATION SUR L'OFFRE DE GROS D'ACCÈS ACTIVE (BITSTREAM)

Pour le nouveau cycle d'analyse des marchés (2011-2014), l'ARCEP a choisi de différencier les obligations tarifaires imposées aux offres *bitstream* résidentielles de France Télécom selon deux zones géographiques :

- sur l'ensemble des NRA où France Télécom est le seul offreur de *bitstream* (9900 NRA, soit 20% de la population) : obligation d'orientation vers les coûts ;
- sur l'ensemble des NRA où au moins un opérateur déléguant propose une offre de *bitstream* alternative à celle de France Télécom (4500 NRA, soit 80% de la population) : levée des obligations tarifaires.

La frontière entre les deux zones géographiques de régulation tarifaire du *bitstream* sera revue annuellement et pourra donc évoluer en parallèle de l'avancement du dégroupage et de la MED.

Sur le segment de clientèle professionnelle, la tarification doit être orientée vers les coûts.

1.2.4 PRISE EN COMPTE DES APPUIS AERIENS DANS LE PERIMÈTRE DE L'OFFRE D'ACCÈS AU GÉNIE CIVIL

L'ARCEP a étendu les obligations pesant sur France Télécom en matière d'accès à ses infrastructures sur le marché de gros aux appuis aériens, analysant celles-ci comme complémentaires des conduites souterraines pour le déploiement des réseaux FTTH.

France Télécom doit faire évoluer son offre actuelle pour y inclure l'accès à l'ensemble de ses appuis aériens (plusieurs millions de poteaux, de potelets et de points d'ancrage), ainsi que de proposer un accès partagé aux traverses dont il est propriétaire sur les appuis dits communs (notamment les poteaux du réseau de distribution publique d'électricité).

La nouvelle offre (sortie prévue au 2^{ème} trimestre 2012) doit permettre l'accès, tout comme l'actuelle sur les fourreaux, dans des conditions non discriminatoires, transparentes, avec un tarif orienté vers les coûts.

1.3 LA LÉGISLATION

1.3.1 LES TEXTES FONDATEURS

Le Code des Postes et des Communications Electroniques (CPCE) donne le cadre réglementaire qui s'applique aux opérateurs exerçant une activité dans le domaine des communications électroniques. Le Code Général des Collectivités Territoriales (CGCT) fixe le cadre réglementaire qui s'applique aux Collectivités Territoriales dans l'exercice de leurs compétences. Le CPCE et le CGCT sont modifiés suite aux lois et décrets.

On peut citer quelques textes de lois fondamentaux qui ces dernières années ont entraîné une évolution notable du CPCE et du CGCT :

En juin 2004, dans le cadre du vote de la loi n° 2004-575 pour la confiance dans l'économie numérique, **l'article L.1425-1 du code général des collectivités territoriales (CGCT)** est adopté. Les collectivités ont désormais la possibilité d'investir dans les réseaux de communications électroniques en déployant ou en faisant déployer pour leur compte des infrastructures actives neutres et mutualisées. En cas d'insuffisance constatée de l'initiative privée, elles peuvent également assurer des fonctions d'opérateurs de services dans les zones concernées.

La loi n° 2004-669 du 9 juillet 2004, relative aux communications électroniques et aux services de communication audiovisuelle, met en oeuvre les dispositions prévues dans les directives européennes du Paquet Télécoms 2002. Plus récemment, la transposition du Paquet Télécoms 2009 s'est achevée à l'été 2011.

La loi n° 2008-776 de modernisation de l'économie (LME) du 4 août 2008 (et les décrets correspondants du code de la construction et de l'habitation publiés mi-janvier 2009) introduit, par création des articles L33-6 et L34-8-3 du CPCE, plusieurs dispositions sur le câblage et le pré-câblage des bâtiments collectifs par des lignes de communication en fibre optique :

- le principe de **mutualisation du câblage interne** des immeubles est posé, assurant qu'un seul réseau sera établi, afin de limiter les nuisances et les coûts, réseau qui sera dès lors partagé entre les opérateurs ;

- la mise en place, la gestion, l'entretien et le remplacement d'un réseau de fibre optique dans un bâtiment sont encadrés par une **convention entre l'opérateur et le bailleur / propriétaire** (ou le syndicat de copropriété) ;

- les **bâtiments collectifs neufs doivent être équipés en fibre optique** jusqu'à chaque logement ou local professionnel (pour un permis de construire déposé à partir du 1^{er} avril 2012¹²) ;

- le propriétaire d'un bâtiment (existant) ne peut s'opposer sans motif sérieux et légitime au raccordement du logement d'un occupant (aux frais de ce dernier) à un réseau optique (notion de « **droit à la fibre** », sur le principe du droit à l'antenne).

La loi LME crée également l'article L33-7 du CPCE qui engage les gestionnaires d'infrastructures de communications électroniques et les opérateurs de communications électroniques à communiquer gratuitement à l'État, aux collectivités territoriales et à leurs groupements, à leur demande, les informations relatives à l'implantation et au déploiement de leurs infrastructures et de leurs réseaux sur leur territoire.

Les décrets «couverture des services» (article D98-6-2 du CPCE) et «connaissance des réseaux» (article D98-6-3 du CPCE)¹³ haut et très haut débit précisent ces dispositions.

1.3.2 LES RÉCENTS TEXTES DE LOIS

La loi « de relance » n° 2009-179 du 17 février 2009 qui impose aux détenteurs d'infrastructures mobilisables d'accueillir des réseaux de communications électroniques, et en décembre 2009 la loi n°2009-1572 relative à la lutte contre la fracture numérique, dite loi Pintat, sont venus compléter les outils juridiques à la disposition des pouvoirs publics.

12 Décret n°2011-1874 du 14/12/2011 modifiant l'article R111-14 du code de la construction et de l'habitation.

13 « connaissance des réseaux » : modification par décret du 18 avril 2012, autorisant la communication des données à des tiers concourant à l'aménagement du territoire concerné (bureaux d'étude...) et imposant la transmission sous forme vectorielles intégrables dans un SIG (à compter du 1^{er} janvier 2014 pour les infrastructures d'accueil et équipements passifs). Arrêté précisant le format et la structure des données en cours de nouvelle rédaction.

Loi « de relance » de février 2009 (modifie le chapitre du CPCE sur les droits de passage et servitudes : modification des articles L45-1, L46, L47 et L48 et création du L47-1) :

- Article L45-1 : instaure un droit de passage sur le domaine public (DP) routier et dans les réseaux publics du DP routier ou non, ainsi qu'une servitude sur les propriétés privées (parties communes)

- Article L47 : permission de voirie accordée à l'opérateur demandeur pour s'implanter sur le DP routier (dossier technique à l'appui, paiement d'une redevance d'occupation) ; convention avec le gestionnaire sur le non routier ; « invitation au partage d'installations existantes » occupant le DP (paiement d'un loyer)

Loi visant à lutter contre la fracture numérique, dite loi Pintat (décembre 2009) :

Parmi les principales dispositions, on peut retenir :

- (article 23) la création du **schéma directeur territorial d'aménagement numérique (SD-TAN)** unique sur un même territoire et établi à l'initiative des collectivités territoriales, au minimum à l'échelle d'un département. Outil stratégique pour le très haut débit, le SD-TAN a pour objectif de construire un projet d'aménagement numérique cohérent des initiatives publiques en bonne articulation avec les investissements privés, et de déterminer les modalités de sa réalisation sur le long terme ;

- (article 24) la création d'un **fonds d'aménagement numérique des territoires (FANT)**, financé par le grand emprunt national et destiné à soutenir le déploiement des infrastructures nécessaires pour l'accès au haut débit "à un coût raisonnable" sur les territoires hors zones très denses (tels que les définit l'ARCEP) ; il est à noter que l'éligibilité à ce fonds est subordonnée à l'existence d'un schéma directeur couvrant le territoire concerné. A la date de parution du guide, le FANT n'est pas mis en place ni abondé ;

- (article 27) l'obligation de **mutualisation des travaux** dans le but de favoriser la pose de fibre optique à l'occasion de travaux sur les infrastructures des réseaux aériens et souterrains ; l'information systématique des opérateurs et des collectivités concernées d'une opération de

travaux leur permet ainsi de profiter des travaux pour mettre en place leurs infrastructures d'accueil de câbles de communications électroniques dans les tranchées et sur les appuis aériens concernés par les travaux ; (création article L49 du CPCE et décret d'application n° 2010-726 du 28 juin 2010).

- (article 28) à l'issue d'une opération d'**enfouissement coordonné** dans un ouvrage souterrain commun d'une ligne aérienne du réseau électrique et de la totalité des câbles de communications électroniques aériens correspondants, la possibilité pour une collectivité ayant contribué au financement partiel ou complet des nouvelles infrastructures d'accueil (chambres, fourreaux) d'équipements de communications électroniques d'en avoir un droit d'usage ou d'en devenir propriétaire. Dans ce dernier cas, l'opérateur dispose d'un droit d'usage pour rétablir ses lignes existantes. (modification du L2224-35 du CGCT et convention collectivité / opérateur¹⁴⁾)

Enfin, la loi n° 2010-788 « Grenelle 2 » du 12 juillet 2010 renforce le code de l'urbanisme en tant qu'outil de développement et d'aménagement des territoires, en introduisant un volet aménagement numérique dans les divers documents d'urbanisme (PLU, etc.), et notamment dans les Schémas de cohérence territoriale (Scot – démarche stratégique locale pour 10 à 15 ans), en insistant sur la nécessité de définir des secteurs dans lesquels s'appliqueront des critères de qualité renforcés en matière d'infrastructures et réseaux de communications électroniques.

On peut également citer les lignes directrices communautaires :

- n° IP/09/1332 du 30 septembre 2009 qui définissent précisément les conditions dans lesquelles il est possible de mobiliser des financements publics, nationaux ou européens, pour la construction de réseaux à haut ou très haut débit. Une consultation a été lancée par la Commission Européenne à l'automne 2011 pour la révision de ces lignes directrices.
- n° 2010/572/UE du 20 septembre 2010, sur l'accès réglementé aux réseaux de nouvelle génération, dite « recommandation NGA ».

¹⁴ Un accord cadre entre la FNCCR, l'AMF et Orange a été signé le 30/01/2012. Il s'accompagne de deux conventions locales, selon attribution à la personne publique ou à France Télécom de la propriété des installations souterraines de communications électroniques

1.4 ACTION DE L'ÉTAT

1.4.1 LE PROGRAMME NATIONAL TRÈS HAUT DEBIT

Aux assises du territoire du 9 février 2010, le Président de la République a fixé des objectifs ambitieux pour le déploiement du Très Haut Débit en France : raccorder 70% des français en 2020 et 100% des français en 2025.

Par ailleurs, le Président de la République a décidé d'allouer deux milliards d'euros du Programme des « Investissements d'Avenir » (ou emprunt national) au financement des infrastructures du très haut débit. La mise en place du Programme National Très Haut Débit lancé par le Premier Ministre le 14 juin 2010¹⁵ vise à organiser le déploiement de ces infrastructures :

« *L'objectif principal du programme national « très haut débit » est de favoriser le déploiement d'une boucle locale de nouvelle génération pour les communications électroniques fixes à très haut débit, capable d'offrir dès maintenant à l'abonné des débits symétriques de 100 Mbit/s et compatible, à plus long terme, avec des débits encore dix fois supérieurs (de l'ordre de 1 Gbit/s).* »

Les réseaux en fibre optique jusqu'à l'abonné (FTTH) figurent ainsi parmi les solutions offrant un niveau de maturité technologique et industrielle compatible avec de telles perspectives. »

Par ailleurs,

« *La volonté du Gouvernement est d'organiser le déploiement des nouvelles infrastructures numériques de façon concomitante dans les zones urbaines et dans les territoires ruraux, afin de ne pas laisser se créer une fracture numérique.* »

C'est pourquoi l'objectif du programme est double :

- *action 1 : créer un véritable effet de levier sur l'investissement privé tout en favorisant le co-investissement des différents acteurs, via la mise à disposition des opérateurs de ressources financières non bonifiées mais de longue maturité adaptées à la durée de vie de ces nouveaux réseaux en fibre optique ;*

- *action 2 : soutenir simultanément, par un cofinancement de l'État, les projets d'aménagement numérique portés par les collectivités territoriales et s'inscrivant en complémentarité avec ceux des opérateurs, dans les conditions prévues par la loi de décembre 2009 relative à la lutte contre la fracture numérique. »*

Au sein du programme « Investissements d'Avenir », c'est en fait 4,5 milliards d'euros qui sont consacrés au développement de l'économie numérique à travers un fonds spécial, le **Fonds national pour la Société Numérique (FSN)**, géré par la Caisse des Dépôts. Deux milliards sont consacrés au déploiement des infrastructures à travers l'action 1, et deux milliards et demi sont consacrés au développement de nouveaux usages, services et contenus numériques à travers l'action 2.

Le Programme National Très Haut Débit (action 1) s'articule autour de trois volets, comme indiqué dans le **communiqué de presse du 27 avril 2011** :

- le soutien aux initiatives privées en dehors des zones très denses via la mise à disposition de 1 milliard d'euros de prêts non bonifiés mais de longue maturité (jusqu'à 15 ans) ;
- le soutien des projets des collectivités territoriales via des subventions à hauteur de 900 millions d'euros ;
- la mise à disposition de 40 à 100 millions d'euros, afin de favoriser l'émergence d'une nouvelle génération de satellites « très haut débit ».

L'État souhaite s'assurer de l'articulation entre initiatives privées et initiatives publiques, en donnant la priorité aux initiatives privées et en utilisant les SDTAN (Schémas Directeurs Territoriaux d'Aménagement Numérique), créés par la loi Pintat, comme outil de dialogue entre opérateurs privés et collectivités sur leurs intentions de déploiement respectives.

A cet effet, le gouvernement a lancé le 4 août 2010 un appel à manifestation visant à recueillir les intentions d'investissement (AMI) des opérateurs privés en dehors des zones très denses.

En réponse à cet appel, les opérateurs ont manifesté leurs intentions d'engager, d'ici 5 ans, les déploiements sur plus de 3 400 communes

¹⁵ <http://www.gouvernement.fr/presse/le-premier-ministre-presente-le-programme-national-tres-hautdebit>

regroupant, avec les 148 communes qui constituent les zones très denses, près de 57% des ménages. En 2011, des accords significatifs (Orange-Free dans 1300 communes, soit environ 5 millions de logements ; Orange-SFR dans 3500 communes, soit environ 11 millions de logements) annonçaient des opérations de déploiement qui démarreront dans l'ensemble des communes entre 2012 et 2015 pour s'achever au plus tard en 2020. De plus, mi-janvier 2012, Orange et Bouygues-Télécom signaient un accord de co-financement pour une couverture de 1,7 millions de foyers en zones très denses et 8,9 millions hors de celles-ci.

A cette date, si l'on ajoute les déploiements dans les 148 zones très denses, environ 17 millions de logements (soit 60% des foyers français) seraient éligibles à la fibre optique.

1.4.2 LE FANT

Le fonds d'aménagement numérique des territoires (FANT) a, quant à lui, été créé par la loi relative à la lutte contre la fracture numérique de décembre 2009. Il a pour objet de contribuer au financement de projets publics de déploiement du très haut débit conduits dans les zones qui ne font pas l'objet de déploiements privés.

A ce jour, deux décrets sont encore attendus pour application de la loi Pintat sur ce sujet :

- un décret qui doit définir les critères permettant d'une part, d'établir que le seul effort des opérateurs ne suffit pas à déployer un réseau d'infrastructures de communications électroniques à très haut débit et d'autre part, d'ouvrir la possibilité au fonds d'aménagement numérique des territoires d'accorder certaines aides ;
- un décret (par la suite) pour nommer les membres du comité de gestion.

En février 2010, le Premier Ministre confie au sénateur Maurey la mission de réfléchir à un modèle d'investissement dans les réseaux très haut débit au-delà de l'action des fonds issus de l'emprunt national (2 milliards d'euros) qui ne peuvent répondre à eux seuls aux objectifs fixés par le Président de la République. Dans son rapport du 9 février 2010, la DATAR estime les investissements requis pour un déploiement national d'un réseau entièrement fibre optique à environ 30 milliards.

Le Premier Ministre confie en particulier au sénateur Maurey d'étudier les modalités d'alimentation du FANT. Malgré des conclusions concrètes apportées par ce dernier, comme l'alimentation du FANT via une contribution sur la plupart des abonnements mobile et fixe, et via une taxe sur les téléviseurs et consoles de jeux, fin 2011, aucune décision n'a été prise pour alimenter ce fonds.

Aujourd'hui, l'essentiel du financement des réseaux très haut débit est donc à la charge des collectivités.

1.4.3 LES SDTAN ET SCORAN

Une autre disposition de la loi Pintat est la mise en place de Schémas directeurs territoriaux d'aménagement numérique (cf article 23 de la loi Pintat, qui crée l'article L.1425-2 du code général des collectivités territoriales).

Préalablement, le 31 juillet 2009, le Premier Ministre a adressé aux Préfets de Région et de département une circulaire «Schémas directeurs et concertation régionale sur l'aménagement numérique du territoire » (n°5412/SG). La circulaire met l'accent sur la mise en place d'une gouvernance régionale de l'action territoriale de l'Etat et des collectivités en matière de numérique et la mobilisation des maîtrises d'ouvrage via l'élaboration concertée, par les collectivités de 3 documents spécifiques liés à l'aménagement du territoire :

- La Stratégie de Cohérence Régionale d'Aménagement Numérique (SCORAN),
- Le Schéma Directeur Territorial d'Aménagement Numérique (SDTAN)¹⁶.
- La Stratégie Régionale de Développement Numérique (ou de développement de la société de l'information).

16 Le mot « Territorial » apparaîtra ultérieurement à l'adoption de la loi « dite Pintat » ; on parlera alors de SDTAN

Cette déclinaison est illustrée par le tableau 1.1:

Echelle	Autres documents d'aménagement et de planification territoriale		Services/usages numériques	Infras numériques/stratégie (cible, organisation)	Infras numériques/opérationnel (réalisation)	
Région	<i>Schéma régional d'aménagement et de développement du territoire (SRADT)</i> <i>Schéma régional de développement économique (SRDE)</i> <i>Stratégie régionale d'innovation (SRI)</i>		<i>Stratégie régionale de développement numérique (ou de développement de la société de l'information)</i> <i>plans e-Administration, e-Education, e-Santé, e-Entreprise, etc</i>	<i>Stratégie de cohérence régionale sur l'aménagement numérique</i>		
Département						
Pays					<i>Schéma directeur d'aménagement numérique</i>	
Communautaire	<i>SCOT</i>		<i>PLU</i> <i>PLH</i> <i>PDU</i>			
Commune						

Tableau 1.1 : articulation des documents (source : directive du Premier Ministre)

Cependant, depuis la loi Pintat (décembre 2009), un même territoire ne peut faire l'objet que d'un seul SDTAN, celui-ci étant défini à un niveau au moins départemental. Les deux autres documents sont nécessairement traités au niveau de chaque Région.

Ce tableau montre également comment ces documents s'articulent avec les autres documents d'aménagement et de planification territoriaux, tels que SCOT ou PLU.

Cette même circulaire définit les SDTAN comme « un document opérationnel de moyen/long terme, établi par une collectivité sur son territoire :

- décrivant une situation à atteindre en matière de desserte numérique du territoire considéré,
- analysant le chemin à parcourir pour y parvenir et la part prévisible qu'y prendront les opérateurs privés,
- arrêtant des orientations sur les actions publiques à mettre en oeuvre pour accélérer l'atteinte de ces objectifs, ou simplement permettre de les atteindre.

Le SDTAN constitue un outil de cadrage de la montée en débit des territoires, fixe et mobile, - au moyen essentiellement d'une densification de la capillarité des réseaux en fibre optique - et de leur évolution vers le très haut débit. Il favorise la cohérence des actions à mener par les différents acteurs ainsi qu'une meilleure prise en compte du long terme. »

Le SDTAN constitue un outil de cadrage stratégique (référentiel commun) de moyen/long terme décrivant une situation à atteindre pour la couverture numérique du territoire, analysant le chemin à parcourir pour y parvenir. Il décrit la part prévisible qu'y prendront les opérateurs privés et arrête les orientations sur les actions publiques à mettre en oeuvre pour accélérer l'atteinte de ces objectifs, ou simplement permettre de les atteindre.

Le SDTAN ne vise pas nécessairement à décider de la réalisation ou non d'un réseau d'initiative publique à court terme. Par ailleurs, il n'a pas la précision d'un document opérationnel comme le schéma d'ingénierie.

Les principales ambitions consistent à mobiliser les acteurs publics qui ont contribué à son élaboration et de les amener à s'engager, et à établir un programme d'actions qui devra être partagé par l'ensemble des acteurs publics du territoire concerné. Évidemment, ce document n'est pas figé et doit être révisé régulièrement pour tenir compte de l'évolution des besoins des différents types d'utilisateurs, des évolutions réglementaires et tarifaires, des projets des acteurs privés et de la stratégie de développement des territoires.

Les SDTAN représentent une contribution importante à la finalisation de la Stratégie de Cohérence Régionale sur l'Aménagement Numérique (SCORAN) qui doit être élaborée au préalable au niveau des Régions.

Depuis cette date, les collectivités (régions, départements et EPCI) et les représentants de l'État en région se sont réunis dans des instances régionales et ont initié des SDTAN à différents échelons territoriaux.

En décembre 2011, 5 régions et 86 départements avaient fait l'objet d'une déclaration de SDTAN à l'ARCEP, mais seulement vingt départements avaient un SDTAN finalisé, sachant que neuf régions s'étaient par ailleurs engagées dans la démarche (source : association AVICCA). Le SDTAN est avant tout une démarche partenariale entre les différentes collectivités présentes sur un même département ou région : communes et EPCI, autorités concédantes (eau, électricité...), CCI, agences d'urbanisme... qui doit intégrer par nature la dimension transversale du numérique. Ainsi est-il nécessaire d'opérer un cadrage initial en référençant l'ensemble des documents cadres existants : SRDE, SRADT, ScoT, PLU, Schémas départementaux (tourisme, Santé, Dépendance...).

Des processus d'optimisation et de mutualisation des données et la mise en place d'outils de géo-référencement (SIG) permettant une centralisation et une coordination de l'ensemble des données télécoms sont également des éléments clés de la réussite du diagnostic territorial.

Cette coopération s'étend aux acteurs privés pour recenser les infrastructures et tenir compte de la stratégie des opérateurs.

1.4.4 LA CIRCULAIRE PREMIER MINISTRE DU 16 AOÛT 2011

La circulaire n° 5551/SG relative à la mise en œuvre du programme national très haut débit et de la politique d'aménagement numérique du territoire, à destination des préfets de région (pour attribution) et des préfets de département (pour information), a pour objet d'actualiser les orientations fixées par la **circulaire du 31 juillet 2009**.

Les préfets de région sont ainsi chargés de créer et de présider une « **commission consultative régionale pour l'ANT (CCRANT)** » au sein de l'instance régionale de concertation existante, réunissant en plus des services de l'État et des collectivités, les opérateurs de communications électroniques, dans le but de :

- inciter les départements pas encore engagés dans un SDTAN à se lancer dans la démarche ;
- inciter certains départements à revoir leur SDTAN en tenant compte de la publication des intentions de déploiement des opérateurs (résultats de l'AMII d'avril 2011) ;
- informer les collectivités territoriales des conditions d'éligibilité aux aides mobilisables dans le cadre du programme national THD ;
- rendre des avis sur les projets de réseaux des collectivités territoriales demandant ces aides, avec une attention particulière portée à la limitation de la « montée en débit » (il s'agit de mettre la priorité sur le THD) ;
- mobiliser fortement les services de l'État.

Cette gouvernance régionale de l'action territoriale de l'État et des collectivités en matière de numérique, qui devra veiller à la bonne cohérence des projets de déploiements privés (sur la base des réponses fournies lors de l'AMII) et des initiatives publiques (avec prise en compte des projets de déploiements privés dans les SDTAN), sera appuyée par l'expertise des services déconcentrés de l'État :

- en premier lieu les DIRECCTE (Direction régionale des entreprises, de la concurrence, de la consommation, du travail et de l'emploi) par leur connaissance du tissu économique local, en termes d'activité économique et d'évolution adaptée des emplois, mais également les services directement impactés par de nouveaux besoins en terme de capacité numérique de leurs réseaux : DIR, Rectorat, DRAAF,

DRAC, ARS, etc. L'impact de cette mise en oeuvre sur l'économie régionale sera évalué et présenté au Premier Ministre chaque fin d'année.

- en matière réglementaire et juridique, en particulier concernant les règles communautaires relatives aux aides d'État. Par ailleurs, il est demandé de renforcer l'inscription de développement de l'économie numérique au sein des contrats de projets État Région et des programmes opérationnels européens.

Pour chacun de ces services, il est demandé la désignation d'un correspondant au développement de l'économie numérique et de l'ANT.

Concernant les DREAL et DDT, leur action sera mobilisée :

- pour les DREAL, autour de ses compétences réglementaires (codes de l'urbanisme, de la construction et de l'habitation, de la voirie routière, etc.) et en matière d'outils d'information géographique (cartographie, SIG) ;
- pour les DDT, en matière de coordination des acteurs intervenant dans le SDTAN et lors des conférences départementales créées par la loi NOME (enfouissement des lignes électriques¹⁷).

Seront également :

- finalisés un observatoire national des services de communications électroniques (ONSCE) délivrés par les opérateurs, précis et régulièrement mis à jour, et qui servira en cela d'appui pour vérifier la correspondance entre déclarations de couverture d'un opérateur et mise en oeuvre effective ;
- élaborés des observatoires régionaux des réseaux des opérateurs, selon les dispositions de la LME (attente du décret d'application relatif à la nouvelle rédaction de la loi (mars 2011).

Ces observatoires, qui donneront une vue précise des services et infrastructures existants sur un territoire, serviront d'outils d'appui et d'analyse aux services de l'État pour d'une part se positionner face aux volontés de déploiement des collectivités, d'autre part face aux projets des opérateurs privés.

17 Article L.2224-31 du CGCT



2 LES RÉSEAUX DE COMMUNICATIONS ÉLECTRONIQUES

LES RÉSEAUX DE COMMUNICATIONS ÉLECTRONIQUES

2.1 HISTORIQUE ET ÉVOLUTION DES RÉSEAUX DE COMMUNICATION

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 et les premiers réseaux de télédiffusion par satellite.

Malgré des origines et des problématiques différentes, les mondes des télécommunications, de l'informatique 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 communications électroniques, orientés téléphonie, dont les infrastructures ont évolué vers le haut débit grâce aux technologies fixes xDSL mais, également mobiles, avec la 2G, la 3G et la future 4G, qui doivent absorber l'explosion du trafic de données ;
- 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 étendus (WAN - Wide Area Network), et les réseaux longues distances (Long-Haul) ;
- les réseaux câblés de télédistribution, orientés image, initialement destinés aux usagers résidentiels.

Ces différents réseaux évoluent aujourd'hui pour s'appuyer sur des technologies et des infrastructures communes et convergentes pour apporter tous les services à l'utilisateur (voix, données, image).

De par ses caractéristiques de transmission longue distance sans régénération, sa faible

latence et sa transmission très large bande, la fibre optique s'impose petit à petit comme le medium commun à tous ces types de réseaux et applications. Associée au protocole IP (Internet Protocol), elle permet la mise en oeuvre de réseaux multiservices appelés « réseaux de communications électroniques ».

Son usage, initialement réservé aux réseaux à très longue distance et très fort débit, tend à se généraliser à tous les niveaux du réseau jusqu'à son développement ultime, l'accès à l'utilisateur grand public. Il s'agit des technologies FTTH pour Fiber To The Home (la fibre jusqu'au domicile).

Le développement du FTTH est un facteur de développement économique des territoires en amenant des services évolués à la population. L'adoption du FTTH est un levier de croissance économique. Ceci est rendu possible par le bon niveau de développement des infrastructures publiques.

2.1.1 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 (commune, EPCI, département, région), notamment pour certains services, comme la vidéo-surveillance, éventuellement au travers de GFU (Groupes Fermés d'Utilisateurs).

La tendance générale constatée depuis une trentaine d'année se traduit par une loi dite « loi de Nielsen ». Elle montre une augmentation annuelle de 50 % du débit à l'accès. L'extrapolation sur les deux prochaines décennies conduit à des débits de plusieurs centaines de Mégabit par seconde (Mbit/s) voire au-delà du Gigabit par seconde (Gbit/s) à l'horizon 2020. Les réseaux ADSL actuellement déployés sont incapables de répondre à cette demande, du fait de la limitation physique du support qu'ils utilisent, la paire de cuivre téléphonique.

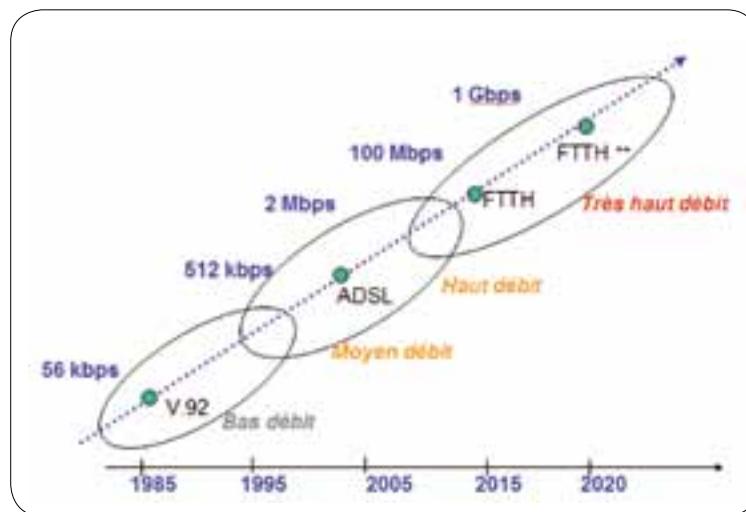


Figure 2.1 : croissance du débit d'accès depuis 1985



Figure 2.2 : téléchargement ou streaming

L'augmentation des besoins en débit est avant tout motivée par la place toujours plus grande de l'image sous des formats à Haute Définition (HD) et en relief (3D). La multiplicité des écrans et la simultanéité des usages concourent à cette montée vertigineuse des besoins en débit d'autant que les besoins des années 2015-2020 sont encore pour la plupart inconnus.

Figure 2.3 : applications envisageables à l'horizon 2015-2020

	Modem (56 kbit/s)	ADSL (1 Mbit/s)	Optique (100 Mbit/s)
Une page (20 ko)	3 s	0,16 s	0,0016 s
Une photo (1 Mo)	2 mn	8 s	0,08 s
Un CD audio (700 Mo)	27 h	1 h 30	56 s
Un DVD (7 Go)	11 jours	15 h	9 mn

Tableau 2.1 : temps de chargement en fonction de la technologie d'accès

2.1.2 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 est traité à travers le réseau LAN via un serveur connecté avec le monde extérieur, sans oublier la convergence voix/données/images à travers des PABX fondés sur IP (Internet Protocol) ou ToIP (Telephony over IP), les solutions de visioconférence et la diffusion d'images vidéo sur IP. Au-delà du réseau d'entreprise limité à un territoire privé, il est nécessaire de mettre en oeuvre 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 VPN (Virtual Private Network). 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 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. La demande s'oriente vers des 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).

Il faut noter que de plus en plus de collaborateurs dans les entreprises se retrouvent en situation de télétravail ou en situation de travailleur nomade numérique pour des durées de connexion sans cesse croissantes. Les télétravailleurs utilisent souvent un accès Internet domestique à haut débit (de l'ADSL au FTTH). Les nomades numériques utilisent de préférence un « Hotspot Wi-Fi » ou un accès Internet mobile (3G, 3G+ voire 4G bientôt) qui se réduit souvent à un accès GPRS dans les zones moins denses. De plus, il faut noter que les nomades et les télétravailleurs se voient progressivement offrir l'accès aux services de ToIP et de visioconférence sur IP via leur ordinateur majoritairement portable.

Le télétravail a un impact environnemental positif en limitant les déplacements mais poserait un problème social d'isolement du télétravailleur. C'est pourquoi, de nombreuses sociétés s'orientent vers un télétravail partiel avec des temps de présence au sein de l'entreprise.

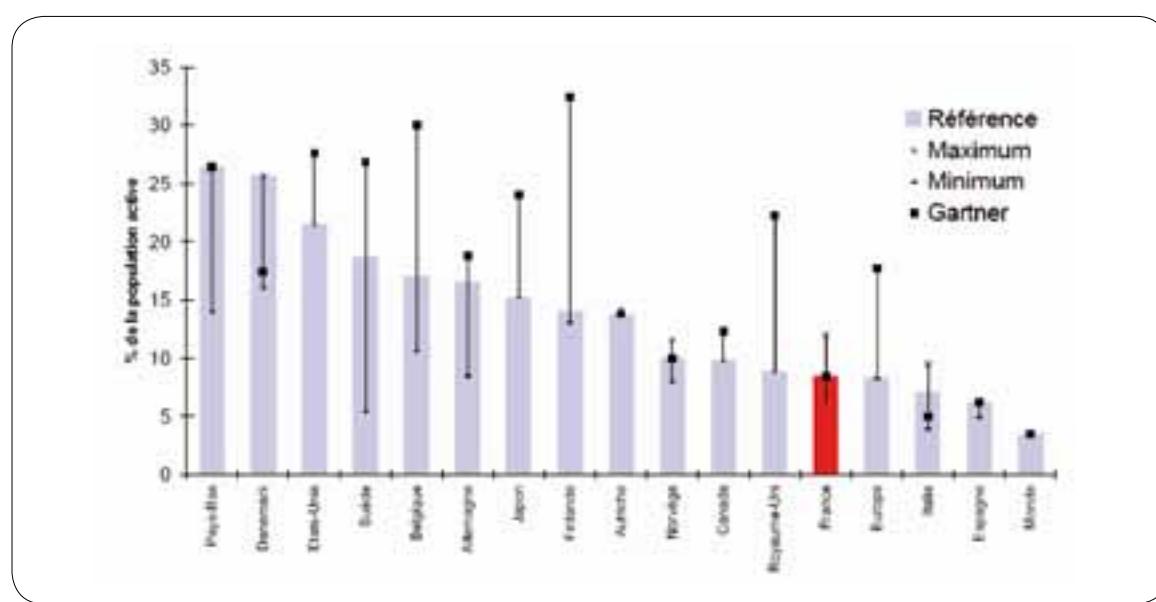


Figure 2.4 : diffusion du télétravail dans les pays de l'OCDE (source Gartner 11-2009)

On constate sur ce tableau que la France est en 13ème position en ce qui concerne le télétravail dans les pays de l'OCDE. Le trafic engendré par les entreprises croît fortement d'une part à cause du trafic engendré par les utilisateurs et, d'autre part, à cause du trafic engendré par les réplications et sauvegardes des données hébergées dans les centres d'hébergement (data center). En effet, suite au 11 septembre 2001, les entreprises ont élaboré des Plans de Reprise d'Activité basés sur des architectures à haute disponibilité mettant en oeuvre la redondance de deux sites distants reliés par une liaison à très haut débit et faible latence.

2.1.3 USAGERS RÉSIDENTIELS

Pour les usagers résidentiels, il est nécessaire que l'infrastructure puisse supporter 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 ci-contre 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	16 à 20 Mbit/s	8 à 12 Mbit/s
3D - HD en relief	De 16 à 25 Mbit/s	

Tableau 2.2 : débit nécessaire par programme TV

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

- télévision : en moyenne trois terminaux (téléviseur ou enregistreur) pour des services simultanés de programmes de télévision diffusés (broadcast) ou dédiés (VOD), en qualité numérique, avec prise en compte de la haute définition (HD) et de la 3D ;
- accès Internet à haut débit : navigation, télétravail, transfert de fichiers, Cloud Computing, applications pour la santé dont le Dossier Médical Personnel, jeux en réseau, etc. ;
- téléphonie (VoIP) et visiophonie IP.

Par conséquent, les besoins par logement s'expriment conformément au tableau ci-contre :

Service / débit par logement	Voie Descendante	Voie de Retour
1 TV 3D + 1 TV-HD + 1 TV-SD (MPEG 4)	27,5 Mbit/s	-
Accès Internet (Web)	2 Mbit/s	0,5 Mbit/s
Téléphonie	< 0,5 Mbit/s	< 0,5 Mbit/s
Autres services : visiophonie, télétravail, Cloud Computing, jeux, etc.	2 à 4 Mbit/s	2 à 4 Mbit/s
TOTAL	33 Mbit/s	4 Mbit/s

Tableau 2.3 : 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 oeuvre de débits plus élevés dans le sens remontant, comme l'échange de fichiers photos, vidéo et audio, les jeux en réseau, le développement de blogs vidéo ou encore la visiophonie. Le « Cloud Computing » encourage le déport des données et des applications dans des centres d'hébergement raccordés à Internet. Ceci entraîne une multiplication des échanges sur le réseau.

En mars 2011, le trafic vidéo constitue la moitié du trafic aux heures de pointe en Amérique du Nord pour les accès fixes (source Sandvine).

Le trafic de téléphonie sur IP est quant à lui peu gourmand en bande passante mais demande un temps de latence du réseau relativement faible et constant.

2.2 TYPOLOGIE DES RÉSEAUX DE COMMUNICATIONS ÉLECTRONIQUES

Les réseaux de communications électroniques permettent la mise en relation des usagers à travers des offres de service. La fourniture d'un service s'appuie sur un ensemble de ressources matérielles et logicielles.

Différents acteurs interviennent dans la vie des réseaux :

- Les usagers : particuliers, entreprises ;
- Les fournisseurs de services : opérateurs, fournisseurs d'accès internet (FAI) ;
- Les constructeurs, équipementiers, câbliers, fournisseurs de logiciels ;
- Les instances de réglementation : UIT, IEEE, ARCEP.

En première approche et quelle que soit sa nature, un réseau pourra être modélisé à partir de deux éléments de topologie : des noeuds et des arcs. Les noeuds abritent les éléments de réseaux (brasseurs, multiplexeurs, routeurs, commutateurs, etc.) assurant principalement des fonctions d'agrégation (multiplexage) et d'aiguillage (commutation, brassage, etc.) de trafic.

Les arcs, matérialisés par les supports de transmission relient les noeuds entre eux.

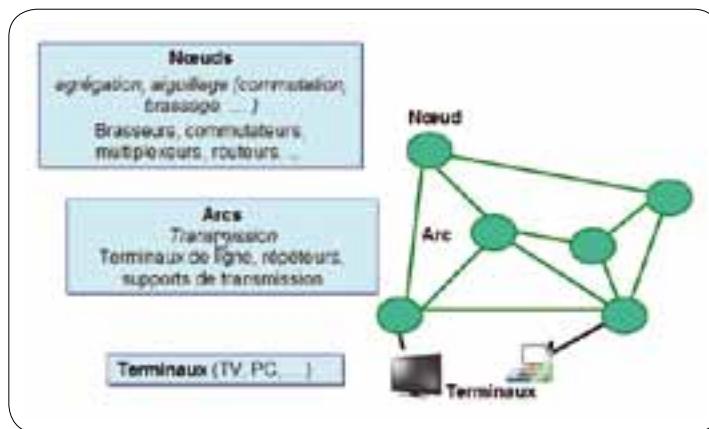


Figure 2.5 : représentation graphique d'un réseau

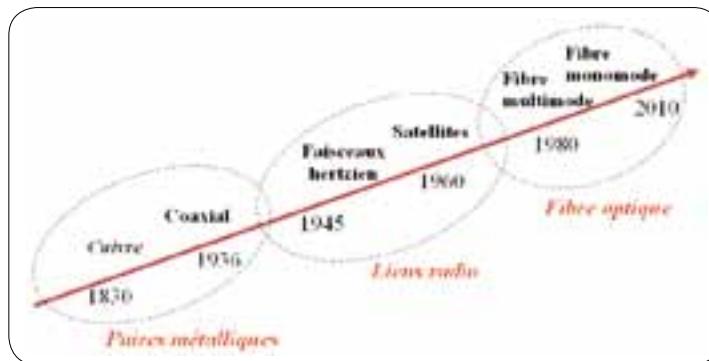


Figure 2.6 : date d'apparition des différents types de support de transmission

Il existe trois grandes familles de supports de transmission :

- Supports métalliques : paires cuivre, câbles coaxiaux ;
- Liaisons radioélectriques : faisceaux hertziens, boucle locale radio (BLR), satellites ;
- Fibres optiques.

L'approche typologique d'un réseau dépend essentiellement du critère retenu :

- Administratif :
 - Opérateur, entreprise, collectivité ;
- Portée géographique :
 - LAN, MAN et WAN ;
 - local, régional, longue distance ;
- Fonctionnalité :
 - Collecte, transport, desserte ;
- Nature :
 - Fixe ou Mobile.

Si l'on retient un critère administratif, on peut distinguer trois types de réseaux :

- Les réseaux d'opérateurs ;
- Les réseaux d'entreprise ;
- Les réseaux de collectivité.

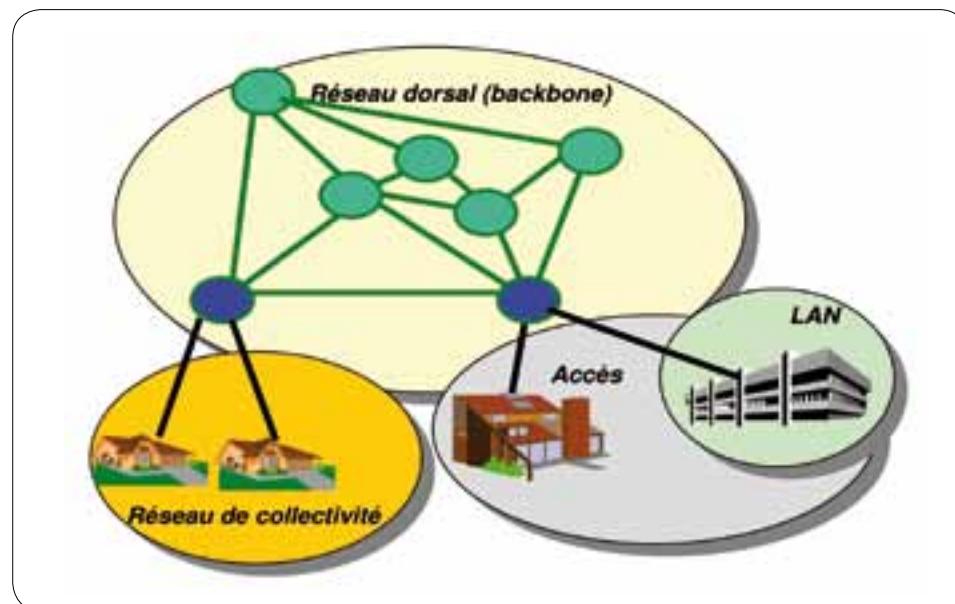


Figure 2.7 : exemple de typologie de réseau

2.2.1 LES RÉSEAUX D'OPÉRATEURS (BACKBONE ET ACCÈS)

Les réseaux d'opérateurs sont constitués d'un *backbone* ou réseau dorsal qui constitue l'épine dorsale du réseau. Il relie les points de présence (POP) de l'opérateur sur un territoire.

Le *backbone* peut lui-même être subdivisé en cœur de réseau constitué des liens interurbains longue-distance et des réseaux métropolitains couvrant une agglomération ou une région.

Le **coeur de réseau** est essentiellement un réseau de transport. Il interconnecte les **réseaux métropolitains** qui assurent une fonction de collecte entre les noeuds d'accès.

Les réseaux d'accès permettent quant à eux le raccordement des clients (particuliers, entreprises) sur le *backbone*.

Ces différentes strates de réseau (coeur, métropolitain, accès) peuvent être caractérisées, en première approche, par :

- leur fonction (transport, collecte, desserte) ;
- la distance entre les noeuds ;
- le débit par port.

Ces caractéristiques déterminent très largement les choix technologiques dans la mise en oeuvre de ces réseaux : support, architecture, technique de transport, etc.

Réseau (Backbone)	Réseau	Fonction	Distances	Débit port
Réseau dorsal	Réseau Cœur (longue distance, interurbain, WAN, ...)	Transport	Quelques centaines de km	Quelques 100 Gbit/s
	Réseaux métropolitains (régional, MAN, ...)	Collecte	Quelques dizaines de km	Quelques Gbit/s
	Réseaux d'accès	Desserte	Quelques km	Quelques Mb/s

Tableau 2.4 : les différentes couches de réseau et leurs caractéristiques

En ce qui concerne l'infrastructure, les *backbones* nécessitent des architectures à haute disponibilité, de type maillé ou en anneau. Le support privilégié est la fibre optique. Les faisceaux hertziens y sont déployés lorsque les conditions environnementales l'exigent. La technologie SDH (Synchronous Digital Hierarchy) est très employée avec, en complément, des techniques de type circuit virtuel notamment MPLS (Multi-Protocol Label Switching). Ethernet, technique en mode paquet, issue des réseaux locaux, occupe une place de plus en plus importante dans sa version « Carrier Class ».

Les noeuds d'accès, qualifiés de NRA (Noeuds de Raccordement d'Abonnés) dans le réseau cuivre de l'opérateur historique, matérialisent la frontière entre les réseaux dorsaux et les réseaux d'accès.

Capacité	Nombre de NRA	Nombre de lignes
Moins de 2000 lignes	77 %	22 %
Entre 2000 et 10000 lignes	17 %	26 %
De 10 000 à 30 000 lignes	5 %	31 %
Plus de 30 000 lignes	1 %	21 %

Tableau 2.5 : répartition des NRA de France Télécom par capacité

Remarque : les NRA de plus de 10 000 lignes représentent 6 % du nombre de NRA mais plus de 50 % des clients.

Ces derniers ont pour fonction de raccorder les clients (particuliers, entreprises) au réseau dorsal de l'opérateur. Plus de 95 % de l'accès aujourd'hui, est assuré via le réseau de l'opérateur historique. Ce réseau utilise une infrastructure de paires de cuivre en étoile vers le NRA. La portée moyenne est de quelques kilomètres. En zone urbaine, les réseaux câblés bâtis sur une infrastructure hybride fibre/coaxial peuvent constituer une alternative à la boucle traditionnelle de l'opérateur historique. Des solutions d'accès alternatives existent (sans fil, CPL, etc.). Elles représentent moins de 1 % de l'ensemble.

Solutions « standard »	Boucle locale cuivre – ADSL Les réseaux câblés (HFC : Hybrid Fiber Coax)
Solutions alternatives	Sans fil <ul style="list-style-type: none"> Wi-Fi (IEEE 802.11) WiMax (IEEE 802.16) Satellite
	Courants Porteurs en Ligne (CPL)
	Liasons optiques (FSO : Free Space Optics)
Les solutions optiques FTTH	Point-à-point <ul style="list-style-type: none"> Active Optical Network (AON) Passive Optical Network (PON)

Tableau 2.6 : Panorama des solutions d'accès

En France, le réseau cuivre ou boucle locale traditionnelle est propriété de l'opérateur historique, devenu entreprise privée depuis 1997. Ce réseau déployé sur l'ensemble du territoire constitue la partie terminale du réseau entre les clients et les points d'accès (NRA) de l'opérateur historique.

Sauf exception, il s'agit d'un réseau en étoile convergeant vers les NRA soit au total, près de 100 millions de kilomètres de paires de cuivre. La distance moyenne est de 2,5 km. 50 % des abonnés sont à moins de deux kilomètres.

Du NRA au client, le réseau d'accès est segmenté en trois parties : transport, distribution, branchement. (cf ci-dessous).

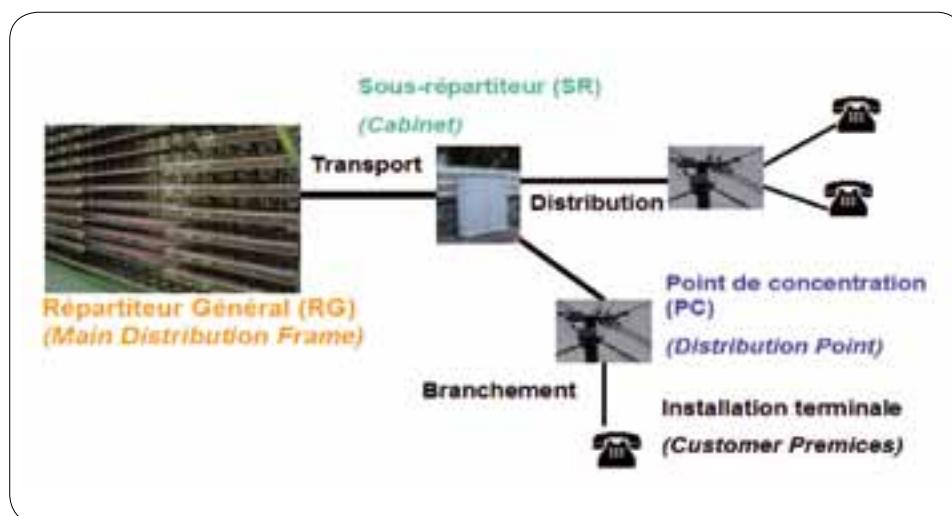


Figure 2.8 : organisation de la boucle locale cuivre

Quelques statistiques nationales sur le réseau d'accès :

■ Réseau de transport

Du répartiteur général au sous-répartiteur

- Longueur moyenne = 1800m ;
- Câbles enterrés (98%).

■ Réseau de distribution

Du sous-répartiteur au point de concentration

- Longueur moyenne = 600m ;
- Câbles enterrés (75%) ou aériens (25%).

■ Réseau de branchement

Du point de concentration à l'installation terminale

- Longueur moyenne = 40m ;
- Câbles aériens ou enterrés (1, 2 ou n paires).

C'est sur ce réseau que transitent aujourd'hui les flux ADSL. L'inconvénient essentiel est lié aux caractéristiques du support, et à la forte dépendance entre la longueur et la capacité : les débits diminuent avec la longueur et restreignent l'éligibilité aux services, comme le montre l'illustration ci-dessous :

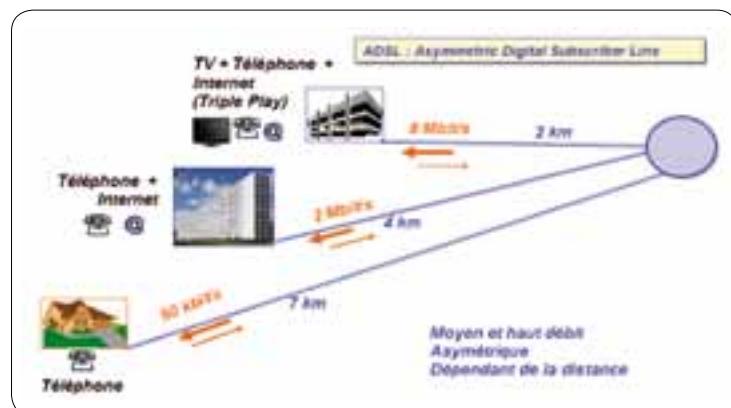


Figure 2.9 : services ADSL disponibles en fonction de la distance au NRA

Aussi, compte tenu de ces limitations, le déploiement de la fibre optique en remplacement de l'infrastructure cuivre existante s'avère être la seule solution envisageable pour l'offre de services très haut débit.

Modélisation en couches :

La modélisation en couches d'un réseau permet d'appréhender plus clairement les interactions existantes entre les différentes ressources mises en oeuvre dans les réseaux.

En première approche, on distinguera les couches suivantes :

- La couche infrastructure (chambres, fourreaux, etc.) ;
- La couche optique passive (câbles, fibres optiques, connecteurs, coupleurs) ;
- La couche optique active (OLT, ONU, etc.) ;
- La couche services.

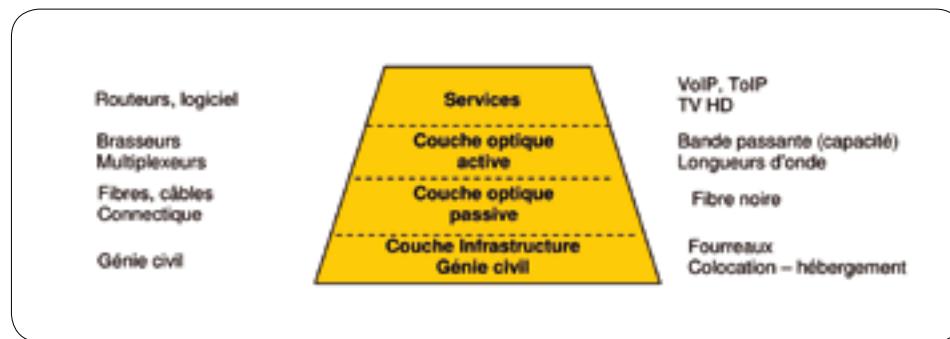


Figure 2.10 : pyramide des couches du réseau d'accès

Remarque : Les travaux du CREDO portent aujourd'hui plus particulièrement sur les couches basses : Infrastructure, couche optique passive et couche optique active. Les couches sont liées entre elles par des relations de type client-serveur. Une couche supérieure est dite cliente de la couche sous jacente.

Les investissements sont d'autant plus élevés que l'on descend dans les couches, sur des équipements passifs cependant amortis sur le long terme car plus pérennes que des équipements actifs. La situation est inverse en ce qui concerne les revenus. Cet état de fait est un élément déterminant pour comprendre le rôle et l'implication des collectivités territoriales dans le déploiement des réseaux.

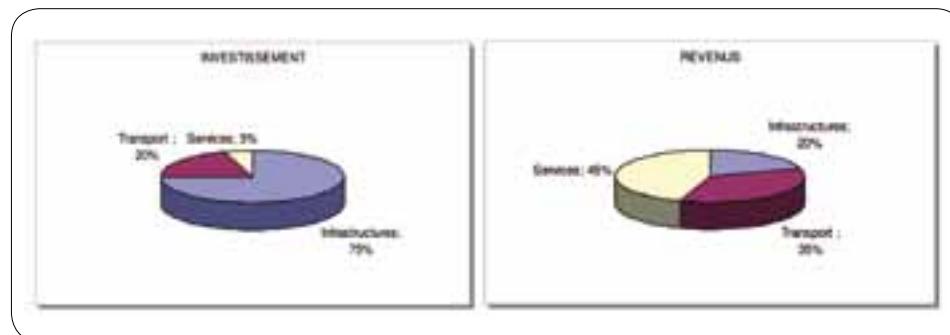


Figure 2.11 : répartition des investissements et des revenus d'un réseau

2.2.2 LES RÉSEAUX DE COLLECTIVITÉ

En France, l'article L.1425-1 du Code Général des Collectivités Territoriales (CGCT) permet depuis 2004 l'implication des collectivités dans le domaine des réseaux. Ces Réseaux d'Initiative Publique (RIP), dont on évoquera dans ce chapitre uniquement les aspects techniques, sont des réseaux ayant pour vocation première de desservir de manière équitable l'ensemble du territoire. Ces réseaux reposent sur une architecture à deux niveaux :

- Réseau de collecte ;
- Réseau d'accès (desserte).

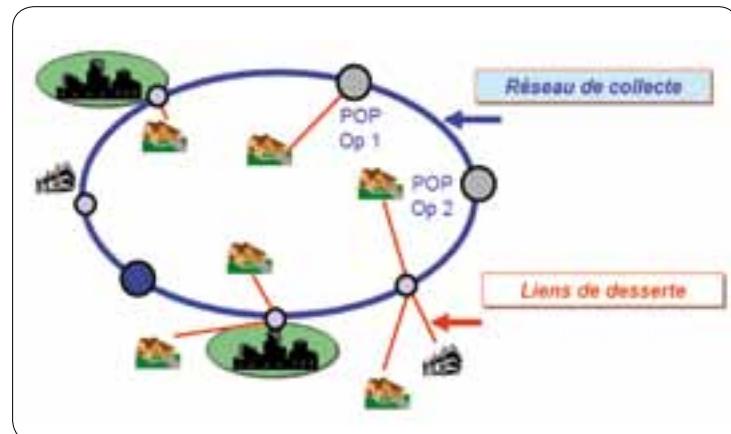


Figure 2.12 : réseau de collectivité

Le réseau de collecte constitué d'une ou plusieurs boucles optiques constitue l'épine dorsale du réseau de collectivité. Il interconnecte les points structurants du territoire, à savoir, les points de présence des opérateurs dont les NRA, les zones d'activité ou encore les établissements publics ou privés (collèges, lycées, hôpitaux, pôles administratifs, etc.). De ce réseau, partent des

liens de desserte pendulaires ou sécurisés, pour desservir des usagers éloignés du réseau de collecte.

En 2012, 138 Réseaux d'Initiative Publique (RIP) sont opérationnels ou en cours de déploiement sur le territoire national.

2.2.3 LES RÉSEAUX LOCAUX D'ENTREPRISE

Les réseaux locaux d'entreprise ou LAN (Local Area Network) sont des réseaux privés répondant aux besoins internes de l'entreprise. La fibre optique y occupe une place de plus en plus importante et la technologie Ethernet s'y est imposée pour des raisons à la fois économiques et technologiques. Le protocole Ethernet s'avère en effet parfaitement adapté au transport des datagrammes IP qui constituent aujourd'hui l'essentiel du trafic sur ces réseaux.

L'interconnexion des LAN distants est un des grands enjeux des années à venir. La traversée des backbones d'opérateurs nécessite une évolution technologique importante de la tech-

nologie Ethernet qui ne répond pas encore aux exigences de la classe opérateur. Une évolution significative s'amorce donc aujourd'hui à travers le Carrier Class Ethernet qui prend en compte les contraintes de traversée des réseaux d'opérateurs à savoir la scalabilité, la sécurité des flux, la montée en débit, la mise à disposition de mécanismes OAM (Operation, Administration & Maintenance) et la mise en œuvre de mécanismes de protection.

Cette nouvelle version d'Ethernet pourrait à terme remettre en cause l'hégémonie de la technique SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) qui a été jusqu'à ces dernières années la technique de transport universellement déployée par les grands opérateurs.

2.2.4 LES DIFFÉRENTES TECHNOLOGIES DES RÉSEAUX D'ACCÈS

Les réseaux d'accès 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 de France Télécom, accessible aux opérateurs alternatifs via le dégroupage. L'introduction des technologies xDSL apporte un certain nombre de contraintes, notamment vis-à-vis de la portée comme vu précédemment. 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 (par exemple la solution de Montée en Débit sur cuivre à la sous-boucle) ;
- 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 (HFC) ;
- 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 FTTH (Fiber To The Home).

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

- les réseaux satellitaires, notamment ceux dédiés à la diffusion directe, qui proposent maintenant des solutions bidirectionnelles pour les services de données ;
- la télévision numérique terrestre (TNT), qui remplace le réseau de diffusion de télévision analogique sur les antennes individuelles ou collectives ;
- la boucle locale radio (BLR), 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 et 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, pour des utilisations en fixe et nomade. La norme 802.16e permet d'introduire les fonctionnalités liées à la mobilité (WiMAX mobile) ;
- 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, et, maintenant, la 4G (LTE) ;
- les réseaux locaux radio-électriques (RLAN), qui peuvent être un complément local à une desserte en BLR, avec des normes comme :
 - IEEE 802.11b, dite Wi-Fi et ses dérivées 802.11a, 802.11g, 802.11n et 802.11i pour la sécurité, les bandes de fréquence utilisées sont libres, au contraire de celles du WiMax, et donc sujettes aux interférences ;
 - la norme européenne Hiperlan 2, voisine de 802.11a, mais non compatible.
- les liaisons optiques en espace libre 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 le fond 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.

De plus, ces différentes technologies sont souvent complémentaires, utilisées simultanément ou successivement. Par exemple, les réseaux HFC utilisent un mixte de câbles en cuivre et de fibres optiques. Ou encore, le déploiement d'un réseau FTTH nécessite parfois un usage temporaire d'autres technologies en attendant la couverture complète en fibres optiques du territoire concerné (utilisation de l'ADSL et du Wi-Fi comme solution provisoire).

2.3 PANORAMA DES ARCHITECTURES DE DESSERTE DE TYPE FTTx

2.3.1 GÉNÉRALITÉS SUR LE TYPE D'ARCHITECTURES DÉPLOYÉES

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, 1 Gbit/s, 10Gbit/s voire plus ;
 - les besoins des usagers résidentiels combinent l'accès à plusieurs programmes de télévision (en haute définition), la vidéo à la demande, les jeux en réseau, la navigation Internet, le téléchargement et le transfert de fichiers et les communications téléphoniques et visiophoniques, sans

compter la tendance progressive à stocker ses données et à utiliser des applications à distance (Cloud Computing).

- 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) jusqu'à un noeud du réseau (équivalent à un sousrépartiteur cuivre), FTTC (C = Curb) / FTTLA (LA = Last Amplifier) jusqu'à quelques dizaines de mètres de l'abonné, FTTB/O (B = Building/Office) en pied d'immeuble et FTTH (H = Home) jusqu'à l'abonné.

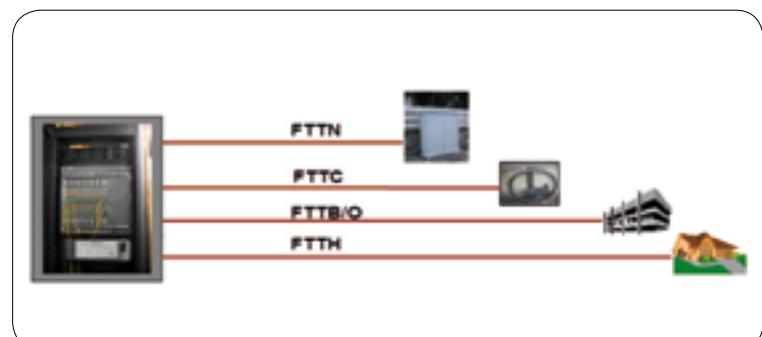


Figure 2.13 : déclinaison des architectures FTTx

2.3.2 TOPOLOGIES INTERMÉDIAIRES FTTx

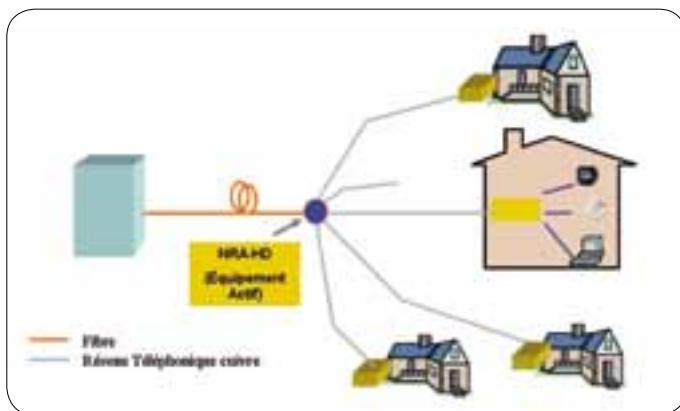


Figure 2.14 : déclinaison d'architecture FTTx - le cas du NRA- HD

Dans les topologies FTTx intermédiaires, la fibre optique n'arrive 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 NRAHD (prolongée par le NRA-ZO et maintenant l'offre PRM) en zones peu denses au niveau des sous-répartiteurs s'inscrit dans cette approche. Par ailleurs, plutôt que d'installer des DS-LAM 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).

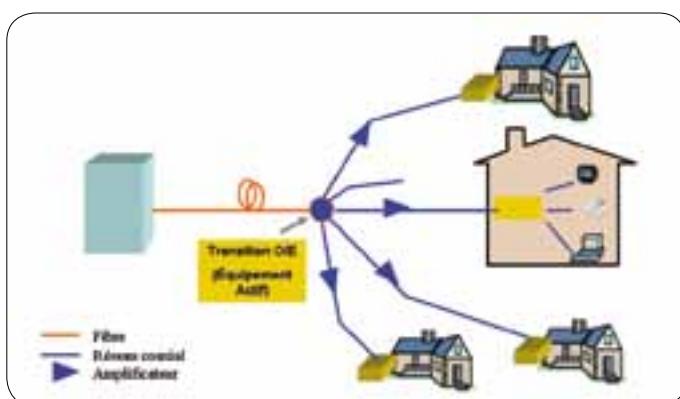


Figure 2.15 : déclinaison d'architecture FTTx - le cas des réseaux câblés HFC

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 noeud optique dans le réseau, le réseau coaxial peut être passif (pas d'amplificateur) : c'est le FTTLA.

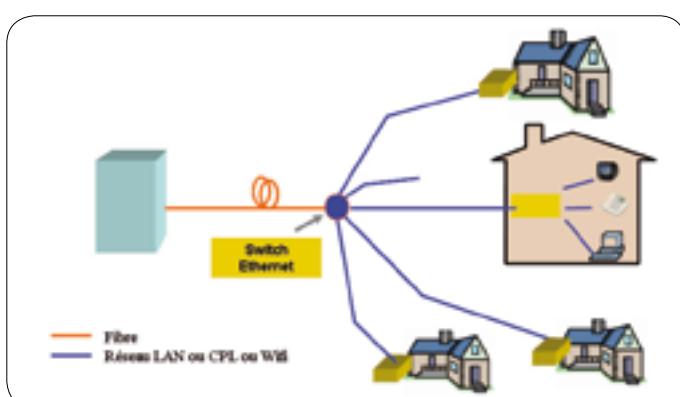


Figure 2.16 : déclinaison d'architectures FTTx - le cas du « curb switch Ethernet »

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 commutateur/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.

2.3.3 TOPOLOGIES FTTH

Au niveau de la couche optique passive (fibre), entre l'OLT et l'ONU (terminaison côté client), une des topologies suivantes peut être utilisée :

- Point à point (ou P2P) ;
- Double étoile active (ou AON) ;
- Passive Optical Network (ou PON).

2.3.3.1 SYSTÈME « POINT À POINT »

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

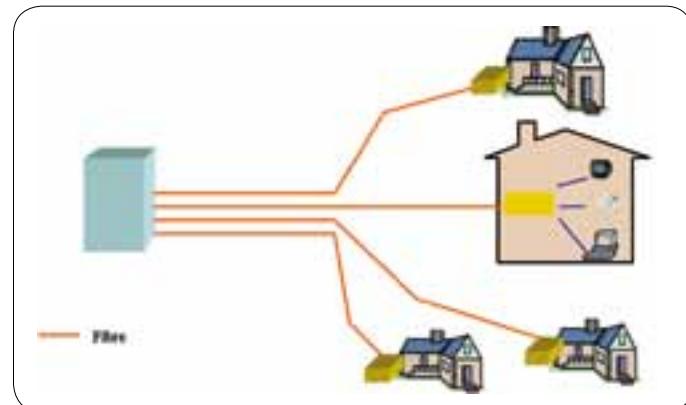


Figure 2.17 : topologie FTTH point à point (P2P)

2.3.3.2 SYSTÈME DE DOUBLE ÉTOILE ACTIVE (AON)

Certaines configurations de territoires très peu denses peuvent amener, pour des considérations économiques à introduire des noeuds actifs intermédiaires. Au niveau de la couche optique passive entre l'OLT et l'ONU, il s'agit d'une architecture partagée destinée aux zones les moins denses pour lesquelles le coût de déploiement de câbles à fibres optiques de grande capacité sur de longues distances peut s'avérer prohibitif :

- 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.

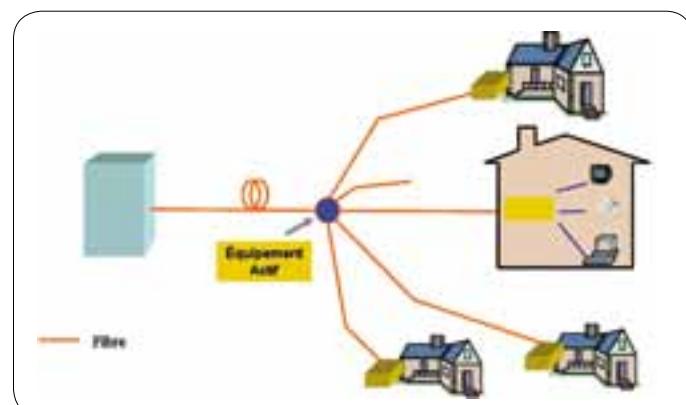


Figure 2.18 : topologie FTTH en double étoile active (AON)

2.3.3.3 SYSTÈME PON

Au niveau de la couche optique passive entre l'OLT et l'ONU, le terme PON (Passive Optical Network) regroupe les architectures partagées sans aucun équipement actif intermédiaire,

- 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 (TDM PON : B-PON, E-PON par l'IEEE, G-PON par l'ITU-T, etc., et bientôt le WDM PON et les systèmes PON hybrides WDM & TDM).

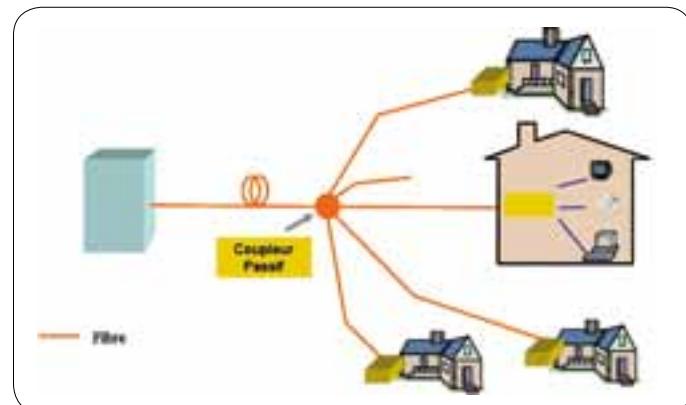


Figure 2.19 : topologie FTTH en PON

2.3.3.2 APERÇU DU MARCHÉ DES DIFFÉRENTES TOPOLOGIES FTTH

Le marché du FTTH est encore très jeune mais de grandes tendances se dégagent d'ores et déjà.

Au niveau mondial, l'Asie devient le plus grand marché du FTTH et présente un taux de croissance élevé, puis viennent l'Amérique du Nord et l'Europe.

Taille	Région du monde	Technologie envisagée
Premier marché	Asie Pacifique	EPON essentiellement
Deuxième marché	Amérique du Nord	BPON, GPON essentiellement
Troisième marché	Europe	P2P, GPON essentiellement

Tableau 2.7 : marché mondial FTTH

À niveau français, pour le FTTH résidentiel, Orange, Bouygues Télécom et SFR s'orientent vers la technologie GPON, alors que Free a choisi initialement la technologie Point à Point et pourrait utiliser également la technologie PON.

Opérateur télécom	Technologie envisagée
Orange	GPON
Free	Point à Point ou GPON
Bouygues Télécom	GPON
SFR	GPON ou (Point à Point)

Tableau 2.8 : marché français FTTH

Il est important de préciser que les connexions à destination des entreprises sont en point à point quel que soit l'opérateur.



3 LA PROBLÉMATIQUE DU RÉSEAU D'ACCÈS

LA PROBLÉMATIQUE DU RÉSEAU D'ACCÈS

Ce chapitre est consacré aux principes généraux qui guident la conception et le déploiement des réseaux d'accès FTTH sur l'ensemble du territoire à l'exception des zones très denses. Ces règles de conception ont aussi une influence directe sur la définition et l'ingénierie des réseaux de collecte, ceux-ci représentant un niveau très structurant dans le processus général.

3.1 GÉNÉRALITÉS SUR LES RÉSEAUX D'ACCÈS

3.1.1 ARCHITECTURE CIBLE

Lors de la conception d'une infrastructure d'accès, composée des couches les plus basses (fourreaux, chambres, appuis aérien, etc.) et de la couche optique passive (câbles, boîtiers, répartiteurs, etc.), il convient de disposer d'une vision à long terme, soit à un horizon de plus de 20 ans, sur les fonctions que celle-ci devra satisfaire. A ce titre, les éléments suivants doivent être pris en considération :

- les couches les plus basses, soit l'infrastructure support (infrastructure physique, fourreaux, appuis aérien, chambres, etc.) sont des éléments très structurants :
 - elles peuvent constituer un élément important du patrimoine des collectivités,
 - contrairement aux équipements, notamment actifs, leur amortissement est généralement calculé sur une très longue période, généralement supérieure à 20 ans.
- 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 » la couche optique passive sera dans la grande majorité des zones moins denses unique, soit en monopole pour transporter les offres et usages fixes.

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 numérique du territoire 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 noeuds 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 noeuds 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 envisager l'activation de l'infrastructure optique.

3.1.2 COMPOSANTES DU RÉSEAU D'ACCÈS

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'épissage et les baies de brassage,
- la couche optique active qui transporte les services. Elle est constituée des équipements actifs.

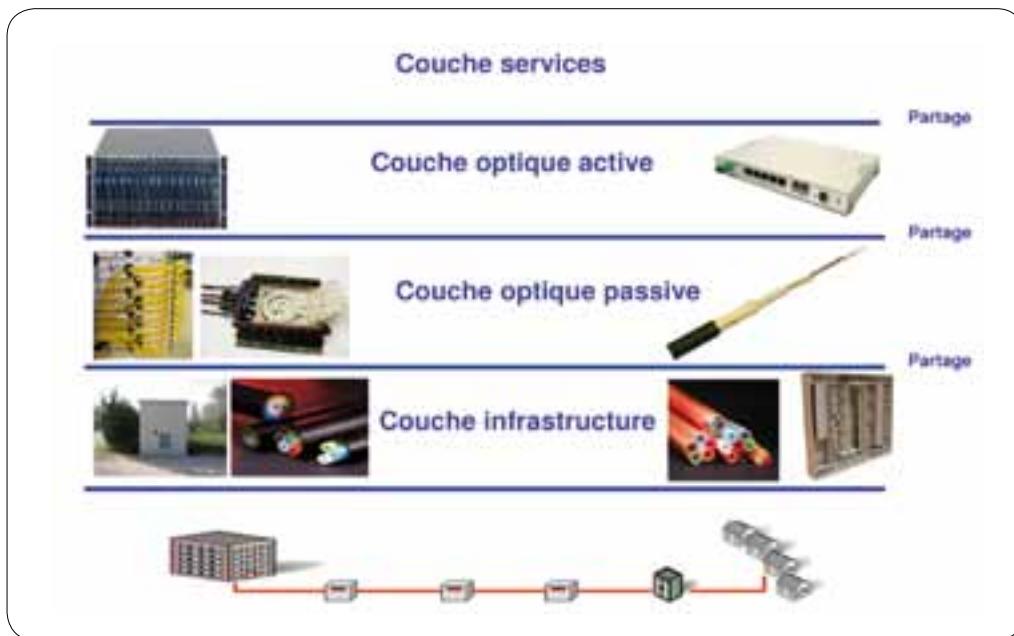


Figure 3.1 : le modèle en couches du réseau d'accès

3.1.3 CRITÈRES 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.

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 fibre ou 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.

3.1.4 PROGRESSIVITÉ DE LA MISE EN PLACE

Dans la plupart des cas, l'architecture cible FTTH sera mise en oeuvre dès l'origine par décision stratégique des acteurs dans une logique d'aménagement numérique du territoire. Il faudra néanmoins s'assurer que les opérateurs de services, notamment pour le « tripleplay » résidentiel,

auront suffisamment d'appétence pour adresser le territoire avec le scénario qui sera retenu par les décideurs. Les conditions économiques de l'intervention de la collectivité, en termes de planification et de participation financière, devront donc être « acceptables » pour que ceux-ci viennent offrir leurs services sur le territoire.

Le schéma directeur (SDTN, cf le chapitre 1) 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 oeuvre 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.

En fonction des opportunités et contraintes locales, on pourra envisager une mise en oeuvre 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.

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. La concertation préalable avec les acteurs locaux ou l'opportunité de travaux doivent ainsi permettre d'abaisser les coûts de génie civil.

En cas de paliers intermédiaires, l'architecture devra autoriser l'évolution des solutions mises en oeuvre vers la cible FTTH :

- cela peut concerner la pénétration progressive de la fibre pour se rapprocher de l'usager (FTTN > FTTC > FTTB/O > FTTH).
- le type et la localisation des équipements actifs devront être pris en compte :
 - les différents noeuds constituant le graphe du réseau devront éventuellement héberger des équipements actifs ou passifs selon le palier considéré,
 - certains noeuds initialement actifs pourront devenir passifs et inversement.
- l'alimentation en énergie de ces noeuds devra être possible.

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

Dans le cas de la modernisation des réseaux câblés par exemple, il serait important d'anticiper pour que dès le début de la conception du réseau il soit prévu de respecter à terme, quand le réseau deviendra FTTH, les obligations réglementaires (taille du PM, dimensionnement du nombre de fibres et complétude en particulier).

3.1.5 LES RÔLES DES DOCUMENTS FONDATEURS

Le cadre réglementaire a été décrit en détail dans le chapitre 1. On reprend ci-après les éléments qui influencent les problématiques d'architecture des réseaux. En particulier, la circulaire du Premier Ministre aux Préfets (31 juillet 2009) souligne que « *les infrastructures numériques contribuent à la compétitivité comme à la relance de l'économie*

française et préparent un modèle de croissance plus durable en favorisant les échanges dématérialisés ». Elle incite les acteurs publics à décliner une « *stratégie de cohérence régionale pour l'aménagement numérique* » à tous les échelons appropriés (région, département, pays...) en suscitant « *des projets de développement d'infrastructures numériques qui s'appuient sur des schémas directeurs* », comme illustré dans le tableau 1.1 du chapitre 1.

Le SDTAN ne vise pas nécessairement à décider de la réalisation ou non d'un réseau d'initiative publique à court terme. Par ailleurs, il n'a pas la précision d'un document opérationnel comme le schéma d'ingénierie qui vient le compléter.

Les principales ambitions consistent à mobiliser les acteurs publics qui ont contribué à son élaboration et de les amener à s'engager, et à établir un programme d'actions qui devra être partagé par l'ensemble des acteurs publics du territoire concerné. Evidemment, ce document n'est pas figé et doit être révisé régulièrement pour tenir compte de l'évolution des besoins des différents types d'utilisateurs, des évolutions réglementaires et tarifaires, des projets des acteurs privés et de la stratégie de développement des territoires. Les SDTAN représentent une contribution importante à la finalisation de la SCORAN élaborée au niveau régional.

La loi contre la fracture numérique (dite « loi Pintat ») de décembre 2009 impose notamment l'unicité des SDTAN par territoire (département ou région) et l'information au public via l'ARCEP, ainsi que l'information obligatoire de la collectivité désignée par le SDTAN par le maître d'ouvrage d'une opération de travaux de génie civil d'une longueur significative.

Les schémas d'ingénierie constituent le maillon suivant conduisant à la mise en oeuvre de projets opérationnels. Ils se traduisent par un piquetage détaillé permettant d'affiner le chiffrage des coûts d'investissements et des charges d'exploitation associées.

3.1.6 LA VALORISATION DES INFRASTRUCTURES EXISTANTES

Etant donné que la part la plus importante des coûts d'investissement relatifs à la création de nouvelles infrastructures est relative au génie civil associé, il est très important de chercher à valoriser

des infrastructures existantes, notamment les appuis aériens et les fourreaux souterrains, lorsqu'ils sont accessibles à des conditions opérationnelles et tarifaires acceptables. France Télécom notamment, dans le cadre de la régulation dont il fait l'objet, a publié des offres détaillées : l'offre GC NRA-SR (liaisons de transport) ou l'« offre d'accès aux installations de génie civil de France Télécom pour les réseaux » soit la location du GC support de la boucle locale cuivre.

Evidemment, la recherche de la valorisation de ces infrastructures implique un important travail au niveau du schéma d'ingénierie conduisant à superposer les graphes des réseaux cuivre et optique sur une grande partie des parcours.

De même, la mutualisation de locaux techniques peut s'avérer très attractive pour les territoires et favoriser l'émergence de Data center à proximité des nœuds du réseau optique.

Enfin, une certaine forme de mutualisation peut être recherchée au niveau de la couche active. On peut par exemple envisager d'insérer des cartes optiques destinées à l'accès dans un DSLAM multi technologies existant.

Dans la mesure où l'on peut envisager la mise en œuvre de paliers intermédiaires basés sur des technologies différentes qui ont vocation à être remplacées à terme par le FTTH, il est fondamental de prendre les mesures nécessaires pour pouvoir réutiliser (« pérenniser ») certains sous-ensembles, en particulier les câbles optiques de transport de la montée en débit sur cuivre.

3.2 L'ARCHITECTURE GÉNÉRIQUE DES RÉSEAUX D'ACCÈS FTTH

3.2.1 MODELISATION DE L'ARCHITECTURE FTTH

Il est nécessaire à ce stade de définir avec précision les différents éléments que l'on peut trouver sur un tel réseau d'accès en commençant par la terminaison « usager » pour remonter jusqu'à l'interface avec le (ou les) réseau(x) de collecte.

3.2.1.1 ARTICULATION DES LIAISONS

En ce qui concerne les liaisons qui relient ces différents éléments entre eux, le CREDO a retenu une terminologie très proche de celle utilisée pour la boucle locale cuivre (figure 3.2) :

- le réseau d'accès est composé du réseau de transport, de distribution et de branchement (ou de raccordement) ;
- le réseau de desserte optique concerne la partie mutualisée du réseau, du PM (ou PRDM) au DTIO.

Le nœud de raccordement optique est généralement installé dans une salle technique adaptée, éventuellement dans un « shelter », voire en armoire. Il héberge les équipements actifs et passifs du réseau d'accès et ceux qui assurent l'interface avec le réseau de collecte.

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.

3.2.1.2 LES PRINCIPAUX NŒUDS DU RÉSEAU D'ACCÈS

La figure 3.2 présente les principaux noeuds sous forme schématique.

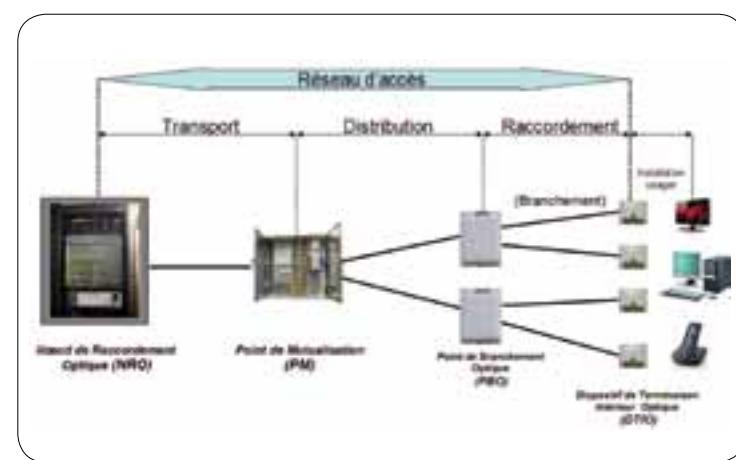


Figure 3.2 : architecture cible FTTH

Dispositif de terminaison intérieure optique (DTIO)

Le DTIO est placé à l'intérieur du logement. Il constitue le point de terminaison du câblage optique et, en ce sens, la limite de responsabilité en termes de maintenance du réseau. Il est constitué d'un boîtier, généralement placé au niveau du tableau de communication, dans la Gaine Technique Logement (GTL) lorsqu'elle existe, qui permet le lovage de la fibre et la mise en place du connecteur optique sur lequel se raccordera l'adaptateur de média assurant la conversion optoélectronique du signal.

Dans le cas des logements neufs équipés d'un coffret de communications, le DTIO sera localisé dans ce coffret. Selon l'emplacement de l'équipement récepteur ou passerelle multimédia (box) à l'intérieur ou non de ce coffret, une prise optique (PTO) pourra être branchée depuis ce DTIO jusqu'à la pièce où se trouvent les équipements terminaux.

Dans le cas des logements anciens non pourvus de coffret de communication, le DTIO pourra se situer dans la pièce où se trouve l'équipement FTTH ; dans ce cas, le DTIO et la PTO (Prise Terminale Optique) forment un seul et même produit.

Point de Branchement Optique (PBO)

Le PBO est l'interface obligatoire pour les actions de raccordement des abonnés individuels à partir de câbles élémentaires. Il permet un raccordement au fil de l'eau ou à 100% dès le début. Si, pour des raisons économiques, le raccordement final (PBO-DTIO) doit être plutôt effectué à la demande qu'a priori, les coûts seront d'autant plus optimisés que les pré-études de raccordement correspondantes auront été réalisées lors des études de déploiement en amont. Le PBO n'est pas nécessairement situé sur le domaine public.

Les figures 3.3 et 3.4 montrent respectivement ces deux situations.

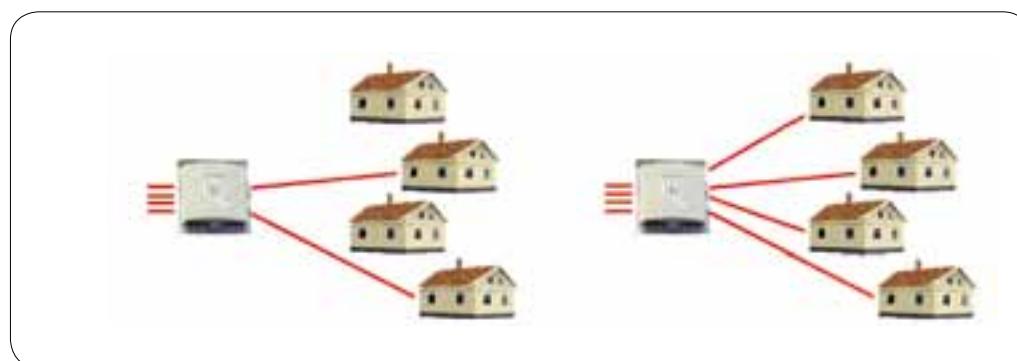


Figure 3.3 : PBO avec câblage au fil de l'eau

Figure 3.4 : PBO avec pré-câblage à 100%

Dans le cas d'un câblage au fil de l'eau, le PBO doit être facilement accessible. Le coffret, en fonction de la configuration de l'habitat, peut être situé dans l'immeuble hébergeant les abonnés, en façade, sur le trottoir ou sur poteau. Le PBO ne contient pas de matériel actif.

Dans le cas des immeubles collectifs, le boîtier d'étage, généralement installé dans les gaines techniques verticales (figure 3.5), correspond à la fonction de point de branchement optique.

Les PBO peuvent donc être localisés différemment selon le type de raccordement :

- PBO intérieur dans la gaine technique de l'immeuble ;
- PBO intérieur apparent pour les immeubles plus anciens ;

- PBO extérieur en façade ou sur poteau pour une distribution aérienne ;

- PBO souterrain pour une adduction souterraine.

Par rapport aux règles de déploiement initial des infrastructures, on définit une zone de raccordement, qui s'étend des DTIO aux points de branchement optique (PBO) de la zone ; tous les logements appartenant à cette zone sont qualifiés de logements raccordables dès lors que le PBO est posé.

Lorsque tous les PBO d'une zone ne sont pas réalisés, par exemple en cas d'absence d'accord avec les copropriétés, les câbles sont réservés en attente dans un PA (Point d'Attente).

Boîtier de pied d'immeuble (BPI)

Dans le cas des immeubles collectifs, les câbles optiques appartenant au câblage vertical peuvent être regroupés en pied d'immeuble dans un boîtier de transition qui assure la continuité avec le réseau déployé sur le domaine public. La figure 3.5 présente l'articulation de ces différents sous-ensembles.

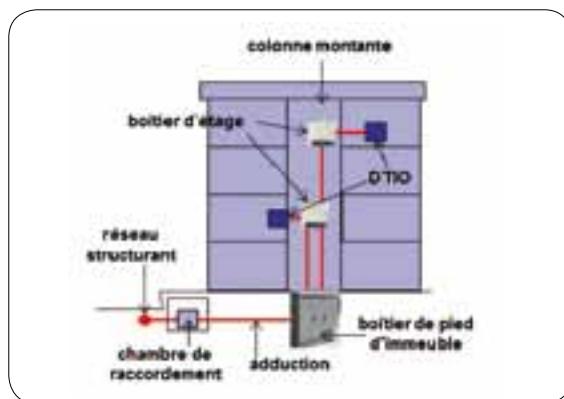


Figure 3.5 : le câblage des immeubles collectifs

Dans les immeubles collectifs, le boîtier d'étage est un PBO ; un tel boîtier d'étage peut desservir des DTIO situés sur plusieurs étages. Dans certains cas, un seul PBO (situé en pied d'immeuble) dessert la totalité des DTIO de l'immeuble.

Répartiteur Optique intermédiaire (RO)

Des dispositifs intermédiaires peuvent exister entre le répartiteur optique (RO) principal du NRO et les PBO pour des raisons de dimensionnement et de construction de l'infrastructure du réseau d'accès. Il s'agit de points de flexibilité qui peuvent assurer des fonctions d'affectation ou de brassage des fibres entre les câbles amont et aval. Sa fonction est liée à la vie du réseau et peut donner lieu à des interventions régulières (notamment pour les tâches d'exploitation et de maintenance), mais sa présence n'est pas obligatoire. Il peut héberger des câbles optiques en attente. Selon les objectifs opérationnels, le raccordement des fibres peut être prévu par soudure ou par connectique.

Comme on le verra plus loin, ces points intermédiaires sont nécessaires pour la mise en œuvre des obligations réglementaires liées aux fonctions PM et PRDM.

Nœud de Raccordement Optique (NRO)

Le NRO est le local qui accueille les équipements actifs de transmission et de commutation et qui joue le rôle d'interface entre les réseaux de collecte et d'accès. Sa dénomination montre une analogie directe avec le NRA (noeud de raccordement d'abonnés) de la boucle locale cuivre. Il comprend trois types de fonctions :

- les organes de terminaison et d'interface du réseau de collecte ;
- les équipements optoélectroniques du réseau d'accès (nommés « actifs » par la suite) ;
- les organes passifs de répartition optique (RO).

3.2.2 CONCEPTION DU RÉSEAU DE COLLECTE ET OPTIMISATION DES SITES NRO

3.2.2.1 GÉNÉRALITÉS

L'objectif est de définir un réseau de collecte permettant d'interconnecter les futurs NRO : on cherche à optimiser le nombre et la position des futurs NRO en fonction de contraintes et de paramètres réglementaires, opérationnels ou liés aux systèmes mis en œuvre par les opérateurs :

- les paramètres « système » qui conduisent à des contraintes technologiques ;
- les paramètres « opérationnels » et économiques liés à l'objectif consistant à présenter les plus grandes synergies possibles avec l'existant sur la sous-boucle locale cuivre pour :
 - faciliter la mise en place de solutions intermédiaires (provisoires) telles que la montée en débit (MeD) en intervenant au niveau du sous-répartiteur (SR) ;
 - réutiliser au mieux les infrastructures (fourreaux, poteaux, locaux,...) mobilisables dans le réseau d'accès, en particulier dans le cadre de l'offre d'accès au génie civil de l'opérateur historique ;
 - réutiliser au mieux les équipements de transmissions et réseaux de collecte existants utilisés depuis les NRA, par France Télécom et les divers dégroupageurs (yc RIP)
- les paramètres « réglementaires » qui découlent de la notion de point de mutualisation (PM), édictée par l'ARCEP. Les paragraphes suivants décrivent ces paramètres.

3.2.2.2 CONTRAINTES TECHNOLOGIQUES

Comme les infrastructures FTTH mises en place dans le cadre de réseaux d'initiative publique (RIP) doivent être neutres et non discriminatoires vis-à-vis des technologies des opérateurs de services, le positionnement des NRO doit permettre de déterminer des poches (zones de couvertures) dont les dimensions sont compatibles avec les « bilans optiques » proposés par les technologies actuelles.

Le calcul du bilan optique d'une liaison dans le réseau d'accès dépend d'un grand nombre de paramètres. Le budget optique disponible entre l'émetteur optoélectronique et le récepteur est imputable à plusieurs éléments : la connectique au niveau des différents noeuds du réseau, les pertes liées à l'insertion éventuelle d'un coupleur optique et l'atténuation propre de la fibre.

Les pertes liées à la connectique dépendent du type de connectique (épissure soudée, épissure mécanique, connecteur) et des fonctions (brassage, insertion de multiplexeur optique) que l'on veut mettre en oeuvre aux différents noeuds du réseau (NRO, PM, PBO, DTIO) et sur les lignes elles-mêmes (épissures en ligne). Les valeurs cumulées sont généralement voisines de **3 dB** entre NRO et DTIO.

Le budget optique disponible dépend des choix « système ».

- dans le cas des architectures point à point (P2P), l'objectif de réduction des coûts conduit souvent à choisir des émetteurs peu puissants ce qui amène généralement à des budgets optiques de l'ordre de 15 à 20 dB.

- dans le cas des PON, avec des lasers B+, avec un taux de couplage de 1:64, le coupleur optique introduit une perte supplémentaire de 21 dB avec un budget (OLT-ONT) généralement de 28 dB, soit 7 dB hors coupleurs.

- dans la mesure où ces infrastructures sont mutualisées, le budget optique le plus défavorable doit permettre de remplir l'objectif : on retient donc cette valeur de 28 dB (données moyennes communiquées par les équipementiers) avec 21 dB pour des coupleurs.

Enfin, il conviendrait de réserver une marge de vieillissement de l'ordre de 1 dB. En conséquence, la perte résiduelle affectée à l'atténuation de la fibre elle-même correspond à environ 3 dB (28 dB – 3 dB – 21 dB – 1 dB = 3 dB) ce qui correspond à une longueur voisine de 10 km.

Cette valeur de 10 km est donc une référence maximale pour optimiser le positionnement des NRO par rapport aux zones à desservir.

Ainsi, lors de l'établissement d'un SDTAN, il n'est pas réalisé de piquetage puisqu'il ne s'agit pas de la réalisation d'un schéma d'ingénierie. Par contre, il est important à ce stade de déterminer les sites des futurs NRO. Ils sont en effet déterminants pour tracer le réseau de collecte, celui-ci étant un élément structurant du schéma directeur.

La traduction la plus simple en termes cartographiques consiste à considérer des « cercles » de 7 km de rayon (à vol d'oiseau) puisque les câbles ne cheminent pas en ligne droite. Evidemment, la réalité opérationnelle sera différente puisque les zones arrière des NRO ne seront pas des cercles.

Il faut souligner que le chiffre référence de 10 km peut être amendé pour satisfaire ponctuellement la desserte de sites situés au-delà de la zone théorique : pour le P2P, on pourra choisir des émetteurs plus performants (et un peu plus coûteux), alors que pour le PON, on pourra réduire le taux de couplage à 1:32 par exemple.

Par ailleurs, il est souhaitable d'optimiser le nombre de NRO de façon à optimiser les coûts d'exploitation du réseau ; en effet, la multiplication de sites actifs sur le territoire peut lourdement grever le poste de dépenses d'exploitation / maintenance.

3.2.2.3 CONTRAINTES OPÉRATIONNELLES ET ÉCONOMIQUES

Les paramètres « opérationnels » et économiques sont liés à l'objectif consistant à présenter les plus grandes synergies et réutilisations possibles avec les infrastructures support existantes. Cela facilite aussi la mise en place de solutions intermédiaires (provisoires) telles que la montée en débit (MeD) en intervenant au niveau du sous-répartiteur (SR) et en réutilisant les infrastructures passives cuivre en aval de ce SR.

Il s'agit, dans une optique de réduction des coûts, par exemple de réutiliser les fourreaux et poteaux mobilisables ainsi que les locaux techniques existants. S'installer dans ou à proximité de NRA dégroupés permet aussi de réutiliser les infrastructures de collecte et les équipements de transmission existants du Haut-Débit xDSL.

3.2.2.4 LES CONTRAINTES ARCHITECTURALES LIÉES AU POINT DE MUTUALISATION (PM)

Selon les définitions actuelles, en aval du point de mutualisation jusqu'au DTIO, un réseau mutualisé point à point, dimensionné *a minima* à 100% et passif est à déployer. Dans le cas de la mise en œuvre de systèmes PON, ceci devrait conduire à positionner les coupleurs optiques en amont du réseau mutualisé, c'est-à-dire dans le PM, son installation étant à la charge de l'opérateur. Compte tenu de cette contrainte, certaines architectures, telles les PON utilisant des amplificateurs optiques ne peuvent pas être mises en œuvre dans cette portion du réseau, en positionnant par exemple les amplificateurs optiques (large bande) au niveau d'un répartiteur optique. Cette contrainte est dommageable dans la mesure où les technologies de PON-WDM pourraient faciliter des architectures où les points de mutualisation seraient moins nombreux. La notion de transparence et de non-traitement du signal permet toutefois de préserver la neutralité, même si cela peut représenter in fine un surcoût non négligeable.

Lorsque le PM est au niveau du NRO (zones très peu denses ou zones à proximité immédiate du NRO), il convient d'être attentif aux limitations introduites par la capacité des câbles optiques, notamment dans le cas où les infrastructures retenues pour la section de transport sont aériennes ; en effet, selon le nombre de départs dans différentes directions, les règles d'utilisation des appuis (poteaux) peuvent conduire à des limitations quant au nombre total de fibres traitées de cette façon.

3.2.3 LE RÔLE ET LE POSITIONNEMENT DU POINT DE MUTUALISATION (PM)

La convergence de tous les éléments à caractère technique, topologique, économique et financiers présentés ci-avant doit tenir compte des obligations réglementaires, en particulier dans le cadre de la mutualisation des réseaux et de l'obligation d'offres d'accès.

La notion de point de mutualisation (PM) a été introduite par l'ARCEP pour obliger les acteurs privés et publics à mutualiser les infrastructures sur la partie aval (soit jusqu'au DTIO) dont les coûts de déploiement sont élevés et qui peuvent représenter jusqu'à 90% des coûts totaux de la nouvelle boucle locale optique. Sa définition fait l'objet du paragraphe 1.1.2 du présent guide.

3.2.3.1 LE POSITIONNEMENT DU POINT DE MUTUALISATION (PM)

Il convient de relier cette fonction de PM avec l'architecture type décrite au § 3.2.1 et son articulation avec les noeuds qui la constituent.

De nombreuses configurations peuvent être trouvées selon les situations opérationnelles. Elles s'appuient toutes sur le schéma fonctionnel de la figure 3.6 qui est reprise ensuite pour décrire différents cas particuliers. Pour chacun des cas, on distingue les équipements de l'opérateur d'accès des équipements des autres opérateurs à l'aide d'un code couleur.

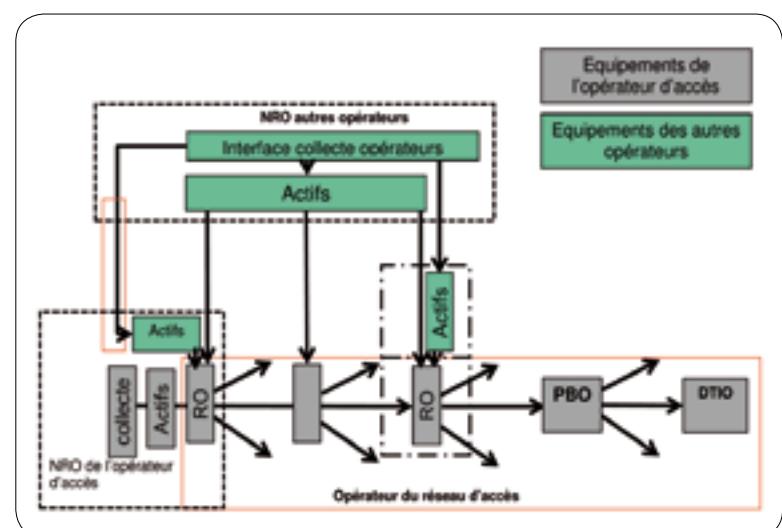


Figure 3.6 : schéma général des différentes configurations possibles

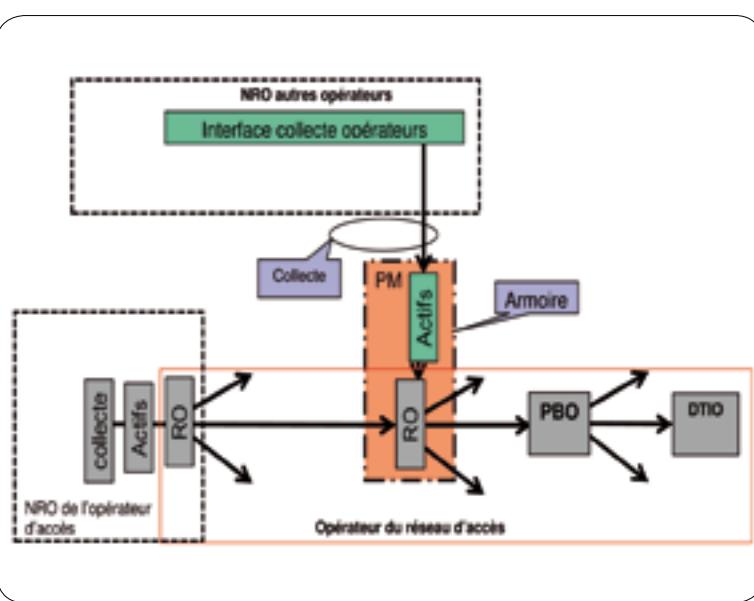


Figure 3.7 : cas d'un PM avec hébergement des actifs

La première série d'exemples concerne une situation où le PM peut être situé au niveau d'une armoire intermédiaire sur le réseau d'accès, à condition que son dimensionnement satisfasse aux règles de définition du PM (> 1000 logements ou locaux professionnels ou > 300 si offre de raccordement distant). Le premier exemple (figure 3.7) présente l'hypothèse où les actifs des autres opérateurs sont hébergés dans l'armoire de l'opérateur d'accès et reliés à leurs propres NRO via une offre de collecte. Il est à souligner que l'armoire doit être capable d'accueillir des actifs, si demande ab initio, notamment en termes de dimensions, d'énergie et de climatisation.

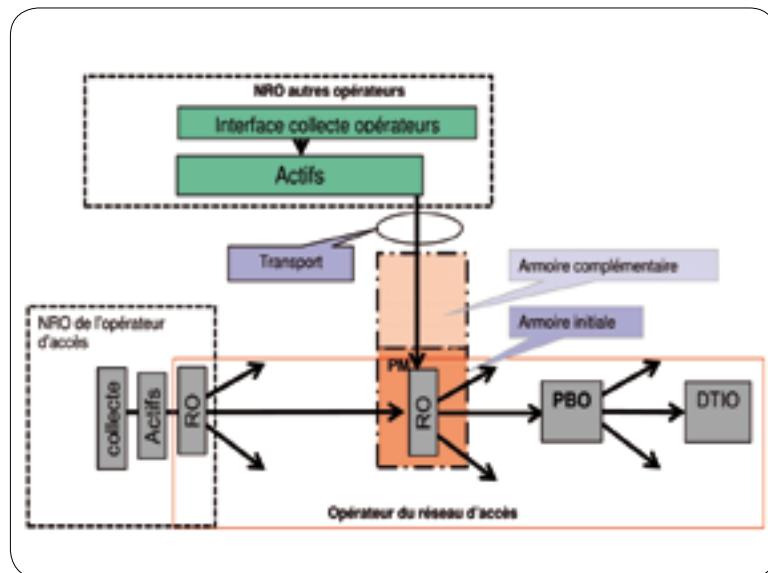


Figure 3.8 : cas d'un PM sans hébergement des actifs

Dans le cas des PON, les coupleurs optiques peuvent être installés à ce niveau. Le second exemple (figure 3.8) est proche du précédent, mais les actifs des autres opérateurs sont hébergés dans leurs propres NRO et doivent disposer d'un lien de transport. Dans ce cas, l'armoire initiale pourra être plus petite que dans le cas précédent. Elle devrait pouvoir être complétée ultérieurement par une seconde armoire adjacente active, avec énergie et climatisation, à la charge exclusive du demandeur.

Evidemment, les opérateurs peuvent également accéder au réseau mutualisé en amont du PM. L'exemple de la figure 3.9 montre comment les opérateurs peuvent accéder au niveau du NRO de l'opérateur d'accès avec deux variantes :

- les opérateurs raccordent leurs actifs sur le répartiteur optique (RO) de l'opérateur d'accès, celui-ci assurant la fonction de PRDM ;
- alternativement, les opérateurs peuvent faire héberger leurs actifs dans le NRO de l'opérateur d'accès et doivent disposer d'un lien de transport.

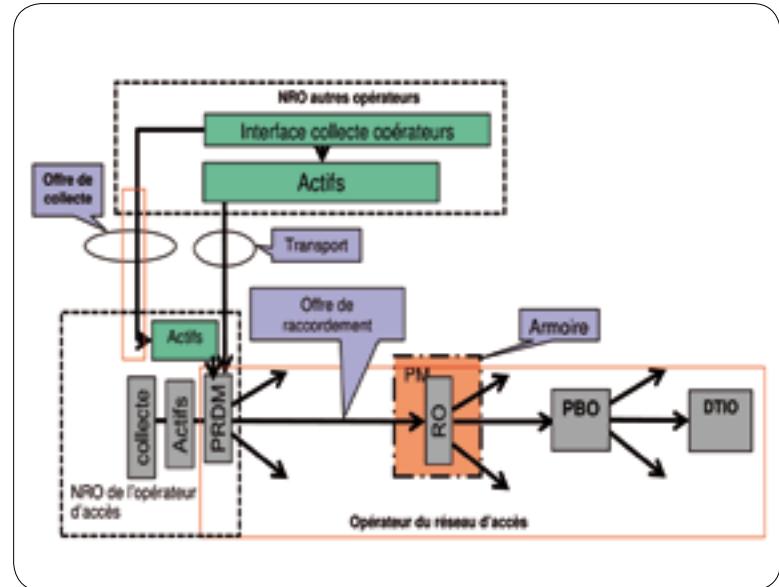


Figure 3.9 : cas d'un PM avec accès des opérateurs au niveau du NRO

De la même façon, l'exemple de la figure 3.10 montre comment les opérateurs peuvent accéder au niveau d'un boîtier passif appartenant au réseau d'accès, celui-ci assurant la fonction de PRDM. Les actifs des opérateurs restent installés au niveau de leurs NRO et doivent disposer d'un lien de transport.

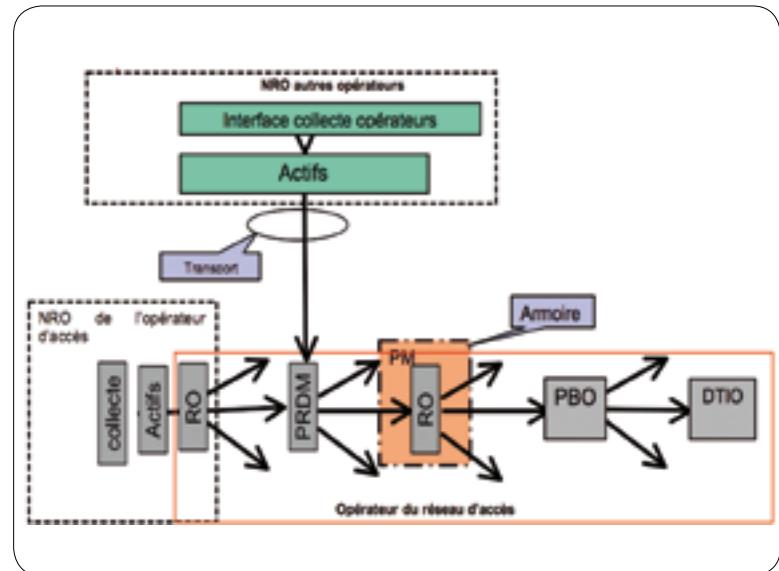


Figure 3.10 : cas d'un PM avec accès des opérateurs au niveau d'un boîtier intermédiaire

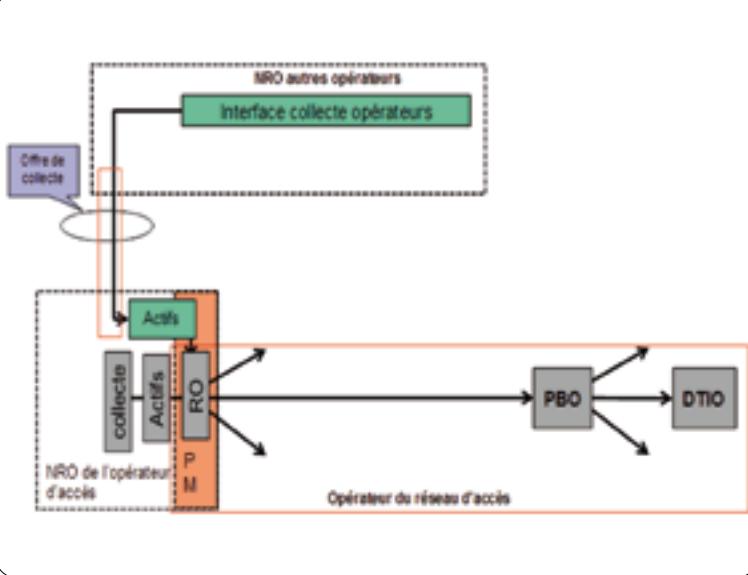


Figure 3.11 : cas d'un PM au niveau d'un NRO avec hébergement des actifs des opérateurs

La seconde série d'exemples concerne le cas où le PM doit être situé au NRO de l'opérateur du réseau d'accès en raison des contraintes et des règles de dimensionnement des PM.

Dans un premier cas (figure 3.11), les actifs des autres opérateurs sont hébergés dans le NRO de l'opérateur d'accès et bénéficient éventuellement de l'offre de collecte de l'opérateur du réseau d'accès.

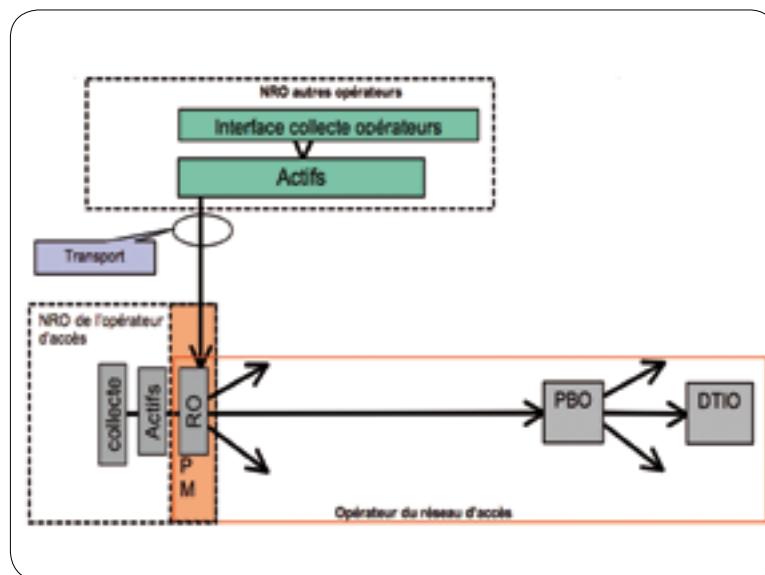


Figure 3.12 : cas d'un PM < 1000 au niveau d'un NRO sans hébergement des actifs des autres opérateurs

Dans le cas d'une architecture PON et compte tenu des règles en vigueur, les coupleurs optiques sont impérativement situés au niveau du PM.

Les fibres du réseau d'accès doivent être dimensionnées à 100% (« point-à-point »), ce qui peut constituer un handicap.

Evidemment, plusieurs variantes peuvent apparaître, selon que le NRO appartient ou non à l'opérateur historique sur lequel s'impose des offres d'hébergement. Dans le cas contraire, un local adjacent devra être utilisé.

Le dernier cas présenté ici (figure 3.12), les actifs des autres opérateurs restent situés dans leurs propres NRO et peuvent se raccorder au RO via une liaison de transport.

3.2.3.2 OPTIMISATION DES NRO

Après prise en compte de toutes les contraintes décrites dans les paragraphes précédents, il devient possible de positionner et d'optimiser les sites NRO. Le tracé du réseau de collecte consiste à relier ces sites par maillage, en s'appuyant sur le réseau routier et les infrastructures mobilisables et en s'assurant qu'il passe à proximité des principales ZAE (Zones d'Activités Économiques). Comme on l'a vu précédemment, ce réseau de collecte constitue un sous-ensemble très structurant pour un schéma directeur du très haut débit sur un territoire donné.

De plus, on identifiera au moins plusieurs sites privilégiés qui correspondront aux Points de Présence Opérateur (POP). Ils permettront de réaliser une collecte primaire entièrement sécurisée et assureront l'interface avec les réseaux longue distance permettant de rejoindre les GiX. Ces points sont complémentaires des NRO dans la mesure où une offre de collecte est disponible sur cette portion.

3.2.4 CRITÈRES DE DIMENSIONNEMENT EN FONCTION DES TYPOLOGIES D'HABITAT

Nous fournissons dans ce chapitre des éléments d'orientation quant au positionnement et à la matérialisation des différents noeuds fonctionnels du réseau d'accès, en fonction de différentes typologies d'habitat, le terme habitat désignant ici aussi bien le bâtiment professionnel que le logement résidentiel.

La déclinaison de l'architecture cible sur le terrain dépend de la configuration et du type d'habitat à desservir. Pour les zones moyennement ou peu denses, on est confronté à de nombreux types d'habitat que l'on peut classer en six catégories principales :

- la desserte en habitat urbain de type centre-ville ;
- la desserte en habitat urbain de type grands immeubles ;
- la desserte en habitat semi-urbain de type pavillonnaire ;
- la desserte en habitat rural de type bourg ;
- la desserte en habitat rural dispersé de type hameaux ;
- la desserte en zone d'activités économiques.

Dans le cas d'un tissu résidentiel semi-urbain constitué de logements individuels (type pavillonnaire), les éventuels répartiteurs optiques intermédiaires (RO) prendront principalement la forme d'armoires de rue. Les Points de Branchement Optiques (PBO) seront matérialisés par des boîtiers installés sur trottoir ou sur poteau si le réseau emprunte la voie aérienne, ou en chambre souterraine pour les voiries ayant fait l'objet d'un enfouissement des réseaux ou encore pour les lotissements.

Dans le cas d'un habitat rural dispersé de type « bourg », les zones bâties sont concentrées autour d'un centre-bourg, sans qu'il y ait de fortes discontinuités entre les parcelles. Le dimensionnement de la partie « distribution » du réseau d'accès est voisin de ce que l'on trouve en zone semi-urbaine. Les éventuels répartiteurs optiques intermédiaires pourraient être implantés dans ou à proximité d'un bâtiment public. Les Points de Branchement Optiques (PBO) seront matérialisés par des boîtiers installés en façade, sur trottoir, sur poteau ou en chambre.

Dans le cas d'un habitat rural dispersé de type « hameaux », on retrouve des zones bâties continues comme dans le cas précédent, mais avec un nombre plus faible de logements pour chacune et en plus grand nombre. Pour modéliser l'ensemble, on place un répartiteur optique « théorique » au centre de chaque hameau pour assurer la transition entre le transport et la distribution.

Si ces typologies d'habitat influent sur le positionnement des répartiteurs optiques intermédiaires, le positionnement des NRO répond plutôt à des critères de concentration géographique. Il n'existe ainsi aucune contre-indication à rattacher des zones correspondant à des catégories d'habitat différentes sur un même NRO.

Le dimensionnement du réseau FTTH est très sensible à la longueur totale des câbles à installer, et donc du génie civil à réutiliser ou à créer. La modélisation des coûts de construction, qui constitue une étape importante des SDTAN, s'appuie généralement sur la notion de longueur moyenne de câble par logement raccordable. Pour chaque tronçon considéré, cette valeur est le ratio entre la longueur estimée du tronçon et le nombre de logements raccordables desservis par ce tronçon (zone arrière). Par exemple, dans le cas du transport entre le NRO et le PM, si le PM dessert 300 logements raccordables et que la longueur effective du câble est de 600 mètres.

La longueur moyenne de câble par prise raccordable sera de 2 mètres.

Le tableau ci-après donne (sous la forme de plages) une indication des valeurs rencontrées dans les différents cas envisagés.

Longueur moyenne de câble par prise raccordable	Transport	Distribution
Semi-urbain de type pavillonnaire	3-5 mètres	10-20 mètres
Rural type « bourg »	5-15 mètres	10-20 mètres
Rural type « hameaux »	10-20 mètres	30-50 mètres
Urbain de type centre-ville	1-3 mètres	5-10 mètres
Urbain de type grand ensemble	1-3 mètres	3-5 mètres
Zone d'activité économique	5-15 mètres	20-30 mètres

Tableau 3.1 : longueur moyenne de câble par logement

Lors des études d'ingénierie, on recherche généralement le meilleur compromis technico-économique (portée des liaisons vs coûts de construction et d'exploitation) tout en satisfaisant les contraintes réglementaires, notamment le positionnement du PM et sa taille (nombre de prises).

Cela peut conduire à des choix techniques différents des règles générales permettant de dépasser les valeurs indiquées au § 3.2.2.2. On peut en particulier jouer sur la classe des équipements opto-électroniques pour augmenter la puissance émise et améliorer la portée ou, dans le cas du PON, utiliser un taux de couplage optique plus faible, conduisant à une augmentation des coûts par prise dans la zone concernée. Ces choix auront une conséquence directe sur le dimensionnement du réseau, notamment le nombre de fibres à prévoir pour les différents tronçons de câbles. Ils pourront conduire également à une augmentation des coûts par prise dans la zone concernée.

3.3 PALIER INTERMÉDIAIRE : LA MONTÉE EN DEBIT

3.3.1 MONTÉE EN DEBIT SUR CUIVRE

3.3.1.1 LES CARACTÉRISTIQUES DU RÉSEAU CUIVRE DANS LES ZONES MOINS DENSES

En ce qui concerne la boucle locale cuivre, la longueur moyenne nationale des lignes se situe aux alentours de 2500m. Sur la totalité des lignes, une moitié seulement se caractérise par un affaiblissement inférieur à 30dB et peut prétendre accéder à un débit de 10Mbit/s, confortable pour avoir un service Triple Play TVHD.

Pour ce qui concerne les zones rurales, la longueur des lignes est doublée, avec une plus forte augmentation des longueurs de lignes en transport qu'en distribution. On peut donc parler de lignes avoisinant les 4 km en transport pour 1 km en distribution, d'où le gain important en débit amené par une injection des signaux DSL au SR.

Cette augmentation de la longueur des lignes est accompagnée d'une diminution de la taille des SR : environ la moitié des SR de zone rurale éligibles à la MeD raccorde moins de 150 lignes.

3.3.1.2 LA JUSTIFICATION DE LA MED

Avec l'arrivée de la fibre jusqu'à l'abonné, dès à présent, des débits symétriques (descendant et remontant) de 100Mbit/s sont proposés, et ces débits pourront fortement évoluer si nécessaire pour répondre aux besoins des services.

Néanmoins, même si un cadre favorable au déploiement du FTTH était trouvé, pour des raisons opérationnelles et financières le très haut débit mettra à minima 15 à 20 ans à se déployer sur tout le territoire national, alors même qu'avec la société numérique les besoins sont partout aussi importants, voire encore plus prioritaires dans les zones les plus défavorisées du territoire.

Ne pas anticiper sur cette évolution tendancielle et inéluctable des usages et des débits associés conduirait à aggraver considérablement la fracture numérique sur le territoire déjà constatée avec le haut débit. Une partie de la population

restant longtemps en ~500kbit/s descendant et 100kbit/s remontant, alors qu'une autre serait déjà à plus de 100 000kbit/s soit 100Mbit/s symétriques. Avec un facteur de 200 à 1000, la fracture numérique se transformerait en gouffre numérique. Par exemple, ce qui nécessiterait seulement 1min30 en FTTH pour envoyer ses données vers le réseau prendrait alors 24h en haut débit DSL sur une ligne longue.

Des solutions dites de « Montée en Débit » semblent donc nécessaires. Ces solutions de MeD en modifiant les réseaux existants permettront de limiter cette fracture en apportant rapidement de meilleurs débits et services, et ainsi d'attendre le déploiement du FTTH qui reste le réseau cible, même s'il ne doit pas trop tarder pour répondre au confort en débit des usagers. La figure 3.13 illustre l'évolution passée et prévisible des débits de la voie descendante pour une utilisation « basique ».

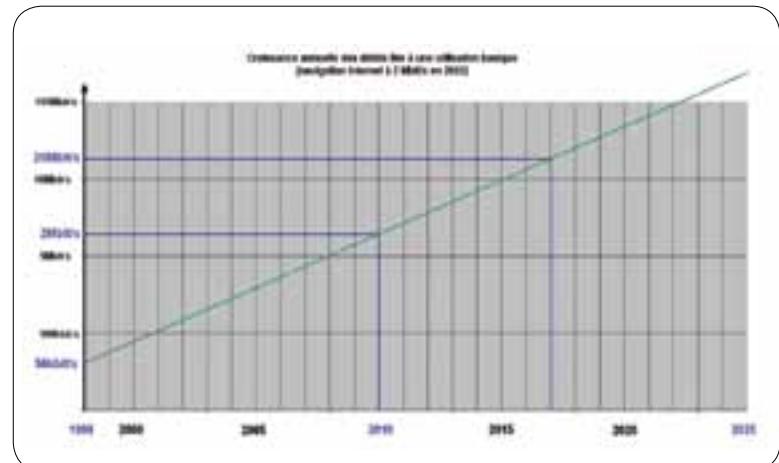


Figure 3.13 : évolution des débits liés à une utilisation basique (source : CETE de l'Ouest)

3.3.1.3 LES SOLUTIONS TECHNIQUES DE LA MED

Les techniques de la MeD consistent à intervenir sur la boucle locale cuivre de façon à réduire les distances entre les équipements spécialisés et les abonnés (figure 3.14).

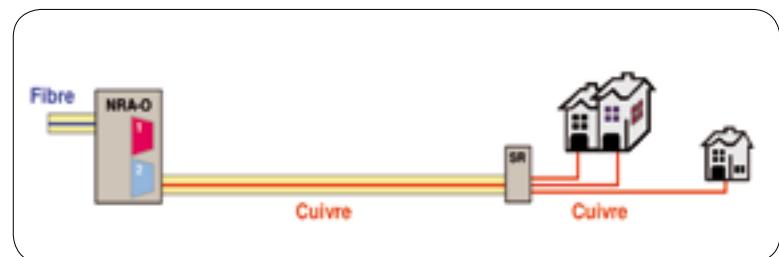


Figure 3.14 : la boucle locale cuivre

Toutes les solutions de Montée en Débit sur la boucle locale cuivre partagent des briques communes, décrites sur la figure 3.15 :

1. Installer un local d'hébergement à proximité immédiate du Sous-Répartiteur (SR), point de flexibilité naturel du réseau cuivre ;
2. Dériver le réseau cuivre (support du DSL) pour réduire sa longueur et renvoyer les lignes cuivre vers ce nouveau local ;
3. Installer un ou des équipements actifs HD au nouveau point d'injection ;
4. Raccorder ces équipements actifs via un réseau de collecte fibre.

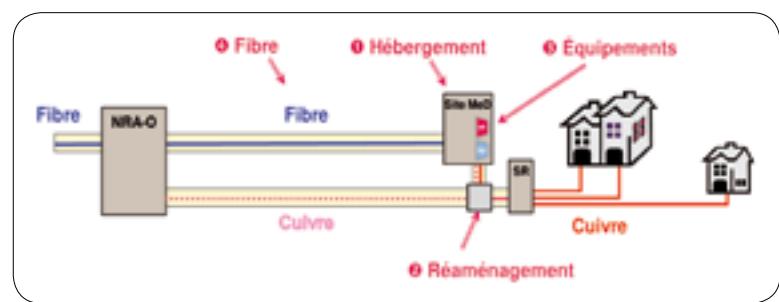


Figure 3.15 : les briques de la montée en débit

Les solutions techniques de MeD sur cuivre nécessitent « d'opticaliser » le segment de transport entre NRA et SR de la boucle locale. Les parties aval comprenant la distribution (segment SR – Point de Concentration) et branchement (segment PC - abonné) ne sont pas modifiées. Dans la situation initiale, les équipements DSL sont des DSLAM localisés au NRA Origine (appelé NRA-O) qui injectent leurs signaux DSL sur les paires cuivre de la boucle locale, uniquement depuis ce NRA. Après MeD, les DSLAM sont installés dans le nouveau site d'injection.

Pour pouvoir connecter en fibre des équipements situés plus en amont dans le réseau, il est important de s'assurer de la disponibilité de la fibre de collecte au NRA d'Origine. Les équipements DSLAM ont évolué et les dernières générations MSAN pour *Multi-Services Acess Nodes* permettraient sur le même équipement d'installer des cartes optiques et ainsi, il serait possible de raccorder en parallèle à des accès ADSL2+, SDSL voire VDSL2, des accès fibre, aussi bien en point à point qu'en PON, pour raccorder des entreprises ou des éléments de réseaux, par exemple des stations mobiles ou WIMAX. Dans ce cas, le lien de collecte NRA-O – MeD devra être dimensionné pour tenir compte de ces différents besoins.

La bi-injection

La bi-injection consiste à permettre « l'injection » de signaux DSL indifféremment à la boucle (situation actuelle) et à la sous-boucle. Cela suppose que les signaux DSL injectés au niveau du sous répartiteur soient techniquement modifiés et atténués pour ne pas perturber les signaux DSL injectés au NRA. Cela conduit à limiter techniquement les débits maximum disponibles depuis la sous-boucle, comparativement à une technologie DSL distribuée sans contrainte.

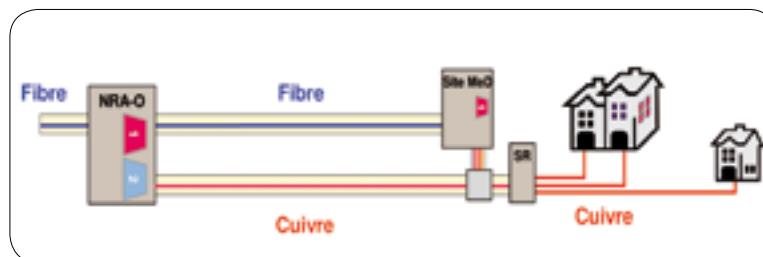


Figure 3.16 : exemple de bi-injection

Dès lors, en bi-injection les opérateurs peuvent maintenir ou continuer de déployer des accès DSL au niveau du NRA d'origine en dégroupage pour les abonnés concernés, sans toutefois bénéficier de la montée en débit. Dans l'exemple présenté sur la figure 3.16, l'opérateur 1 est venu au site MeD alors que l'opérateur 2 propose uniquement ses services DSL depuis le NRA-O.

Cette indépendance dans la venue ou non des opérateurs sur le nouveau site MeD implique en pratique qu'une boucle locale courte (depuis le site MeD) doive coexister avec une boucle locale longue (depuis le NRA-O). Ceci impose que les signaux DSL injectés au niveau du site MeD soient atténués pour ne pas perturber les signaux DSL « faibles » car restant injectés depuis le NRA donc sur une ligne longue. Les prescriptions techniques pour réaliser cette atténuation (terme de « shaping » utilisé) ont été publiées et la bi-injection est donc utilisable.

Ainsi par rapport à une injection classique, sans contrainte, de signaux DSL, ce « shaping » conduit à limiter les débits maximum disponibles depuis le nouveau site MeD.

Les équipements DSL installés au nouveau site MeD pourraient être des DSLAM mais aussi des équipements de déport optique, après accord du comité d'experts.

La mono-injection

La mono-injection consiste en l'injection des signaux DSL pour toutes les lignes concernées par le sous répartiteur sans contrainte technique. Dans ce cas l'activation des accès DSL de tous les abonnés en aval du sous répartiteur ne se fait plus au niveau du NRA d'Origine, mais exclusivement au niveau du sous répartiteur concerné. Les opérateurs sont donc contraints de descendre

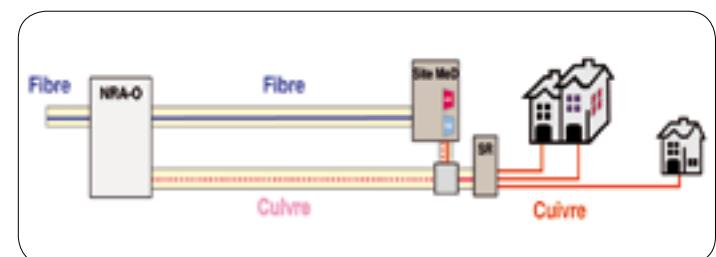


Figure 3.17 : exemple de mono-injection

au nouveau site MeD s'ils souhaitent continuer à activer leurs accès en dégroupage pour les abonnés concernés.

Les opérateurs installent leurs équipements au niveau du sous répartiteur.

Dans l'exemple de la figure 3.17, les opérateurs 1 et 2 sont installés au site MeD.

En contrepartie de cette gestion « classique » NRA du nouveau site MeD, et de signaux DSL sans contrainte nouvelle, les accès DSL de tous les abonnés en aval du sous-répartiteur ne peut plus se faire au NRA-O mais exclusivement au niveau du nouveau site NRA-MeD concerné.

Les opérateurs sont donc contraints de descendre au nouveau site MeD s'ils souhaitent continuer à activer leurs accès DSL pour les abonnés sur les lignes cuivre mutées.

L'offre NRA-ZO créée pour permettre le traitement des zones d'ombre DSL utilisait une approche en mono-injection, et permettait même si ce n'était pas le but premier d'apporter une montée en débit très significative à toutes les lignes cuivre en aval du nouveau site.

Pour autant, la solution NRA-MeD se distingue aujourd'hui par une collecte systématiquement optique entre le NRA et la SR.

Comme déjà indiqué, les équipements DSL utilisables sur le site MeD sont aujourd'hui des DSLAM. Une solution Déports optiques pourrait recevoir un accord du comité d'experts après expérimentation par un ou plusieurs opérateurs. Dans ce cas, les deux types d'équipements pourraient même cohabiter sur le même site, apportant ainsi la liberté de choix technique aux opérateurs.

La figure 3.18 montre la cohabitation d'un déport optique mutualisant les DSLAM de deux opérateurs et d'un DSLAM d'un opérateur autonome ici dans une configuration de DSLAM chaînés (déport d'un DSLAM esclave sur un DSLAM maître).

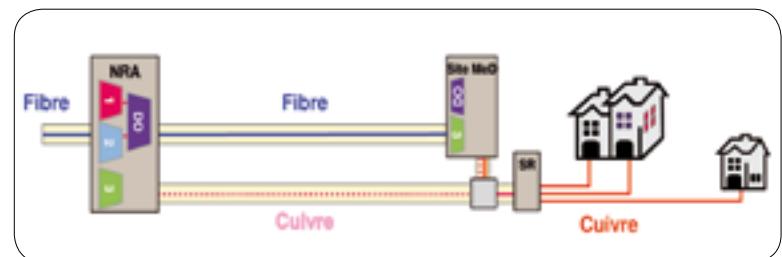


Figure 3.18 : exemple de cohabitation en mono-injection d'un déport optique et d'un DSLAM

Les déports optiques, complémentaires des DSLAM en pratique, permettraient de « multiplexer » et « dé-multiplexer » sur un support fibre des signaux DSL entre la sortie d'un DSLAM et un site éloigné d'où le terme de « déport ». Le multiplexage sur un support fibre permet de limiter fortement l'atténuation des signaux DSL fonction de la distance sur les lignes cuivre et ainsi d'accroître les débits comme si les signaux xDSL étaient injectés directement depuis le nouveau site MeD par des DSLAM classiques. Les DSLAM restent eux localisés plus en amont dans le réseau, au NRA-O ou sur un autre NRA plus central.

Le tableau 3.2 permet de visualiser les différentes options techniques.

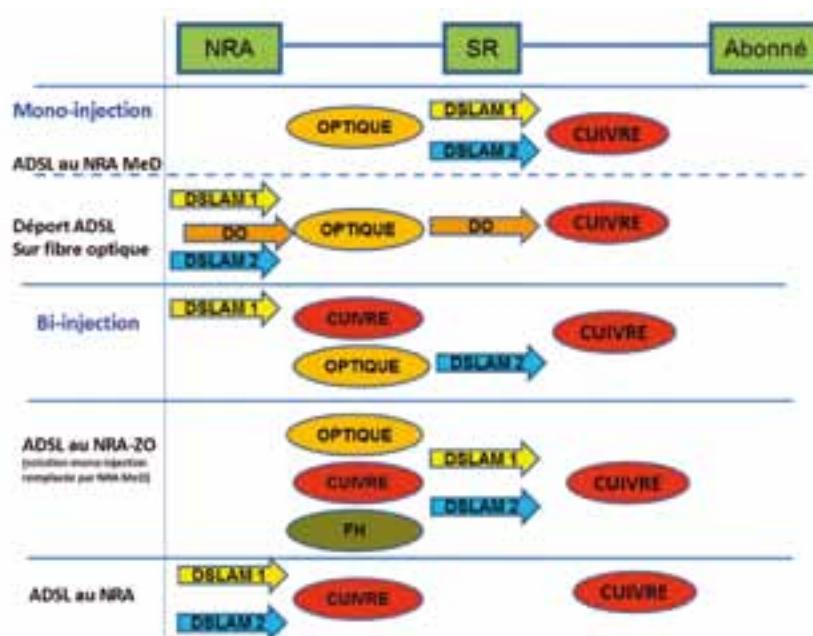


Tableau 3.2 : synthèse des différentes solutions techniques

3.3.1.4 LES RÈGLES D'ÉLIGIBILITÉ DE LA MED

Il est rappelé que le FTTH est la cible et que la MeD n'est pertinente que là où le FTTH ne peut arriver dans un horizon de quelques années. Généraliser la transformation en NRA des SR éligibles à la MeD (>30 dB) reviendrait à tripler le nombre de NRA actuels avec des nouveaux NRA-MeD en moyenne 10 fois plus petits que les NRA actuels, ce qui serait non sans poser des questions de coûts opérationnels de maintenance, avec un impact d'autant plus fort que plusieurs opérateurs installent des équipements actifs non mutualisés.

Les critères techniques d'éligibilité, tels qu'ils apparaissent dans l'offre PRM, sont les suivants :

- le SR doit présenter un affaiblissement supérieur à 30 dB sur la liaison de transport (NRA – SR) ;
- dans le cas où le SR est desservi par plusieurs câbles de transport, 80% des lignes doivent présenter un affaiblissement de transport supérieur à 30 dB ;
- de plus, comme pour l'offre NRA-ZO (qui est supprimée), les SR présentant un minimum de 10 lignes inéligibles (78 dB) sont éligibles à la MeD.

Dans les critères complémentaires d'éligibilité, il est indiqué que lors de l'élaboration d'un projet de montée en débit, l'initiateur du projet doit réaliser, pour la zone arrière du sous-répartiteur concerné, une consultation formelle des opérateurs afin de connaître les intentions de démarrage effectif des déploiements de réseaux très haut débit en fibre optique. La commande de réalisation du point de raccordement mutualisé devra intervenir dans un délai maximal de 18 mois suivant la clôture de la procédure consultative.

- Si la commande concerne un sous-répartiteur dont la zone arrière ne fait l'objet d'aucun projet de déploiement de réseaux très haut débit en fibre optique planifié, la commande sera acceptée, dans le respect des critères précisés ci-dessus.
- Si la commande concerne un sous-répartiteur dont la zone arrière fait l'objet d'un projet de déploiement de réseaux très haut débit en fibre optique dont le démarrage effectif aura lieu moins de 36 mois après la clôture de la procédure consultative, France Télécom rejetttera la commande.

- Si la commande concerne un sous-répartiteur dont la zone arrière fait l'objet d'un projet de déploiement de réseaux très haut débit en fibre optique dont le démarrage effectif aura lieu plus de 36 mois après la clôture de la procédure consultative, la commande ne sera acceptée, dans le respect des critères techniques d'éligibilité, que lorsque :
 - le sous-répartiteur se trouve dans une commune rurale au sens de l'INSEE ;
 - ou le sous-répartiteur se trouve dans une commune urbaine au sens de l'INSEE et regroupe plus de 50 % de lignes dont l'atténuation est supérieure à 53 dB.

Le CREDO suggère que d'autres critères puissent être pris en compte. Selon le type de zone d'habitations que l'on considère, le coût de la desserte ramené à la prise est très variable. On peut donc être tenté d'orienter les choix en fonction de ce critère.

Par exemple : les zones pour lesquelles la distance entre le NRA d'origine et le sous répartiteur est la plus importante peuvent conduire rapidement à des taux élevés de pénétration commerciale dans la mesure où elles sont également défavorisées en termes d'éligibilité ADSL.

De plus, il faut rappeler que les technologies de la montée en débit sur cuivre peuvent être prises en compte à titre transitoire dans le cadre d'une planification à long terme par paliers successifs.

3.3.1.5 L'OFFRE PRM DE FRANCE TÉLÉCOM

L'offre de référence de France Telecom pour la création de Points de Raccordement Mutualisés (**PRM**) a été publiée, dans sa première version, le 29 juillet 2011 à destination des opérateurs exploitant des réseaux ouverts au public, en application de la décision de l'ARCEP n° 2011-0668 du 14 juin 2011, relative à l'accès aux infrastructures physiques constitutives de la boucle locale filaire et dans le cadre de la recommandation de l'ARCEP de juin 2011 relative à la montée en débit. Le texte fait référence à l'opérateur aménageur (OA). L'architecture est conforme avec la description de la figure 3.17.

L'offre comprend notamment :

- la fourniture et la pose d'une armoire pré-équipée sur le site préalablement aménagé par l'OA ;
- la dérivation de la boucle locale et l'installation d'un répartiteur dans l'armoire prééquipée ;
- la migration des accès impactés par la création de ce nouveau site ;
- une prestation d'hébergement et de collecte aux opérateurs ;
- le versement d'une compensation afin de neutraliser l'impact économique pour chaque opérateur disposant d'un DSLAM au NRA origine ;
- pour répondre à d'autres besoins que la montée en débit, une extension de l'armoire est possible. Cette extension se fait alors en dehors de l'offre PRM.

Le rôle de l'Opérateur d'Aménagement (OA) est le suivant :

- mise à disposition et entretien d'une aire aménagée et sécurisée pour l'installation de l'armoire pré-équipée ;
- construction d'une dalle support de l'armoire pré-équipée, du génie civil de dérivation de la boucle locale cuivre (fourreaux et chambres) et d'une chambre dédiée au PRM ;
- fourniture d'une adduction électrique et souscription d'un abonnement ;
- construction de la collecte optique (au moins 6 paires de fibre optique entre le PRM et le NRA d'Origine ou de raccordement si accord opérateurs) ;
- commande à France Telecom de la prestation du prolongement du câble optique (PCO) ;
- exploitation du câble optique ;
- le cas échéant « opticalisation » du NRA origine.

En ce qui concerne les aspects économiques et financiers, la tarification des prestations France Télécom dépend de la taille du SR et intègre des coûts additionnels à la charge de l'OA. Ils comprennent en particulier le plafond de la redevance annuelle versée au propriétaire des infrastructures (défini par l'ARCEP) et les prestations de création d'un PRM.

L'OA doit assurer l'exploitation et la maintenance des infrastructures ainsi créées.

Il faut rappeler que, comme auparavant pour les NRA-ZO, il faut observer un délai de prévenance de **6 mois** pour information aux opérateurs de l'évolution du réseau, à partir de la commande de réalisation du PRM.

L'offre PRM se substitue à l'offre NRA-ZO précédemment proposée par FT à toute Collectivité Territoriale, mais elle n'est pas applicable partout (dégroupage du NRA, existence d'une offre LFO). Néanmoins, l'offre PRP (Point de Raccordement Passif) reste applicable dans le cas des solutions de bi-injection et de déport optique (mono-injection) décrites au § 3.3.1.3.

3.3.2 MONTÉE EN DÉBIT PAR LES AUTRES TECHNOLOGIES

3.3.2.1 ÉVOLUTION DES TECHNOLOGIES RADIO WIMAX ET WIFI

Les technologies radio destinées aux liaisons fixes évoluent régulièrement tant du point de vue des débits véhiculés, de la qualité de service (QoS pour les services de données, voix et vidéo) que de celui de la sécurité des transmissions (encryption avancée, filtres).

En particulier, l'utilisation de technologies OFDM (multiplexage jouant sur la dualité temps/fréquence pour transporter les signaux) pour le WiMax et multi-antennes MIMO (Multiple-Input Multiple-Output – 802.11n) pour le WiFi améliorent considérablement les débits de ces réseaux radio.

Avec la technologie MIMO notamment, plusieurs canaux peuvent être utilisés simultanément pour la même transmission, alors que pour les technologies classiques de transmission radio, un seul canal est utilisé. Les différents chemins entre antennes ainsi créés (2x2 généralement) autorisent un meilleur contournement des obstacles pour les liens « non à vue » (nLOS).

En conséquence, les débits disponibles à l'usager final sont améliorés. Généralement, les opérateurs recommandent de ne pas dépasser 18 Mbit/s afin de tenir compte de la problématique de la collecte du trafic Alliée à la technique d'accès TDMA (multiplexage temporel) pour une meilleure répartition de charge des points

d'accès et avec la gestion de la QoS sur les flux, la technique MIMO permet dans ce cas de réserver une partie de la bande passante pour le service de télévision.

La portée est de l'ordre de 6 km (en ligne de vue) ; on provisionne en général 2x100 Mbit/s en collecte et chaque secteur dispose de 95 Mbit/s de (en général 3 ou 4 secteurs par site).

En tout état de cause, la mise en œuvre de cette technologie alternative représente un pas en avant en direction du FTTH puisqu'il est indispensable de disposer d'un réseau fibre optique assez maillé pour irriguer correctement les différents points hauts.

3.3.2.2 OPPORTUNITÉS LIÉES AUX FUTURES SOLUTIONS DE RÉSEAUX RADIO MOBILES

Dans le cadre de l'évolution des technologies utilisées pour la téléphonie mobile, il peut être intéressant de considérer la future génération 4G, basée sur la technologie LTE (et LTEAdvanced) dans la mesure où ses performances permettent à l'utilisateur final de disposer d'un débit significatif, même si le très haut débit qui pourrait être atteint au vu des spécifications techniques de cette nouvelle technologie (avec des débits de 100 Mbit/s en vraie mobilité et de 1 Gbit/s en faible mobilité ou en situation fixe) doit être relativisé puisque le débit de collecte arrivant au niveau de la station de base (enhanced NodeB) sera partagé entre les utilisateurs alors connectés.

Même si la convergence fixe-mobile s'accentue, les usagers utilisant toujours plus leur terminal en situation fixe (soit à domicile, soit au travail principalement) avec des connexions plus longues, et même si pour autant la vocation première de la téléphonie mobile n'est pas de satisfaire des besoins de raccordements fixes, il sera intéressant de prendre en compte ces évolutions des usages, après analyse de la couverture territoriale sur laquelle pourront s'engager les opérateurs et vérification opérationnelle que les débits théoriques annoncés par les constructeurs sont bien au rendez-vous.

Il est à noter que le WiMax mobile (norme IEEE 802.16m), avec des débits théoriques partagés de plusieurs centaines de Mbit/s, s'avère un concurrent sérieux de la 4G, dont il pourra également utiliser les fréquences attribuées en 2011.

Comme dans le cas précédent, l'irrigation des stations de base de la téléphonie mobile par les fibres d'un réseau très haut débit est fondamentale pour les opérateurs, compte tenu des débits échangés avec le cœur de chaîne.

3.2.2.3 LES SOLUTIONS SATELLITAIRES

Depuis de nombreuses années, les opérateurs satellites tels que SES-Astra et Eutelsat proposent des plateformes bidirectionnelles adaptées aux services d'accès à Internet. Des opérateurs de services spécialisés s'appuient sur ces plateformes pour proposer des accès vers les usagers grand public à des tarifs raisonnables, même s'ils appliquent quelques contraintes (avec des prix très variables en fonction des quotas alloués sur le débit et le volume de données transmis) que l'on ne trouve pas dans les raccordements terrestres.

Le principal problème de la technologie satellite est lié au partage de la ressource, puisqu'un même transpondeur « arrose » un territoire important (plus large que le territoire national). La combinaison de ce paramètre avec les données commerciales (nombre d'abonnés sur ce même territoire) conduit à considérer que cette technologie ne peut pas être généralisée sur l'ensemble du territoire, sauf si nous disposons d'un très grand nombre de satellites dédiés à ce service.

Pour remédier à ce problème, une nouvelle génération de transpondeurs a vu le jour début 2011. Le satellite KA-SAT, lancé par Eutelsat, est spécialement conçu pour les services haut débit bidirectionnel par satellite en bande Ka. KA-SAT permet ainsi de s'affranchir des contraintes liées à l'utilisation de la bande Ku et de pouvoir proposer des services nécessitant des débits très élevés comme le cinéma numérique HD et la télévision 3D.

Couplé à un système de réseau au sol SurfBeam de ViaSat, **KA-SAT** pourra fournir un débit total supérieur à 70 Gbit/s avec 82 faisceaux sur toute l'Europe, permettant de desservir plus d'un million de foyer en haut débit, à des vitesses comparables à celles proposées par l'ADSL2 (théoriquement 10 Mbit/s par utilisateur en réception, 4 en émission n'importe où sur le territoire français). Cette nouvelle génération de satellites se veut donc un concurrent sérieux des technologies hertziennes et filaires haut débit terrestres.

3.2.2.4 COMPARAISON DE LA MONTÉE EN DÉBIT PAR LES AUTRES TECHNOLOGIES

Intérêt comparé des solutions techniques alternatives de montée en débit selon les zones

Câble	Technologie plus performante que le VDSL2, peut donc représenter une solution d'attente intéressante là où un réseau en câble coaxial (plus cher à installer que la fibre) existe déjà.	Solution qui nécessite des équipements réseaux particuliers (norme DOCSIS) coûteux à implanter sur de petites plaques.
LTE / 4G	Permettra d'augmenter de façon significative le débit pour les mobiles mais ne supprime pas le handicap en débit du réseau radio partagé pour les lignes fixes.	Demande une densification très forte du réseau optique par rapport au GSM pour couvrir de larges territoires et ne peut donc pas apporter à court terme une réponse à la fracture numérique.
WIFI / WiMax	Intérêt limité aux liaisons nomades de proximité, à l'extérieur ou à l'intérieur des locaux.	Peut apporter, dans le cadre des limites connues, des solutions à court terme lorsque la pérennité de l'investissement ne constitue pas une exigence.
Transport FH / Distribution FTTH	Inadapté car les distances sont courtes et la forte densité demande des débits de collecte élevés.	Peut apporter une réponse momentanée en cas de choix FTTH et de carence de collecte fibre. L'accès fibre est pérenne.
Satellite	Solution inadaptée car la capacité d'un satellite est très limitée : 70 Gbits = 700 fois 100 Mbit/s. De plus, les phénomènes de latence condamnent son utilisation pour certains services (jeux en ligne, etc.).	Les contraintes évoquées pour les zones denses s'appliquent aussi aux zones moins denses et positionnent le satellite comme solution de dernier recours pour les zones d'habitat très dispersé.

Tableau 3.3 : MeD - comparaison des solutions techniques





4 TECHNOLOGIES ET COMPOSANTS DU RÉSEAU D'ACCÈS

TECHNOLOGIES ET COMPOSANTS DU RÉSEAU D'ACCÈS

Ce chapitre présente les matériels des couches infrastructures et optique passive permettant le déploiement des réseaux FTTH. Il décrit les solutions de câblage couramment employées pour les différents environnements (aérien, souterrain...) rencontrés en zone moins dense.

4.1 COMPOSANTES DU RÉSEAU D'ACCÈS

Le schéma en figure 4.1, n'est pas exhaustif, les différents principes d'ingénierie ayant été présentés en détail au chapitre 3. Il représente les différents points constitutifs du réseau afin de pouvoir détailler les matériels associés ci-après.

On notera l'apparition de PA (point d'attente) et des points de dérivation, liés à la construction du réseau, non à son exploitation.

Concernant le PA en particulier, certains opérateurs peuvent décider de créer ce point en amont des PBO, afin de réduire les coûts d'investissements initiaux. Les PBO, au cas où un PA est créé, sont installés au fil de l'eau, en fonction de la demande.

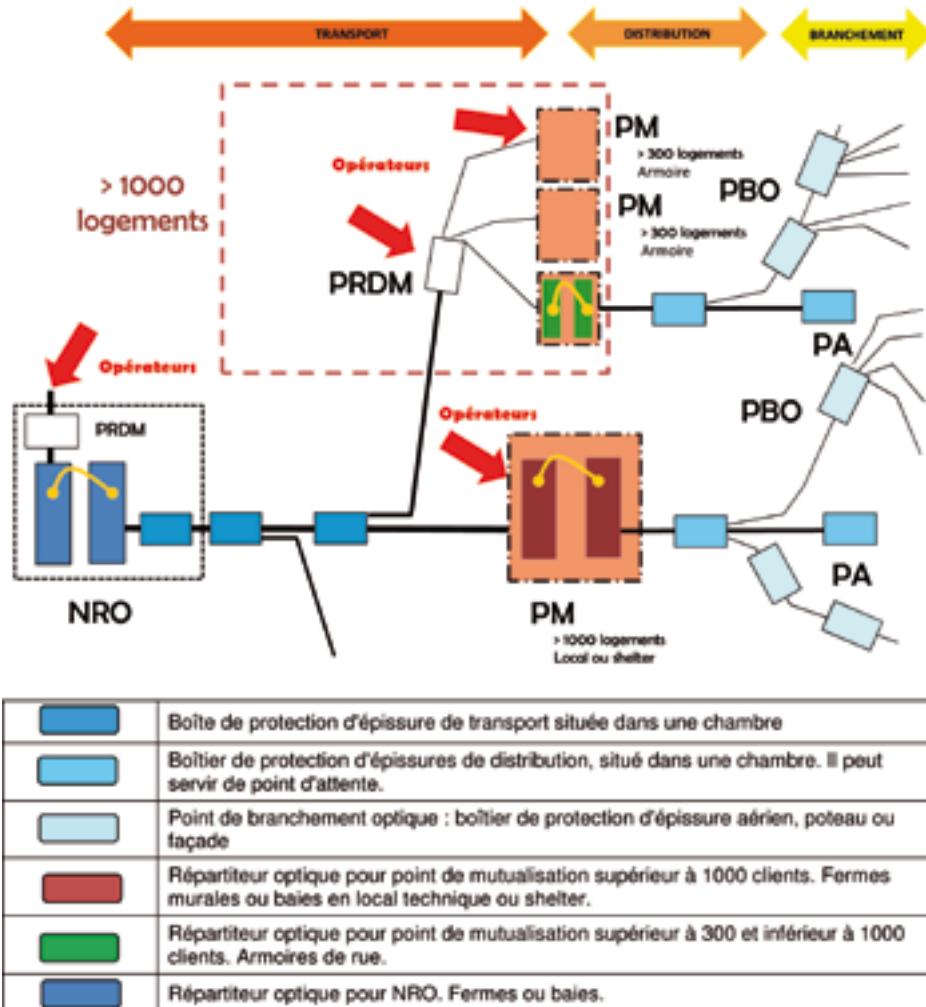


Figure 4.1 : synoptique du réseau d'accès

4.2 COUCHE INFRASTRUCTURES

Lors du déploiement du FTTH hors des zones très denses, les opérateurs tenteront prioritairement de réutiliser les infrastructures existantes : génie civil (GC) existant de l'opérateur historique, appui téléphonique ou électrique (BT/HTA), autres réseaux... Dans ce chapitre, nous traiterons essentiellement des infrastructures souterraines, à l'origine d'investissements élevés, lorsqu'elles doivent être créées. On y retrouvera les fourreaux pour la création de GC et les produits adaptés au sous tubage des infrastructures souterraines existantes.

4.2.1 LES FOURREAUX

Un fourreau est un élément installé initialement directement dans le sol ou en sous tubage pour permettre l'installation d'un câble par tirage, flottage ou soufflage. Il peut être matérialisé par un tube ou un micro-tube.

4.2.1.1 LES NORMES LIÉES AUX FOURREAUX TÉLÉCOMS

Normes	Caractéristiques 1
NFT 54018	Tube PVC : barre rectiligne rigide de plusieurs mètres, faible coût, maniabilité et simplicité d'installation. Tubes PVC pression : installation des câbles par portage eau ou air possible.
Norme NF330 :	Répond à l'ensemble des exigences qualitatives pour les tubes et accessoires pour les réseaux télécoms : stress cracking, résistance à la pression, à l'écrasement, au poinçonnement, au choc et à la traction.
NFT 54077 est remplacée depuis 2004 par l'ISO 13 480	Le Stress Cracking est une résistance à la fissuration lente. C'est une conséquence du mécanisme de vieillissement sous l'action d'agent tel l'oxygène de l'air (oxydation + UV). La qualité du PEHD permettra une protection + ou - longue durant le stockage en extérieur ou même des agressions liées aux agents chimiques présents dans les tranchées.
NF EN 921	La Résistance à la pression : paramètre primordial. Le tube PEHD peut être contraint à une pression de 14 bars pour le portage d'un câble à l'air voir à 30 bars en instantané à l'eau.
NF EN 50086-2-4	La Résistance écrasement/poinçonnement /choc et traction (ISO 527) Les meilleures propriétés mécaniques sont obtenues grâce à la qualité de l'enchaînement moléculaire du polymère (PE vierge avec des longueurs des chaînes moléculaires optimales).
NF T54-72	obsoète (plus en vigueur depuis 2004)

Tableau 4.1 : norme fourreaux télécoms

4.2.1.2 SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES DES FOURREAUX

PVC

Les fourreaux PVC sont déconseillés, sauf sur de courtes distances, leur tenue en pression étant trop faible. Ils sont principalement utilisés en agglomération. Ils se présentent sous forme de barre, lisse et sans lubrification intérieure. L'intérêt est son faible coût ainsi que sa simplicité d'utilisation. L'installation des câbles optiques ne pourra se faire que par tirage.

Les PVC « Pression » permettent du portage eau / air mais sont beaucoup plus chers.

PeHD

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.

Suivant le PeHD utilisé, le tube sera plus ou moins raide. Le PeHD 80 est celui qui sera le plus adapté aux besoins d'installations : maniabilité et rigidité. Le PeHD 100 sera plus raide (mémoire d'enroulement importante) et le PeHD 65 sera lui trop souple.

On trouvera des PeHD 100 Haute Résistance qui permettront de réutiliser le remblai sans passer par la phase de la couche de sable. Son coût est plus important mais il permet des économies d'infrastructure.

Les coûts du PeHD suivent les cours du pétrole et sont plus ou moins chers suivant leur niveau de qualité.

Un polyéthylène vierge aura des liaisons moléculaires résistantes et sera moins sensible au stress cracking qu'une matière polyéthylène composée de différents types avec des liaisons et longueurs de chaînes différentes (ex: régénéré de PeHD ou mélange de recyclé étant le plus défavorable perte des propriétés mécaniques).

La conséquence directe peut être la fissuration sur touret après quelques jours de stockage (tubes inutilisables) ou la rupture prématurée du tube lors de l'opération du portage du câble donc réparation et surcoût lié au GC. Ce phénomène peut s'exercer plusieurs années après l'installation des tubes et rendre leurs utilisations très compliquées voire impossibles.

En règle générale, on constate une diminution des propriétés mécaniques de l'ordre de 15 à 20% entre un PeHD vierge et un recyclé. Pour ne pas arriver en limite des propriétés mécaniques du tube, il est conseillé de suivre au mieux les préconisations d'installation :

préparer la tranchée par un lit de sable afin d'éviter tout choc ou poinçonnement entraînant la déformation ou la perforation due à la présence de pierres plus ou moins anguleuses. Cela pourrait ralentir ou bloquer le câble lors de son installation voire même rendre impossible toute installation (schéma dans chapitre tranchée standard).

Tubes et micro tubes PeHD :

Tubes standards PeHD : Ø 18 mm au Ø 90 mm.

Ces tubes seront utilisés dans la construction des réseaux de communications électroniques (Backbone) mais pourront également être utilisés en sous-tubage pour de la desserte.

Micro tubes PeHD : Ø 5 mm au Ø 16 mm.

Il faut distinguer quatre familles de micro-tubes :

- les tubes pour sous-tubage de fourreaux PeHD,

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

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

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

Lubrification permanente couplée avec un rainurage intérieur des tubes PeHD

Les performances d'installation du câble optique ou l'assemblage de tube ou micro tubes par tirage, soufflage ou flottage seront très fortement améliorées. Ces deux paramètres techniques combinés permettront de quasiment doubler les performances d'installation (2400 mètres en soufflage à 40 à 50 mètres/ minute et 4800 mètres et plus en flottage à 40 à 50 mètres/ minute).



Figure 4.2 : exemple de tube rainuré

Dans un tube sec, il faudra utiliser un lubrifiant performant qui pourra remplacer la lubrification permanente du tube. Cette opération doit être faite dans les règles de l'art avec des appareils adaptés.

4.2.1.3 OPTIMISATION DU COUPLE CÂBLES / FOURREAUX

En général, quelque soit le mode de pose, la section du câble posé ne peut excéder 75% de celle de la conduite. Mais le succès de la pose dépend aussi du type de parcours, de la lubrification, de la longueur, etc.

Par exemple, des essais de soufflage sur parcours type IEC ont montré des performances de pose de 1500m à plus de 2400 mètre dans des tubes de sous tubage. Ces performances se retrouvent en général sur le terrain, sous réserve que les conduites aient été posées selon les règles de l'art.

A titre indicatif, des associations de diamètres câble / tube sont données ci-dessous :

Dimensions 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 4.2 : dimensions de tubes avec indication des diamètres de câble pour pose en tirage

Capacité du câble en nombre de fibres	Ø intérieur / extérieur micro-tubes pour sous tubage	Ø intérieur / extérieur micro-tubes en enterré
2	3,8 / 5	3,8 / 8
12	5,5 / 7	5,5 / 10
24	6 / 8	6 / 10
36	8 / 10	8 / 12
72	8 / 10	8 / 12
96	10 / 12	10 / 14
144	11 / 14	12 / 16
288	14,8 / 18	

Tableau 4.3 : dimensions de micro-tubes avec indication des capacités de câbles pour soufflage

Les indications de diamètres ou capacités sont données à titre indicatif, les caractéristiques des câbles ou tubes pouvant varier entre constructeurs.

4.2.1.4 COMPARATIF CÂBLE / TUBE EN SOUFFLAGE ET TIRAGE

Deux techniques de pose sont très utilisées pour le souterrain : le tirage et le soufflage (cf chapitre 6). Les caractéristiques des câbles (§ 4.3.3) sont différentes suivant ces deux types de pose. Les câbles soufflés (micro câbles) ont des résistances en traction faibles car les efforts aérodynamiques générés lors de l'installation sont répartis sur toute leur longueur. Ils ont en conséquence des diamètres plus faibles.

Ces micro-câbles ne sont pas adaptés au tirage.

Ex : Dans un tube de 40x3,5 (33/40) on peut porter 3 câbles de 72 fibres sur une distance de 1500 mètres et 2400m. Dans la gamme standard des câbles, le diamètre sera d'environ 10mm. Il sera donc impossible de sous tuber avec des micro-tubes de diamètre 16 mm mais il sera également impossible d'installer les 3 câbles dans la conduite même par tirage. La solution sera de changer de technologie de câble en passant sur des micro-câbles (5,4 à 6mm) toujours de 72 fibres.

Des solutions sont envisageables :

- 3 micro-tubes indépendants de 10 mm (maxi 4) sur 1000 à 1500 m :
 - Portage de 3 câbles 72 fibres,
- Portage d'un assemblage de 5 micro-tubes de 10mm sur 1500 à 2400m :
 - Portage de 3 micro-câbles de 72,
 - Possibilité de porter en plus 2 micro-câbles de 72 fibres (évolutivité du réseau).

4.2.1.5 COMPARATIF CÂBLE / TUBE EN SOUFFLAGE ET TIRAGE

La profondeur moyenne d'une tranchée sera d'environ 0,8m. Elle variera dans sa largeur suivant le besoin.

En fond de fouille, il est très fortement conseillé de mettre un lit de sable sur 10 cm sur lequel les tubes PeHD seront installés. Ceux-ci seront ensuite recouverts d'également 10 cm de sable qui les protègera des éventuelles pierres pouvant les endommager et créer un point de rupture lors du portage du câble.

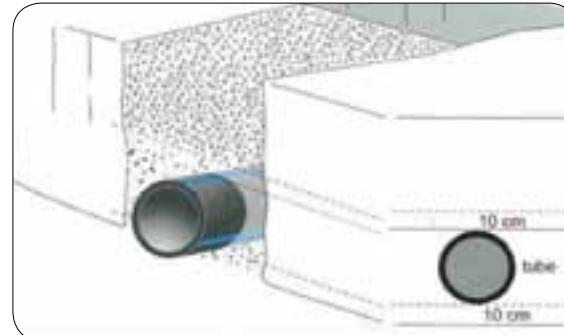


Figure 4.3 : fourreau en tranchée standard

4.2.1.6 LES FOURREAUX EN RAINURE OU MICRO RAINURE

La rainure ou micro rainure variera en largeur et en profondeur suivant le lieu de pose et du produit à installer.

Installation d'une nappe de micro-tubes :

Il sera préférable en micro tranchage d'utiliser une tranchuse équipée d'une conduite d'aspiration pour maximiser la profondeur de la tranchée. En effet, pour une largeur de tranchée de 2 à 5 cm et une profondeur de 25 cm, on peut très facilement avoir 5 cm de poussière. Si la tranchuse rencontre un obstacle, la tranchuse devra remonter d'autant pour l'éviter (entre 5 à 10 cm). La tranchée devra être le plus rectiligne possible et pour les courbes, celles-ci devront respecter le rayon de courbure maxi du câble optique.



Figures 4.4 : assemblage de micro-tubes en nappe et pose en rainure

La nappe de micro tubes devra plutôt être placée verticalement dans la tranchée. Elle peut également être installée horizontalement en fond de fouille mais les passages des courbures seront plus difficiles à passer.

4.2.2 LE SOUS TUBAGE

4.2.2.1 LE SOUS TUBAGE DE FOURREAUX PVC / PEHD

4.2.2.1.1 *En conduite occupée PVC ou PeHD*

Dans une conduite occupée d'un câble, il est possible d'installer une nappe de 2 ou 4 micro-tubes qui va épouser la forme du tube PEHD.

Elle sera installée par tirage via un treuil avec enregistreur de force. A son extrémité, on pourra utiliser une chaussette ou des clous de tirage ainsi qu'un émerillon (fig. 4.7). Si la conduite est occupée par plusieurs câbles, il est préférable d'utiliser une chaussette textile.



Figure 4.5 : réhabilitation génie civil

4.2.2.1.2 *En conduite vide PVC*

En conduite PVC vide, le sous tubage pourra être réalisé par l'installation de micro-tubes indépendants ou des assemblages de micro-tubes. Ils seront installés par tirage (treuil avec enregistreur de force + clous de tirage ou chaussette de tirage + émerillon).

Seul l'assemblage de micro-tubes (figure 4.6) pourra être installé sur 300 à 650 mètres poussé sans air et avec des vitesses de 30 à 40 mètres minute par une machine de portage.

Il est également possible de l'installer en tirage mais sur courte distance (inférieure à 1000 mètres).



Figure 4.6 : micro-tubes assemblés



Figure 4.7 : accessoires de tirage

4.2.2.1.3 *En Fourreaux PeHD*

L'installateur devra pressuriser chaque micro-tube avant de porter l'ensemble. Cette solution laisse l'opportunité d'une gestion de tourets plus ouverte pour installer 1, 2, 3, 4 ou plusieurs tubes dans une conduite vide. Par contre, les distances de portage seront d'environ 1000 à 1200 mètres maxi suivant la difficulté du parcours. Il arrive que les micro-tubes s'entremêlent.

grâce à l'utilisation d'un bouchon thermique. Un touret unique permettra une installation simple et rapide en zone dangereuse, par exemple le long de voie ferrée ou sur le réseau autoroutier.



Figure 4.8 : section d'un fourreau PeHD avec micro-tubes indépendants

4.2.2.1.4 *En fourreaux TPC*

En conduite TPC intérieur lisse ou annelé, les produits utilisés (tubes standards ou assemblages de micro-tubes) devront avoir une résistance à l'étirement. On utilisera donc des assemblages de micro tubes avec une gaine de protection type tube standard ou des assemblages de micro-tubes directement enterrables.

Ils seront installés par tirage (treuil avec enregistreur de force + clous de tirage ou chaussette de tirage + émerillon)



Figure 4.9 : section d'un fourreau avec micro-tubes assemblés

4.2.2.2 LE SOUS TUBAGE DES AUTRES TYPES DE CONDUITES (ACIER, EAU POTABLE...)

4.2.2.2.1 *En conduite acier*

Idem conduites TPC.

4.2.2.2.2 *En conduite eau potable*

Le PeHD utilisé devra en plus être alimentaire. Les méthodes d'installations varieront suivant les contraintes du réseau.

4.2.2.2.3 *Tubes pour l'immeuble*

Il est préconisé d'utiliser des tubes FRLSOH, sans flamme et sans halogène. On y retrouvera une gamme de tubes (\varnothing 18 à \varnothing 40mm) et micro tubes unitaires (\varnothing 5 à \varnothing 16mm) ou assemblés (mixte).

Ces produits pourront être installés dans des logements neufs en attente du câble optique ou dans des logements anciens pour le passage de la fibre optique jusqu'à l'abonné. Ils pourront être installés par tirage, poussage, voire par portage à l'air dans certains cas.



Figure 4.10 : micro-tubes et assemblage de micro-tubes FRLSOH

4.2.3 MICRO-TUBES POUR POSE EN PLEINE TERRE

Le choix et le dimensionnement des micro-tubes :

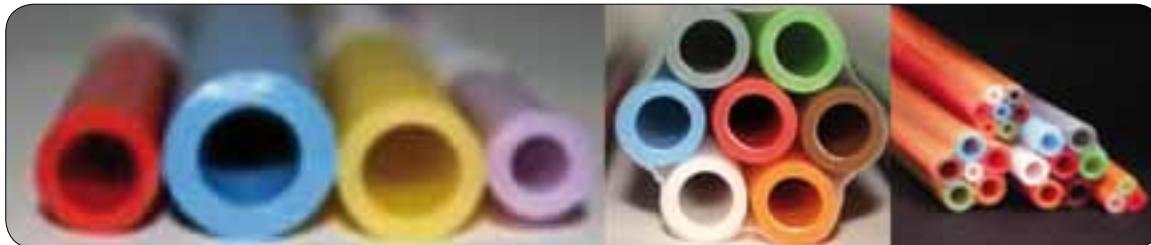


Figure 4.11 : micro-tubes et assemblage de micro-tubes enterrables

Seule l'épaisseur diffère entre un micro-tube de sous-tubage et un micro-tube enterrable. Un micro-tube enterré doit résister à toutes sortes d'agressions : pression du remblai qui l'entoure, pressions intérieures extérieures aux tubes, pierres, etc. Ils ont également les mêmes caractéristiques que les tubes standard (PeHD 80) : résistance au stress cracking, résistance à la pression, à l'écrasement, etc.

Le choix du diamètre intérieur du micro-tube dépendra du choix du câble et de la capacité en nombre de fibres de celui-ci. Dans des micro-tubes rainurés et lubrifiés, on retrouve les mêmes performances de portage que dans les tubes standard : suivant la difficulté des parcours entre 1500 et 2500 mètres à l'air, et au-delà de 2400 mètres à l'eau. Effectivement, autant le portage à l'eau dans des micro-tubes de sous-tubage peut être critique si les pressions de portage ne sont pas respectées à la lettre, autant le micro-tube enterré a une résistance à la pression permettant des flottages en toute sécurité et ceci sur de

longues distances. Il est néanmoins primordial de respecter les pressions maximales indiquées dans les fiches techniques des fabricants. Il faudra éviter un taux de remplissage supérieur à 75%. Dans certains cas, l'installation pourra se faire mais en prenant toutes les sécurités d'usage.

On pourra également choisir l'option d'un assemblage de micro-tubes munis d'une gaine de protection pour de l'enterré. Une fois cet assemblage installé en pleine terre, on retourne sur de la configuration de l'installation de câble optique en sous-tubage (micro-tubes de faible épaisseur).



Figure 4.12 : assemblage de micro-tubes avec gaine de protection

4.2.4 LES MATERIELS POUR L'INSTALLATION ET LE RACCORDEMENT

4.2.4.1 ACCESSOIRES POUR FOURREAUX

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

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

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



Figure 4.13 : accessoires pour fourreaux

4.2.4.2 ACCESSOIRES POUR MICRO-TUBES

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 4.14 : raccords pour micro-tubes

4.2.4.3 BOÎTIERS DE DÉRIVATION

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

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



Figure 4.15 : boîtier de dérivation

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

Tableau 4.4 : rayons de courbure applicables aux micro-tubes

Il en existe de différents types. Il est préférable de les choisir étanches (IP68) et résistants à l'écrasement. Sans protection étanche les liquides peuvent très facilement remonter le long du câble en adduction et pénétrer dans des zones avec des éléments actifs.

4.2.5 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 comprend :

- des masques permettant la pénétration de la multitubulaire (des fourreaux, microconductrices) ;
- 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 lovage de câble en vue des futurs raccordements.

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 4.5 : types de chambres sous trottoir

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 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 4.6 : types de chambres sous chaussée

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, entrottoirs, 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, multitampons, 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. Les 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.

4.3 COUCHE OPTIQUE PASSIVE

4.3.1 INGÉNIERIE ET SYSTEMES DE CÂBLAGE

Le réseau d'accès cuivre de l'opérateur historique a été construit de manière arborescente afin d'économiser du cuivre, grâce à la simplicité de réalisation et au faible coût de montage d'un raccord entre deux paires. L'introduction de la fibre optique, par son faible diamètre, un raccordement plus complexe, le faible poids des câbles a fait naître de nouvelles manières de câbler, comme le piquage ou le soufflage. Les principaux types de câblage optique sont présentés schématiquement ci-après :

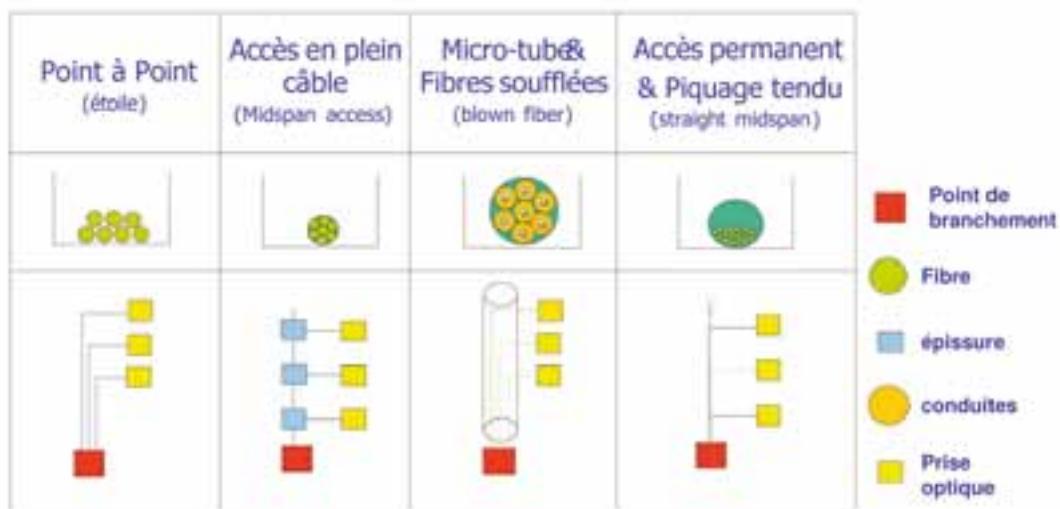


Tableau 4.7 : systèmes de câblage

Il n'existe pas de système universel aujourd'hui. Chaque projet, à l'échelle d'une commune ou d'un pays, en fonction de l'infrastructure, de la stratégie de déploiement et d'investissements nécessite une analyse technico-économique et des expérimentations avant de choisir une ingénierie adaptée. On pourra noter certaines généralités cependant :

- Lorsqu'il s'agit de créer une infrastructure souterraine, neuve ou en réhabilitation, les solutions soufflées sont usuellement déployées. Elles sont intéressantes sur de grandes longueurs. Il est plus délicat de les déployer dans du GC traditionnel ou les tubes sont systématiquement coupés au ras des masques dans les chambres de télécommunications, ne permettant pas directement le soufflage du câble, sauf à recréer une continuité. On parle alors uniquement de réhabilitation de GC avec des micro-conduites (voir § précédent).

Dans certains pays Européens, des solutions complètes de câblage d'immeuble, basées sur l'utilisation de micro-conduites FLRSOH (sans flamme ni halogène), ont été également déployées.

- Le piquage (midspan), en ligne ou sur câble tendu s'est très largement développé avec les réseaux de télécommunications optiques.
- Les solutions de piquage sur câble tendu (accessibilité permanente) se sont imposées dans les immeubles pour des raisons économiques (gain de place de câble aux étages). Elles sont en cours de développement pour les infrastructures façade et souterraines.
- Les solutions en étoile sont utilisées dès que l'infrastructure l'impose ou sur de très courtes longueurs.

En effet, lorsque deux câbles se côtoient, il devient rapidement plus économique, à partir d'une certaine longueur de passer au piquage.

4.3.2 LA FIBRE OPTIQUE

4.3.2.1 GÉNÉRALITÉS

La fibre la plus couramment employée dans le domaine des communications électroniques demeure la fibre monomode G652B et G652D (standard UIT-T repris par la CEI 60793).

Grâce à son faible affaiblissement linéaire 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 et déployées actuellement pour le câblage intérieur. Devant la multiplication des points de coupure et les faibles volumes de travail disponibles dans les chambres de télécommunications, l'utilisation de la fibre G657 devrait se généraliser sur tout le réseau d'accès. Le nombre important de catégories normatives concernant les fibres faible rayon de courbure ne simplifie cependant pas les choses. Aujourd'hui, la fibre G657A2 est la plus largement déployée en France car elle permet l'utilisation de boîtiers ayant des rayons de lovage de 15 mm, avec des pertes acceptables à 1625nm. Son utilisation sur l'ensemble du réseau d'accès ne pose aujourd'hui aucun problème technique.

4.3.2.2 FIBRE MONOMODE G.652D

Ci-dessous sont présentées les caractéristiques principales de la fibre G652D :

- L'atténuation à @1310nm & @1383nm 0,35dB/km ;
- L'atténuation à @1550nm & @1625nm 0,22dB/km ;
- PMD (≤0.2 ps/Ökm) ;
- La dispersion chromatique à 1550 nm 18 ps/nm.km ;
- Dispersion chromatique nulle aux alentours de 1310 nm.

La fibre G652D supporte les applications de multiplexage actuelles (WDM : Wavelength Division Multiplexing) utilisant les bandes C et L et des débits de transmission supérieurs au téribit/s.

La fibre G652D dont le pic OH- a été réduit (courbe verte ci-dessus), voire supprimé, permet l'utilisation de la bande E contrairement à la G652B.

La présence de dispersion chromatique permet d'être peu sujet aux effets non linéaires apparaissant à des puissances optiques importantes.

4.3.2.3 FIBRES MONOMODES A FAIBLE RAYON DE COURBURE G.657

La fibre G657 supporte les très faibles rayons de courbure d'où son utilisation à l'intérieur des immeubles. Il existe 4 types de fibres G657 sur le marché.

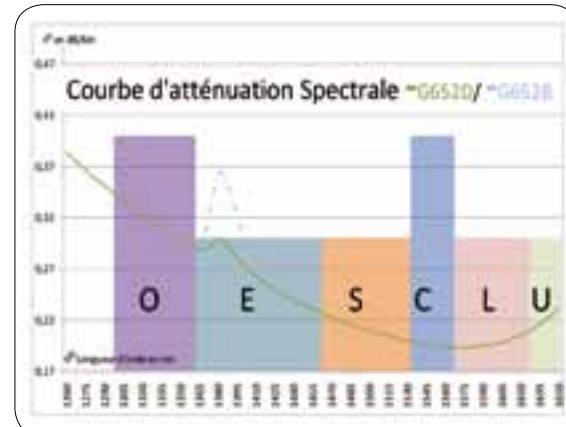


Figure 4.16 : atténuation spectrale des fibres G652 B & D

La fibre G652D à faible PMD (dispersion des modes de polarisation) est compatible avec l'évolution des transmissions vers des plus hauts débits.

La G652D reste actuellement la fibre la plus employée dans les réseaux d'accès, elle offre la possibilité d'une évolution grâce à l'utilisation de la bande E.

Tout d'abord, la catégorie A indique que la fibre est entièrement conforme à la recommandation ITU G652D alors que les spécifications de la catégorie B présentent des différences avec l'ITU G652D. Puis, à cette lettre s'ajoute un indice croissant de 1 à 3 indiquant sa performance à la courbure comme le montre le tableau ci-dessous :

Rayon de courbure	15 mm	10 mm	7.5mm	5 mm	
Nb de tours	10	1	1	1	
G657 A1	1550 nm	≤ 0,25 dB	≤ 0,75 dB	Non spécifié	Non spécifié
	1625 nm	≤ 1 dB	≤ 1,5 dB	Non spécifié	Non spécifié
G657 A2/B2	1550 nm	≤ 0,03 dB	≤ 0,1 dB	≤ 0,5 dB	Non spécifié
	1625 nm	≤ 0,1 dB	≤ 0,2 dB	≤ 1 dB	Non spécifié
G657 B3	1550 nm		≤ 0,03 dB	≤ 0,08dB	≤ 0,15 dB
	1625 nm		≤ 0,1 dB	≤ 0,25dB	≤ 0,45dB

Tableau 4.8 : caractéristiques des fibres G657 selon ITU G657 version de Novembre 2009

2008 en France avec l'observation de "gains" lors de mesures réflectométriques. On avait perdu l'habitude de ce phénomène (couramment observé naguère entre différents fournisseurs de fibres G652). Ceci est dû à des diamètres de champ de mode légèrement différents entre fibres, qui, bien que conforme à l'ITU G652, influent sur les niveaux de rétrodiffusion Rayleigh. C'est un phénomène connu et résolu en effectuant une mesure réflectométrique dans les deux sens, conformément aux normes IEC.

Les fournisseurs de soudeuses optiques proposent aujourd'hui des programmes automatiques simples adaptés au raccordement G657-G657 et G652-G657.

Le raccordement "mixte" G652-G657A2 présente des valeurs typiques en perte d'insertion supérieures à celles rencontrées lors d'un raccordement de deux fibres de même nature. Un ordre de grandeur des valeurs moyennes couramment rencontrées est indiqué ci-dessous :

- G652-G652 ou G657A2-G657A2 = 0.02 dB ;
- G657A2-G652 = 0.04 dB.

Les valeurs mesurées peuvent varier légèrement selon la soudeuse et les programmes utilisés (entre 0,03 et 0,05 dB pour le raccordement G652-G657A2).

Pour des applications à très faible rayon de courbure, on pourra utiliser la fibre G657B3, moins sensible à ce facteur, mais qui ne sera pas obligatoirement compatible avec la G652D. Le diamètre de champ de mode étant encore plus faible un impact pourra se noter pour la soudure avec une G652.

4.3.3 LES CÂBLES

4.3.3.1 GÉNÉRALITÉS

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 technicoéconomique 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 (Midspan access) pour permettre le piquage en ligne sur un câble optique tendu.

Le câble optique est un produit clé des déploiements des réseaux de communications électroniques. 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.

Caractéristiques générales :

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 micromodules 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 micromodules permettent de réaliser des accès en plein câble et des piquages en ligne très aisément.

Ce type de structure simplifiera la mise en œuvre des câbles en boîtes d'épissurage ou en terminaison de câble.

Repérage des couleurs :

Le code couleurs des fibres et modules le plus souvent utilisé est le suivant :

Couleur fibres et modules	
N°	Couleurs 1 à 12
1	Rouge
2	Bleu
3	Vert
4	Jaune
5	Violet
6	Blanc
7	Orange
8	Gris
9	Marron
10	Noir
11	Turquoise
12	Rose

Tableau 4.9 : code des couleurs - fibres et modules

A partir de la 13^{ème} couleur, les micromodules sont de même couleur que les 12 premiers avec 1 anneau noir, sauf pour le micromodule noir modifié en vert clair.

Dans le cas particulier des câbles de la colonne montante, dès les 12 premiers modules un marquage anneau est employé et le module noir n'existe pas, il est remplacé par le vert clair.

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.

4.3.3.2 CÂBLES SOUTERRAIN

4.3.3.2.1 Câbles souterrain forte contenance

Les câbles à forte contenance sont des câbles qui contiennent un nombre de fibres optiques élevé (typiquement de 300 à 1000 fibres). Ces câbles sont généralement employés sur la partie transport à la sortie des NRO.

Généralement, il s'agit de câbles pour pose en conduite. On peut aussi les employer plus rarement pour des poses en égout ou en pleine terre. Leur conception sera donc adaptée à leurs environnements spécifiques.

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 du fait de leur multiplicité.



Figure 4.17 : câble forte contenance

Les câbles à forte contenance sont des câbles qui contiennent un nombre de fibres optiques élevé (typiquement de 300 à 1000 fibres). Ces câbles sont généralement employés sur la partie transport à la sortie des NRO.

Généralement, il s'agit de câbles pour pose en conduite. On peut aussi les employer plus rarement pour des poses en égout ou en pleine terre. Leur conception sera donc adaptée à leurs environnements spécifiques.

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 du fait de leur multiplicité.



Figure 4.18 : traitement des modules et identification

Généralement pour identifier les fibres, 2 niveaux d'identification sont nécessaires. Le premier fait référence à la couleur de la fibre et le second à la couleur de son module. Ici, du fait du nombre

élevé de fibres, le repérage des éléments nécessite un troisième niveau de codification. Ce troisième niveau est composé de groupes de modules « compact tubes ».

Ces groupes sont distingués les uns des autres grâce à un filin de filin de couleur les entourant ou par un marquage anneaux à la surface des compact tubes (nombre maximum d'anneaux égal au nombre de groupes).

En ce qui concerne sa gaine extérieure, celle-ci sera adaptée à l'environnement extérieur du câble.

Le principal avantage de ces câbles réside en leur densité élevée de fibres qui permet de réduire l'encombrement des fourreaux et de déployer rapidement un grand nombre de fibres.

	432 fibres	576 fibres	720 fibres	864 fibres
Gamme de températures : Transport et stockage et Installation Fonctionnement		-40 / +70 °C	-5 / +45 °C	-30 / +60 °C
Traction maximale (N)	2800	3000	4000	4400
Résistance à l'écrasement (N/cm)		250		
Rayon de courbure mini (mm)	200	200	200	200
Diamètre nominal du câble (mm)	16.5	18	18.5	19.5
Poids nominal (kg/km)	180	210	230	270

Tableau 4.10 : caractéristiques des câbles à forte contenance

4.3.3.2.2 Câbles pour pose pleine terre / égout

Les câbles posés directement en pleine terre ou pour cheminement en égout sont définis pour résister à des conditions mécaniques sévères.

La pose d'un câble optique en pleine terre exige une structure dotée d'une armure en acier ou en FRP (Fiber Reinforced Polymer: élément en fibre de verre). Disposée généralement entre les 2 gaines du câble, cette armure assure une très bonne protection des fibres aux chocs et à l'écrasement. La gaine extérieure sera systématiquement de type PeHD, l'étanchéité longitudinale de l'ensemble des éléments du câble est nécessaire.



Figure 4.19 : structure d'un câble pleine terre / égouts

Pour la pose en égouts, cette conception de câble est prévue pour les environnements particulièrement exposés aux rongeurs et aux agressions chimiques.



Figure 4.20 : structure d'un câble tunnel / métro

Caractéristiques préconisées :

- Température d'installation : -5 à + 50°C CEI 60794-1-F1
 - Température de fonctionnement : -30°C à +60°C CEI 60794-1-F1
 - Température de stockage : -40°C à +60°C CEI 60794-1-F1
 - Tenue à l'écrasement : 3000 N/10cm CEI 60794-1-E3
 - Tenue aux feu : CEI 60332-1 ; CEI 60332-3-24 ; NFC 32070 C2-C1
- CEI 60331-25 intégrité du circuit après test incendie 90 min

4.3.3.2.4 Câbles pour pose en fourreaux

L'encombrement des fourreaux impose des câbles légers et denses en fibres. Les méthodes de pose par soufflage ou portage à l'eau sont les plus utilisées, elles n'imposent pas de renforts particuliers dans la structure du câble. Les efforts de traction maximum subis par le câble sont toujours inférieurs à 500 N. Des valeurs de résistance à la traction de 750N ou 1200N sont suffisantes pour pallier les éventuelles tractions manuelles qui peuvent s'avérer nécessaires.

La composition du câble sera basée sur l'utilisation de micromodules (2 à 24 fibres dans un élément de diamètre maximum 1.85 mm). Un câble utilisant cette technologie sera plus léger et plus compact qu'un câble traditionnel à structure "loose tube". Les micromodules sont de conception souples, « pelables » ou « déchirables », ils permettent un accès à la fibre sans outil, rapidement et en toute sécurité.

Les câbles sont généralement diélectriques en structure unitube avec des renforts latéraux noyés dans la gaine ou en structure double gaine avec des éléments de renfort disposés entre les 2 gaines pour une protection renforcée des fibres optiques.

La gaine extérieure est en PeHD ou en tout type de matériau à faible coefficient de frottement. Le coefficient de frottement du PeHD est plus faible que celui des matériaux LSOH utilisés pour

un usage intérieur. Néanmoins, dans le cas où le câble pénètre dans un immeuble ou une zone de vie, il est nécessaire d'avoir 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 incontournable.

Pour le soufflage à l'air ou portage à l'eau, on choisira un câble léger et compact avec une résistance à la traction inférieure à 120 daN (déca-newton). Les câbles à micromodules permettent des gains en distance de pose de plus de 40% par rapport aux structures standard LTA.

La gaine extérieure PeHD avec son coefficient de frottement performant et sa faible densité garantiront des poses en grandes longueurs. D'autre part cette gaine assurera une bonne résistance mécanique au câble.

Câbles pour pose par soufflage/tirage en fourreau standard en structure mini-unitube optimisée

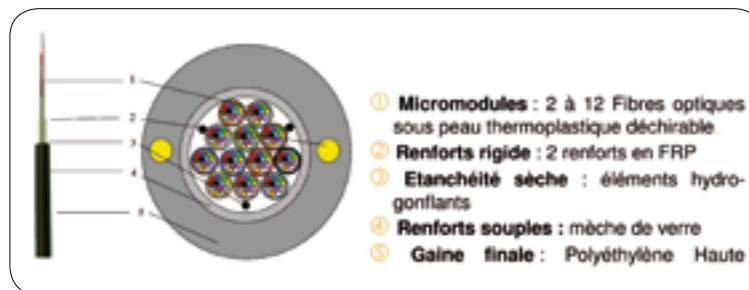


Figure 4.21 : structure d'un câble structure mini-unitube

	12 fibres	36 fibres	48 fibres	72 fibres	144 fibres	288 fibres
Gamme de températures :	Transport et stockage			-40 / +70 °C		
	Installation			-5 / +50 °C		
	Fonctionnement			-30 / +60 °C		
Traction maximale (N)	800	1200	1000	1600	220	270
Résistance à l'écrasement (N/mm)			200			
Rayon de courbure min. (mm)	60	80	85	100	120	140
Diamètre nominal du câble (mm)	6.1	8.3	8.5	10	12	14
Poids par mètre (kg/km)	32	50	50	75	98	130

Tableau 4.11 : caractéristiques des câbles mini-unitube

Câble en structure renforcée (double gaines) : de 12 à 288 fibres

Le renforcement du câble sera en fonction du niveau de protection souhaité contre les rongeurs.

L'armure par fibre de verre enduite "hot melt" représente l'optimum poids/protection contre les rongeurs.

Caractéristiques préconisées :

- Température d'installation : -5 à + 50°C CEI 60794-1-F1
- Température de fonctionnement : -40°C à +60°C CEI 60794-1-F1
- Température de stockage : -40°C à +60°C CEI 60794-1-F1
- Tenue à l'écrasement : 3000 N/10cm CEI 60794-1-E3
- Résistance à la traction : 80 à 220 daN selon Ø et nombre de Fo CEI 60794-1-E1

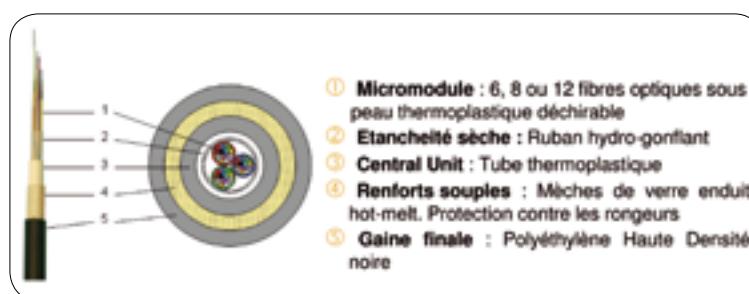


Figure 4.22 : structure d'un câble structure renforcée

4.3.3.2.5 Micro-câbles pour pose par portage à l'air en microconduite

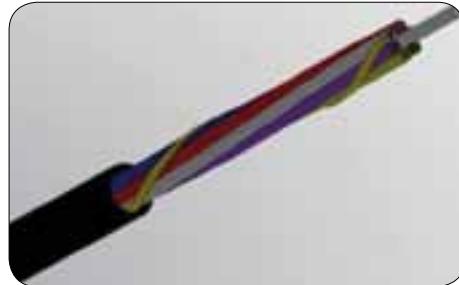


Figure 4.23 : câble pour portage à l'air

Spécialement étudiés pour le réseau d'accès qui exige des câbles toujours plus petits, ces câbles très compacts bénéficient d'une enveloppe polyéthylène à faible coefficient de frottement pour un meilleur glissement dans la micro-conduite.

Le principe de la technique de portage à l'air repose sur deux aspects :

- Un entraînement mécanique du câble par un système de poulies ou de courroies.
- Un effet de portage du câble assuré par l'injection d'air comprimé dans la microconduite.

Cette méthode est de loin la moins contraignante pour le micro-câble qui n'est exposé qu'à une très faible traction longitudinale répartie sur la longueur du câble présent dans la conduite. C'est, avec le "flottage", la méthode qui assure la plus grande sécurité pendant la phase d'installation.

En fonction du nombre de fibres souhaitées, on dimensionnera les micro-conduites nécessaires. Le nombre de fibres conditionne le diamètre du micro-câble et, par conséquent, le choix la micro-conduite la plus appropriée.

Le soufflage de micro-câbles permet de faire transiter dans des micro-conduites, des microcâbles de contenances élevées (jusqu'à 144 fibres).

Applications	Branchements	Desserte				
Diamètre câble	≤ 2,0 mm	≤ 4,5 mm	≤ 6 mm	≤ 7 mm	≤ 8,0 mm	≤ 8,5 mm
Exemple de diamètre de micro-conduite	3,5/5mm	5/8 mm	8/10 mm	9,4/12 mm	10/12mm	11/14 mm
Structures	1 à 12 Fo	4 à 24 Fo	12 à 72 Fo	96 Fo	144 Fo M24	144 Fo M12

Tableau 4.12 : caractéristiques des câbles pour portage à l'air

Les micro-câbles pour micro-conduites devant être denses, les solutions à base de micromo-

dules seront préférées pour leur encombrement mais aussi leur facilité de mise en œuvre.

4.3.3.2.6 Câbles à accessibilité permanente

Selon la typologie du réseau un des deux cas sera préféré : l'accessibilité permanente avec ou sans épissure.

Le câble à accessibilité permanente avec épissure

Ce câble permet l'extraction d'un module optique sur 1.5m par une seule fenêtre. Cette solution à l'avantage de ne pas utiliser un boîtier d'étanchéité supplémentaire, d'utiliser des boîtiers d'épissures de faible encombrement, de raccorder les clients au fil de l'eau.

Le câble et les modules optiques sont spécialement conçus pour réaliser l'opération d'extraction en toute sécurité et sans perturber les fibres éclairées.

Caractéristiques du câble à accessibilité permanente sur 1.5m par une seule fenêtre :

- Contenance : de 6 à 72 modules optiques. Un module contenant 1 à 12 fibres optiques.
- Température d'installation : -5 à +50°C
- Température de fonctionnement: -30 à +60°C
- Résistance à la traction : > 800 N
- Résistance à l'écrasement : 2000 N/10cm

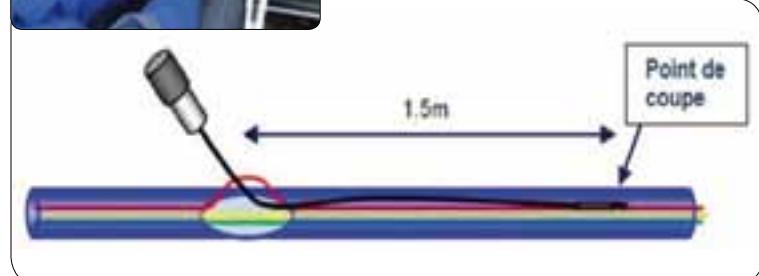


Figure 4.24 : coupe d'un module dans un câble à accessibilité permanente

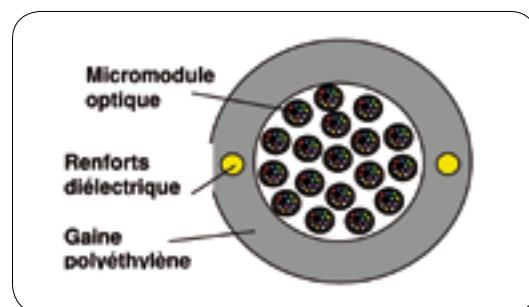


Figure 4.25 : vue en coupe d'un câble à accessibilité permanente

Le câble à accessibilité permanente sans épissure

Ce câble permet l'extraction d'un module optique sur 100m. Une coupe du module est réalisée dans une chambre et on extrait le module coupé 100m plus loin. Ce module est ensuite poussé, soufflé ou tiré dans une micro-conduite allant à l'abonné.

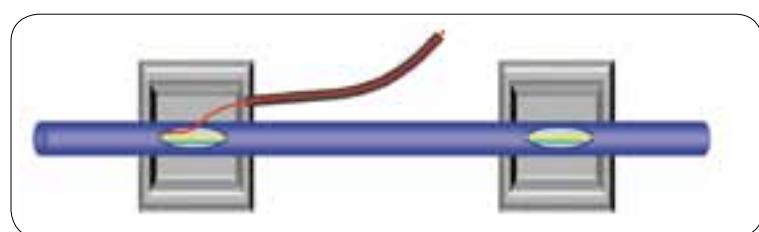


Figure 4.26 : principe de l'accessibilité permanente sans épissure

Caractéristiques du câble à accessibilité permanente sur grande longueur :

- Contenance : de 6 à 72 modules optiques ; Généralement un module contient de 1 à 2 fibres optiques ;
- Température d'installation : -5 à +50°C ;
- Température de fonctionnement : -30 à +60°C ;
- Résistance à la traction : > 800 N ;
- Résistance à l'écrasement : 2000 N/10cm.

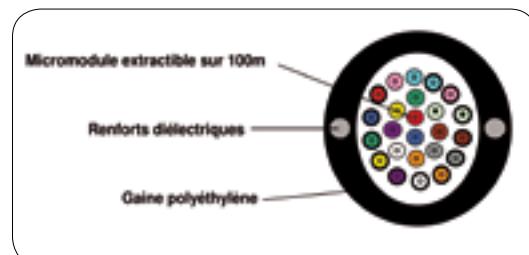


Figure 4.27 : vue en coupe d'un câble à accessibilité permanente

4.3.3.3 CÂBLES AÉRIENS

4.3.3.3.1 Généralités

Le déploiement de câble par voie aérienne permet un déploiement rapide à moindre coût en utilisant des appuis existants (réseau de distribution électrique, éclairage public, fixations sur bâtiments). Cette solution peu esthétique peut être considérée comme provisoire en attendant un enfouissement au gré de futurs travaux de génie civil en coordination avec la réalisation d'autres réseaux (adduction d'eau potable, de gaz, etc.). Ces réseaux disponibles peuvent être la propriété de la collectivité qui déploie ou la propriété d'un tiers (poteaux ERDF par exemple). Les câbles sont reliés aux appuis par des systèmes d'ancrage. Il est impératif que le couple câble/ancrage soit validé par le câblier afin de

s'assurer que, lors de l'utilisation du câble dans les conditions limites, il ne se produira pas de glissement du câble dans l'ancrage, d'arrachement de gaine ou bien d'écrasement du câble. Ces ancrages peuvent être de deux types, soit des ancrages à coinçement conique pour les portées courtes à moyennes, ou bien pour les portées les plus longues des ancrages spiralés.

Enfin, lors d'un déploiement en aérien sur des appuis existants, une étude préalable est nécessaire pour vérifier que les supports peuvent recevoir la charge supplémentaire apportée par l'ajout de ces câbles lors des conditions limites d'utilisation.

Par exemple pour le réseau électrique français dans le domaine BT et HTA les conditions limites du réseau aérien sont définies la norme NF C 11-201 d'octobre 1996, amendé par la révision NF C 11-201/A1 de décembre 2004.

Hypothèse	Surcharge glace (kg/m)	Température (°C)	Pression du vent sur les câbles (MPa)	
			Zone vent faible	Zone vent fort
Lignes BT				
A	0	15	427.5	480
B	0	-10	135	135
Lignes HTA				
A	0	15	570	640
B	0	-10	180	180
G1	1	-5	480	490
G3	3	-5	480	490
G5	5	-5	480	490
G8	8	-5	480	490

Tableau 4.13 : conditions climatiques

4.3.3.3.2 Câbles aériens pour réseau électrique HTA

Ce type de câble est généralement posé sur les réseaux électriques aériens haute tension de type A (typiquement entre 1000 et 50 000 volts alternatifs). Les portées sont généralement supérieures à cent mètres et les contenances des câbles comprises entre 72 et 288 fibres.

Ces câbles, du fait de leur exposition directe aux événements climatiques, doivent être renforcés. En effet un câble aérien, en particulier sur ces longues portées, est soumis à des surcharges importantes dues au vent, et, ou au givre. De même les fortes variations de températures impliquent une dilatation du câble qui influe directement sur sa flèche et donc sa tension.

Cette protection est généralement constituée de méplats en fibre de verre résinée qui apportent une résistance à la traction ainsi qu'une résistance aux impacts (notamment aux plombs de chasse). On trouve aussi des mèches d'aramide qui offrent un excellent ratio module/poids.

Portée maximale selon les conditions définies NF C11-201	
G1 (1 kg/m)	200 m
G3 (3 kg/m)	170 m
G5 (5 kg/m)	130 m
G8 (8 kg/m)	100 m

Tableau 4.14 : portée d'un câble ADSS 48 fibres



Figure 4.28 : câble aérien pour appuis HTA

4.3.3.3.2 Câbles aériens de distribution sur appuis télécom ou BT

Pour la partie distribution d'un réseau aérien, on utilise des câbles conçus pour utiliser les réseaux aériens électriques basse tension (BT) ou bien les réseaux aériens télécoms déjà existants.

Dans ces cas là les portées requises sont inférieures à cent mètres et typiquement de l'ordre de soixante mètres. Les contenances des câbles retenus sont, comme pour un tronçon de distribution classique, généralement comprises entre 12 et 144 fibres.

Selon que le câble soit déployé en milieu urbain ou rural il peut s'avérer nécessaire d'utiliser un câble muni d'une protection balistique.

Dans ce cas les câbles seront de géométrie cylindrique et des méplats en fibres de verre résinés sont câblés sous la gaine.

Pour les câbles ne nécessitant pas de protections balistiques la géométrie des câbles pourra être également cylindrique, auquel cas les pinces d'ancrage se prendront directement sur le câble. On peut aussi avoir des câbles dit en « huit ». Dans ce cas les pinces seront prises sur la partie supérieure du câble qui contient une cablette en acier. Ce câble n'est pas diélectrique, il nécessitera de réaliser une mise à la masse.

La géométrie cylindrique de certains de ces câbles permet à ces derniers d'être posés classiquement dans des conduites, voir même en pleine terre pour les câbles disposant d'une protection par méplats en fibre de verre.



Figure 4.29 : câble aérien pour appuis Télécom ou BT



Figures 4.30 : câbles aérien en "8" en sans protection

	Câble de 12 fibres	Câble de 36 fibres	Câble de 72 fibres	Câble de 144 fibres
Diamètre nominal du câble (mm)	6	8.5	10.7	11.4
Traction maximale (N)	800	1200	2200	2800
Résistance à l'écrasement (N.cm)	200		300	
Rayon de courbure min. (mm)	60	80	100	120
Poids nominal (kg/km)	31.5	49	65	130
Température	Transport et stockage Installation Opération (exploitation)		-40 / +70°C -5 / +50°C -30 / +70°C	

Tableau 4.15 : caractéristiques mécaniques de câbles aérien de distribution

4.3.3.3.4 Câbles aériens de branchement intérieur / extérieur aérien et conduite

Ces câbles permettent le câblage de l'abonné du point de branchement extérieur jusqu'au DTIO dans le logement.

En extérieur, ces câbles peuvent être posés en aérien pour des portées allant jusqu'à 50 mètres, ou en conduite.

Ils sont dotés d'une gaine extérieure en polyéthylène Haute Densité qui est déshabillable, permettant ainsi d'accéder au câble d'abonné. En intérieur, ce câble d'abonné est posé en goulotte, ou collé, ou agrafé jusqu'à la prise optique.

Caractéristiques du câble à accessibilité permanente sur grande longueur :

- Contenance typique de 1 à 4 fibres optiques ;
- Température d'installation : -5 à +50°C ;
- Température de fonctionnement : -40 à +70°C ;
- Résistance à la traction : $T_m = 800$ N (câbles à 1 fibre optique) ;
- Résistance à l'écrasement : 2000 N/10 cm.

4.3.3.3.5 Câbles de branchement extérieur aérien et conduite

Ces câbles permettent le câblage de l'abonné du point de branchement extérieur jusqu'au DTIO à l'entrée du logement.

Ces câbles ont une gaine extérieure en polyéthylène Haute Densité à faible coefficient de frottement pour un meilleur glissement dans la conduite. Ils peuvent être posés en aérien ou en conduite extérieure.

Si le DTIO n'est pas à l'entrée du logement, le micro câble poussable (MCP) après avoir enlevé la gaine extérieure du câble peut alors être poussé dans une conduite LSOH jusqu'à la prise optique – évitant ainsi un point de coupure supplémentaire.

Caractéristiques du câble à accessibilité permanente sur grande longueur :

- Contenance typique de 1 ou 2 fibres optiques ;
- Température d'installation : -5 à +50°C ;
- Température de fonctionnement : -40 à +70°C ;
- Résistance à la traction : $T_m = 800$ N ;
- Résistance à l'écrasement : 2000 N/10 cm.

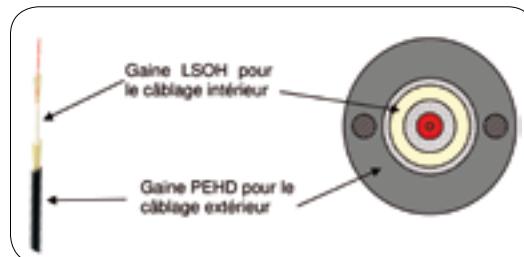


Figure 4.31 : câble de branchement intérieur / extérieur

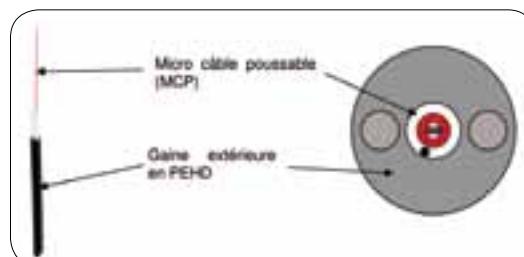


Figure 4.32 : câble de branchement extérieur

4.3.3.4 CÂBLES FAÇADE

4.3.3.4.1 Câbles façade à accessibilité permanente

En façade, un soin esthétique doit souvent être apporté au câblage. Les câbles sont de faibles diamètres, souples et discrets. Leur structure permet de parcourir des façades en prenant des angles à 90° et en longeant des corniches.

Les câbles sont constitués d'une gaine en PeHD anti-UV apportant une forte résistance aux chocs et à l'écrasement. Typiquement le diamètre n'excédera pas 12mm pour une contenance de 144 fibres.

Selon l'ingénierie du réseau, l'accessibilité permanente sera réalisée avec ou sans épissure.

Caractéristiques des câbles à accessibilité permanente en façade :

- Contenance typique de 12 à 144 fibres optiques ;
- Température d'installation : -5 à +50°C ;
- Température de fonctionnement : -30 à +60°C ;
- Résistance à la traction : > 500 N ;
- Résistance à l'écrasement : 2000 N/10cm.



Figure 4.33 : câble optique en façade (Saint Lo)

4.3.3.4.2 Câbles façade de branchement extérieur

Le câble de branchement extérieur pour le raccordement de l'abonné contient de 1 à 2 fibres optiques. Il est protégé par une gaine Zéro Halogène anti-UV. Pour une installation aisée, ce câble souple peut aussi être collé et agrafé.

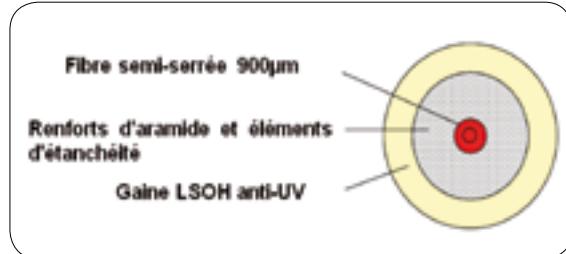


Figure 4.34 : câble de branchement extérieur

Caractéristiques du câble de branchement extérieur :

- Diamètre : ~4mm ;
- Contenance typique de 1 à 2 fibres optiques ;
- Etanche ;
- Température d'installation : -5 à +50°C ;
- Température de fonctionnement : -30 à +70°C ;
- Résistance à la traction : environ 400 N ;
- Résistance à l'écrasement : 2000 N/10 cm.

4.3.3.5 CÂBLES IMMEUBLE

4.3.3.5.1 Câbles intérieurs de colonne montante

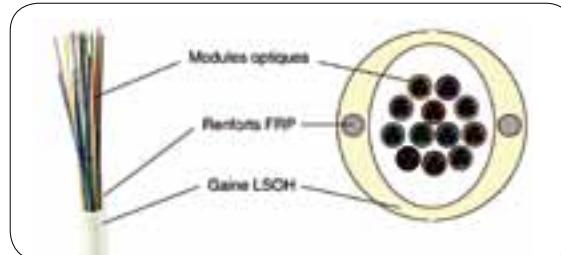


Figure 4.35 : câble intérieur de colonne montante

Ces câbles sont définis pour assurer la distribution des logements à l'intérieur d'un immeuble et font la jonction avec le réseau extérieur. Ils sont généralement posés verticalement du local technique en pied d'immeuble au dernier étage en cheminant à travers les colonnes techniques ou les cages d'escalier lorsque les colonnes techniques n'existent pas dans le cas des immeubles anciens.

A chaque point de branchement, ils permettent une accessibilité permanente en piquage tendu des fibres optiques par une ouverture de quelques centimètres (6 à 8 centimètres) réalisée sur la gaine extérieure du câble, à l'aide d'un outil spécifique.

Les modules peuvent ainsi être dérivés :

- avec épissure sur une longueur maximale de 6 mètres (câbles à compacts tubes) ;
- avec épissure sur une longueur maximale de 20 mètres (câbles à isolation semi-serrée) ;
- sans épissure, jusqu'au DTIO, sur une longueur maximale de 20 mètres (câbles avec micro-câbles poussables).

Ces câbles sont dotés d'une gaine sans halogène non propagatrice de la flamme (NF C 32070 2.1).

Selon la Pr EN 50 399, le classement Euroclasses de ces câbles est B2ca s1a d1 a2.

Ces câbles sont conformes aux directives européennes : REACH et RoHS.

Caractéristiques des câbles de colonne montante :

- Contenance typique de 8 à 288 fibres optiques selon tableau ci-dessous :

Type de module optique	Modularité	Ø Câbles 6.75 mm	Ø Câbles 8.50mm	Ø Câbles 10.50mm	Ø Câbles 13.50mm
μmodules CT	2 à 12 fibres optiques par module	12 x CT-2 8 x CT-6 4 x CT-12	18 x CT-2 10 x CT-6 6 x CT-12	32 x CT-2 16 x CT-6 12 x CT-12	48 x CT-2 36 x CT-6 24 x CT-12
Semi Serrée 900µm	1 fibre optique par module	8 x ISS	12 x ISS	24 x ISS	48 x ISS
Micro Câbles Poussables	1 ou 2 fibre(s) optique(s) par module	8 x MCP-1 6 x MCP-2	12 x MCP-1 8 x MCP-2	24 x MCP-1 12 x MCP-2	48 x MCP-1 24 x MCP-2

Tableau 4.16 : caractéristiques des câbles intérieurs de colonne montante

- Température d'installation : -5 à +50°C
- Température de fonctionnement : -40 à +70°C
- Résistance à la traction : $T_m = 300 \text{ N à } 600 \text{ N}$ (en fonction des types de câbles)
- Résistance à l'écrasement : 1000 N à 2000 N/10cm.

4.3.3.5.2 Câbles intérieur / extérieur de colonne montante

Les câbles du paragraphe précédent, même si ils peuvent être tirés jusqu'à 300m en conduite, ne sont pas étanches.

Aussi, lorsque le point de raccordement de l'immeuble est sur le domaine public, il peut être intéressant d'employer des câbles de colonnes montantes qui soient "intérieur / extérieur".

De structure identique aux câbles d'intérieur, les fonctions complémentaires sont :

- L'étanchéité (par ajout de composants hydro-gonflant dans la cavité),
- La tenue aux UV,
- Tirage en conduite jusque 300m.

4.3.3.5.3 Câbles immeuble de branchement

Le câble de branchement intérieur pour le raccordement de l'abonné contient 1 à 2 fibres optiques. Il est protégé par une gaine Zéro Halogène ivoire et sera au minimum "non propagateur de la flamme" (NFC 32070-2-1 ; C2).

Ce câble souple peut être collé ou agrafé pour une installation aisée.

Caractéristiques type du câble de branchement intérieur :

- Diamètre : ~4mm ;
- Contenance typique de 1 à 2 fibres optiques ;
- Température d'installation : -5 à +50°C ;
- Température de fonctionnement : -10 à +60°C ;
- Résistance à la traction : environ 200 N ;
- Résistance à l'écrasement : jusqu'à 2000 N/10cm ;
- Tenue au feu : non propagateur de la flamme (C2 suivant NFC 32070-2-1).

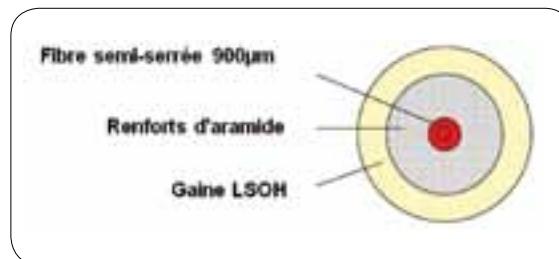


Figure 4.36 : câble immeuble de branchement

4.3.3.5.4 Cordon abonné

Par « cordon d'abonné », on entend le cordon allant de la prise optique d'abonné DTIO jusqu'à l'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 (ITU-T G657) et sont équipés d'un connecteur à chaque extrémité, typiquement : SC/APC.

La gaine est en matériau sans halogène. Le diamètre de ces câbles est de l'ordre de 3 à 5mm.

Mécaniquement, c'est un produit qui pourra prendre place dans une salle de séjour et devra supporter les risques d'écrasement par un pied de tabouret, morsure de chien et les risques d'arrachement. La conception du câble et le montage des connecteurs devront prendre en compte ces éléments.

Caractéristiques type d'un cordon d'abonné 1 fibre :

- Diamètre : ~3 à 5mm ;
- Perte d'insertion ≤ 0.5 dB, suivant méthode CEI 61300 ;
- Perte en RL (Return Loss) ≥ 45 dB, suivant méthode CEI 61300 ;
- Température de fonctionnement : -25 à +70°C ;
- Résistance à la traction > 150 N ;
- Résistance à l'écrasement > 1000 N/10cm ;
- Résistance à la courbure : ≥ 30 mm ;
- Tenue au feu : non propagateur de la flamme (C2 suivant NFC 32070-2-1) ;
- Tenue aux UV.

4.3.3.6 CÂBLES PRÉ-CONNECTORISÉS

L'utilisation de câble pré-connectorisé s'est développée depuis quelques années pour le câblage des immeubles. Elle simplifie le travail des installateurs et limite le risque d'erreurs de câblage sur le terrain par une préparation de l'extrémité du câble en usine (SC/APC). Ces câbles sont en général livrés sur tourets ou en couronne, parfois avec une prise optique ou des accessoires (kits). Ci-dessous quelques exemples de câbles préconnectorisés :

- **Câbles de colonne montante** (§ 4.3.3.5.1) : Ils sont pré-connectorisés à une seule extrémité et sont livrés sur touret à trois joues principalement en longueurs de 50 à 100m.



Figure 4.37 : câble de colonne montante pré-connectorisé sur touret carton

- **Câbles ou kit de branchement intérieur** (§ 4.3.3.5.2) :

Le câble pré-connectorisé est livré en couronne ou dans un carton dévidoir en longueur inférieure à 50m. Dans sa version kit, il est accompagné d'une prise optique, déjà montée ou non sur l'extrémité du câble.

- **Câbles ou kit de branchement extérieur / intérieur** (§ 4.3.3.4) :

Produit conçu de la même manière que les câbles intérieurs.



Figure 4.38 : câble de branchement pré-connectorisé

4.3.4 LA CONNECTIQUE OPTIQUE

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 particulièrement de la partie raccordement depuis le point de branchement (PBO) jusqu'à la prise d'abonné (DTIO).

Quatre technologies de connectique sont aujourd'hui couramment utilisées sur le territoire :

- Connectique standard SC
- Connectique LC
- L'épissure mécanique : principalement utilisée en partie branchement
- L'épissure fusion : raccordement en ligne fibre à fibre et de pigtailed

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

4.3.4.1 LES ÉPISSURES

Les épissures sont un moyen de raccordement non démontable, en ligne, de deux fibres optiques. Elles sont principalement caractérisées par de faibles pertes optiques, de hauts taux de réflexion et des résistances en traction permettant une continuité du lien optique.

Le champ d'application typique des épissures est le raccordement en ligne fibre à fibre dans l'infrastructure optique, du NRO au PB, et dans le branchement d'abonné (du PBO au DTIO).

4.3.4.1.1 Fusion

L'épissure par fusion est utilisée massivement pour le raccordement des câbles en ligne, en chambre souterraine ou en aérien. C'est également, au NRO et au PM, la méthode préconisée pour le raccordement des pigtailed des têtes de câble et dans les boîtiers de jonction 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. Cette technique garantit une fiabilité de transmission à long terme.

4.3.4.1.2 Mécanique

Le raccordement d'abonné est caractérisé par un certain nombre de facteurs qui rendent pertinente l'utilisation de l'épissage mécanique sur le raccordement d'abonné du PBO au DTIO, notamment :

- Les coûts d'équipement : 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 : cette technique permet une exécution rapide du raccordement.

Caractéristiques :

- fiabilité dans l'environnement du branchement d'abonné.
- faible perte par insertion
- Tenue à la traction.
- outillage accessible en termes de prix pour faciliter sa diffusion.



Figure 4.39 : exemples d'épissures mécaniques et outillages de mise en œuvre

4.3.4.2 LES CONNECTEURS

Les connecteurs sont un moyen de raccordement démontable, en ligne, de deux fibres optiques permettant jusqu'à 500 opérations de connexion/déconnexion. Ils sont principalement utilisés dans les noeuds d'exploitation du réseau et en partie terminale chez l'abonné. Leur utilisation est justifiée par :

- Le brassage de fibres pour optimiser l'utilisation de ressources (port actif, coupleurs, fibre....)
- La nécessité d'un point d'accès pour effectuer des mesures
- Le besoin de matérialiser une limite de responsabilité entre deux propriétaires d'infrastructure optique en continuité (opérateur / client par exemple).

Si l'on s'en tient à la définition, un connecteur est composé de deux fiches et d'un raccord. Par abus de langage, on donne souvent le nom de connecteur à la fiche elle-même.

4.3.4.2.1 Types de connectique

Le SC/APC est fortement déployé depuis la fin des années 90 en France dans les réseaux longue distance et collecte.

Dans le cas de services de TV diffusé sur réseau PON à 1550 nm, l'usage de connecteurs de type APC (Angled Physical Contact) à fort taux de réflexion (>60dB) est recommandé. Ce n'est pas le cas dans les réseaux points à point, ou PON sans diffusion TV, où un connecteur de type UPC (Physical Contact > 50 dB) est suffisant.

Le démarrage du FTTH en France a utilisé le standard SC (Push Pull) basé sur l'utilisation de férules céramiques de diamètre 2,5 mm. Si l'on veut déployer un réseau neutre, l'utilisation a minima des meilleures performances en taux de réflexion (APC) est nécessaire afin de garantir le fonctionnement de l'ensemble des équipements actifs disponibles sur le marché.

La mutualisation des réseaux impliquant l'implantation de noeuds de flexibilité de forte capacité, intégrés dans des armoires ou des locaux techniques en zone publique, elle permet d'envisager l'utilisation de connecteur de type LC de plus faible volume (férule céramique de 1,25 mm). Les professionnels reconnaissent qu'un premier gain de l'ordre de 25% sur le volume des répartiteurs est possible avec ce standard. Sur certains sites, ceux-ci sont déjà déployés. Certaines études montrent qu'un gain supplémentaire est possible.

L'utilisation de différents types de connectique (SC, LC, etc.) dans un même réseau est possible. Par contre les performances en taux de réflexion (UPC, APC) doivent être identiques. L'UPC et l'APC sont aujourd'hui les types de connectique les plus utilisés.



Figure 4.40 : connecteurs SC/PC et SC/APC (vert)

Caractéristiques principales	Connecteur LC	Connecteur SC	Épissure Fusion	Épissure mécanique
Diamètre des câbles et fibres connecteurisés	2 mm, 900 µm	3 mm, 2 mm, 900 µm	250 µm, 900 µm	250 µm, 900 µm
Perte d'insertion à 1310 nm et 1550 nm	< 0,3 dB max	< 0,3 dB max	< 0,1 dB max	< 0,1 dB (moyenne)
Réflexion	< -60 dB (APC) < -50 dB (UPC)	< -60 dB (APC) < -50 dB (UPC)	NA	< -55 dB (moyenne à 20°C)
Traction	900 µm: 7 N 2 mm: 70 N	900 µm: 7 N 2 mm: 70 N 3 mm: 100 N	> 5 N	> 4 N
Plage de température	-40°C, +75°C	-40°C, +75°C	-40°C, +75°C	-40°C, +75°C

Tableau 4.17 : caractéristiques principales des épissures et connecteurs

Les jarretières et pigtails sont fabriqués en usine avec des moyens de production permettant de garantir les spécifications exigées dans les réseaux très hauts débits. Les caractéristiques garanties sont :

- **Optiques** : les mesures de pertes d'insertion et de taux de réflexion sont effectuées face à des fiches de référence conformément aux normes IEC 60784-1. L'inspection visuelle des fiches est réalisée sous un grossissement X400 sur des critères d'acceptation établis en usine (rayures, points...etc).
- **Géométriques** : les caractéristiques géométriques de polissage (APEX, rayon, undercut / protrusion) sont contrôlées par interférométrie conformément à la norme IEC 60874-14-5.

4.3.4.2.2 *Pigtails et jarretières*

Les pigtails et jarretières existent avec tous types de fibres (G652 et G657). Sur le terrain, l'utilisation de pigtails G657 est en train de se généraliser.

Le mot de cordon est également utilisé pour désigner une jarretière optique ainsi que demi cordon pour pigtail.

■ **Le pigtail 900µm :**

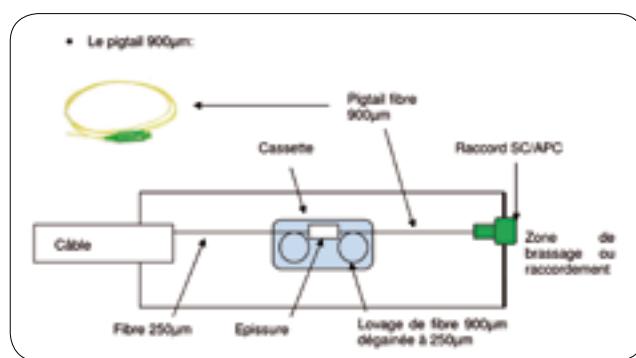


Figure 4.41 : schéma de câblage d'un pigtail 900µ

Les pigtails sont utilisés pour équiper l'extrémité d'un câble avec des fiches optiques.

Ceci afin de raccorder les fibres d'un câble pour accéder à une zone de brassage ou de raccordement.

Ils sont composés d'une fibre optique gainée à 900µm sur laquelle est montée une fiche en usine et ont une longueur d'environ 1,30m. L'utilisation d'une fibre 900µm permet une manipulation plus sécurisée de la fibre pour l'accès en partie "arrière" des zones de brassage. Cette gaine 900µm (isolation semi-serrée) peut être retirée à la main pour l'accès à la fibre 250µm. Après avoir retiré leur gaine sur la longueur désirée, les pigtails sont épissurés par fusion en extrémité des fibres du câble, la protection d'épissure et la fibre 250µm étant ensuite rangés dans une cassette.

Un exemple type de ce genre d'installation est illustré ci-dessus par une cassette de répartiteur :

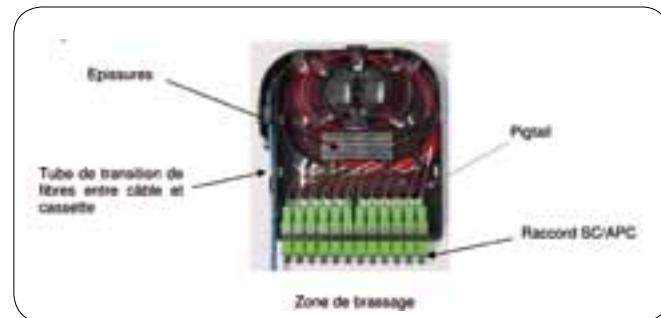


Figure 4.42 : illustration de l'installation d'un pigtail 900µ

■ Pigtail 2 mm :

Son principe d'utilisation est identique au pigtail 900 μ m mais il présente des caractéristiques mécaniques supérieures pour l'environnement du répartiteur où il est utilisé et sollicité de manière plus intensive. Il présente également l'avantage,

par rapport à l'ancienne structure de 3 mm, de diminuer de plus de 50% le volume occupé par les cheminements de stockage de ces jarretières.

Ci-dessous le principe d'utilisation de ce type de pigtail :

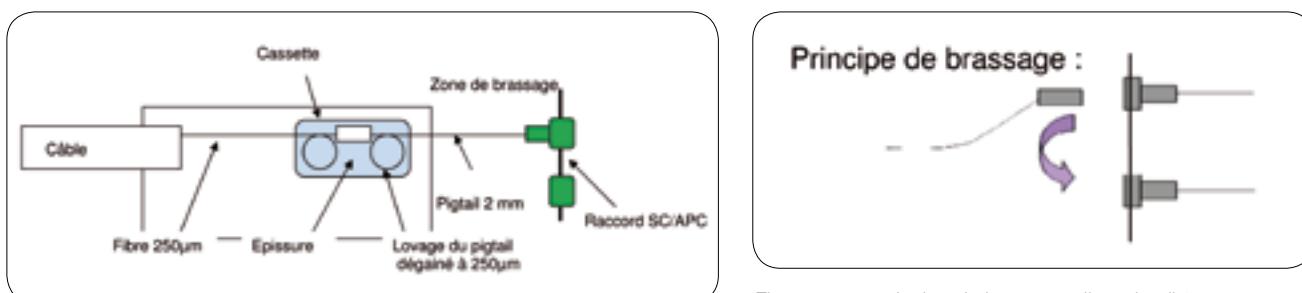


Figure 4.43 : schéma d'installation d'un pigtail 2mm

Figure 4.44 : principe de brassage d'un pigtail 2mm



Figure 4.45 : illustration de l'installation d'un pigtail 2mm

■ Jarretières 2 mm :

Les jarretières 2 mm sont utilisées dans une zone de brassage comprise entre deux panneaux de

raccords. Elle est réutilisable contrairement au wrapping cuivre et peut être utilisée indépendamment à chacune de ses extrémités.

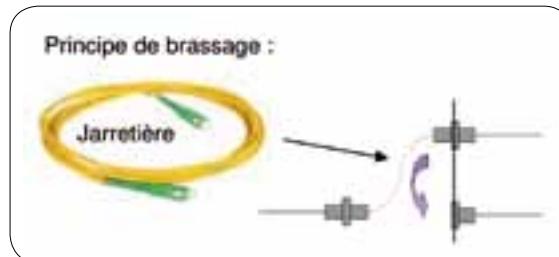


Figure 4.46 : principe de brassage d'une jarretière 2mm

4.3.4.2.3 Connecteurs montés terrain

Dans la même logique de réduction des coûts d'intervention et d'intégration dans l'environnement du client, ces produits ont été développés pour supprimer l'épissure et ainsi réduire le volume de stockage.

La connectique type FMC (Field Mountable Connector), sorte de micro pigtail, regroupe, dans

l'encombrement d'une fiche standard, un pigtail et une épissure mécanique.

Les produits FMC sont spécifiquement adaptés aux câbles et fibres européens et notamment aux gaines 900 µm semi-libres très utilisées en France :

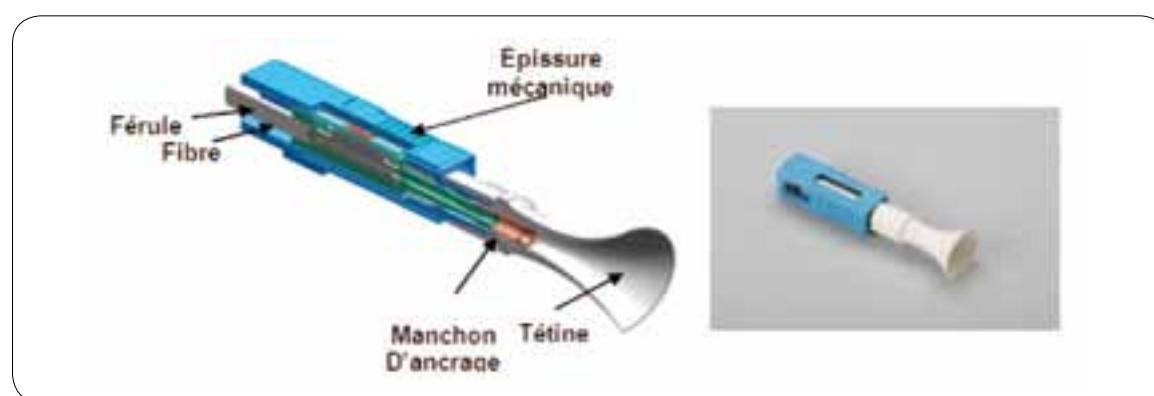


Figure 4.47 : exemple de connecteur monté terrain

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.

Ce connecteur permet d'obtenir des temps d'installation comparables au cuivre.



Figure 4.48 : outillages de montage des connecteurs montés terrain

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 termes de prix pour faciliter sa diffusion.

Caractéristiques principales	
Dimensions	Suivant IEC61754 (norme SC)
Fibres	125µm, 250µm
Perte d'insertion	< 0.3 dB typique, max. 0,6 dB
Réflexion	< -40 dB moyenne
Longueurs d'onde	1310nm, 1490nm, 1550nm, 1625nm
Plage de température	-40°C à +75°C
Coût outillage	< 1000 €
Temps de montage	< 3 minutes

Tableau 4.18 : caractéristiques principales d'un connecteur monté terrain

4.3.5 LES COMPOSANTS OPTIQUES

Les composants optiques s'installent essentiellement dans les réseaux à fibre partagée de type « PON » (Passive Optical Network). Ils sont implantés au répartiteur optique ou au niveau du point de mutualisation.

4.3.5.1 LES COUPLEURS

Ils sont implantés au niveau des points de mutualisation (PM). Le choix et la qualité du coupleur sont essentiels car leur fiabilité à long terme et leurs pertes d'insertion engendrées ont des répercussions importantes sur le réseau.

Les composants utilisés sont compatibles avec tous les systèmes de transmission type PON actuels et à venir (WDM PON).

Un coupleur est un élément passif qui permet de répartir la lumière transmise par une ou deux fibres (1xN ou 2xN) vers 2 à 64 fibres.

Les ratios typiques sont en : 1x2, 1x4, 1x8, 1x16, 1x32, 1x64 ou en version 2xN pour des applications de surveillance de réseau sans perturbation du signal transmis.

Il existe 2 types de coupleurs : les « Fusion Etirage » (FBT) et « Planaires » (PLC). Deux technologies de coupleurs existent :

■ **fusion étirage** : elle repose sur la fusion et l'étirage de deux fibres optiques. 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) pour des applications en bande étroite.

■ **PLC** : cette technologie repose sur la création de guides d'ondes par photolithographie (procédé similaire à celui utilisé pour la création de circuits intégrés). Elle permet d'obtenir des composants avec une meilleure uniformité entre les branches et dans un tout petit volume.

Il est recommandé d'utiliser des coupleurs de type PLC. En effet, les longueurs d'ondes de transmission sur les réseaux FTTH étant, pour un réseau G-PON, 1310 nm pour le sens montant et 1490 nm pour le sens descendant, il est donc indispensable d'utiliser sur le réseau des coupleurs PLC offrant une large plage de fonctionnement en longueur d'onde associée à un encombrement mécanique très réduit.

Caractéristiques

Les caractéristiques standard des coupleurs PLC (sans connecteur) sont :

Rapport Couplage (1xN ou 2xN)	Perte Insertion Max. à 1310 et 1550 nm (dB)	Uniformité Max. (dB)	Réflectance Min. (dB)	Directivité Min. (dB)
1x2	4,0	0,6	-55	-55
1x4	7,4	0,6	-55	-55
1x8	10,7	0,8	-55	-55
1x16	13,7	1,2	-55	-55
1x32	16,9	1,7	-55	-55
1x64	21,0	2,5	-55	-55

Tableau 4.19 : caractéristiques standards des coupleurs PLC

La connectique est de type SC ou LC. Pour information, la perte d'insertion d'un point de connexion SC ou LC est de l'ordre de 0,3dB.

- Longueur d'onde opérationnelle : 1260 à 1650 nm
- Plage de température de stockage et d'utilisation : - 40°C à +85°C
- Plage d'humidité : 5% à 85% RH
- Dimensions des boîtiers : celles-ci dépendent souvent des constructeurs, la compatibilité des produits avec les répartiteurs couramment utilisés doit être vérifiée.

Pour information, quelques dimensions sont données ci-dessous de boîtiers coupleurs en fonction du type de gaine protégeant les entrées et sorties.

Dimensions Boîtiers en mm (LxPxH) Produits nus sans dispositif d'intégration pour répartiteurs			
Rapport Couplage	Entrée/sorties Fibre nue 250 µm	Entrée/sorties Fibre gainée 900 µm	Entrée/sorties Fibre gainée 2 mm
1x2	40x4x4	60x7x4	100x80x10
1x4	40x4x4	60x7x4	100x80x10
1x8	40x4x4	60x7x4	100x80x10
1x16	40x4x4	60x12x5	100x80x10
1x32	50x7x4	80x20x6	100x80x10
1x64	60x12x4	100x40x6	140x114x18

Tableau 4.20 : indication de dimensions de coupleurs PLC

Des standards internationaux existent tels que la norme Telcordia GR-1221-CORE & GR-1209-CORE.

En zone moins dense, les coupleurs sont en général placés au NRO ou au PM.

Plusieurs méthodologies de raccordement des coupleurs peuvent être utilisées sur les réseaux. Les différentes solutions présentées ont pour seul objectif de réduire le bilan optique global de la liaison. Les solutions les plus souvent rencontrées, en mettant en avant leurs avantages et inconvénients, sont résumées ci-dessous au moyen des symboles suivants :

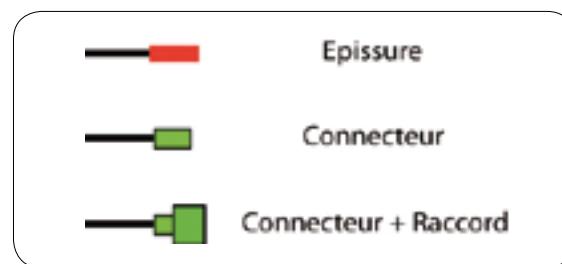


Figure 4.49 : symboles pour la schématisation des solutions de câblage de coupleurs

Solution N°1 :

Coupleur avec entrée et sorties pré-connectorisées en fibre 900 µm et raccordées sur des bandeaux raccords.

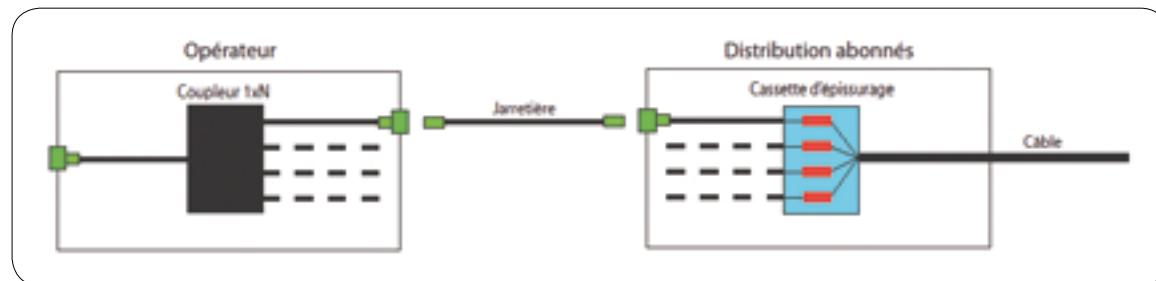


Figure 4.50 : coupleur avec entrée et sorties pré-connectorisées



Figure 4.51 : coupleur 1x32 "nu" et coupleur 1x16 "nu" pré-connectorisé sans dispositif d'intégration pour répartiteur

Avantages :

Nécessite l'utilisation de 2 jarretières optiques (entrée et sorties) en assurant une grande flexibilité ainsi qu'un remplissage au fil de l'eau du répartiteur. Protège dans le temps la connectique des coupleurs.

Inconvénients :

Deux points de coupure supplémentaires sur le réseau (deux connexions) entraînant une augmentation du bilan optique.

Solution N°2 :

Coupleur avec entrée soudée directement sur une fibre du câble et sorties pré-connectorisées en fibre 900 µm et raccordées sur des bandeaux raccords.

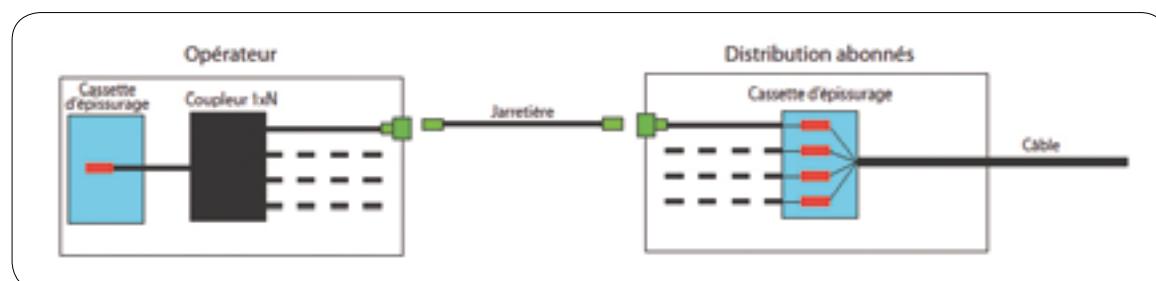


Figure 4.52 : coupleur avec entrée fibre nue soudée et sorties 900µm pré-connectorisées

Avantages :

Nécessite l'utilisation de jarretières optiques (sorties) en assurant une grande flexibilité ainsi qu'un remplissage au fil de l'eau du répartiteur.

Inconvénients :

Un seul point de coupure supplémentaire sur le réseau (une connexion) entraînant une faible altération du bilan optique.

Solution N°3 :

Coupleur avec entrée longue et sorties pré-connectorisées en fibre 900 µm et raccordées sur des bandeaux raccords.

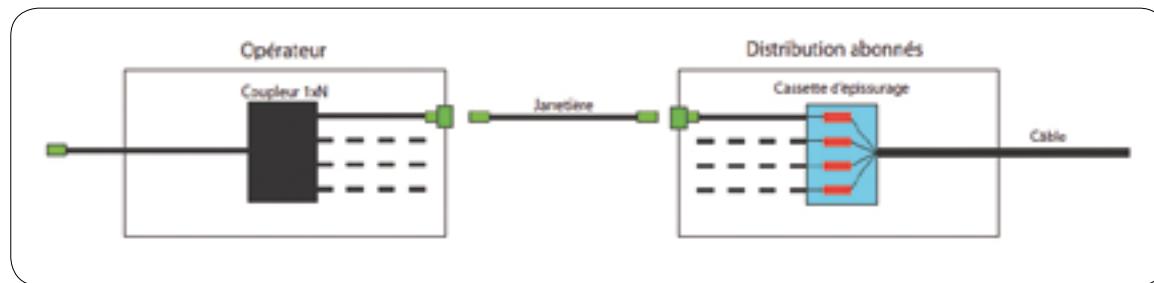


Figure 4.53 : coupleur avec entrée longue et sorties pré-connectorisées

Avantages :

Nécessite l'utilisation de jarretières optiques (sorties) en assurant une grande flexibilité ainsi qu'un remplissage au fil de l'eau du répartiteur.

Inconvénients :

Deux points de coupure supplémentaires sur le réseau (deux connexions) entraînant une faible altération du bilan optique.

Solution N°4 :

Coupleur avec entrée soudée directement sur une fibre du câble et sorties longues (plusieurs mètres) pré-connectorisées sur jarretières 2mm se raccordant directement sur les fibres clients.

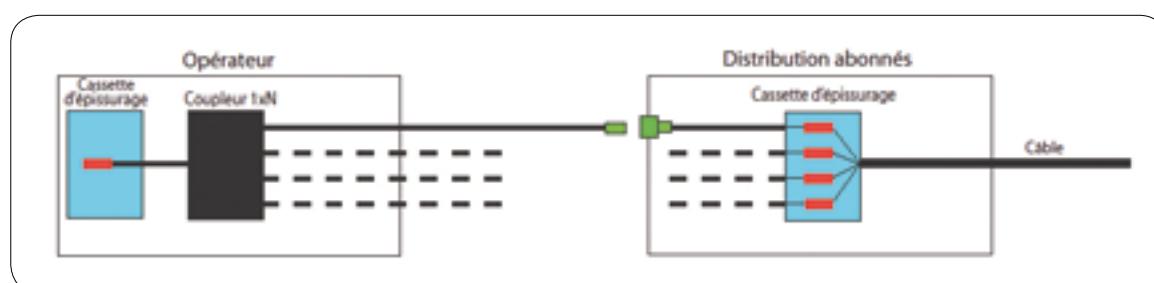


Figure 4.54 : coupleur avec entrée fibre nue soudée et sorties longues pré-connectorisées

Avantages :

N'entraîne pas de point de coupure supplémentaire sur le réseau. Ne nécessite pas l'utilisation de jarretières optiques.

Inconvénients :

Sorties coupleurs en attente à gérer dans un système permettant aisément de résorber les sur-longueurs pour ensuite les affecter au « fil de l'eau ». Longueurs des sorties coupleurs à définir dès l'origine du répartiteur. Risque d'endommagement de la connectique des sorties coupleurs en attente.

Solution N°5 :

Coupleur avec entrée et sorties longues (plusieurs mètres) préconnectorisées sur jarretières 2mm se raccordant directement sur les fibres opérateurs et clients.

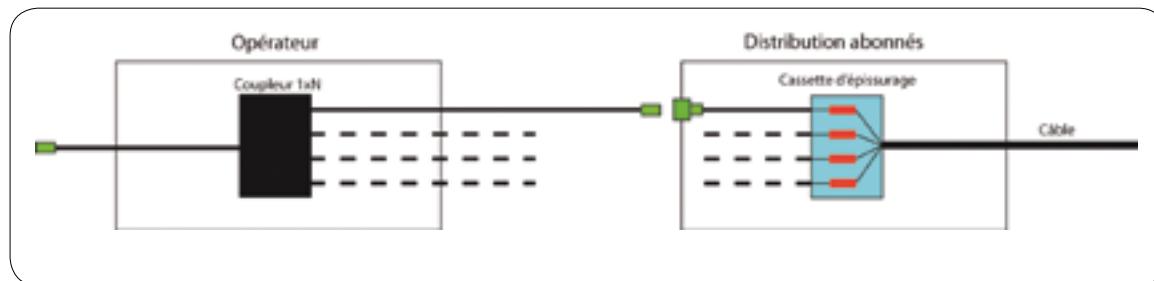


Figure 4.55 : coupleur avec entrée et sorties longues pré-connectorisées

Avantages :

Un seul point de coupure supplémentaire sur le réseau (une connexion) entraînant une faible altération du bilan optique.

Inconvénients :

Entrée et sorties coupleurs en attente à gérer dans un système permettant aisément de résorber les sur-longueurs pour ensuite les affecter au « fil de l'eau ». Longueurs des sorties coupleurs à définir dès l'origine du répartiteur. Risque d'endommagement de la connectique des sorties coupleurs en attente.



Figure 4.56 : coupleur 1x32 en boîtier avec gaine 2mm sans dispositif d'intégration

Intégration

L'intégration des coupleurs par les constructeurs dans leurs solutions de brassage optique permet d'assurer une installation au « fil de l'eau » tout en garantissant le maintien des spécifications techniques initiales du composant.

Les différentes configurations de coupleurs décrites précédemment peuvent donc être directement intégrées en usine dans différents types de contenants dont quelques exemples sont présentés ci-dessous :

- Dans un tiroir au standard 19" avec connecteurs sur bandeaux raccords en face avant.



Figure 4.57 : tiroirs 19 pouces hauteur 1U (2 coupleurs 1x16) et 3U (2 coupleurs 1x64)

- Dans un module de répartiteur optique en ferme ou en baie (non au standard 19") sur bandeaux raccords en face avant.

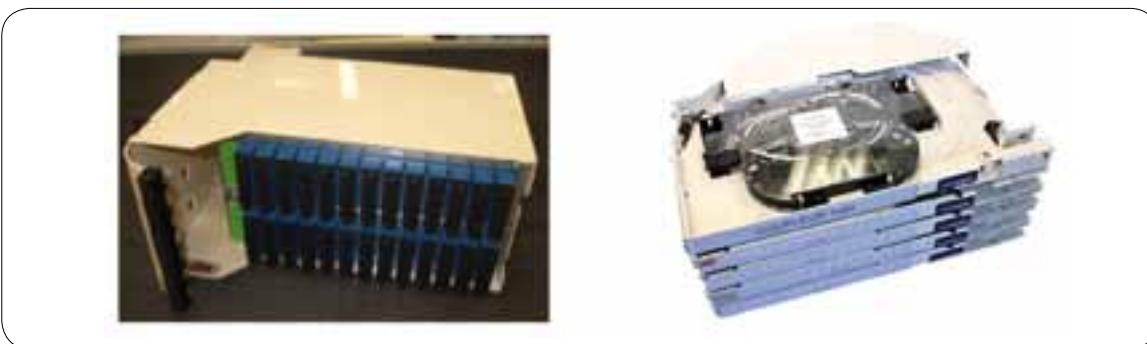


Figure 4.58 : modules coupleurs 1x64 (sortie sur raccords)

- Dans un module de répartiteur optique en ferme ou en baie avec entrées et sorties longues pré-connectorisées (version identique avec entrée soudée).



Figure 4.59 : modules coupleurs 1x8 et 1x64 (sorties longues)

4.3.5.1 LES COMPOSANTS WDM

Des multiplexeurs optiques WDM (Wavelength Division Multiplexer) peuvent également être utilisés pour assurer la surveillance du réseau en terme de bilan optique ou pour transmettre un signal sur une longueur d'onde spécifique (1550 nm, 1625 nm, 1650 nm).

Ces composants se présentent sous la même forme qu'un coupleur optique mais en assurant la fonction de filtre de longueurs d'ondes permettant d'isoler une longueur d'onde spécifique par rapport aux longueurs d'onde d'exploitation.

Dans le cas où ce type de composants est utilisé, il se trouve installé au niveau du NRO.

4.3.6 LES NŒUDS D'EXPLOITATION DU RÉSEAU

Les nœuds d'exploitation de réseaux sont les installations qui permettent d'intégrer les équipements passifs et actifs de transmission, de gérer toutes les terminaisons optiques et de faciliter l'interconnexion entre les fibres optiques et les équipements des opérateurs.

Leurs dimensions physiques sont déterminées par l'étendue et la capacité de la zone FTTH à couvrir en nombre de clients et évolutions futures à prendre en compte.

Ces nœuds de réseaux peuvent être installés dans des bâtiments existants ou constituer de nouvelles installations à installer (armoires de rue ou shelters) dans les villes et les campagnes.

Pour les zones moins denses, il est conseillé d'installer ces équipements dans des locaux ou conteneurs sécurisés. Le degré de sécurisation dépend de la présence ou non d'équipements actifs pour lesquels une protection contre l'incendie est préconisée.

Mais même dans le cas d'un nœud d'exploitation complètement passif, un contrôle d'accès ainsi qu'une protection contre tout acte de vandalisme doivent être considérés. Se reporter à la figure 4.1 pour situer précisément les positions des nœuds d'exploitation NRO et PM, dont les fonctions sont définies dans le chapitre 3.

Les opérateurs commerciaux peuvent choisir d'installer leurs équipements passifs ou actifs dans les nœuds d'exploitation.

Clients Raccordables	Type de Nœud d'exploitation	Conteneants de répartition
De 100 à 1000 clients	RO avec ou sans fonction PM*	Armoire, shelter ou local technique
Au-delà de 1000 clients	NRO avec ou sans fonction PM*	Shelter ou local technique

Tableau 4.21 : types de nœuds d'exploitation

PM* : Point de mutualisation pour les OC (Opérateurs Commerciaux) Dans le cadre des raccordements hors ZTD, chaque client sera à minima raccordé par une fibre optique dédiée entre le PM et le DTIO (réseau dit de type point à point).

L'accès à la mutualisation des différents opérateurs commerciaux s'effectuera selon la topologie du réseau au niveau des NRO ou des RO intermédiaires via la fonction PM (voir schéma § 4.1).

Les fonctionnalités de ces deux nœuds NRO et RO du réseau FTTH et les produits de raccordement et de brassage permettant d'y répondre peuvent être similaires, dans certains cas, selon le nombre de fibres optiques à gérer.

Des points de collecte (PRDM : Point de Raccordement Distant Mutualisé) proposés par l'opérateur du réseau d'accès aux opérateurs commerciaux peuvent également être mis à disposition, afin de pouvoir accéder (par mutualisation des câbles) en amont des points de mutualisation de moins de 1000 lignes.

4.3.6.1 LE NŒUD DE RACCORDEMENT OPTIQUE (NRO)

4.3.6.1.1 *Les applications*

Le NRO situé en tête du réseau de distribution sera dimensionné pour desservir plusieurs milliers de lignes clients.

Ce noeud de raccordement optique est l'interface entre le réseau passif ou une de ses extrémités et les équipements actifs de l'opérateur d'immeuble et des opérateurs commerciaux (dans le cas de la fonction PM : Point de Mutualisation).

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

- D'insérer des coupleurs optiques ;
- De modifier la topologie du réseau ;
- D'affecter des ressources en fonction de la demande ;
- D'effectuer des tests.

4.3.6.1.2 *La configuration du NRO*

Dans le NRO, deux types d'ingénierie de raccordement entre les opérateurs et le réseau de distribution clients sont déployés actuellement :

> **Raccordement direct** vers têtes de câbles réseau clients.

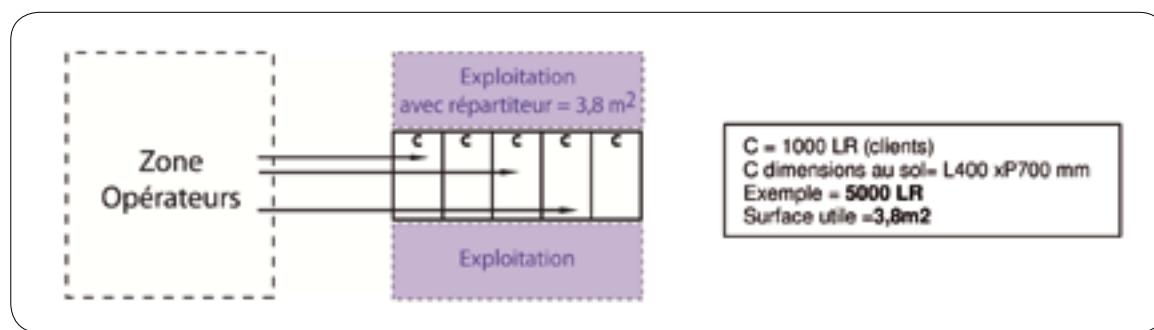


Figure 4.60 : ingénierie type raccordement direct

Les liaisons entre les équipements opérateurs se font par jarretières directement sur les fibres clients. Il n'existe pas dans le répartiteur de notion de brassage entre les points équipements et n'importe quel point du réseau.

Avantage / Inconvénient :

Nombre de têtes optiques plus faible dans le répartiteur (local plus petit) mais brassage délicat et difficilement modifiable au fil du temps.

- > **Raccordement indirect** par passage par des têtes de câble équipements « miroirs » intermédiaires intégrées avec les têtes de câbles réseau.

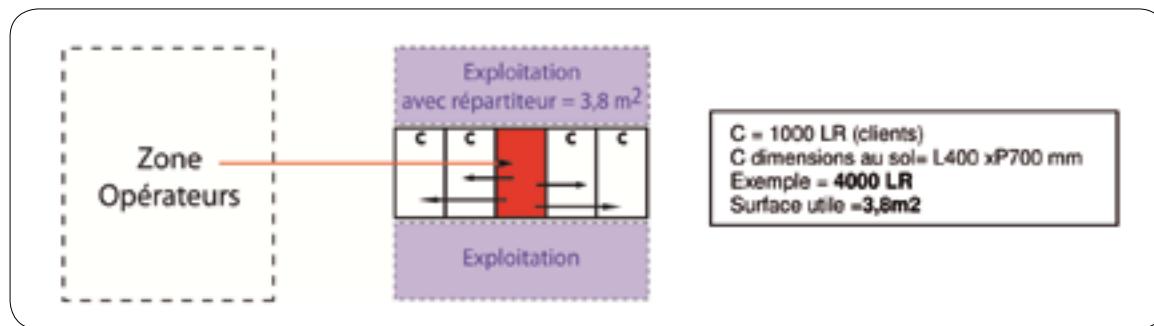


Figure 4.61 : ingénierie type raccordement indirect

Nota : Les dimensions de la zone en rouge peut varier en fonction du nombre d'opérateurs commerciaux

La distribution optique entre les câbles réseau et les équipements autorise l'affectation des ports des équipements vers n'importe quelle fibre du réseau.

Les liaisons dans les répartiteurs se font par jarretières. Par nécessité d'optimisation du bilan optique, notamment sur certain 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.

4.3.6.1.3 Critères de Choix

Le dimensionnement d'un local NRO doit tenir compte, d'une part, de la capacité finale de fibres optiques devant être raccordées et d'autre part de l'influence des critères suivants :

- > Nombre et capacités des câbles fibres à raccorder ;
- > Choix de la connectique optique : SC ou LC ;
- > Majoration due à la modularité des câbles utilisés sur le réseau entraînant un nombre de fibres en surnuméraire de l'ordre de 50 à 60% ;
- > Méthodologie du raccordement des équipements actifs des opérateurs commerciaux sur le répartiteur optique ;
- > Type et surface du local afin de laisser une libre circulation et une accessibilité aisée au niveau du répartiteur lors des phases d'exploitation ;

Avantage / Inconvénient :

Brassage entre tous les points possible et modifiable facilement mais nécessitant une surface au sol plus importante pour intégrer le répartiteur.

C'est la solution qui est aujourd'hui la plus utilisée et celle que nous recommandons afin d'assurer une pérennité d'exploitation du réseau dans le temps.

- > Evolutivité du répartiteur dans le temps (définie lors de sa construction) afin de pouvoir le gérer pendant la durée de vie (de l'ordre de 15 à 20 ans) :

- L'implantation de coupleurs au fil de l'eau en fonction de l'arrivée des opérateurs commerciaux,
- L'arrivée de nouveaux câbles fibre optique résultant du développement du réseau initial,
- La mise en place de nouvelles têtes de câbles.

Le répartiteur doit être évolutif sans compromettre sa gestion et son exploitation et offrir la possibilité de faire cohabiter sur un même répartiteur des générations différentes de têtes de câbles

- Dissipation thermique des équipements actifs devant y être installés par mise en place d'un dispositif de climatisation adapté garantissant une nuisance sonore respectant la réglementation en vigueur.

- Génie civil permettant une pénétration facile des câbles et une gestion de surlongeurs de réserves dans une chambre d'accès ou dans le répartiteur.

Raccordement Optique

Concernant la gestion du brassage optique, deux familles de produits assurant le brassage des fibres répondent aujourd'hui à ce type de besoin :

- **Répartiteurs sur fermes**

- **Répartiteurs en baies**

Ces deux types de répartiteurs sont tous deux modulaires et permettent de répondre à des capacités variables et évolutives au cours du temps.

Ils intègrent des têtes de câbles (pour la partie distribution), de capacités variables et peuvent également, dans le cadre d'une fonction de mutualisation, recevoir des têtes avec coupleurs optiques.

De manière générale, leurs hauteurs varient de 2,00m à 2,50m et voire plus dans certains cas particuliers. Cela dépend en grande partie des locaux et également du fait de garantir une exploitation aisée au niveau du brassage optique.

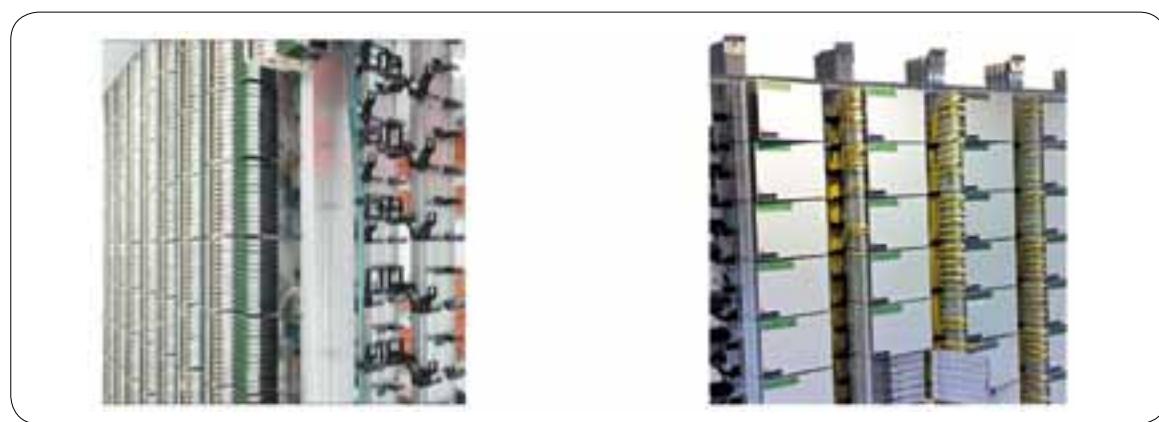


Figure 4.62 : répartiteurs sur fermes



Figure 4.63 : répartiteurs en baies

A titre d'exemple, ci-dessous l'implantation de différentes configurations dans une salle de répartition en utilisant des systèmes sur fermes ou en baies en **raccordement indirect uniquement**.

Des informations sur la surface d'exploitation sont précisées pour chaque cas afin d'évaluer les dimensions des locaux nécessaires.

Répartiteurs sur fermes (Utilisation en simple ou double face)

> Raccordement indirect (Miroir)

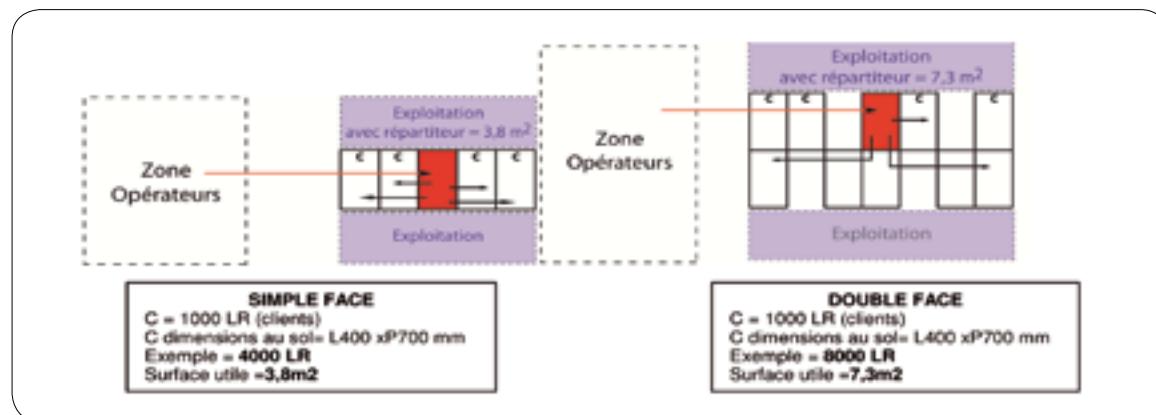


Figure 4.64 : répartiteurs sur ferme en raccordement indirect

> Raccordement indirect (Miroir)

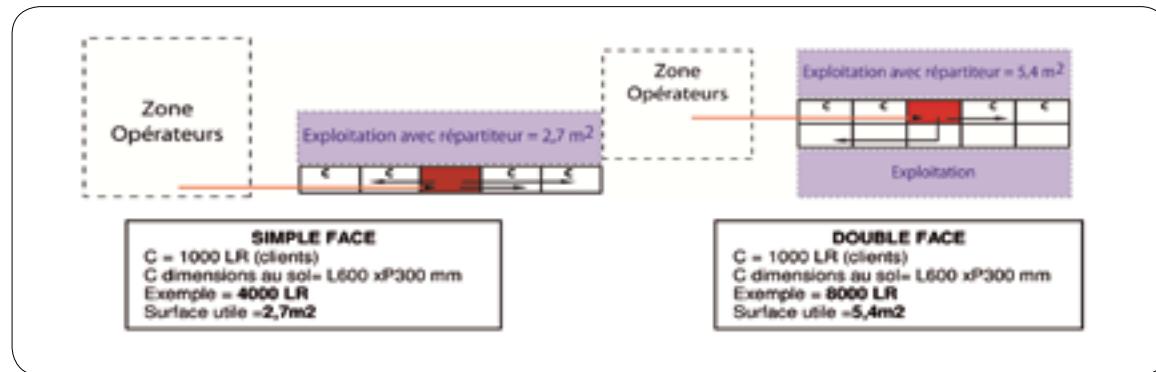


Figure 4.65 : baies en raccordement indirect

Nota : Les dimensions de la zone en rouge peuvent varier en fonction du nombre d'opérateurs commerciaux

Par expérience, on peut considérer qu'un ratio de 1000 points de connexion par m^2 est acceptable et exploitable sur des répartiteurs dépassant les 4000 fibres. Ce volume comprend toutes les fonctionnalités depuis l'amarrage des câbles jusqu'aux cheminements et systèmes de gestion de sur-longueurs des jarretières ainsi que la zone d'exploitation nécessaire à une utilisation aisée du répartiteur.

L'exploitation à 100% de la capacité est le point le plus déterminant dans la mise en place d'un répartiteur haute densité tel qu'un NRO et concerne le choix du système de gestion de sur-longueurs de jarretières optiques.

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 des répartiteurs aérés et fonctionnels avec les circuits bien visibles. Attention à la trop haute densité qui se révèle souvent difficile à exploiter.

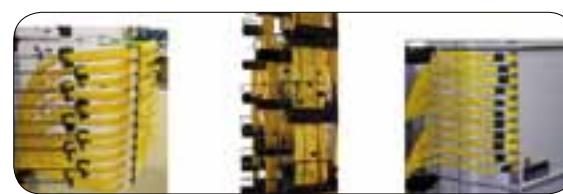


Figure 4.66 : câblage d'un répartiteur à 100% de jarretières

4.3.6.2 LES RÉPARTITEURS OPTIQUES INTERMÉDIAIRES

Le répartiteur optique est le point de départ du réseau de distribution qui va jusqu'à l'abonné.

C'est à ce niveau que peut s'accomplir la fonction de brassage entre les différents opérateurs présents sur la zone et les clients (Point de mutualisation).

En dehors des zones très denses, le répartiteur optique pourra abriter un opérateur P2P et des opérateurs PON.

Par conséquent, les installations devront être conçues pour accepter les équipements actifs de l'opérateur P2P ainsi que les coupleurs passifs des opérateurs PON.

Chaque répartiteur optique nécessitera une étude particulière en fonction de son environnement climatique, des équipements installés, de leur plage de fonctionnement et de leur puissance de réjection thermique. En fonction des contraintes d'alimentation électrique, il sera nécessaire de prévoir un atelier d'énergie.

Le sous-répartiteur optique est donc un point de flexibilité au sein du réseau. Il permet notamment :

- De modifier la topologie du réseau ;
- D'affecter des ressources en fonction de la demande ;
- D'insérer des étages de coupleurs ;
- D'insérer des équipements actifs ;
- D'effectuer des tests.

4.3.6.2.1 Les armoires de rue

4.3.6.2.1.1 L'application

D'après les recommandations de l'autorité de régulation et les directions données par les opérateurs, une armoire de rue sera dimensionnée pour permettre le raccordement d'au moins 300 logements (LR : logement raccordable) en distribution mono-fibre.

La partie gauche de l'armoire sera au format 19" pour recevoir les équipements des opérateurs commerciaux, principalement en connectique SC/APC. La connectique LC pourrait être adoptée mais avec comme limite de ne pas générer plus d'encombrement au niveau de la zone de brassage.

La partie droite sera réservée au raccordement des fibres clients avec en partie inférieure.

une fonction tête de câbles de collectes pour les opérateurs commerciaux. L'armoire de rue sera un point de mutualisation opérateurs permettant la mise en place d'équipements passifs (coupleurs pour réseau PON) et actifs, si nécessaire, pour les réseaux points à points (P2P).

4.3.6.2.1.2 La configuration de l'armoire de rue

La capacité d'une armoire de rue doit tenir compte du nombre de fibres en surabondance dû à la modularité des câbles utilisés et aux réserves permettant de répondre aux évolutions futures.



Figure 4.67 : armoire de rue RAL 7035 anti graffiti

On distingue essentiellement deux types de fonctions influençant l'architecture de l'armoire de rue :

> Armoire de rue passive et active (double paroi)

Cette armoire peut recevoir des équipements actifs. Sa structure est constituée d'une double paroi permettant d'assurer une isolation thermique suffisante quelles que soient les conditions climatiques.

Elle permet de recevoir des équipements actifs et passifs tels que des équipements de transmission et des coupleurs optiques qui sont utilisés par les opérateurs commerciaux utilisant la technologie P2P (Point à Point) ou PON (Point/Multipoint).

Elle peut recevoir, si nécessaire, un extracteur d'air mécanique ainsi qu'un filtre.

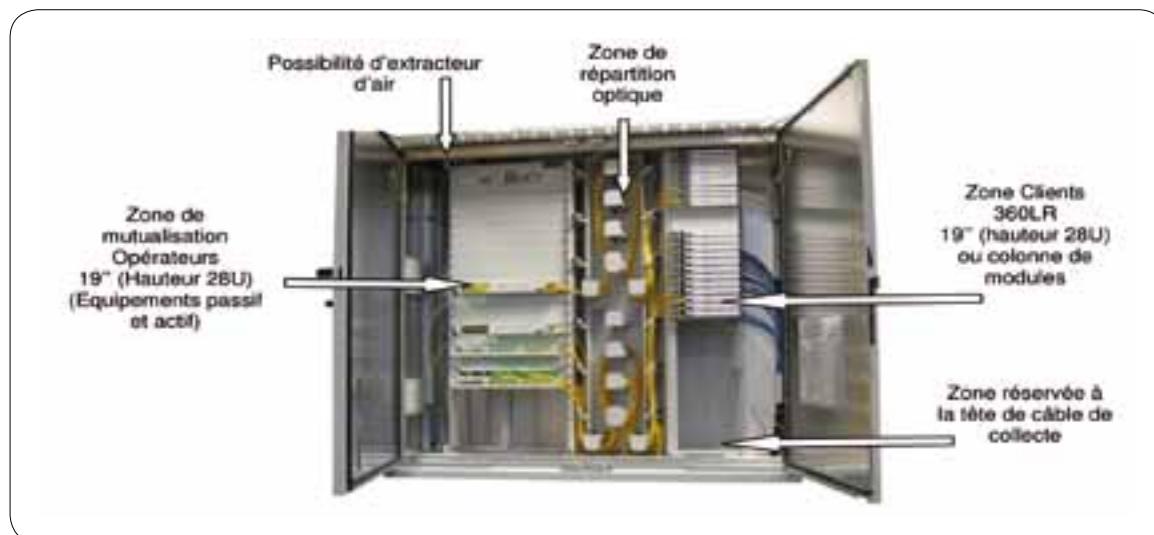


Figure 4.68 : Armoire de rue active et passive 360 LR en SC (576 FO abonnés + 36 FO pour collecte) double paroi

> Armoire de rue passive (simple paroi)

Ce type d'armoire passive ne peut pas recevoir d'équipements actifs car sa structure constituée de parois simples ne permettrait pas d'assurer une isolation thermique suffisante quelles que soient les conditions climatiques.

Elle est donc dédiée à recevoir des équipements passifs tels que des coupleurs optiques qui sont utilisés par les opérateurs commerciaux utilisant la technologie PON (Point/Multipoint).

Pour les deux configurations d'armoire, les raccordements des points opérateurs avec l'ensemble des abonnés se feront par des jarretières (ou des pigtail longs) de longueur unique dont les sur-longueurs seront gérées par un système de brassage adapté et facilement utilisable par l'ensemble des intervenants.

Un visuel indiquant le cheminement des jarretières en fonction des positions des deux extrémités à raccorder pourra être fourni avec l'armoire de rue.

Ces deux types d'armoires permettent de répondre à l'ensemble des besoins pour réaliser des sous répartiteurs optiques.

Ces deux versions permettent d'optimiser les coûts sur l'ensemble d'un réseau car la version passive est économiquement plus intéressante que la version active de par sa construction mécanique moins complexe.

4.3.6.2.1.3 Les critères de choix

• Structure de l'armoire

> **Dimensions :** La dimension externe de l'armoire va dépendre du dimensionnement interne des équipements eux-mêmes liés aux surcapacités que les opérateurs spécifieront.

Il est tout de même conseillé de prévoir des profondeurs et hauteurs raisonnables afin de limiter les encombrements sur les voies publiques et de pouvoir recevoir la validation par les services techniques des municipalités.

Le design sera également un facteur à prendre en compte dans le choix de l'armoire.

En fonction des modularités des câbles utilisés sur le réseau, le nombre de fibres en surnuméraire résultant est également un facteur dimensionnant de l'armoire.

Il est indispensable que l'armoire dispose d'un socle de hauteur de 150 à 200mm disposant d'une accessibilité par des trappes en face avant permettant de faciliter la mise en place des câbles.

Les dimensions extérieures d'une armoire de 360LR seront environ de :

Armoire Active (double paroi) :
L1600mm x H1680 mm (socle compris) x P500 mm

Armoire Passive (simple paroi) :
L1600mm x H1600 mm (socle compris) x P350 mm

> **Matériaux** : Selon que l'armoire abritera des éléments actifs ou passifs, une enveloppe à double ou simple paroi sera justifiée.

Afin de pouvoir résister à des agressions mécaniques et résister à la corrosion, les armoires pourront être en acier, en aluminium ou en matière composite double ou simple paroi si l'armoire est passive.

> **Equipement intérieur :**

- **Partie Distribution (droite)** : 1 colonne verticale droite équipée de 2 montants avant 19", 28U disponibles pour équipements passifs (têtes de câbles abonnés), ou colonnes de modules.

Partie basse réservée à la tête de câble de collecte.

- **Partie Opérateurs (gauche)** : 1 colonne verticale gauche équipée de 2 montants avant 19", 28U disponibles pour équipements actifs (placés en partie haute) et passifs (coupleurs).

• Une colonne centrale de passage de jarretières avec système de gestion de sur longueur de jarretières optiques.

> **Energie** : L'armoire active sera équipée d'un bandeau de distribution d'énergie 19" de hauteur 3U.

> **Extraction d'air/Chauffage** : L'armoire pourra être équipée en option d'un extracteur mécanique d'air ainsi que d'un filtre d'entrée.

> **Couleur** : L'intégration dans l'environnement urbain nécessitera une flexibilité dans la palette de peinture (un grand choix de RAL est disponible chez les constructeurs).

La peinture sera généralement de type antigraffiti et dans certains cas, les parois de l'armoire pourront être réalisées de manière à pouvoir empêcher les opérations d'affichage.

> **Maintenance** : Dans le cas de dégradations, les différents panneaux constituant

l'armoire pourront, de préférence, être remplacés de l'extérieur, sans incidence sur le fonctionnement de l'armoire.

> **Niveau d'étanchéité et de résistance mécanique** : Des indices de protection minimum d'étanchéité IP55 et de résistance mécanique IK09 garantiront le bon fonctionnement de l'ensemble.

> **Installation** : Pour faciliter l'installation de l'armoire de rue et garantir un maintien précis

des fourreaux, un gabarit de pose pourra être coulé dans la dalle béton lors de sa fabrication.



Figure 4.69 : gabarit de pose et armoire sur socle béton

> **Température d'exploitation** : entre -25°C et +70°C.

• **L'exploitation à 100% de la capacité**

Il est recommandé de porter attention à la dimension de la zone de brassage supportant une application à 100 %, en permettant une pose soignée des jarretières afin qu'elles ne s'entremêlent et ne paralysent complètement la fonction de brassage.



Figure 4.70 : armoire câblée à 100%

• **L'évolutivité**

Comme précédemment indiqué, il convient de sur dimensionner la capacité de cette armoire d'au moins 30%.

4.3.6.2.2 Shelters

4.3.6.2.2.1 L'application

D'après les recommandations de l'autorité de régulation et les directions données par les opérateurs, le point de mutualisation installé dans un local technique ou un shelter sera dimensionné pour permettre le raccordement d'au moins 1000 logements (LR : logement raccordable) en distribution mono-fibre.

Une première zone sera au format 19" pour recevoir les équipements des opérateurs commerciaux, principalement en connectique SC/APC. La connectique LC pourrait être adoptée avec comme limite de conserver l'ergonomie de la zone de brassage.

Un deuxième zone sera réservée au raccordement des fibres clients avec en partie inférieure une fonction tête de câbles de collecte pour les opérateurs commerciaux.

Le shelter sera un point de mutualisation opérateurs permettant la mise en place d'équipements passifs (coupleurs pour réseau PON) et actifs, si nécessaire, pour les réseaux point à point (P2P).

4.3.6.2.2.2 La configuration du shelter

La capacité du répartiteur optique installé dans le shelter doit tenir compte du nombre de fibres en surabondance dû à la modularité des câbles utilisés et aux réserves permettant de répondre aux évolutions futures.

Les dimensions du shelter seront adaptées à l'intégration des répartiteurs optiques et éventuellement des équipements actifs des opérateurs commerciaux.

Ils existent en structure béton, que nous décrirons par la suite, mais existent également en structures métalliques ou PVC.



Figure 4.71 : shelters béton

Le Shelter béton est réalisé sur la base de panneaux béton armé à haute résistance coulés à plat et assemblés par clavetage. Il se présente sous la forme d'un parallélépipède.

Le shelter a été conçu pour un environnement extérieur de classe 4.1E suivant la norme ETSI 300-019-1-4.

Le shelter doit être installé sur une dalle béton, ou sur un lit de sable compacté. Une étude géotechnique doit être effectuée afin de connaître la nature du sol et d'aménager le terrain en conséquence.

Il peut recevoir des équipements actifs et passifs tels que des équipements de transmission et

des coupleurs optiques qui sont utilisés par les opérateurs commerciaux utilisant la technologie P2P (Point à Point) ou PON (Point/Multipoint).

Il peut être équipé, si nécessaire, d'un extracteur d'air mécanique avec filtre ainsi que d'un chauffage.

Le répartiteur optique utilisé dans un PM1000LR peut être de types ferme ou baie identiques à ceux utilisés dans le NRO mais pour gérer des capacités de fibres optiques moins importantes (de l'ordre de 1600 fibres pour tenir compte du surabondance de fibres provenant de la modularité des câbles).

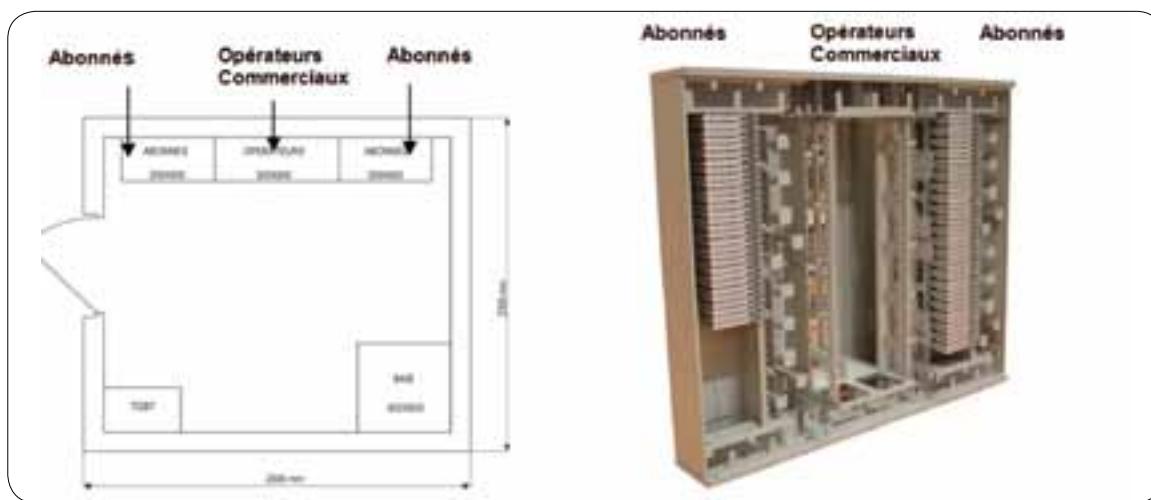


Figure 4.72 : exemple d'implantation shelter PM1000 avec répartiteur en baie

4.3.6.2.2.3 Les critères de choix

• Structure du shelter

> **Dimensions :** La dimension externe du shelter va dépendre du dimensionnement interne des équipements eux-mêmes liés aux surcapacités que les opérateurs spécifieront.

Il est tout de même conseillé de prévoir des profondeurs et hauteurs raisonnables afin de limiter les encombres et de pouvoir recevoir la validation par les services techniques des municipalités.

Le design sera également un facteur à prendre en compte dans le choix du shelter.

En fonction des modularités des câbles utilisés sur le réseau, le nombre de fibres en surnuméraire résultant est également un facteur dimensionnant.

Il est indispensable que le shelter dispose d'un soubassement permettant l'accès des câbles par des trémies.

Les caractéristiques d'un shelter béton permettant d'intégrer la fonctionnalité d'un PM de 1000LR sont les suivantes :

Dimensions Extérieures	Longueur extérieure	2300 mm
	Largeur extérieure	2500 mm
	Hauteur extérieure hors tout	3700 mm (400 mm de soubassement)
	Surface au sol extérieure	5,75 m ²
Dimensions Intérieures	Longueur intérieure	2000 mm
	Largeur intérieure	2200 mm
	Hauteur intérieure utile	2850mm
	Surface au sol intérieure	4,4 m ²
	Volume intérieur	12,54 m ³
Poids	Poids à vide estimatif	14 T
Charge admissible au plancher	Charge au sol	600 kg/m ²

Tableau 4.22 : caractéristiques d'un shelter béton

> Parois : Les parois seront composées de panneaux en béton armé d'épaisseur 70mm et seront classées coupe feu une heure.

Les parois intérieures du shelter seront isolées avec de la laine de verre épaisseur 60mm et plaques BA13 sur ossature métallique sur parois et plafond.

Les parois extérieures seront recouvertes d'un enduit imperméable et les parois extérieures du vide sanitaire seront recouvertes d'une étanchéité bitumée et enduites d'un imperméabilisant.

> Soubassement : Le soubassement aura une hauteur utile de 400 mm, son accès sera permis par un passage d'homme 600x600mm obturé par une dalle amovible.

> Plancher : Le plancher sera constitué d'une dalle d'épaisseur 12 cm carrelée et possède :

- Une réservation 200x200 mm pour la partie énergie et mise à la terre,
- Une réservation pour les fibres optiques.

> Toit : Le toit sera composé d'une dalle béton armé d'épaisseur 12 cm avec les caractéristiques suivantes :

- Une pente à 2% pour l'évacuation des eaux de pluie,
- Un débord de toit sur toute la périphérie avec procédé « goutte d'eau » pour interdire le ruissellement le long des parois,
- Une charge admissible de 250 kg/m².

La toiture sera recouverte d'une étanchéité bitumée et d'un revêtement spécifique.

> Porte : La porte, un vantail, sera réalisée en acier galvanisé laquage :

- H2300xL900mm,
- Classement anti-effraction niveau 4 selon EN 1627-1630,
- Coupe feu : 30 minutes recto-verso,
- Acoustique : affaiblissement de 40dB.

Elle sera équipée de :

- Une serrure mécanique 3 points à béquille contrôlée,
- Un système de blocage à 90° et un arrêt de porte à 180°. Une entrée d'air L600xH900 sera positionnée sur la porte :
- Grille aluminium fixée par vis inviolables équipée d'un filtre,
- Barreaudage anti-intrusion sur la face interne de la porte.

> Trémies : Deux trémies seront présentes dans le soubassement :

- Trémie énergie + terre,
- Trémie Fibre optique.

> Equipement intérieur :

- o **Partie Distribution :** Baies ou fermes de capacité d'environ 1600 fibres (1000LR à une fibre),

- o **Partie Opérateurs :** Baies 19" permettant de recevoir les équipements passifs (couplage pour OC PON) ou équipements actifs pour OC P2T,

- o Système de gestion, intégré dans le répartiteur, de sur-longueurs de jarretières optiques.

> Equipements électriques : Un coffret BT comprenant :

- 1 interrupteur sectionneur 40 A en tête,
- 1 disjoncteur 1P+N 16A-30mA,
- 3 PC 2P+T 16A,
- 2 disjoncteurs 1P+N 10A protection éclairage et ventilation.

> Distribution : Chemins de câbles :

- 1 boucle de 300 mm au plafond pour le cheminement des fibres,
- 1 circuit de 100 mm sur consoles sur la longueur intérieure pour le cheminement des câbles 230V,
- 1 remontée de 100 mm depuis la réservation énergie.

> Circuit de terre : Un ceinture et des descentes en cuivre nu 16mm² seront mis en place, le long du chemin de câble FO.

> Ventilation/Chauffage : Afin de couvrir des besoins de refroidissement ou de réchauffement, les mises en place d'une ventilation ou d'un chauffage thermostaté pourront être envisagées.

> Couleur : L'intégration dans l'environnement urbain nécessitera une flexibilité dans la palette de peinture (un grand choix de RAL est disponible chez les constructeurs).

> Température d'exploitation : entre -25°C et +70°C.

> Installation : De par ses dimensions et son poids, la mise en place d'un shelter nécessite une prestation d'installation spécifique.



Figure 4.73 : opération de grutage

En fonction des besoins d'intégration dans l'environnement du site, toitures et parements pourront être réalisés.

Ci-dessous quelques exemples d'intégration dans l'environnement :



Figure 4.74 : Shelters intégrés dans l'environnement

4.3.7 LES BOÎTIERS DE RACCORDEMENT DE CÂBLES

Sur les réseaux FTTH, les boîtiers de protection d'épissures sont utilisés pour différentes configurations telles que joint droit entre câbles identiques, éclatement de câbles, distribution et piquage sur des câbles de tailles plus petites. Ces boîtiers peuvent être utilisés sur les réseaux de collecte et tous les types de réseaux de distribution (souterrain, aérien, façade et intérieur).

Les critères de choix sont :

- **L'environnement :** le choix sera réalisé entre 3 classes de produits :

- Boites de raccordement étanches IP 68 pour chambres et égouts (tout en tenant également compte de la convention de partage des fourreaux) ;
- Boîtes d'extérieur IP44 pour bornes et IP55 pour poteaux et façades ;
- Boîtes d'intérieur IP40 pour colonne montante, cages d'escalier, intérieur chez l'abonné.

L'IP désigne le degré de protection de l'enveloppe des matériels selon la norme NF EN 60529. Le premier chiffre désigne la protection contre les corps solides, le second la protection contre la pénétration d'eau.

- **La capacité :** nombre d'épissures et types d'épissures au point de raccordement ;

- **Les câbles :** nombre de câbles arrivant au noeud de raccordement avec leurs caractéristiques (capacité, type de structure, diamètre). Possibilité ou non de traiter des fibres ou des tubes non coupés en passage dans les points de piquage.

4.3.7.1 LES BOÎTIERS DE RACCORDEMENT SOUTERRAINS DE COLLECTE HORS DES ZONES TRÈS DENSES

Pour la partie collecte en dehors des zones très denses, il faut distinguer 2 types de boîtiers souterrains :

- les boîtiers de jonction et de piquage des câbles de collecte ;
- le boîtier PRDM (point de raccordement distant mutualisé).

Ils offrent ainsi la possibilité aux opérateurs d'accéder à la zone arrière de ce point, constituée de plusieurs points de mutualisation (PM).

4.3.7.1.1 *Les boîtiers de jonctions et de piquage des câbles de collecte*

Ces boîtiers seront de capacités diverses selon le type de topologie : par exemple dans le cas d'un réseau point à point avec mutualisation au NRO, ces boîtiers seront de grande capacité (de l'ordre de 576 à 720 fibres).



Figure 4.75 : boîtier de jonction et piquage

En sortie de ces boîtiers des câbles d'une capacité de 144 ou 288 fibres seront utilisés. Le nombre de sorties dépendra de l'architecture de la zone.

4.3.7.1.2 *Les points de raccordement distant mutualisé (PRDM)*

La fonction de ce contenant dans le réseau est de permettre aux différents opérateurs de pouvoir se raccorder au réseau mutualisé en amont de plusieurs PM de type armoire de moins de 1000 clients afin d'accéder à une zone plus large supérieure à 1000 logements.

Le produit recommandé pour réaliser cette fonction sera un contenant de capacité à déterminer mais avec un système de réouverture aisée afin de pouvoir raccorder les opérateurs au fil de l'eau tout en garantissant une performance irréprochable en étanchéité.

En sortie de ces boîtiers, des câbles d'une capacité typique de 36 fibres seront utilisés de par la présence de coupleurs au PM qui diminue le besoin en nombre de fibres. Toutefois, dans le cas de la gestion d'une architecture en point à point au PM, des câbles d'une capacité plus élevée devront être gérés en sortie du PRDM.



Figure 4.76 : exemple de PRDM

4.3.7.2 *LES BOÎTIERS DE RACCORDEMENTS POUR LA DESSERTE HORS ZONE TRÈS DENSE*

Pour la partie desserte extérieure, en dehors des zones très denses, il faut distinguer 2 types de boîtiers :

- les boîtiers de Point d'attente (PA) ;
- les boîtiers de branchement optique qui s'installeront en souterrain, en aérien et en façade (PBO).

4.3.7.2.1 *Le point d'attente (PA)*

Dans la construction du réseau, l'opérateur va déployer des câbles généralement d'une capacité de 144 fibres de l'armoire de mutualisation (PM) vers plusieurs conteneurs « PA » montés en cascade afin de potentiellement couvrir une zone de clients qui deviennent ainsi « adressables ».

Du fait de ré interventions au fil de l'eau sur le boîtier pour connecter tous les « PBO », celui-ci doit être muni d'un système d'ouverture / fermeture rapide tout en garantissant une étanchéité parfaite, mais aussi le raccordement facile des fibres laissées en passage à l'intérieur du boîtier.

Quatre fonctionnalités sont importantes pour le choix du produit :

Capacité de fibres : les boîtiers ont une capacité de 72 à 144 fibres par modules de 6 à 12 fibres, indépendants les uns des autres.

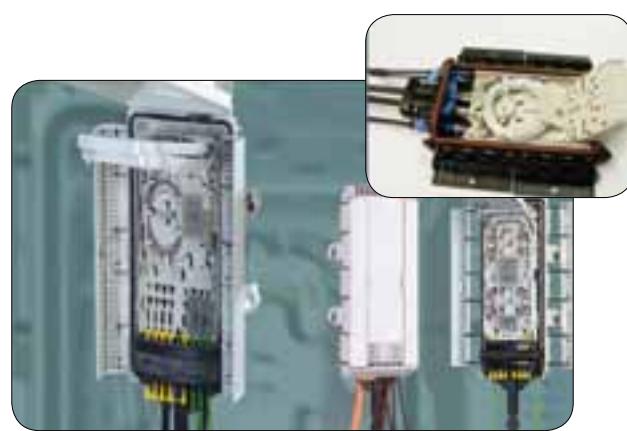


Figure 4.77 : exemples de point d'attente

Entrées et sorties de câbles : Quel que soit le choix, les boîtiers doivent avoir plusieurs départs de câbles (6 à 12) et selon le choix des opérateurs, permettre les ré interventions au fil de l'eau sans perturber l'existant.

Le FTTH hors des ZTD 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 boîtiers en service.

Il faut aussi veiller à ce que, lors de chaque opération d'insertion d'un nouveau câble de distribution, la retenue des câbles déjà en place ne soit pas perturbée.

En dehors des zones très denses, vue l'incertitude dans le nombre de nouvelles artères à créer au fil du temps, il sera conseillé de choisir un contenant offrant un nombre de ports suffisants (au-delà de 6 par contenant).



Figures 4.78 : entrées et sorties de câbles

Ouverture et 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 4.79 : exemples de système d'ouverture d'un boîtier

Adaptabilité aux infrastructures en dehors des zones très denses : permettre un maniement aisé dans des chambres de communications électroniques existantes (voir tableau ci-dessous) de petites tailles. Le PA sera avantageusement installé dans une chambre de type L2T ou L3T.

Ainsi le système de fixation de ce contenant dans la chambre devra permettre une extraction aisée et fréquente du contenant lui-même tout en ayant une résistance mécanique suffisante.

Caractéristiques des chambres			
Type Chb	Longueur Int. (L, M, K, P)	Largeur Int. (L, M, K, P)	Hauteur Int. (L, M, K, P)
L1T	520	380	600
A2/1/2 L4 T	885	520	600
A1/A3/L2T	1160	380	600
L3T	1380	520	600
A4/D1/L4T	1870	520	600

Tableau 4.23 : caractéristiques des chambres de communications électroniques

4.3.7.2.2 Le Point de Branchement Optique extérieur (PBO)

En zone moins dense, le point de branchement peut se trouver dans tous les types d'infrastructures (souterraine, façade, aérien...) le maximum étant fait pour utiliser les infrastructures existantes ou les cheminements déjà empruntés par les réseaux existants. Le PBO, dans sa version souterraine, devra avoir une dimension permettant son installation dans une chambre de type L1T. Typiquement en zone moins dense, ce PBO se situera :

- En chambre souterraine ;
- Sur poteau télécom ;
- Sur la façade ;
- En borne.

Le PBO pourra être utilisé dans une configuration de Distribution (éclatement d'un câble vers plusieurs DTIO) ou dans une configuration de Piquage (Point de raccordement d'abonné à partir d'une boucle principale). Suivant la distance aux abonnés, le boîtier dessert en général de 6 à 12 logements.



Figures 4.80 : points de branchement optique façade, poteau et souterrain

Le point de branchement pourra recevoir des épissures (mécanique ou fusion) pour du raccordement fibre à fibre. Pour des besoins de facilité opérationnelle, de limite de responsabilité, voire de mesure on pourra remplacer l'épissure par un connecteur, toujours dans une logique de fibre à fibre (pas de brassage ou de ré-intervention hors maintenance).

extérieur permet d'éviter un boîtier de transition en pied d'immeuble. Les points de branchement (PBO) d'étage sont alors directement installés sur ce câble.

Si le câble d'adduction d'immeuble n'est pas LSOH, un boîtier de transition (BPI) sera installé en pied d'immeuble.

Ces câbles d'adduction d'immeubles pourront être préconnectorisés côté PM pour accélérer leur installation.

On rencontre deux types d'immeubles :

- Les petits, pour lesquels le câblage sera réalisé en étoile directement à partir d'un PBO BPI.
- Les autres, nécessitant l'installation de plusieurs points de branchements sur un câble à accessibilité permanente.

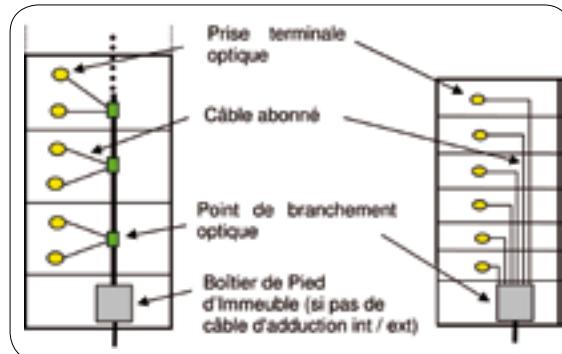


Figure 4.81 : schématisation du câblage d'un petit et d'un grand immeuble (gauche)

Les différents boîtiers d'intérieur à utiliser auront des caractéristiques dépendant de leur environnement (intérieur « avec ou sans présence d'humidité ou de poussières », intérieur avec risques de vandalisme, intérieur avec limite de responsabilité ou non).

4.3.7.3.1 Les boîtiers de pied d'immeuble

Dans le cas d'un immeuble, le câble d'adduction sortant du contenant « PA » viendra alimenter un boîtier de pied d'immeuble « BPI » ou directement un boîtier d'étage PBO.

Le boîtier de pied d'immeuble aura une capacité de 2 à 48 logements.

Il assure la transition entre les câbles d'extérieur et les câbles d'intérieur.

Deux utilisations sont possibles :

- départ direct des câbles 1 ou 2 fibres vers tous les abonnés ;
- départ d'un câble riser contenant toutes les fibres de tous les abonnés.



Figure 4.82 : boîtier de pied d'immeuble

Recommandation pour le choix du BPI :

Hors zone très dense, plusieurs choix techniques existent pour le BPI :

- Boîtier monobloc pour épissage ;
- Boîtier à double compartiment avec interface connectorisée.

Ces choix sont liés à la mise en œuvre de la connexion client, et à la limite de responsabilité entre opérateurs et installateurs.

4.3.7.3.2 Les boîtiers d'étage

Le boîtier de palier est installé dans la colonne montante ou directement en apparent. Il dessert un ou deux paliers et permet de raccorder jusqu'à 12 abonnés en mono ou bi-fibre.



Figures 4.83 : exemple d'un PBO pour le câblage d'un immeuble ancien



Figure 4.85 : DTIO intérieur



Figures 4.84 : boîtier d'étage

Recommandations :

- Dans les colonnes techniques, une attention particulière sera portée à l'accessibilité du boîtier.
- Les boîtiers d'étage devront accepter des épissures mécaniques et des épissures par fusion.
- La présence de connecteurs dans le boîtier d'étage est envisageable pour des raisons de mise en oeuvre et/ou de limite de responsabilité.

4.3.7.3.2 Le Dispositif de Terminaison Intérieur Optique (DTIO)

Typiquement, le DTIO se situera en zone privative dans la gaine technique du logement (GTL), dans le garage en résidentiel ou dans le coffret technique de chaque appartement du collectif immeuble.

Comme présenté précédemment, le DTIO pourra être relié soit :

- Au PBO extérieur qu'il soit en façade, sur poteau ou souterrain ;

- Au boîtier de pied d'immeuble ;
- Au boîtier de palier.

Le branchement du câble chez l'abonné se réalise soit par épissage sur un « pigtail » dans le boîtier de terminaison DTIO, soit par un montage de connecteur terrain ou par l'utilisation d'une extrémité pré-connectorisée.

La fonction du DTIO est de créer une interface entre le câble d'extérieur et le câble d'intérieur, mais aussi d'être un point de test entre le réseau externe et le réseau à l'intérieur de l'habitat. La première fonction pourrait disparaître avec l'usage de câbles « déshabillables » c'est-à-dire pouvant à la fois être utilisables en extérieur et en intérieur et respectant les normes anti feu en vigueur.

Au niveau du DTIO lui-même, les recommandations seront :

- La protection contre tout risque d'interférence avec le rayon laser ;
- La sécurité au niveau de la rétention du cordon de connexion ;
- La fiabilité de l'accroche de la prise sur le mur ;
- La prise en compte éventuelle de fibres additionnelles pour des besoins ultérieurs à l'installation initiale.

4.3.7.3.4 La Prise Terminale Optique (PTO)

La PTO est le boîtier terminal situé chez l'abonné. Il est aussi appelé « prise client ». Il contient une « prise optique », c'est-à-dire une fiche en attente sur son corps de traversée (raccord). Le terminal actif de l'usager (« passerelle », « ONU ») sera branché à l'aide d'un cordon optique.



Figure 4.86 : prise terminale optique 2 fibres

Au niveau de la PTO elle-même, les recommandations seront :

- La protection contre tout risque d'interférence avec le rayon laser ;
- La sécurité au niveau de la rétention du cordon de connexion ;
- La fiabilité de l'accroche de la prise sur le mur ;
- La prise en compte éventuelle de fibres additionnelles pour des besoins ultérieurs à l'installation initiale.



5 RÈGLES ET TECHNIQUES DE MISE EN ŒUVRE DE LA COUCHE INFRASTRUCTURE

RÈGLES ET TECHNIQUES DE MISE EN ŒUVRE DE LA COUCHE INFRASTRUCTURE

Ce chapitre présente les règles et techniques d'installation des éléments d'infrastructure décrits dans le chapitre précédent de la pose des fourreaux à l'aménagement des sites.

5.1 TYPES ET CHOIX DE FOURREAUX

Afin de faciliter la mise en oeuvre 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.

5.2 TRANCHÉES TRADITIONNELLES ET MISE EN PLACE DES FOURREAUX

Les tranchées sont réalisées avec des moyens conventionnels en respectant les règlements de voirie.

En fonction de la configuration du terrain et des réseaux existants (vigilance sur les réseaux gaz), 20ml à 50 ml sont réalisables par jour.

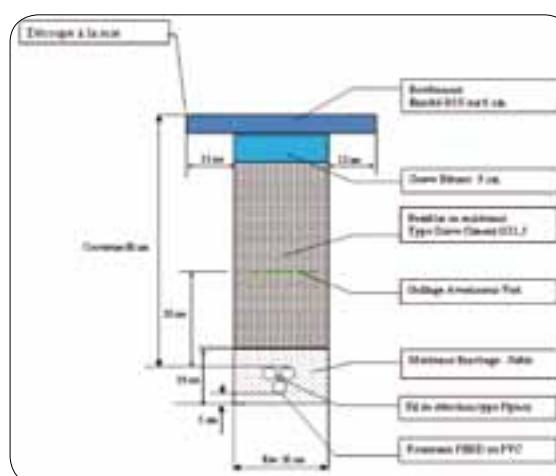


Figure 5.1 : confection de tranchée et mise en place des fourreaux sous chaussée (Classe Trafic Type T5)

Ces tranchées peuvent être réalisées dans tous les cas de figure :

- zone urbaine, zone peu dense ;
- sous trottoir, chaussée, accotement, terrain naturel ;
- quel que soit le revêtement.



Figure 5.2 : pose de fourreau en tranchée standard

5.3 TECHNOLOGIES DE GÉNIE CIVIL ALLÉGÉ

5.3.1 NOUVEAU CADRE NORMATIF

Un nouveau cadre normatif permet de s'assurer que les entreprises réalisent les tranchées de faibles dimensions dans les règles de l'art, garantissant la préservation du domaine public routier.

La réalisation de tranchées de faibles dimensions, appelé Génie Civil allégé est encadrée par une norme expérimentale, référencée XP P98-333 qui définit deux catégories :

- Micro-tranchées, d'une largeur comprise entre 5 et 15 cm,
- Mini-tranchées d'une largeur comprise entre 15 et 30 cm.

Pour les tranchées de largeur inférieure à 30 cm et selon la zone d'implantation de la tranchée, la norme XP P98-333 prévoit le remblayage en matériaux auto-compactant (MAC) ou en matériaux traditionnels (mini tranchées).

Au-delà d'une largeur de 30 cm, c'est le cadre de la norme NF P98-331 qui s'applique.

Dans les deux cas, la hauteur minimale de couverture des réseaux enfouis est égale à 30cm afin de garantir la protection des fourreaux qui contiennent

les câbles optiques vis-à-vis de contraintes mécaniques extérieures.

La norme XP P98-332, qui fixe les règles d'inter-distances entre les différents réseaux, s'applique également pour les réseaux réalisés en tranchées de faibles dimensions. Le guide publié par le CERTU intitulé « Les tranchées de faibles dimensions », apporte des compléments juridiques à la norme XP P98-333 en faisant part des retours d'expériences sur l'emploi des matériaux auto-compactant.

5.3.2 LES PRINCIPES

Les tranchées sont réalisées avec des engins spécifiques type : trancheuse, camion aspirateur, etc. La progression est d'environ 300 à 700 ml/jour en fonction de la configuration du terrain et permet de restituer rapidement la chaussée à la circulation, même en présence de fort trafic.

La micro-tranchée est caractérisée par une largeur généralement comprise entre 5 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.

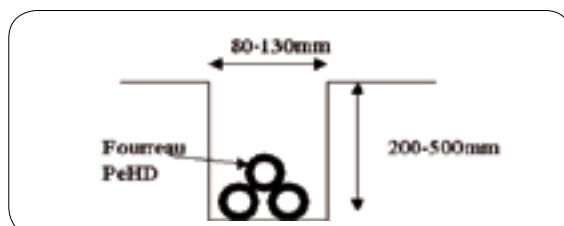


Figure 5.3 : coupe d'une saignée réalisée en micro-tranchage classique - Pose de plusieurs fourreaux

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 (opérateurs ou délégataire) :

- 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.

5.3.3 MATERIAUX 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.

5.3.3.1 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.

5.3.3.2 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 300 à 700 ml/jour avec évacuation journalière totale du chantier et limitation de l'encombrement sur une demi-chaussée.

5.3.3.3 REMBLAI

La tranchée est remblayée au moyen d'un matériau fourni par l'industrie du béton prêt à l'emploi (BPE). Il est auto-compactant, non essorable, à acquisition rapide de portance et réexcavable.

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.

5.3.3.4 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.



Figures 5.4 : machine de micro-tranchage en milieu urbain

5.3.4 LES ÉTAPES POUR LA RÉALISATION D'UNE TRANCHÉE MÉCANISÉE

5.3.4.1 ÉTAPE 1 - PRÉPARATION ÉTUDE ET DÉTECTION

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

- un envoi systématique des DR/DICT afin de recenser les réseaux existants (énergie, assainissement, FT, etc.) ;
- un accord des gestionnaires de voirie sur le tracé et les techniques utilisées ;
- dans les zones sensibles, une campagne de détection non destructive des réseaux existants est recommandée ;
- une gestion rigoureuse des arrêtés de circulation et de stationnement.



Figure 5.5 : étapes de mise en œuvre de micro-tranchage - détection des réseaux existants sous chaussée

5.3.4.2 ÉTAPE 2 - TRANCHAGE

La mise en œuvre doit impérativement être conforme au schéma ci-dessous :

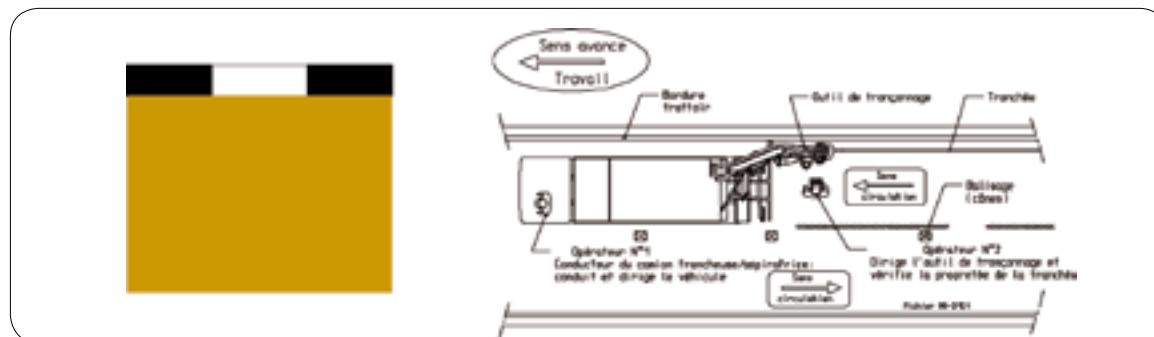


Figure 5.6 : étapes de mise en œuvre de micro-tranchage - tranchage

5.3.4.3 ÉTAPE 3 – POSE DES FOURREAUX

La mise en œuvre doit impérativement être conforme au schéma ci-dessous :

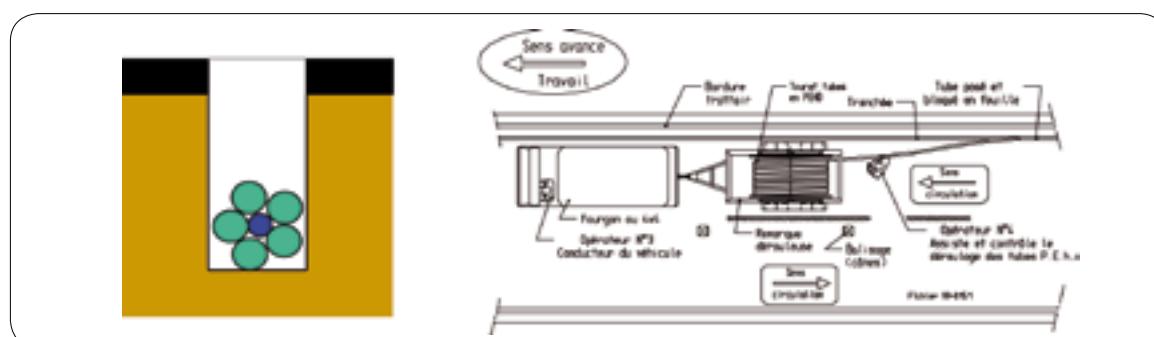


Figure 5.7 : étapes de mise en œuvre de micro-tranchage - pose de fourreaux

5.3.4.4 ÉTAPE 4 – REMBLAITEMENT BÉTON

La mise en œuvre doit impérativement être conforme au schéma ci-dessous :

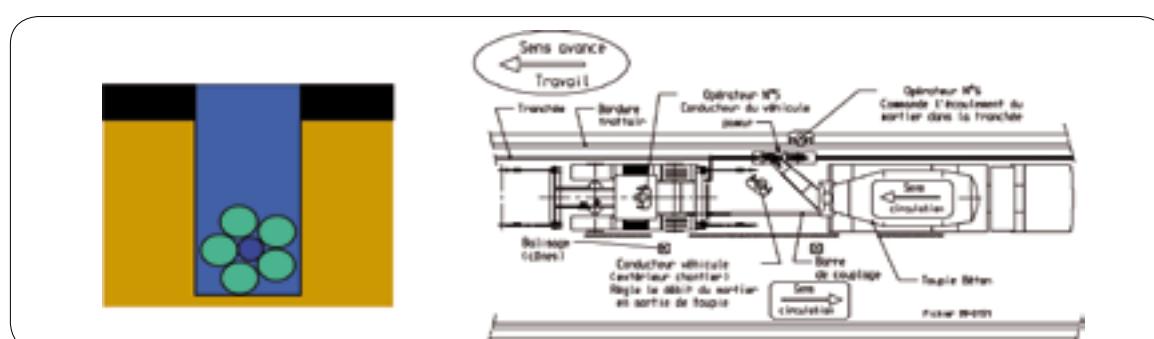


Figure 5.8 : étapes de mise en œuvre de micro-tranchage - remblaiement béton

5.3.4.4 RÉFÉCTION DE LA COUCHE DE ROULEMENT

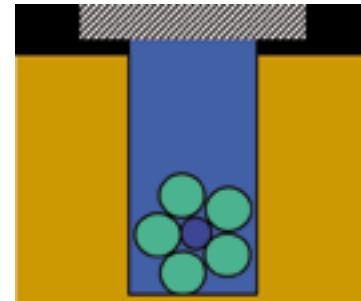


Figure 5.9 : étapes de mise en œuvre de micro-tranchage - réfection de la couche de roulement

5.3.5 CARACTÉRISTIQUES DE L'OUTIL DE TRONÇONNAGE

5.3.5.1 ROUE DE TRONÇONNAGE A ENTRAINEMENT AXIAL SOUS CHAUSSÉE

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

- outil de coupe monté sur double pivot ;
- déport latéral de l'outil extérieur machine : 250 mm côté droit.

Schéma technique

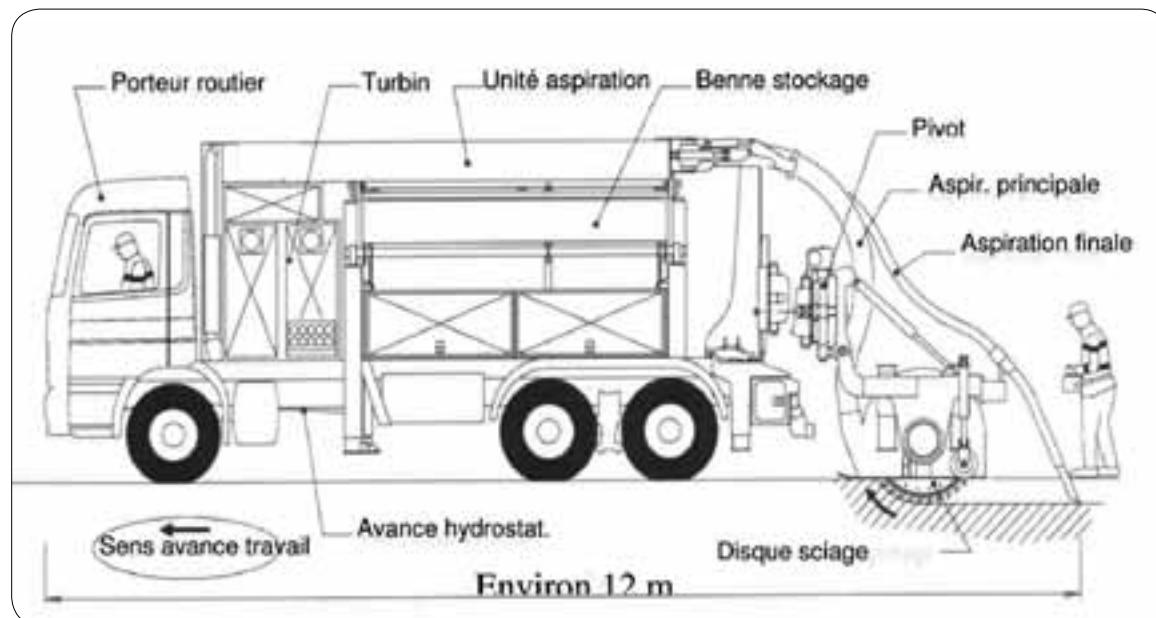


Figure 5.10 : schéma technique de la machine de micro-tranchage en milieu urbain ou semi-urbain sous chaussée

5.3.5.2 ROUE DE TRONÇONNAGE A ENTRAINEMENT AXIAL SOUS CHAUSSÉE ET TROTTOIR

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 5.2 : 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.

Schéma technique

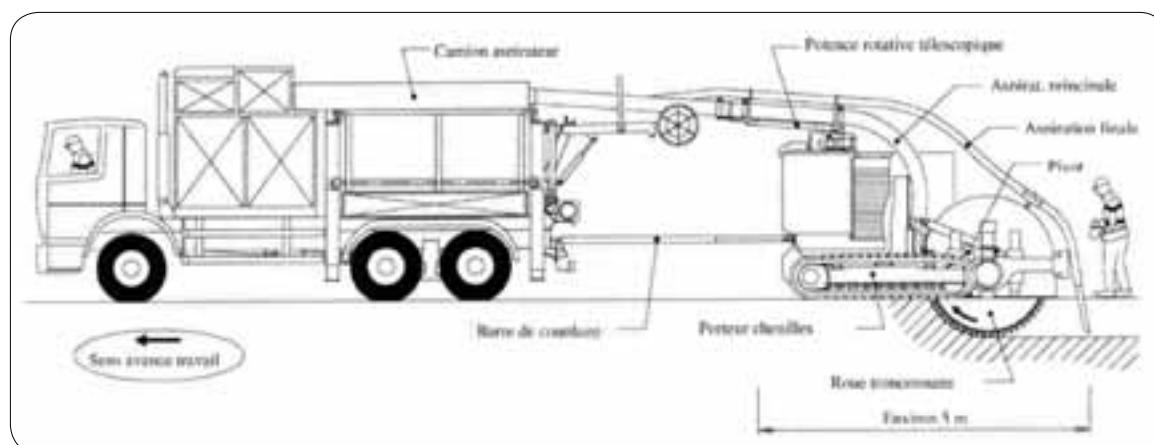


Figure 5.11 : schéma technique de la machine de micro-tranchage sous chaussée ou trottoir



Figure 5.12 : atelier de micro-tranchage en action

5.4 SOUS-TUBAGE

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

5.4.1 SOUS-TUBAGE DE FOURREAUX PEHD

Le sous-tubage est réalisé à l'aide de tubes individuels ou d'assemblages de tubes. 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 2400 mètres maximum (suivant le profil et la nature de la conduite). Un lubrificateur permet d'améliorer sensiblement les performances de pose.



Figure 5.13 : système de pose de micro-tubes par soufflage



Figure 5.14 : pose en conduite occupée avec un câble



Figures 5.15 : pose de micro-conduite





Figures 5.16 pose de micro-tubes indépendants et micro-conduite

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.

5.4.2 SOUS-TUBAGE D'AUTRES TYPES 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.

5.5 AMÉNAGEMENT DES SITES

5.5.1 LOCAUX TECHNIQUES

Les sites hébergent les équipements passifs et/ou actifs. Ils peuvent assurer la fonction de POP, NRO ou PM et dans certains cas pourront être mutualisés pour des services d'hébergement locaux.

La pénétration des câbles dans le site se fait par le sous-sol. De ce fait, les sites sont généralement situés soit en sous-sol ou en RDC d'un bâtiment,

voire dans un shelter. Dans le site, les câbles sont lovés afin de disposer d'une longueur de réserve, dans le cas où il faudrait reprendre des connexions de fibres.

Les sites sont de nature très diverse et l'on pourra trouver selon les possibilités offertes en termes de possibilité d'implantation :

- des locaux en sous-sol ou au RDC d'un bâtiment ;
- des locaux techniques existants (salle informatique d'une commune par exemple), à créer ou à réaménager ;
- des shelters ou modules préfabriqués.

La surface des sites dépend de leur dimensionnement et du nombre de prises raccordables ainsi que des matériels actifs qui y seront installés.

Ces éléments doivent être analysés par type de site (POP, NRO, PM) et étudiés en amont du déploiement opérationnel afin de faire l'objet d'un cahier des charges précis qui intègre principalement les spécifications techniques et exigences répondant aux besoins opérationnels et de sécurisation suivants :

- Fermes de brassage fibres : dimensionnement et type ;
- Fermes de baies actives : dimensionnement et type ;
- Distribution « courants forts » : tableau TGBT, atelier d'énergie, alimentation en mode triphasé ou monophasé ;
- Climatisation des locaux : type de système ;
- Equipements de sécurité et de sûreté : supervision d'alarmes centralisée (Gestion Technique Centralisée), système de contrôle d'accès, sécurité anti incendie ;...

- 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 ;
- Pérennité des conditions d'usage : le coût de migration d'un NRO 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),
- Zone de dégroupage ou point de mutualisation : 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 NRO.

Le « dégroupage actif » consiste à héberger les équipements actifs tiers et requiert dès lors un supplément d'espace et de capacité de refroidissement. Les points accessibles aux opérateurs de service doivent être dimensionnés et organisés pour pouvoir colocaliser les matériels actifs des opérateurs clients de l'infrastructure. 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.

5.5.2 IMPLANTATION DES SITES : SHELTERS OU ARMOIRES

A l'instar des sites du réseau de téléphonie mobile, le positionnement des sites d'un réseau FTTH est structurant dans la conception et l'optimisation du réseau. L'implantation d'armoires ou de shelters nécessitant de disposer d'un accord du gestionnaire public ou privé, la qualité de recherche et la négociation pour l'implantation de ces sites est déterminante. L'armoire de rue sera choisie différemment suivant que l'on sera en présence d'un noeud de réseau passif type PON ou P2P ou d'un noeud de réseau actif avec équipements.

5.5.2.1 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.

5.5.2.2 LES ARMOIRES PASSIVES

Comme en sous-répartition cuivre, l'armoire passive sera dimensionnée pour assurer le maximum de confort aux intervenants. A l'instar des locaux techniques, il est nécessaire d'établir un cahier des charges précis de ces armoires permettant notamment de respecter les exigences décrites dans le § 4.3.6.2.1.3.

5.5.2.3 SHELTER

Les exigences sont décrites dans le § 4.3.6.2.2.

5.6 MUTUALISATION DES LOCAUX TECHNIQUES POUR DES SERVICES D'HÉBERGEMENT

Le déploiement des réseaux fibres optiques sur le territoire national devrait favoriser l'émergence de Data Center départementaux et locaux neutres, réalisés à l'initiative des collectivités ou des opérateurs aménageurs pour favoriser le développement des entreprises locales en donnant accès à des ressources informatiques et matérielles mutualisées suivant le concept d'informatique en nuage : « cloud computing ».

Ce concept consiste à déporter sur des serveurs distants des stockages et des traitements informatiques généralement localisés sur des serveurs locaux ou sur le poste de travail de l'utilisateur. Les entreprises ne gèrent plus leurs serveurs informatiques mais peuvent ainsi accéder de manière évolutive à de nombreux services en ligne.

C'est sans aucun doute la présence de réseaux à très haut débit sur fibre optique qui permet cette évolution.

Les salles techniques créées pour l'installation des NRO, et qui reçoivent des équipements actifs des opérateurs pourront héberger les équipements informatiques et de communication permettant ainsi une mutualisation des systèmes. Dans ce cas, une zone spécifique cloisonnée doit être réservée pour les services d'hébergement.

Systèmes mutualisés :

- Distribution de l'énergie ;
- Alimentation de secours ;
- Système de détection d'incendie ;
- Système d'extinction automatique des incendies ;
- Vidéo surveillance ;
- Contrôle des accès ;

- Supervision et transmission des alarmes ;
- Dispositifs de gestion des réseaux ;
- Réseaux fibres optiques sécurisés pour liaisons intersites.

Les communications à l'intérieur du centre d'hébergement ou vers le monde extérieur utiliseront généralement le protocole IP. Il conviendra donc de positionner dans le centre d'hébergement les routeurs et commutateurs qui permettront d'assurer les transmissions entre les serveurs.

Il serait judicieux de choisir une structure modulaire pouvant recevoir les équipements réseaux et serveurs, les blocs onduleurs et bénéficier d'un câblage optique et cuivre totalement intégré.



Figure 5.17 : baies communications et serveurs

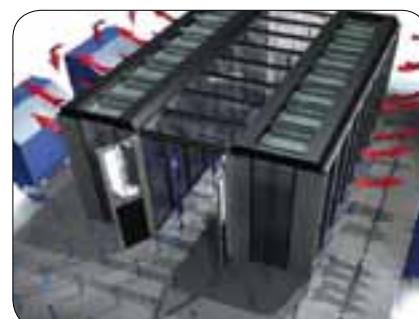


Figure 5.18 : corridors froids, haute densité



Figure 5.20 : accès connectique



Afin d'optimiser les performances énergétiques, la mise en oeuvre d'un corridor froid, hermétiquement fermé avec circulation d'air entre les serveurs, sera préconisée. Il permet d'abaisser la température de l'ensemble et augmente la densité de serveurs. Par ailleurs, la structure n'impose pas de plancher technique dans un local de petites dimensions.

L'intégration d'un câblage pré-connectorisé en usine, permet une mise en place rapide, un câblage court et uniforme et assure une plus grande qualité ainsi qu'une identification rationnelle.

Le choix de penser hébergement informatique lors de la construction d'un local technique dédié aux équipements passifs et actifs du réseau d'accès FTTH, rationalise les performances en termes d'installation d'exploitation et de coût.

5.7 TECHNIQUES DE CONTRÔLE DE LA COUCHE INFRASTRUCTURE

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, etc.), 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.

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.

5.7.1 CONTRÔLE DU GÉNIE 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, etc.) ;
- le respect des côtes (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.

5.7.2 CONTRÔLE 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, etc.) ;
- 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 minutes. Un bouchon étanche est installé à chaque extrémité des micro-tubes après ces tests.



Figure 5.21 : accessoires de contrôle des micro-tubes

5.7.3 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.

5.7.4 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 des réinterventions 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 :

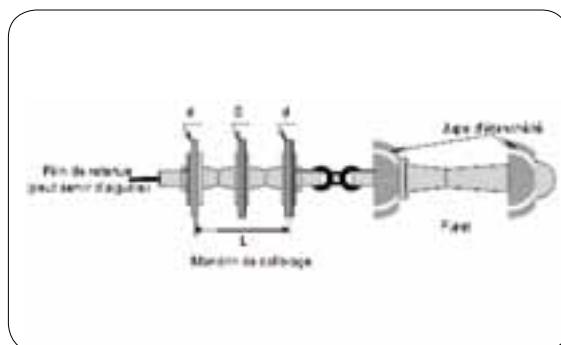


Figure 5.22 : mandrin adapté au contrôle des conduites PVC

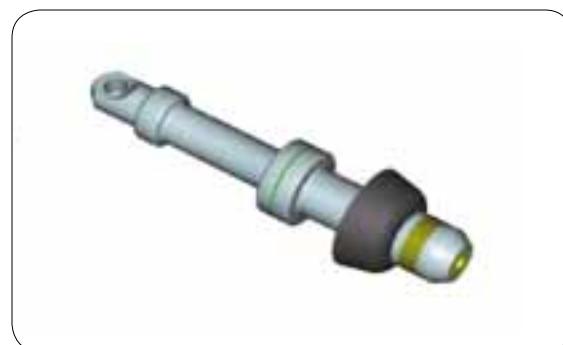


Figure 5.23 : mandrin adapté au contrôle des conduites PeHD

Type Ø 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 5.3 : dimension des mandrins en fonction des types et dimensions de la conduite à contrôler

5.7.5 CONTRÔLE 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.

6

RÈGLES ET TECHNIQUES DE MISE EN ŒUVRE DE LA COUCHE OPTIQUE PASSIVE

RÈGLES ET TECHNIQUES DE MISE EN ŒUVRE DE LA COUCHE OPTIQUE PASSIVE

6.1 POSE DES CÂBLES DANS L'INFRASTRUCTURE D'ACCÈS SOUTERRAINE

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

6.1.1 LES CONTRAINTES APPLIQUÉES AU CÂBLE

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.

6.1.1.1 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.

6.1.1.2 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.

6.1.1.3 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, etc.) seront utilisés afin de limiter les rayons de courbure des câbles et également afin de réduire le frottement sur des angles vifs.

6.1.1.4 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.

6.1.1.5 LES CONTRAINTES CLIMATIQUES

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

6.1.2 POSE DE CÂBLES 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.

6.1.2.1 RECOMMANDATION POUR LE TIRAGE DE LONGUEURS DE 0 A 900 M

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

6.1.2.2 RECOMMANDATION POUR LE TIRAGE DE LONGUEURS SUPÉRIEURES A 900M

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.

6.1.2.3 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.

6.1.3 POSE DU CÂBLE 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 sinués ; le système reste limité au maximum de traction tolérée 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.

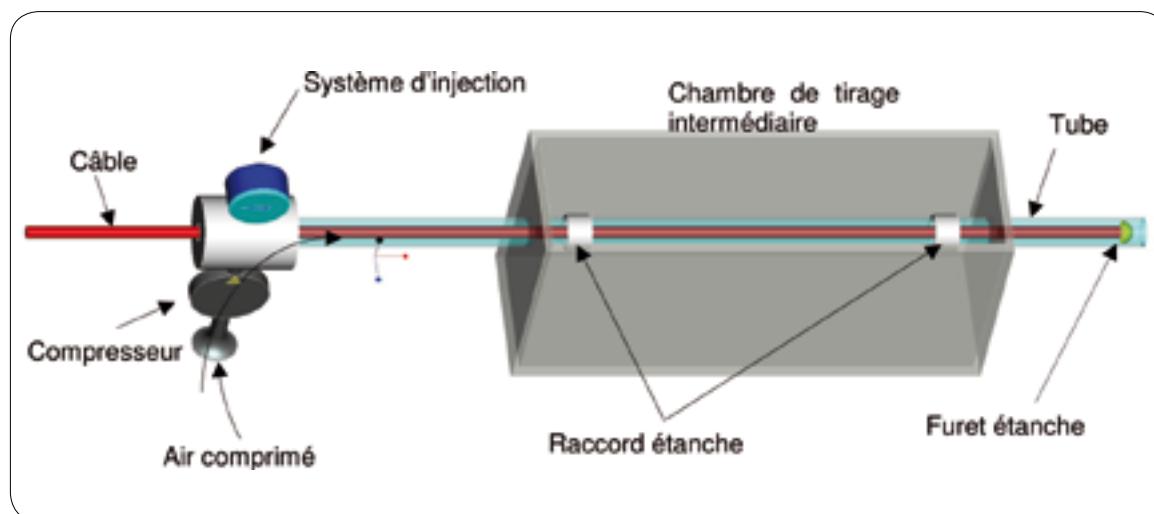


Figure 6.1 : pose par soufflage - tirage

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.

6.1.4 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.

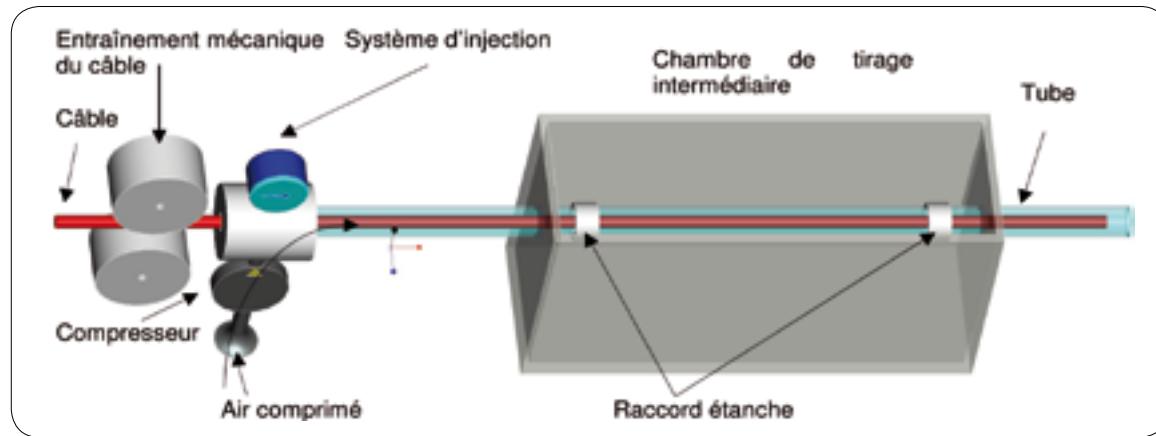


Figure 6.2 : pose par soufflage

6.1.4.1 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 2^{ème} câble et à son usage dans les accessoires de réserve de lavage.

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 mètres, 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.

6.1.4.2 POSE DE CÂBLES MULTIPLES

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

Si ces 2 conditions sont remplies, on peut espérer atteindre avec le 2^{ème} 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.

6.1.4.3 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 chance 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 fabricants 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
Ø 51 / 63 mm	20 000 litres / minute

Tableau 6.1 : 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. Lorsque la température extérieure est supérieure à 25°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.

6.1.5 POSE DU CÂBLE 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 6.2 : distance de pose par flottage - 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.

À 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.

6.1.5.1 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 2^{ème}, voire 3^{ème} câble, les performances du flottage sont nettement supérieures à celle du soufflage.

6.1.5.2 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.

6.1.6 POSE DES MICRO-CÂBLES PAR SOUFFLAGE À 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 du nombre de courbes et du parcours du micro-tube.

6.2 POSE DES CÂBLES DANS L'INFRASTRUCTURE D'ACCÈS AÉRIENNE

6.2.1 UTILISATION DES APPUIS DES RÉSEAUX AÉRIENS DE DISTRIBUTION PUBLIQUE D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE BASSE TENSION ET D'ÉCLAIRAGE PUBLIC

Les règles de mise en œuvre des câbles optiques sont définies dans le « guide pratique des appuis communs, installations sur lignes BT », annexe technique des conventions relatives à l'usage du réseau public de distribution d'électricité en basse tension (BT, jusqu'à 400 V) et haute tension (HTA, entre 1 et 40 kV) pour l'établissement et l'exploitation d'un réseau de communications électroniques en fibres optiques.

L'utilisation des appuis suppose d'une part que ces règles soient strictement respectées et d'autre part qu'une convention soit établie avec la collectivité propriétaire du réseau électrique, son concessionnaire et l'opérateur de communications électroniques du réseau optique.

La mise en place de boîtes (ou de boîtiers de raccordement optiques) sur les appuis peut constituer une alternative intéressante à la mise en place systématique de chambres et de remontées aéro-souterraines. Il convient de bien valider les principes de mise en œuvre de ces équipements avant un déploiement afin de respecter les impératifs esthétiques en regard des optimisations budgétaires associées.

6.2.2 UTILISATION DES APPUIS FRANCE TÉLÉCOM

France Télécom prévoit la commercialisation d'une offre de location (cf chapitre 1). Cette offre en cours d'expérimentation dispose d'une annexe technique appelée « règles d'ingénierie pour l'offre d'accès aux Appuis Aériens de France Télécom dans le cadre du déploiement des réseaux FTTH ».

6.2.3 TECHNIQUES DE MISE EN ŒUVRE

6.2.3.1 MATÉRIELS UTILISÉS

Les principes de mise en œuvre et les matériels utilisés sont similaires à ceux qui sont appliqués par les entreprises dans le cadre du déploiement de ligne téléphoniques.

Le portage aérien est un mode de déploiement permettant la pose de câble à fibres optiques.

Les matériels nécessaires pour cette opération sont les suivants :

- nacelle ;
- une à plusieurs poulies ;
- pince d'ancrage ou de suspension qui permet l'accrochage du câble à la traverse ;
- un kit de fixation par poteau :
 - cerclage en feuillard ;
 - 2 équerres ;
 - 1 traverse.



Figure 6.3 : pince d'ancrage

Ces matériels s'adaptent aux différents diamètres de câbles utilisés.

6.2.3.2 EXEMPLE DE MISE EN ŒUVRE SUR LE TERRAIN

6.2.3.2.1 *Etape 1- mise en place du balisage*



Figures 6.4 : mise en place du balisage

6.2.3.2.2 *Etape 2 - mise en place des poulies provisoires*



Figure 6.5 : mise en place des poulies provisoires

6.2.3.2.3 *Etape 3 - Passage du câble dans les poulies*



Figure 6.6 : passage dans les poulies

6.2.3.2.4 *Etape 4 – Suppression des poulies provisoires*

A la fin du tirage, la poulie provisoire est retirée afin d'installer la pince de suspension définitive.

6.2.3.2.4 *Etape 5 - Mise en place définitive du câble*

A chaque extrémité du parcours, le câble sera fixé au poteau à l'aide de plusieurs cerclages feuillard. Un love sera réalisé et une étiquette sera posée.



Figure 6.7 : création d'un love

6.2.3.3 CAS D'UN POTEAU NON EQUIPÉ DE KIT DE FIXATION

6.2.3.3.1 *Etape 1 - Mise en place du cerclage feuillard*

La traverse sera installée au niveau d'une marche.



Figure 6.8 : mise en place du cerclage feuillard

6.2.3.3.2 *Mise en place des équerres spéciales poteau béton*

Dans le cas de poteau en bois des équerres spécifiques sont utilisées.



Figure 6.8 : mise en place d'équerre

6.2.3.3.3 *Etape 1 - Mise en place de traverse avec visserie*



Figure 6.9 : mise en place de traverse

6.3 MISE EN ŒUVRE DES JOINTS ET COUPLEURS

Tout réseau FTTH comprend divers points de flexibilité qui permettent à l'architecture adoptée de répondre au mieux au délicat compromis taux de clients adressables / répartition géographique.

Ces points de flexibilité se répartissent en joints et coupleurs. Comme décrit dans le chapitre traitant des composants, les joints sont des boîtes étanches permettant le raccordement de plusieurs câbles optiques. Ils sont également nommés protection d'épissures optiques.

Les coupleurs sont des éléments passifs comportant 1 entrée (le tronc) et n sorties (les branches). Ils permettent après raccordement du tronc et des sorties, d'obtenir la capillarité optique souhaitée en ingénierie. Les coupleurs utilisés dans les réseaux FTTH vont du 1 vers 2 au 1 vers 64.

L'une des conséquences du compromis ingénierie précisé ci-dessus, ce sont des contraintes de déploiement pour ces points de flexibilité. Joints et coupleurs sont ainsi amenés à être principalement déployés dans les 2 ensembles suivants :

- Chambres libres (cas de la création de génie civil) ou occupées (location) ;
- Aérien.

6.3.1 DEPLOIEMENT EN SOUTERRAIN GÉNIE CIVIL OCCUPÉ

La définition du joint constitue la première étape avant déploiement. Les joints seront choisis afin de répondre aux critères suivants :

- Encombrement du joint par rapport au contenant (chambre, autre, etc.) ;
- Caractéristiques de protection du joint (étanchéité, résistance aux chocs, etc.) ;



Figure 6.10 : Joint ou protection d'épissure optique

- Dimensionnement du joint par rapport aux critères câbles entrant et sortant ;
- Configuration du joint : joint droit, division, piquage en ligne ;
- Fonctionnement de l'organiseur interne : gestion des fibres, des tubes, des coupleurs ;
- Evolutivité du joint : capacité d'extension, facilité de mise en œuvre de nouveaux câbles.

6.3.1.1 ENCOMBREMENT DU JOINT

En génie civil occupé, le critère d'encombrement est majeur. Les joints existent dans tous types de dimensions et de capacités. La capacité donnée (exprimée en nombre de fusions ou épissures mécaniques) est le premier critère de choix. A capacité équivalente, 2 joints peuvent présenter des encombrements différents.

La majorité des joints sont disposés dans une configuration épi (figure 6.11). Dans ce schéma, les câbles entrants et sortants sont situés sur un seul côté du joint. Cela réduit la zone de lavage à un seul espace et représente un gain potentiel en encombrement par rapport à une configuration entrée / sortie opposées.

Une configuration épi peut s'allier à un positionnement du joint en vertical ou horizontal selon l'espace alloué dans le génie civil contenant.

Figure 6.11 : Positionnement d'un joint dans une chambre





Figures 6.12 : installation d'un boîtier dans une chambre

Les joints de petite taille présentent plus souvent une configuration entrées / sorties opposées : cela permet d'augmenter la surface allouée aux entrées de câbles comparativement à la configuration épi. Les câbles peuvent être lovés séparément (entrée / sortie) de part et d'autre du joint ou, de manière unique autour du joint.

Le critère encombrement ne doit cependant pas altérer la flexibilité du point technique que constitue le joint. Un emplacement pensé et étudié en phase ingénierie peut être revu en phase déploiement.

6.3.1.2 CARACTÉRISTIQUES DE PROTECTION DU JOINT

Les joints présentent tous une étanchéité sur le boîtier et sur les entrées de câbles.

La protection générale du joint répond à une norme Européenne (NF EN 60 529) qui classe les joints.

Le degré de protection IP XY présente 2 chiffres significatifs :

X variant de 0 à 6 : indice de protection contre les corps solides ;

Y variant de 0 à 8 : indice de protection contre la pénétration de l'eau ;

Les joints posés en génie civil (chambres, égouts) présentent un indice IP68.

L'étanchéité physique du boîtier est assurée lors de sa fermeture par un ou plusieurs joints recouvrant les bords. 2 systèmes de fermetures font foi :

- Fermeture sans outil : facilite l'accès et les ré-interventions sur boîtier ;
- Fermeture avec outil : sécurise l'accès au boîtier.

Les entrées de câbles doivent assurer une étanchéité parfaite : l'arrimage et la fixation des câbles optiques est définitive lors de la mise en œuvre du joint. Comme pour la fermeture du boîtier, 2 systèmes sont majoritairement utilisés :

- Etanchéité par thermo-rétractable ;
- Etanchéité par kit mécanique.

L'étanchéité par thermo-rétractable implique l'utilisation conjointe d'une chaufferette (électrique) et d'un kit associé (aluminium de protection, gel, procédure à suivre) : le système nécessite un soin particulier pour les câbles de petit diamètre lors de la phase de chauffage.

Bien réalisé, l'étanchéité est parfaite et définitive : une ré-intervention sur une entrée de câble thermo chauffée est délicate (réchauffe et pose d'un kit de ré-intervention).



Figure 6.13 : entrée de câble par thermo rétractable

L'étanchéité par kit mécanique est d'une mise en œuvre simple : l'outillage est réduit et facilite les ré-interventions éventuelles sur les entrées de câbles. Tout rajout de câbles s'effectue à l'extérieur du contenant fibre diminuant ainsi tout risque de manipulation sur des fibres activées.

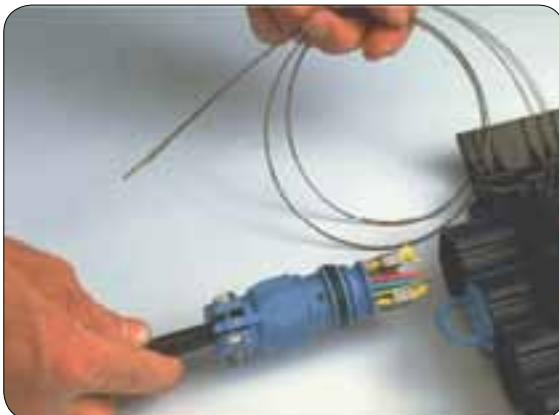


Figure 6.14 : entrée de câble par kit mécanique



Figure 6.15 : entrée de câbles multiples bloc GEL

Selon les fabricants, un même joint peut être disponible avec les 2 versions d'entrée de câble.

6.3.1.3 DIMENSIONNEMENT DU JOINT

Le dimensionnement du joint se fait sur les critères suivants :

- Nombre de fusions ou de soudures à froid (épissurage mécanique) ;
- Nombre de fusions et de coupleurs optiques (par type) ;
- Nombre d'épissurages mécaniques et de coupleurs optiques (par type) ;
- Nombre de câbles entrant et sortant et diamètre maximum des câbles.

C'est un compromis entre ces différents paramètres qui permet d'affiner le joint à choisir. La présence de coupleurs (FTTH PON) diminue la capacité en nombre d'épissures du joint : elle nécessite également des cassettes spécifiques avec des berceaux adaptés pour le positionnement des coupleurs.

6.3.1.4 CONFIGURATION DU JOINT

en fonction de l'architecture optique retenue, un même joint peut être configuré selon 3 schémas types. Chacune de ces configurations est liée à un plan de fibrage adapté. La configuration adoptée, module la capacité du joint retenu.

6.3.1.4.1 Configuration joint droit

Les câbles entrant et sortant présentent la même capacité fibre. Continuité de câble sur la boucle principale.

Correspondance entre les numéros de fibres entrantes et sortantes.

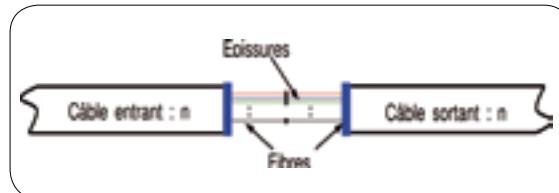


Figure 6.16 : configuration joint droit

6.3.1.4.2 Configuration distribution

Un câble principal est divisé entre plusieurs sorties. Point de flexibilité important dans un réseau FTTH.

Les capacités fibres entrantes et sortantes ne sont pas forcément égales. Les fibres non raccordées sont en attente dans le joint.

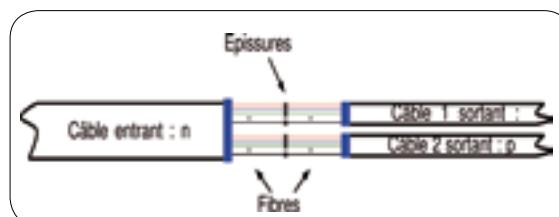


Figure 6.17 : configuration distribution

6.3.1.4.3 Configuration piquage en ligne

Alimentation de boucles secondaires à partir d'une boucle principale. Le câble principal peut être piqué sur plusieurs joints successifs.

Raccordement des fibres piquées et lovage des fibres non déviées. Nécessite une préparation spécifique du câble principal (fenêtre).

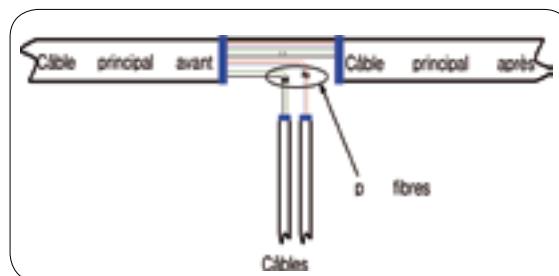


Figure 6.18 : configuration piquage en ligne

6.3.1.5 FONCTIONNEMENT DE L'ORGANISEUR INTERNE

L'organiseur interne permet :

- Le stockage des fibres et des tubes non utilisés ;
- Le raccordement des fibres par fusion ou par soudure à froid ;
- De positionner et raccorder les coupleurs optiques.

Les fonctionnalités de l'organiseur sont partiellement modulables par le choix des cassettes composant le joint. Selon le type de réseau FTTH, on associe les cassettes spécifiques correspondant à l'architecture déployée. A chaque personnalisation du joint correspond ainsi une capacité et une mise en œuvre propres.

6.3.1.6 EVOLUTIVITÉ DU JOINT

Un réseau FTTH est évolutif : un déploiement initial se fait rarement à dimensionnement maximal. Les interventions et possibilités d'évolution des points techniques (joints, armoire de rue, etc.) sont primordiaux.

Par ailleurs, les collectivités peuvent faire le choix d'un réseau FTTH neutre au regard de la technologie utilisée (P2P, PON, etc.) : ce critère réseau FTTH ouvert entraîne une forte flexibilité / évolutivité des joints déployés.

La flexibilité du joint porte ainsi sur les points clés suivants :

- Affectation fibre à fibre sur tout couple possible câble entrant / sortant ;
- Ajout / Retrait de cassette pour augmentation capacité de raccordement ;
- Ajout / Retrait de cassette pour changement de fonctionnalité du joint (coupleur, mode d'épissurage, etc.) ;
- Ajout de câbles sur un réseau activé sans altération des câbles déployés ;
- Exploitation/Maintenance : intervention sur fibres coupées, facilité d'accès aux épissures.

6.3.2 DÉPLOIEMENT EN AÉRIEN

La pose en aérien des joints optiques est une alternative importante dans le cas de l'absence de génie civil enterré. Les joints optiques jadis spécifiques à une utilisation dédiée aérien ou chambre enterrée, présentent aujourd'hui des configurations mixtes.

Ainsi, des joints en chambre présentent des indices IP68 et sont adaptés pour une pose en façade ou sur poteau.

Les critères de choix du joint en chambre s'appliquent ici sans restriction hormis l'aspect entrée des câbles. Une solution entrée par bloc gel s'impose pour les manipulations sur poteau ou façade.

Cette mixité implique des soudeuses optiques adaptées en programme de mesure au raccordement de fibres différentes.



Figure 6.19 : soudeuse alignement sur cœur

6.4 ÉPISSURAGE ET RE-INTERVENTION

Un réseau FTTH comporte depuis l'OLT vers l'ONT, de nombreux éléments passifs qu'il faut coupler entre eux pour assurer la continuité optique : pigtails sur tiroir optique, câbles optiques de transport, coupleurs, tête optique dans baies outdoor, câble optique de distribution, etc.

Le mode de couplage majeur utilisé est aujourd'hui l'épissurage. L'épissurage se décomposant à nouveau en deux types :

- Epissurage par fusion ;
- Epissurage mécanique.

A ce mode de couplage, s'ajoute les solutions pré-connectorisées. Cette alternative implique la connaissance précise des métrés entre les éléments à raccorder pour la pose d'un câble optique pré-connectorisé adapté au linéaire.

6.4.1 ÉPISSURAGE PAR FUSION

La fusion consiste en l'utilisation d'un arc électrique pour le raccordement de 2 fibres nues. Les fibres soudées par fusion sont ensuite protégées par un thermo rétractable.

Pour le FTTH, l'arrivée de fibre G657 a permis une optimisation des produits. Un déploiement FTTH peut ainsi s'effectuer sur l'utilisation de 2 types de fibres (G652 et G657).



Figure 6.20 : soudeuse alignement sur gaine

d'accès au joint. Dès l'accès aux fibres soudées, l'opérateur peut casser la soudure et réitérer l'opération de fusion effectuée lors du déploiement initial.

Pour pouvoir effectuer ces opérations, une sur-longueur de fibre est laissée dans la cassette de raccordement. La sur-longueur est liée à deux besoins: permettre la réalisation d'épissures en dehors de la cassette et ré-intervenir pour des opérations de maintenance.

6.4.2 ÉPISSURAGE MÉCANIQUE

L'épissure mécanique est une alternative à la fusion notamment pour la partie terminale du réseau FTTH : l'abonné.

Le bilan optique est étudié en amont, la perte par insertion légèrement supérieure n'est pas pénalisante. L'outillage mis en œuvre plus réduit (critère important lors d'une mise en service abonné) et moins onéreux comparativement à une fusion, explique son utilisation sur l'ONT.

La ré-intervention est là aussi aisée et présente les mêmes aspects que ceux évoqués pour la fusion (accès à l'épissure existante, nombre de ré-intervention limité par la longueur fibre disponible dans les cassettes, etc.).



Figure 6.21 : kit d'épissage mécanique

- Chambre de Raccordement : concerne la desserte des abonnés en positionnant le PBO dans des chambres de tirage (essentiellement dans le cadre de lotissements) ;
- Sur appui aérien : desserte avec PBO sur appui (Basse Tension, Appui bois ou béton). Ce mode de pose est généralement utilisé dès lors que les réseaux de branchements existants sont aériens ;
- Borne pavillonnaire : desserte des abonnés en positionnant le PBO dans des bornes pavillonnaires spécifique.

Le câble de branchement permet le raccordement des abonnés par piquage (6 à 8 au maximum) que ce soit en adduction façade, aérienne ou souterraine.

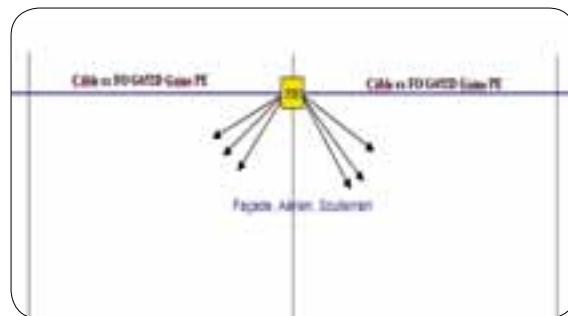


Figure 6.22 : Raccordement câbles sur PBO

6.5 MISE EN ŒUVRE DES RACCORDEMENTS D'ABONNÉS

6.5.1 MODE DE POSE DES POINTS DE BRANCHEMENT OPTIQUE (P.B.O)

Les différents types de pose sont listés ci-dessus :

- Intérieur : dans une gaine technique ou colonne montante existante, le cas le plus fréquent en ZTD (habitat collectif) mais qui se présente également hors de ces zones ;
- Façade : pour petit immeuble le réseau de desserte cuivre est déjà sur façade ;

6.5.2 MODE DE POSE DES CÂBLES POUR UN RACCORDEMENT ABONNÉ

Quel que soit le mode de pose des câbles de branchement, il sera fait usage de câbles équipés de fibres G657 avec une structure type multi-usages pouvant convenir aux différents modes de pose :

- Intérieur : de la colonne montante à la prise optique. Le câble peut être positionné sous fourreau, goulotte, collé ou agrafé au mur ;
- Façade : la pose du câble de branchement (liaison PBO point de pénétration extérieur/intérieur) se fait par fixation sur la façade en essayant au maximum de suivre le parcours du câble cuivre déjà existant (Utilisation d'une nacelle élévatrice) ;

- Souterrain : le câble de branchement est déroulé dans un des fourreaux d'adduction existant de type PVC ou PE
- Aérien : le câble de branchement utilise les infrastructures support aériennes (cf. paragraphe précédent) existantes avec des portées allant jusqu'à 50/60 m (utilisation d'une nacelle élévatrice).

6.5.3 DÉROULEMENT D'UNE INTERVENTION DE RACCORDEMENT

Les différentes « phases » d'une intervention pour le raccordement sont décrites ci-dessous :

- établissement d'une fiche initiale de raccordement comportant :
 - adresse de l'abonné ;
 - localisation du PBO ;
 - matrice de raccordement (identification du circuit abonné jusqu'au PM/NRO).
- réalisation des études de raccordement :
 - visite terrain pour validation du parcours ;
 - démarches administratives (obtention des différentes autorisations).
- prise de rendez-vous pour réalisation des travaux.
- intervention pour le raccordement :
 - fourniture et pose du câble de raccordement de type G657 (2 FO) ;
 - fourniture et pose d'ancrages si nécessaire ;
 - cheminement intérieur ou utilisation d'une nacelle élévatrice pour le raccordement façade ou aérien ;
 - pose et raccordement de la prise murale (DTIO) ;
 - réalisation d'un compte rendu d'intervention.

6.6 SCÉNARIOS DE DÉPLOIEMENT

6.6.1 INTRODUCTION

Dans le cas où un réseau FTTH serait déployé indépendamment des réseaux existants, le coût de mise en place des seules infrastructures de génie civil le supportant (tranchées, poteaux, etc.) représente une partie très importante du coût total du déploiement.

La mobilisation d'infrastructures existantes permet de réduire significativement ce coût de déploiement.

L'enjeu est donc de pouvoir préalablement au déploiement réaliser des études d'ingénierie détaillées ayant pour objectif de faire un recensement précis des infrastructures existantes, de qualifier technique et juridiquement la possibilité de les utiliser et enfin de pouvoir définir une stratégie de déploiement et un cahier des charges précis des techniques et règles qui seront mises en œuvre.

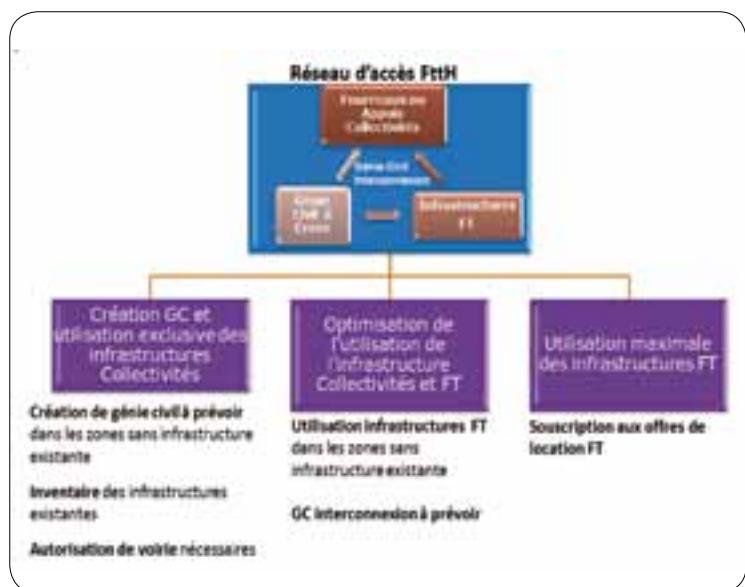


Tableau 6.3 : stratégies de déploiement d'un réseau FTTH

6.6.2 UTILISATION GÉNIE CIVIL FT

Dans l'emprise de la boucle locale, France Télécom a l'obligation de répondre aux demandes d'accès raisonnables à ses infrastructures de génie civil émanant des opérateurs déployant des réseaux FTTx.

Cette offre s'adressait initialement aux opérateurs souhaitant déployer des réseaux en fibre optique capillaire de type FTTH. Elle intègre désormais également certains processus et règles d'ingénierie adaptés pour répondre aux besoins des opérateurs souhaitant raccorder des clients d'affaires et certains éléments de réseaux.

Cette offre de location s'articule autour de règles génériques d'affectation de ressources dans les éléments loués du génie civil (conduites, alvéoles, chambres) : le respect de ces règles par les opérateurs doit permettre d'optimiser l'utilisation des ressources disponibles, et le cas échéant traiter certains cas de saturation du génie civil.

La nouvelle version de l'offre, en application de la dernière analyse de marché de 2011, prendra en compte le cadre de la mutualisation des segments terminaux des réseaux FTTH, ce qui se traduira en pratique par la mise en oeuvre de règles d'ingénierie adaptées en fonction du type déploiement conduit par l'opérateur :

- pose d'un réseau mutualisé : baisse des contraintes préexistantes en matière d'espace devant être laissé vacant post déploiement, facilité d'occupation des chambres, processus de dé saturation pris en charge par France Télécom ;
- pose d'un réseau visant le raccordement d'un point de mutualisation : maintien de contraintes permettant de s'assurer de la capacité des opérateurs à conduire des déploiements successifs ;
- pose d'un autre type de réseau (raccordement d'un client d'affaire ou d'un élément de réseau par exemple) : le déploiement de ces réseaux est considéré comme une demande raisonnable d'accès, toutefois ils supportent des contraintes supplémentaires en matière d'espace devant être laissé disponible pour le déploiement des réseaux FTTH capillaires.

Dans le cadre du déploiement de nouvelles boucles locales optiques capillaires FTTH, il apparaît immédiatement que le réseau existant de France Telecom présente un certain nombre de caractéristiques intéressantes d'un point de vue technique.

La structure du réseau construit essentiellement pour accueillir les câbles du réseau téléphonique est de type arborescente (donc similaire un réseau de desserte FTTH) avec 100% des logements connectés dans le cadre de la délivrance du Service Universel.

Les réseaux France Télécom sont souvent souterrains dans les zones urbaines ou dans le centre des bourgs.

6.6.3 UTILISATION DU RÉSEAU DE DISTRIBUTION ÉLECTRIQUE HTA/BT

Comme vu en 6.2, le réseau public de distribution électrique présente lui aussi des caractéristiques très intéressantes pour le déploiement d'un réseau FTTH. En effet, la structure du réseau BT est également arborescente avec 100% des logements connectés.

Ce réseau appartient à la collectivité (syndicat départemental ou commune). L'établissement et l'application d'une convention d'utilisation des appuis avec cette collectivité et son gestionnaire (ERDF le plus souvent) est le seul pré-requis pour l'utilisation de ces appuis (calculs de charge à partir du logiciel CAMELIA, agréé ERDF).

Ces réseaux présentent toutefois la contrainte de n'être utilisables qu'en aérien dans un contexte où les collectivités engagent des investissements importants en matière d'enfouissement de réseaux, sans compter la tendance du distributeur principal (ERDF) à progressivement enfouir les conducteurs électriques (insertion environnementale, plan aléas climatiques pour éviter la destruction ou l'endommagement des lignes dus à la conjonction vents forts, neige collante, etc.).

6.6.4 UTILISATION DE GÉNIE CIVIL EXISTANT : COLLECTIVITÉS OU AMÉNAGEUR

L'utilisation du génie civil des collectivités constitue une alternative extrêmement intéressante pour optimiser la mise en œuvre d'un réseau FTTH. Les pré-requis à la mise en œuvre sont toutefois nombreux.

Il est en premier lieu nécessaire de réaliser un inventaire des tracés (et de leur propriété).

Dans le cas de l'identification d'un génie civil non construit pour des réseaux de communications électroniques : fourreaux TPC, conduites assainissement, une étude préalable de faisabilité pour la mise en œuvre (aiguillage préalable, inspection vidéo, etc.) est indispensable.

Ces réseaux n'étant pas conçus comme un réseau de communications électroniques, la mise en œuvre d'un génie civil d'interconnexion au réseau FTTH peut s'avérer coûteuse.

6.6.5 CRÉATION GÉNIE CIVIL AÉRIEN OU SOUTERRAIN

La solution de création de génie civil suppose le respect des règles de mise en œuvre suivantes :

- S'agissant de réseaux « neufs », la construction du génie civil est conditionnée à l'obtention des permissions de voirie par les gestionnaires.
- Une présentation préalable du projet aux services de voirie est fortement recommandée, en particulier lorsque la mise en œuvre de génie civil allégé ou aérien est envisagée. Le maître d'ouvrage devra garder à l'esprit que les occupations du domaine public, qu'elles résultent d'une permission de voirie ou d'une convention, sont toujours précaires et révocables pour des motifs d'intérêt général.
- Des projets de coordination de réseaux (enfouissement, déplacement) sont une opportunité pour anticiper la création de génie civil d'un futur réseau FTTH.



7 LA COUCHE OPTIQUE ACTIVE

LA COUCHE OPTIQUE PASSIVE

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

On entend par élément actif, un équipement qui contient des composants électroniques actifs qui nécessitent une alimentation électrique pour fonctionner.

A noter le cas particulier de certains éléments actifs optiques que l'on peut qualifier de photoniques qui sont certes alimentés électriquement pour pouvoir fonctionner mais traitent directement le signal lumineux (photons) sans le convertir en signal électrique (électrons).

On peut citer par exemple certains types de brasseurs optiques ou les amplificateurs optiques. Parmi ces éléments actifs photoniques, l'amplificateur optique est souvent associé à la couche optique passive.

7.1 INGÉNIERIE ET DIMENSIONNEMENT DE LA COUCHE OPTIQUE ACTIVE

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

- les NRO qui assurent l'interface avec les réseaux de collecte et hébergent les matériels actifs de transmission sur le réseau de desserte,
- les points de mutualisation (PM) 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 technicoéconomique entre les éléments suivants :

- les points de mutualisation :
 - 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 NRO 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 NRO 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 côté, on peut chercher à réduire le nombre de NRO, 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 NRO, 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.

7.2 TECHNOLOGIES ET COMPOSANTS DE LA COUCHE OPTIQUE ACTIVE

7.2.1 LES APPLICATIONS RÉSEAUX ETHERNET POINT À POINT

L'architecture **Point à Point (P2P)** est la topologie de réseau la plus simple. Elle attribue un port sur un équipement de distribution et une fibre dédiée sur la totalité du parcours. Chaque raccordement d'utilisateur correspond une connexion distincte sur un équipement actif situé au NRO (Nœud de Raccordement Optique).

En France, cette architecture est déployée par l'opérateur Free pour les particuliers et par tous les opérateurs pour les entreprises. Elle permet de garantir un débit constant, mais nécessite un dimensionnement plus important des artères optiques et des surfaces plus grandes dans les sites d'hébergement des équipements.

Les flux d'informations s'appuient sur le protocole Ethernet selon la famille de normes 802.3 et les équipements d'extrémité sont le plus souvent du type Fast Ethernet (100Mbit/s). Un accroissement du débit (par exemple à 1 Gbit/s), impose le changement des équipements, 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 utilisateur, qui dispose d'un support d'accès non partagé jusqu'au NRO.

Les solutions de transmission issues des normes se déclinent en plusieurs versions selon le type de fibre, la longueur d'onde et le débit :

Solutions Ethernet point à point à 100 Mbps sur fibre optique				
Version	Fibre	Codage	Longueur d'onde	Portée
100Base-FX	2 fibres SMF G652/G657	4B5B - NRZI	1310 nm	40 km
100Base-BX	1 fibre SMF G652/G657	4B5B - NRZI	1310-1550 nm	30 km
Solutions Ethernet point à point à 1Gbps sur fibre optique				
Version	Fibre	Codage	Longueur d'onde	Portée
1000Base-LX	2 fibres SMF	8B10B - NRZ	1310 nm	10 km
1000Base-EX	2 fibres SMF	8B10B - NRZ	1310 nm	40 km
1000Base-BX	1 fibre SMF	8B10B - NRZ	1310-1490 nm	10 km
1000Base-ZX	2 fibres SMF/SMF	8B10B - NRZ	1550 nm	80 km

Tableau 7.1 : solutions Ethernet point à point

La tendance d'évolution des réseaux s'appuie de plus en plus sur 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 (voie montante – U) et 1550nm (voie descendante – D) en Fast Ethernet ou 1310nm (U) et 1490 nm (D) en Gigabit Ethernet.

Pour ce qui concerne les équipements, on retrouve côté NRO des commutateurs Ethernet à sortie optique. Côté abonné, les modules d'abonné sont souvent appelés CPE (Customer Premise Equipment), il s'agit selon le cas d'un convertisseur de média, si un seul fournisseur d'accès est prévu, ou d'un commutateur, si le réseau doit pouvoir supporter plusieurs opérateurs indépendants. En effet, la mise en place d'un commutateur au niveau de l'abonné (CPE) peut permettre un partage de flux au niveau 2 de l'Ethernet autorisant une mutualisation de l'accès entre plusieurs opérateurs de services indépendants.



Figure 7.1 : CPE susceptible de supporter quatre opérateurs de services indépendants

Schéma d'une chaîne de liaison type de réseau point à point :

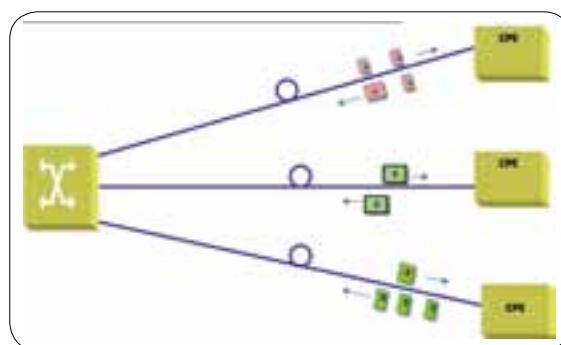


Figure 7.2 : schéma d'une chaîne de liaison Ethernet point à point

7.2.2 LES APPLICATIONS RÉSEAUX DOUBLE ÉTOILE ACTIVE (AON)

En fonction de compromis économiques liés à la densité des territoires à couvrir, les commutateurs Ethernet décrits dans la section précédente peuvent être cascadés pour éviter ainsi la pose coûteuse de câbles optiques de grandes capacités sur de longues distances.

Cette architecture présente l'avantage, pour un réseau rural, de limiter le nombre de fibres en amont tout en s'affranchissement des problèmes de budget optique et des disparités de distances abonné-NRO. Elle est en particulier mise en œuvre dans les réseaux d'initiative publique à vocation rurale comme le réseau de l'Ain ou l'initiative pilote d'Aumont-Aubrac.

Schéma d'une chaîne de liaison type AON :

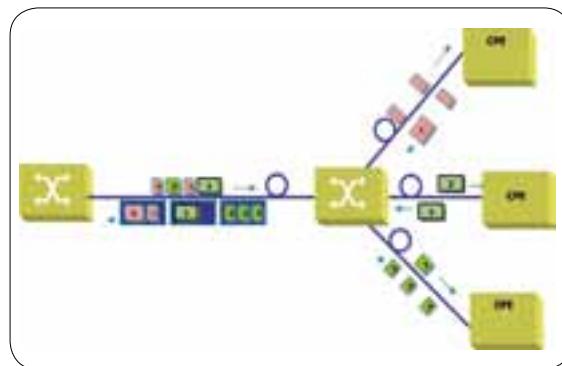


Figure 7.3 : schéma d'une chaîne de liaison Ethernet en double étoile active (AON)

7.2.3 LES RÉSEAUX 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.

7.2.3.1 LES DIFFÉRENTS RÉSEAUX PON ACTUELS

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



Figures 7.4 : exemple de NRO AON (réseau départemental de l'Ain mis en place par le SIEA) et de CPE chez l'abonné (la gestion des fibres est intégrée dans le module abonné)



- les systèmes précurseurs des années 90 sont fondés sur du multiplexage fréquentiel,
- En 2011, les systèmes déployés sont basés essentiellement sur un multiplexage temporel (TDM-PON) :
 - 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 (IEEE) découle de l'environnement Ethernet ;
- la norme G-PON (ITU G.894.1-4) tend à concilier les deux approches. C'est la technologie la plus utilisée pour le PON en Europe.

Le caractère multipoints et partagé des réseaux PON nécessite la mise en œuvre d'un certain nombre de mécanismes spécifiques parmi lesquels on peut citer :

- Le ranging ;
- L'identification des ONU ;
- L'allocation dynamique de bande passante.

Le ranging :

Les ONU étant à des distances variables du NRO, l'OLT met en œuvre le mécanisme dit de « ranging » qui permet de compenser les différences de temps de propagation. Les distances ONU-OLT sont mesurées et chaque ONU se voit affecté d'un retard à l'émission proportionnel à la différence de distance avec l'ONU le plus éloigné. Ainsi, tous les ONU se trouvent-ils artificiellement placés à la même distance du NRO.

L'identification des ONU :

Dans la phase initiale, l'OLT affecte à chaque ONU un ensemble d'identificateurs qui permettront d'identifier l'ONU ainsi que la connexion logique qui sera activée.

Dans le sens descendant, les trames sont diffusées de l'OLT vers tous les ONU. Chaque ONU identifie celles qui lui sont destinées grâce à un identificateur (GEM Port-Id) qui caractérise la connexion logique.

L'allocation dynamique de bande passante :

Dans le sens montant, chaque ONU envoie des trames dans un intervalle de temps que lui alloue l'OLT en fonction du service demandé. Cette affectation de capacité s'effectue via un protocole spécifique mis en œuvre entre l'OLT et les ONU : le protocole DBA (*Dynamic Bandwidth Allocation*).

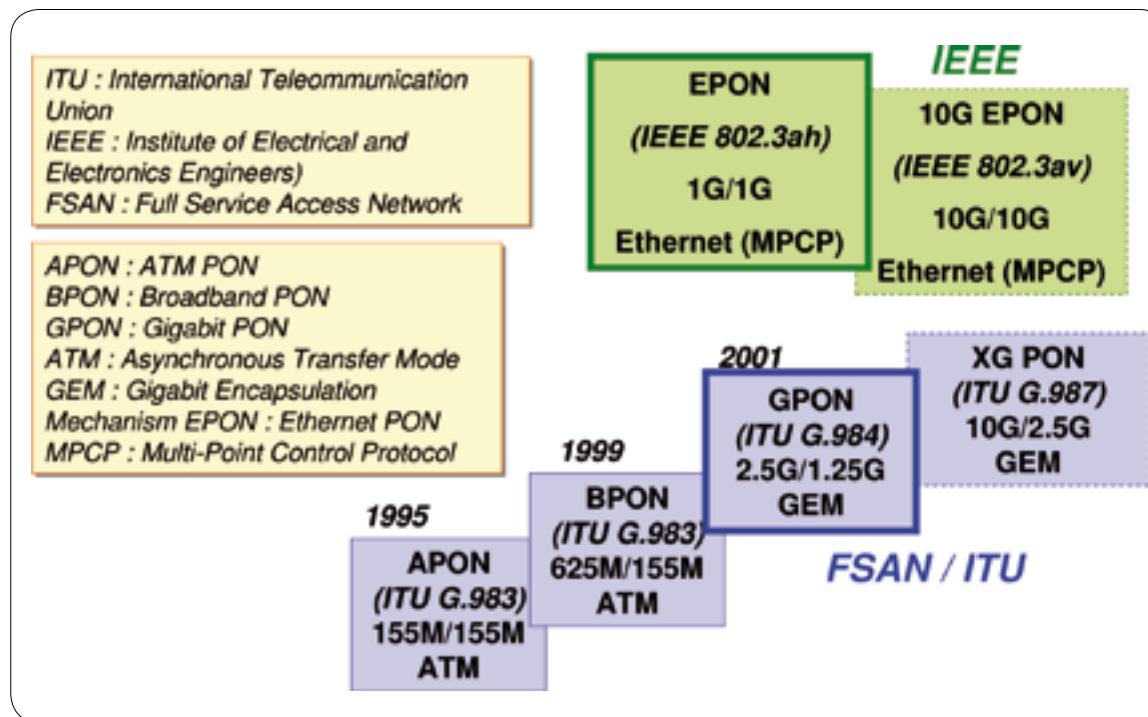


Tableau 7.2 : évolution des normes PON

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 ; lorsque les distances s'allongent, 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 ;
- une longueur d'onde supplémentaire (à 1550 nm) en voie descendante est réservée à l'introduction éventuelle d'une diffusion RF de la TV en overlay.

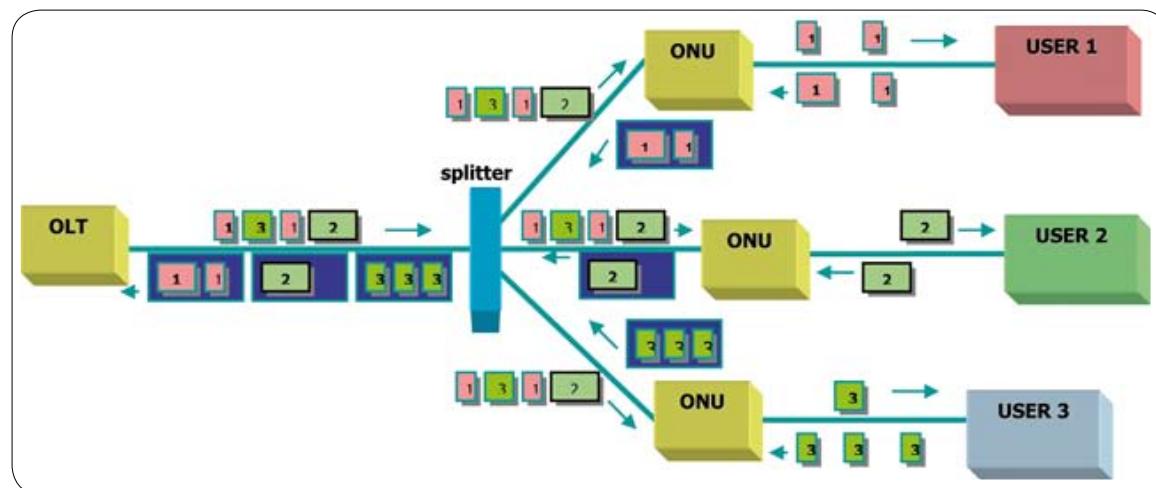


Figure 7.5 : schéma d'une chaîne de liaison PON

Au plan fonctionnel, la bande passante d'un réseau PON est partagée entre les différents utilisateurs. Le PON procède à une première agrégation des données sous forme optique. Ceci permet de réduire le nombre de fibres et la consommation électrique au niveau du NRO.

Un réseau PON comporte un noeud de distribution central, sur lequel sont connectées des sources multiples de services (vidéo, Internet et téléphonie classique). Ce noeud, localisé au NRO, 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 ONU « Optical Network Unit » ou « Terminaison de Réseau Optique » (aussi appellés ONT).

Du NRO 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 ONU. Dans le sens remontant, la bande passante est partagée entre les utilisateurs grâce à un multiplexage temporel; chaque ONU 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 (technique dite d'overlay).

7.2.3.2 LES PROCHAINES GÉNÉRATIONS DE RÉSEAUX PON

Les versions actuellement déployées (EPON et GPON) offrent des débits de l'ordre du gigabit par seconde, l'ITU et l'IEEE ont déjà travaillé et abouti sur des standards pour les PON de prochaines générations avec des débits supérieurs.

5.2.3.2.1 Les nouveaux standards IEEE

L'IEEE a ratifié en Septembre 2009 le standard IEEE 802.3av sous le nom 10G-EPON (10G Ethernet Passive Optical Network) avec les caractéristiques suivantes :

- les débits en voie descendante et remontante (2 options possibles) :
 - 10 Gbit/s symétrique,
 - 10Gbit/s pour la voie descendante et 1Gbit/s pour la voie montante,
- les longueurs d'onde sont spécifiées comme suit : 1575-1580 nm en voie descendante et 1260-1280 nm en voie remontante ;
- Compatibilité avec les réseaux EPON déjà déployés.

Les premiers déploiements commerciaux de 10G-EPON sont attendus à partir de 2012, essentiellement pour des déploiements FTTB (Fibre-To-The-Building) en Chine pour connecter des immeubles de plusieurs dizaines, voire centaines d'appartements.

5.2.3.2.2 Les nouveaux standards ITU

L'ITU a ratifié le standard XGPON1, communément appelé 10G-PON, en juin 2010. Avec les caractéristiques suivantes :

- les débits en voie descendante et remontante
 - 10Gbit/s pour la voie descendante et 2,5 Gbit/s pour la voie montante
- les longueurs d'onde sont spécifiées comme suit : 1577 nm en voie descendante et 1270 nm en voie remontante,
- Compatibilité avec les réseaux GPON déjà déployés

Les premiers déploiements commerciaux de XG-PON1 ne sont pas attendus avant 2013 au plus tôt.

5.2.3.2.3 Evolutions futures : PON extender et WDM-PON

PON Extender :

Les réseaux PON, par l'affaiblissement lié au taux de partage (19 à 20dB pour 1x64), sont pénalisés lorsqu'il s'agit de couvrir de grandes distances. Une première approche consiste à augmenter le budget optique des équipements de transmission (C+, gain de 3dB). Au-delà la solution peut consister à intégrer un élément d'extension, placé en aval ou en amont du coupleur. Cette solution peut permettre de réduire le nombre de NRO en densifiant les OLT ou en optimisant leur utilisation, notamment lors de la phase de montée en puissance des raccordements.

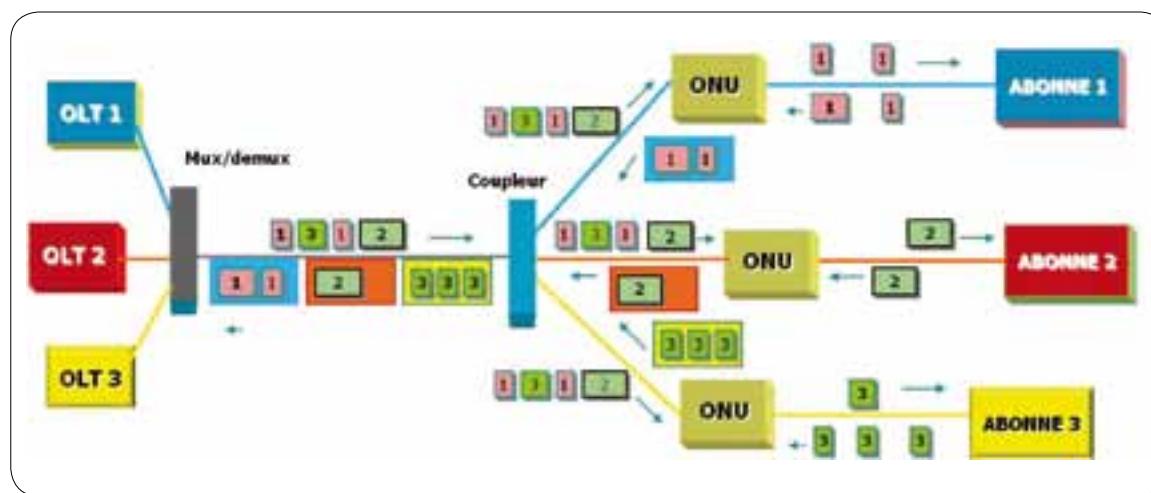


Figure 7.6 : schéma d'un réseau WDM-PON (cas d'une longueur d'onde par abonné)

WDM-PON :

On parle par ailleurs aujourd’hui de nouvelles architectures PON avec le WDM-PON (multiplexage en longueurs d’onde), 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).

Ces nouvelles technologies permettront d’obtenir un débit par ligne (fibre optique) jusqu’à 40 Gbit/s voire 100 Gbit/s.

A ce jour, les technologies pour le WDM-PON ne sont pas suffisamment matures pour obtenir des solutions à coûts raisonnables. Il existe encore de nombreuses approches possibles, étudiées entre autres au sein du FSAN et qui devraient aboutir à la génération d’un nouveau standard ITU, le NGPON2.

Dans les différents scénarios possibles, on peut citer entre autres :

- Des architectures hybrides considérant la superposition de plusieurs TDM PON sur des longueurs d’ondes différentes. C’est le schéma considéré le plus communément.
- Des architectures avec une longueur différente pour chaque ONU ce qui implique une gestion compliquée du spectre des longueurs d’ondes, qui devient alors une ressource rare.

7.2.4 LES COMPOSANTS DES RÉSEAUX FTTH

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

- l’OLT « Optical Line Terminal » ou « Terminaison de Ligne Optique », localisé au NRO qui sera, dans le cas d’une architecture point à point, un switch ou un routeur,
- l’ONU « Optical Network Unit » ou « Terminaison de Réseau Optique », situé chez l’abonné et qui sera, dans le cas d’une architecture point à point, un simple convertisseur de media ou un commutateur dans le cas d’un réseau neutre activé multi-opérateurs.

Dans le cas du point à point, la situation est extrêmement simple puisqu’à chaque port d’OLT correspond un ONU distinct souvent appelé CPE. Le PON intègre un troisième composant qui est passif : le « splitter » ou coupleur, situé au NRO et/ou au point de mutualisation, qui permet d’effectuer le partage entre les abonnés.

Dans certains réseaux WDM-PON, le coupleur optique est remplacé par un multiplexeur/démultiplexeur en longueurs d’onde destiné à séparer les longueurs d’ondes affectées aux différents utilisateurs. Ce composant est généralement réalisé par des technologies proches de la microélectronique (AWG ou *Arrayed Waveguide Grating*).

7.2.4.1 L’OLT – OPTICAL LINE TERMINAL

L’OLT est installé dans le NRO. C’est un équipement actif qui transforme le signal électrique venant du réseau de l’opérateur, en signal optique en direction des ONU usagers. Il inclut :

- la gestion du protocole point à multipoint,
- les fonctions d’authentification des ONU 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 7.7 :
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 ONU.

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	64	1024
Longueur	Largeur	Hauteur	Poids
505 mm	482 mm	177 mm	20 Kg
Consommation			
300 W moyenne			

Tableau 7.3 : caractéristiques type d'un OLT PON industriel

7.2.4.2 LES COUPLEURS (SPECIFIQUES AU PON)

Les coupleurs sont des éléments passifs qui permettent de partager le signal optique vers n ONU dans le sens descendant et d'agréger 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 7.8 : exemple de coupleurs industriels

Ces coupleurs sont installés dans le réseau d'accès, au NRO ou au niveau des PM (Points de Mutualisation).

7.2.4.3 L'ONU (OPTICAL NETWORK UNIT) OU CPE (CUSTOMER PREMISES EQUIPMENT)

L'ONU 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 tripleplay.

Il réalise les fonctions relatives à la qualité de service (QoS), 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.



Figure 7.9 : exemple d'ONU industriel

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 :

- ONU délivrant une ou plusieurs liaisons Ethernet,
- « Home Gateway » ou « Passerelle Résidentielle » fournissant les prises RJ45, WIFI, CPL et Téléphone,
- « ONU vidéo » assurant la fourniture des vidéos en mode de diffusion large bande au poste de télévision.

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			

Tableau 7.4 : caractéristiques type d'un ONU PON industriel

La multiplicité de longueurs d'ondes imposée par la nature même du WDM-PON ne permet pas d'assurer sa compatibilité avec la solution de PON Extender.

7.3 ARCHITECTURES ET DIMENSIONNEMENT

7.3.1 ETHERNET POINT À POINT

distinction est la plus franche entre opérateurs d'infrastructure et de services. Elle permet, en s'appuyant sur la gestion des VLAN, de réaliser aisément des réseaux neutres activés.

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 NRO 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.

7.3.2 ETHERNET EN DOUBLE ÉTOILE ACTIVE

Cette architecture est un cas particulier de l'architecture Ethernet point à point où on introduit un commutateur Ethernet intermédiaire à mi-chemin entre le NRO et l'abonné.

L'architecture à double étoile active permet de diminuer le nombre de fibres à gérer au NRO, 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.

7.3.3 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.

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 NRO 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

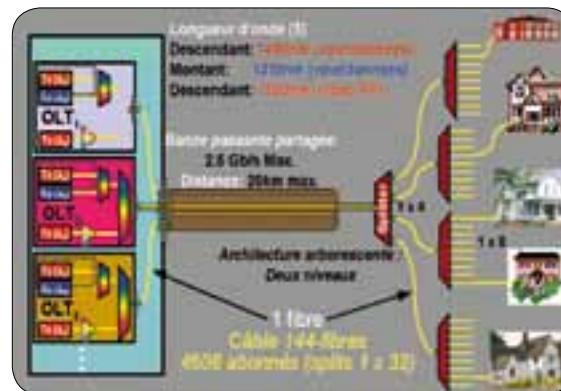


Figure 7.10 : chaîne de liaison type d'une architecture PON

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, dimensionnées à 48 pour garantir une marge d'évolutivité			
Facteur de gain par rapport au P2P	1024 / 48 soit environ 22			

Tableau 7.5 : modélisation des besoins en fibres de transport dans le cas de systèmes PON

7.3.4 TABLEAU COMPARATIF DES SOLUTIONS P2P, AON ET PON

Les données ci-dessous correspondent à des valeurs typiques, obtenues avec les matériels du marché habituellement installés.

	Point à Point	Double étoile active	PON
Distance (km)	30	30 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 NRO	Alimentation dans la partie accès 2 watt / abonné - Dissipé au NF	0,6 watt / abonné Dissipé au NRO
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 NRO ou PM	au NRO ou au PM	Actif et passif au NRO ou PM
Équipement Actif dans le réseau de desserte	Non	Oui	Non
Place occupée	1U pour 24 à 48 abonnés	1U pour 24 à 48 abonnés	4U pour 512 à 2304 abonnés

Tableau 7.6 : caractéristiques comparées des systèmes P2P, AON et PON

(*) Ces performances ne seront pas forcément disponibles immédiatement chez l'usager car elles dépendront du taux de contention, de la bande passante disponible chez le fournisseur et de la performance des équipements d'agrégation (commutateurs/routeurs).

7.4 RÈGLES ET TECHNIQUES DE MISE EN ŒUVRE DE LA COUCHE OPTIQUE ACTIVE

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 7.11 montre un exemple de dimensionnement pour desservir des zones d'activités éloignées ; 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.

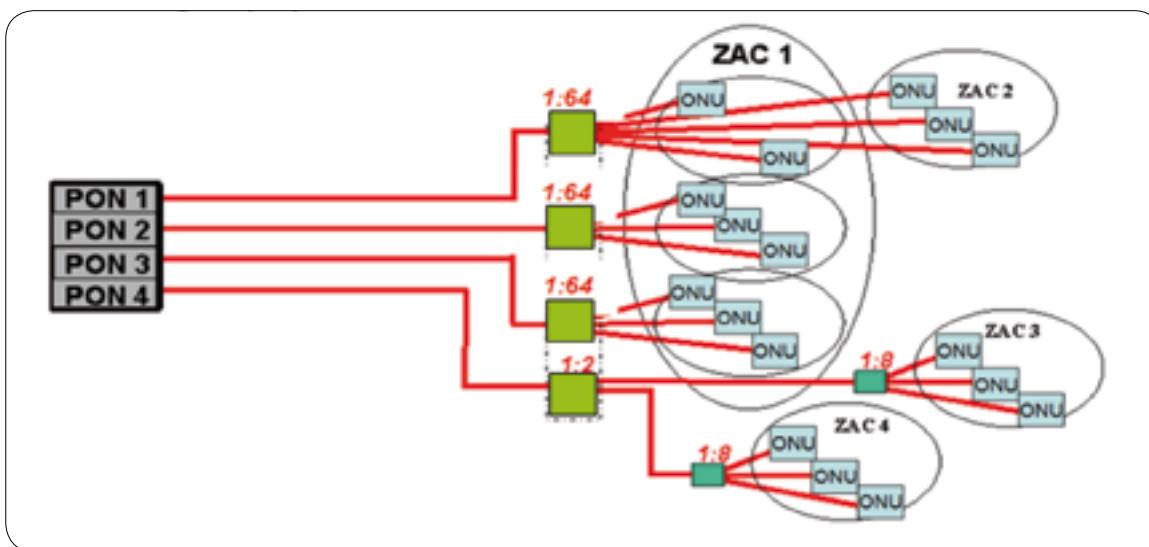


Figure 7.11 : exemple de dimensionnement pour de zones distantes

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 abonnés ne doit pas dépasser le débit maximum du PON (1 ou 2,5 Gbit/s ou 10Gb/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 de clients servis par le même OLT ne peut pas dépasser 64 (128 théorique) ; néanmoins, ce taux varie également avec la distance entre la zone à desservir et le NRO de rattachement.

Enfin, l'optimisation devra conduire au meilleur compromis entre le nombre de NRO 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 points de couplage en cascade sur un même PON n'est pas nécessairement limité à un. Même si ce schéma est recommandé pour optimiser les coûts d'exploitation puisqu'il réduit le nombre de noeuds d'intervention sur un territoire donné, l'expérience de déploiement réel sur le terrain montre, comme sur la figure 7.11, que la desserte de petites zones distantes peut conduire à introduire deux niveaux de couplage optique.

7.4.1 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 noeud 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 NRO et le noeud de flexibilité) devront être installés dès la mise en service de la zone à desservir alors que ceux relatifs aux liaisons aval (entre le noeud 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 point de mutualisation 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 jariettes optiques individuelles entre le répartiteur d'entrée (côté coupleurs) et le répartiteur de sortie (côté ONU), 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 oeuvre en intervenant sur une des couches sans remettre en cause les couches inférieures,
 - les différents noeuds 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.

7.4.2 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 fibres optiques dédiées. 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 (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 NRO par l'intermédiaire d'un multiplexeur optique (composant passif).

A l'autre extrémité (figure 7.12) les ONU sont spécialisés (longueur d'onde spécifique).

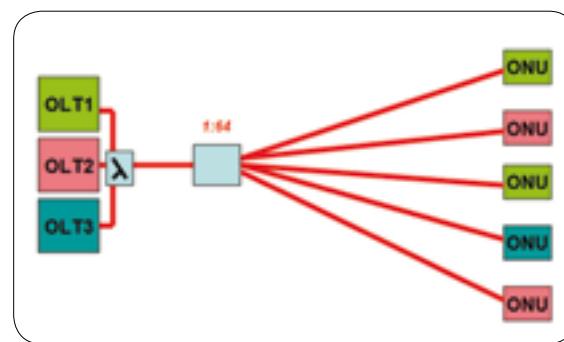


Figure 7.12 : schéma de PON DWDM

Cela implique d'avoir des équipements achromatiques afin d'avoir à gérer de manière simple la longueur d'onde dédiée à chaque abonné. Cette technologie conduit à des surcoûts non négligeables. Une solution alternative entre le PON et le PON-WDM est la technologie PON dite hybride qui associe la technologie WDM et la technologie TDM du PON. L'attrait technologique est de pouvoir utiliser des ONU standard mais elle nécessite un équipement actif dans le réseau. Cette solution est actuellement en cours de définition à l'ITU avec l'initiative G.multi. L'utilisation pourrait permettre de concentrer les NRO.

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 ONU de la zone peut être raccordé sur un des PON. Comme le montre la figure 7.13, les ONU ne sont différenciés que par leur raccordement physique (jarretière) au PON du FAI correspondant.

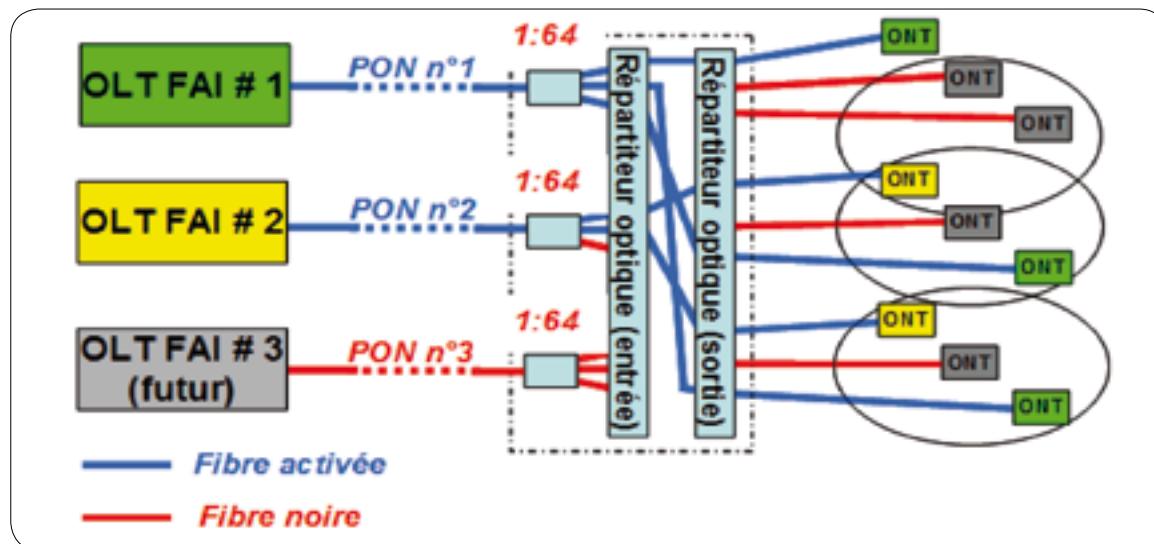


Figure 7.13 : mutualisation passive des PON

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 ONU, les splitters et les NRO.

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 NRO 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 noeud 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 NRO 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 (ONU). 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'ONU 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 à condition que l'ONU soit capable de gérer individuellement les services issus de différents opérateurs.



8 **QUALIFICATION, EXPLOITATION ET MAINTENANCE DU RÉSEAU D'ACCÈS**

QUALIFICATION, EXPLOITATION ET MAINTENANCE DU RÉSEAU D'ACCÈS

8.1 TESTS, RECETTE ET MISE EN SERVICE DE LA COUCHE OPTIQUE PASSIVE

8.1.1 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 sont soumises à de très fortes contraintes économiques.

Les tests de mise en service de la couche réseau sont très fortement liés 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 NRO-PM et PMPBO lors du déploiement de la couche optique passive, puis le lien NRO-PBO, voire NRODTIO, 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.

8.1.2 CIBLE DE LA RECETTE

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

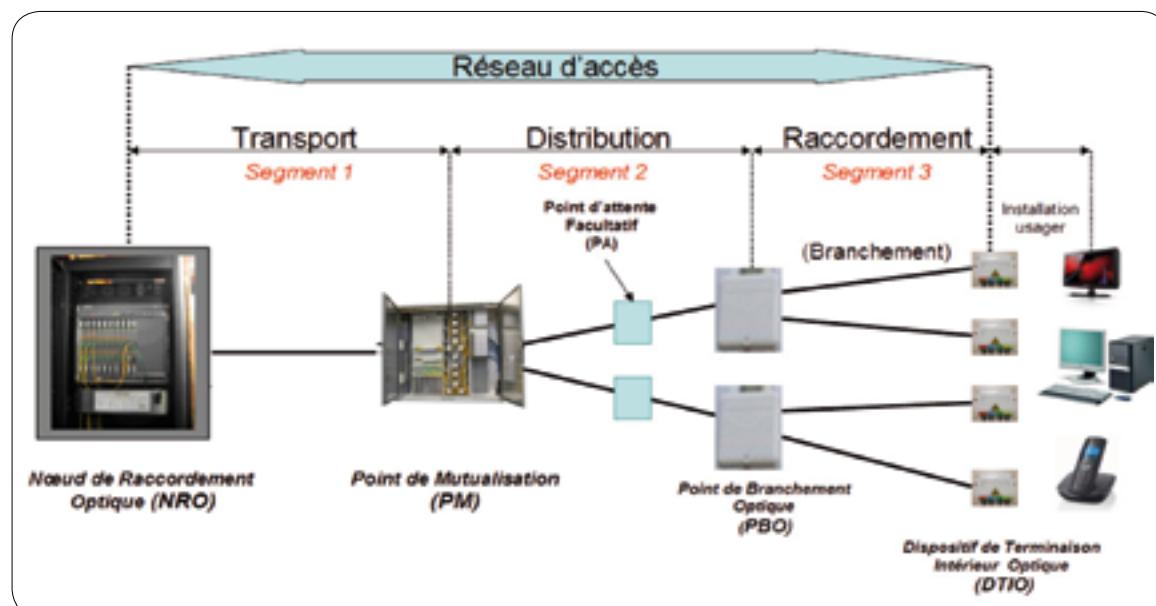


Figure 8.1 : segments de l'architecture du réseau d'accès

Le réseau d'accès est mis en place à l'établissement de l'infrastructure et doit être qualifié à ce stade. Le raccordement est réalisé 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 :

- Segment 1 : la partie transport reliant le nœud de raccordement optique (NRO) au répartiteur optique du PM.
- Segment 2 : la partie distribution reliant le répartiteur optique du PM au point de branchement optique (PBO).

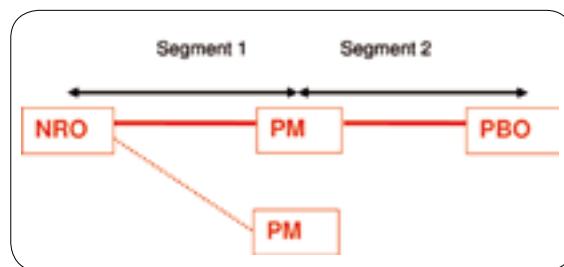


Figure 8.2 : tronçons sur le réseau d'accès

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 NRO-PM d'une part et les tronçons PM-PBO 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 PBO qui peuvent ne pas être équipés de connecteurs.

Le tronçon reliant le NRO au PM est commun à tous les abonnés. Le tronçon reliant le PM au PBO est commun à un groupe d'abonnés. Ces différents tronçons seront ultérieurement mis à disposition d'opérateurs qui activeront leur couche réseau.

La frontière de responsabilités entre le gestionnaire de l'infrastructure et les opérateurs de service sera d'autant plus efficace que cette infrastructure aura été qualifiée avec soin.

Une qualification sommaire peut confronter l'installateur, lors d'un branchement d'abonné, à des problèmes techniques antérieurs à son intervention. De même l'exploitation et la maintenance s'avèrent moins coûteuses sur un réseau convenablement qualifié.

8.1.3 TYPES DE TESTS A RÉALISER

8.1.3.1 CAS DU TRONÇON NRO-PM

Une fois le câble optique raccordé, l'ensemble de la liaison NRO-PM sera 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 d'information géographique (SIG).

Dans le cas des tronçons de transport mettant en œuvre plusieurs noeuds intermédiaires, afin de minimiser le nombre de tests, il sera possible de constituer la chaîne de liaison complète (pose des jarretières optiques ou épissures) 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, etc.),
- l'atténuation linéaire 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 impérative. 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, spécifiée dans le cahier des charges,
- la valeur maximale de la réflectance spécifiée dans le cahier des charges.

- 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,

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.

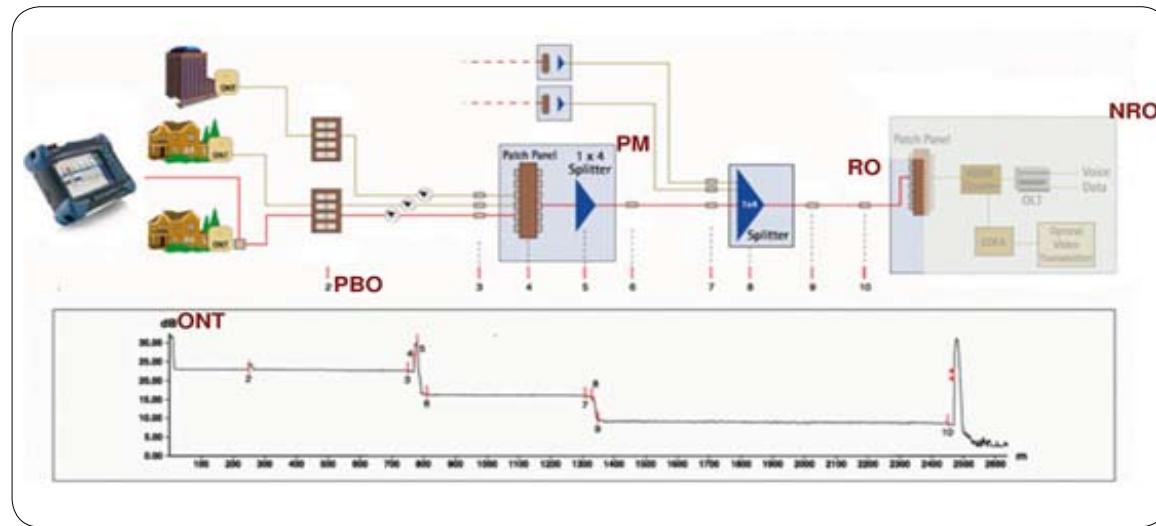


Figure 8.3 : tests OTDR (NRO-PBO) – architecture avec coupleurs

Le pic sur la figure 8.3 est signe d'une réflexion (connecteur), la chute montre la présence d'une épissure. Un coupleur amplifie la chute.

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 1550nm ou 1490 nm. Chaque circuit est testé dans les deux sens de transmission.

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.

8.1.3.2 CAS DU TRONÇON PM-PBO (OU PA FACULTATIF)

Si la nature du noeud PBO le permet (présence de connecteurs), le test du tronçon NROPBO peut être réalisé dans les mêmes conditions que le précédent.

Dans le cas où le tronçon NRO-PBO est constitué, le test pourra porter directement sur la liaison complète.

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 noeud et des contraintes associées, accessibilité, connectorisation, etc. Il ne sera pas possible de réaliser des tests exhaustifs de réflectométrie à partir du PBO 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 module,
- procéder à des tests simplifiés. Par exemple réaliser une réflectométrie dans un seul sens de transmission à partir du NRO vers le PBO, sans bobine de fin de fibre à cette extrémité.

Le PBO n'étant pas systématiquement connectorisé, le placement d'une bobine de fin de fibre dans ce noeud ne sera pas aisés.

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 NRO.
- 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 ré intervenir le prestataire dans le cadre de la maintenance ultérieure de l'infrastructure, en cas de problème résiduel révélé ultérieurement.

8.1.3.3 TESTS 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 NRO jusqu'à la PBO ou au-delà, le câblage d'immeuble s'insérera dans une procédure de test du réseau de bout en bout, décrite précédemment.

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 est réalisé pour le compte d'une entité différente de celle qui déploie le reste de l'infrastructure, par exemple un propriétaire immobilier, il conviendra de qualifier cette installation par un test élémentaire au crayon optique (pour la continuité optique et le repérage des fibres), voire de photométrie (sauf si les fibres sont laissées nues en attente au niveau de boîtiers en pied d'immeuble). Tant que ce câblage n'est pas raccordé 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 le raccordement, il faudra prévoir des réserves contractuelles pour tenir compte des problèmes qui ne seraient révélés que lorsque le raccordement est réalisé.

Comme pour les zones très denses, le comité d'experts de l'ARCEP¹⁸ a mené des travaux sur le tronçon en aval du point de mutualisation sans généraliser une quelconque règle sur ce segment. Il sera logique d'effectuer une photométrie. Dans le cas de fibre laissée nue au point de mutualisation, un pigtail devra être soudé pour effectuer la mesure.

¹⁸ <http://www.arcep.fr/fileadmin/reprise/dossiers/fibre/20120213-conclucefibre-aff.pdf>

8.1.3.4 TESTS ET RECETTE DE L'INSTALLATION D'USAGER

Lors du branchement d'un abonné, il reste à valider la connexion du câble depuis le PBO jusqu'à la prise de l'abonné. Si une recette suffisante a été organisée en amont, il n'est pas économiquement raisonnable de réaliser un 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. En règle générale, le raccordement usager s'effectue conjointement à la mise en service (cf chapitre 8.2.4).

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.

Dans le cas où la mise en service s'effectuerait ultérieurement, on s'aidera selon le problème d'un « crayon optique » (une source visible rouge) pour vérifier la continuité, et d'un photomètre.

Source Visible

- De la taille d'un stylo, autonome,
- 0 à 5 km,
- Laser 635 nm,
- Adaptateur UPP 1,25 ou 2,5mm



Figure 8.4 : laser rouge pour le test du raccordement d'abonné

Si les tests ne sont pas concluants, l'installateur devra réaliser une réflectométrie afin d'identifier le point de défaillance du réseau.

8.2 TESTS RECETTE ET MISE EN SERVICE DE LA COUCHE RÉSEAU

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

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 tests 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.

8.2.1 CONSTITUTION DU « CIRCUIT » DE LA COUCHE OPTIQUE

8.2.1.1 CAS D'UN CIRCUIT DE TYPE ETHERNET POINT À 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 par la mise en continuité par brassage ou épissage de tronçons élémentaires. Dans le cas général, chaque circuit est composé de la mise en continuité d'au moins 3 segments :

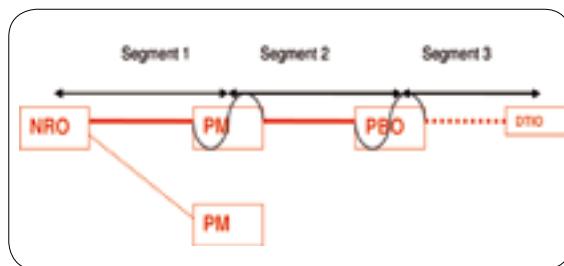


Figure 8.5 : constitution d'un « circuit » point à point FTTH

- **le segment 1** correspond au segment « **transport** » et peut être lui-même décomposé en plusieurs segments élémentaires. Il est installé et qualifié au moment de l'établissement de l'infrastructure ;
- **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 PBO sur la réalisation des tests ;
- **le segment 3** correspond au **raccordement** (branche). Il est constitué en post câblage au fil de l'eau au moment du raccordement d'abonné dans le cas de la partie terminale.

La mise en continuité des segments est réalisée par « brassage » au titre des tâches d'exploitation exposées au chapitre 8.3. La mise en continuité de la fibre est ainsi réalisée du NRO au PBO puis du PBO au DTIO et il est envisageable de valider la construction de ce parcours avant la mise en service de l'abonné.

8.2.1.2 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 par la mise en continuité de tronçons élémentaires au travers de coupleurs. Dans le cas général, chaque circuit est composé de la mise en continuité de 3 segments :

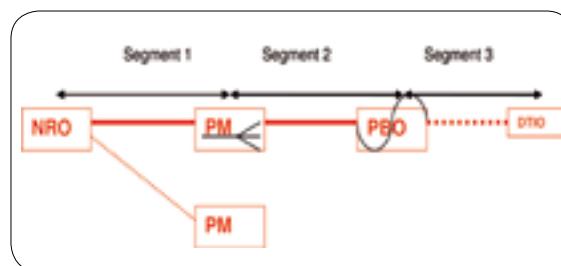


Figure 8.6 : constitution d'un « circuit » point à multipoint FTTH

- **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 ;
- **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 PBO 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.

La mise en continuité des segments 1 et 2 se fait au travers d'un « coupleur » à n branches. La mise en continuité du segment 3 aux précédents est réalisée par « brassage ».

8.2.2 SYNTHÈSE DES TESTS RÉALISÉS

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 NRO au moment du test.

Les distances PM-PBO étant plus longues dans les zones moins denses que dans les zones très denses, il est judicieux d'utiliser un réflectomètre pour s'assurer de la bonne qualité du lien optique ; et pas seulement d'effectuer des tests de photométrie en insertion. Cependant, ce choix se révélant plus coûteux, on peut aussi ne tester que quelques fibres par tube.

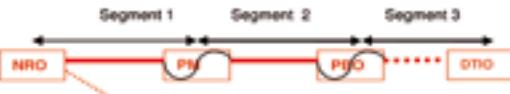
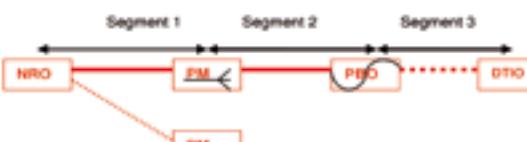
Test réalisé à l'établissement de l'infrastructure	Désignation	Procédure de test	Équipement de test
Segment 1	Installé, reçus et qualifiés au moment de l'établissement de l'infrastructure, selon les procédures définies au paragraphe 7.1.3.	Réflectomètre Source et Photomètre	
Segment 2	Installé et reçus au moment de l'établissement de l'infrastructure, selon les procédures définies au paragraphe 7.1.3. Mesure partielle sur deux longueurs d'onde et dans un seul sens. On pourra choisir de ne tester en fonction du nombre de chambres (donc de la distance) entre le PM et le PBO qu'une ou deux fibres par tube, qu'il y ait une seule longueur d'onde.	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. Mesure d'atténuation entre le PBO et le DTIO.	Laser rouge & Photomètre, voire Réflectomètre	
			
Cas d'un circuit P2P	Segment 1+2	La continuité de la fibre est réalisée du NRO au PBO. Si les tronçons ont été préalablement testés et qualifiés, on peut s'appuyer sur les résultats de mesure de chacun des tronçons pour caractériser le « circuit ».	Source et photomètre Réflectomètre (Optionnel) mais très conseillé avec bouclage au niveau du PBO
	Segment 1+2+3	La continuité de la fibre est réalisée du NRO au DTIO. Le circuit peut être qualifié. Un test en réflectométrie avec bouclage au DTIO permet de qualifier le circuit complètement. Dans la pratique, la qualification pourra être effectuée après activation de l'équipement actif au central (switch-comutateur ou OLT).	Source et photomètre Réflectomètre (Optionnel mais conseillé)
switch actif	Segment 1+2	En pratique, la recette de l'infrastructure passive jusqu'au PBO a déjà été réalisée Mesure de puissance au PBO Box optique client utilisée pour s'assurer de la bonne continuité du réseau	Photomètre/Box optique
	Segment 1+2+3	Mesure de puissance au DTIO	Photomètre
			
Cas d'un circuit PON	Segment 1+2	Les bilans optiques plus sensibles du fait de la présence des couplages motivent la réalisation de mesures plus systématiques que dans le cas des architectures point à point. Mesure par insertion 1310 et 1490nm	Réflectomètre Source et Photomètre
	Segment 1+2+3	Mesure dans un seul sens depuis le NRO. Ce test depuis le central permettra de valider la qualité du couplage (et de son raccordement) présent au niveau du PM mais ne pourra caractériser de manière précise la partie PBO-PBO (en aval du couplage).	Réflectomètre Source et Photomètre
OLT actif	Segment 1+2	Mesurer par insertion la perte entre le PBO et la DTIO. Le test depuis le PBO permet d'avoir une bonne caractérisation du lien mais nécessite de se rendre à chaque PBO. Un test Réflectomètre pourra être réalisé. En pratique le segment 3 ne sera construit que lors de l'achat du service par un client, avec un OLT actif.	Source optique et Photomètre Réflectomètre - (optionnel) mais conseillé
	Segment 1+2, 1+2+3	Mesure de puissance à 1490 nm au PBO. Au PBO : test OLT pour valider la bonne connectivité entre la fibre et l'équipement actif. Pour cela on utilise un OLT reconnaissable par l'OLT. Ces deux tests OLT et mesure de puissance peuvent être réalisés par un seul équipement dédié appelé GPON Tester.	Photomètre OLT Ou GPON Tester Réflectomètre (1625nm ou 1650nm) - (optionnel) mais conseillé
OLT actif	Segment 1+2, 1+2+3	Mesure de puissance classique ou PON lors de l'activation pour mesurer la puissance émise par l'ONT. Ou GPON Tester	Photomètre ou Photomètre PON Réflectomètre à 1625nm ou 1650nm - (optionnel) mais conseillé

Tableau 8.1 : synthèse des tests réalisés sur les circuits de la couche optique

La réflectance est trop souvent négligée. Pourtant, le budget optique a beau être correct en sens descendant – OLT vers ONT, il peut ne pas l'être dans le sens remontant. Ceci est dû aux phénomènes de réflexion qui ne sont pas symétriques. Le client peut alors être en défaut lors de la mise en service et la recherche de panne trop vite orientée vers un changement d'actif qui ne résoudra pas le problème.

8.2.3 NATURE DES TESTS RÉALISÉS

8.2.3.1 TEST DU CIRCUIT NRO-PBO CONSTITUÉ – SEGMENT 1+2

Pour des raisons économiques, cette étape de validation ne fait pas consensus à l'heure actuelle.

Si les tronçons élémentaires NRO-PM et PM-PBO 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 » NRO-PBO constitué dans le cas d'un réseau point à point. Pour un réseau PON, il est tout de même recommandé de valider la qualité de pose des coupleurs.

Dans le cas où le segment PM-PBO n'a pas été qualifié préalablement, un test en réflectométrie du « circuit » NRO-PBO serait recommandé mais sa réalisation opérationnelle est contrainte, d'une part par la nature du nœud PBO et d'autre part, par des contraintes économiques. On pourra donc ne tester qu'une fibre par module au lieu de tester toutes les fibres et réaliser des tests de photométries sur toutes les fibres.

La réalisation de ce test peut tirer parti de la présence de l'OLT, dans le cas où celui-ci est en service au NRO (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.

8.2.3.2 TEST DE CIRCUIT OLT ETEINT - MESURE PAR INSERTION

Dans le cas où il n'existe pas encore d'OLT en service à l'extrémité NRO 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.

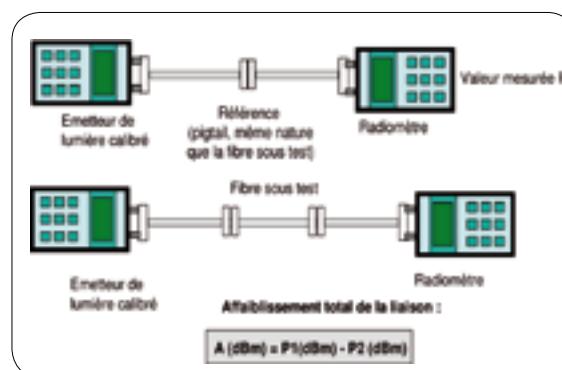


Figure 8.7 : schéma de principe d'une mesure par insertion

8.2.3.3 TEST DU CIRCUIT OLT ALLUMÉ - MESURE DE PUISSANCE

Dans le cas où l'OLT est présent et allumé à l'extrême NRO, le test peut tirer partie de cet équipement. Une mesure de puissance (dBm) est réalisée, à l'extrême distante, à l'aide d'un mesureur de puissance. 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'extrême 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 PBO 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 PBO 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.

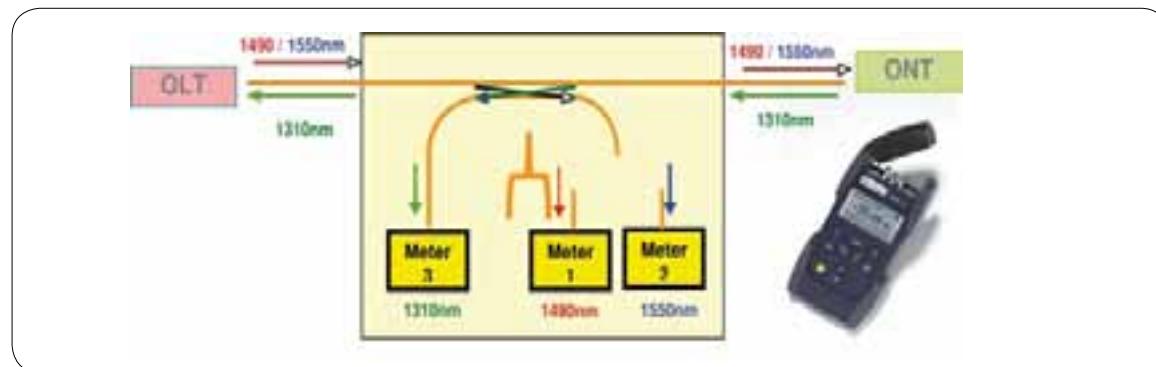


Figure 8.8 : mesure de puissance sélective

8.2.4 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 NRO de la carte OLT et le branchement chez l'abonné de l'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 matériaux 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.

8.2.4.1 BILAN OPTIQUE THÉORIQUE

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	0,35 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 8.2 : 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 8.3 : exemple de calcul de bilan optique pour un PON non activé

8.2.4.2 MESURES RÉFLECTOMÉTRIQUES

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 NRO, PBO ou DTIO.

Dans le cas d'une architecture PON, ce test aura lieu du PBO ou DTIO en remontant vers le NRO, à la longueur d'onde de 1625 nm ou 1650 nm. En effet, en fonction du type de coupleur, de l'architecture retenue (cascade ou non) et de la longueur des branches (qui peut-être très proche l'une de l'autre), il est très difficile d'obtenir une courbe OTDR facilement interprétable en réalisant le test en sens inverse du NRO vers le PBO.

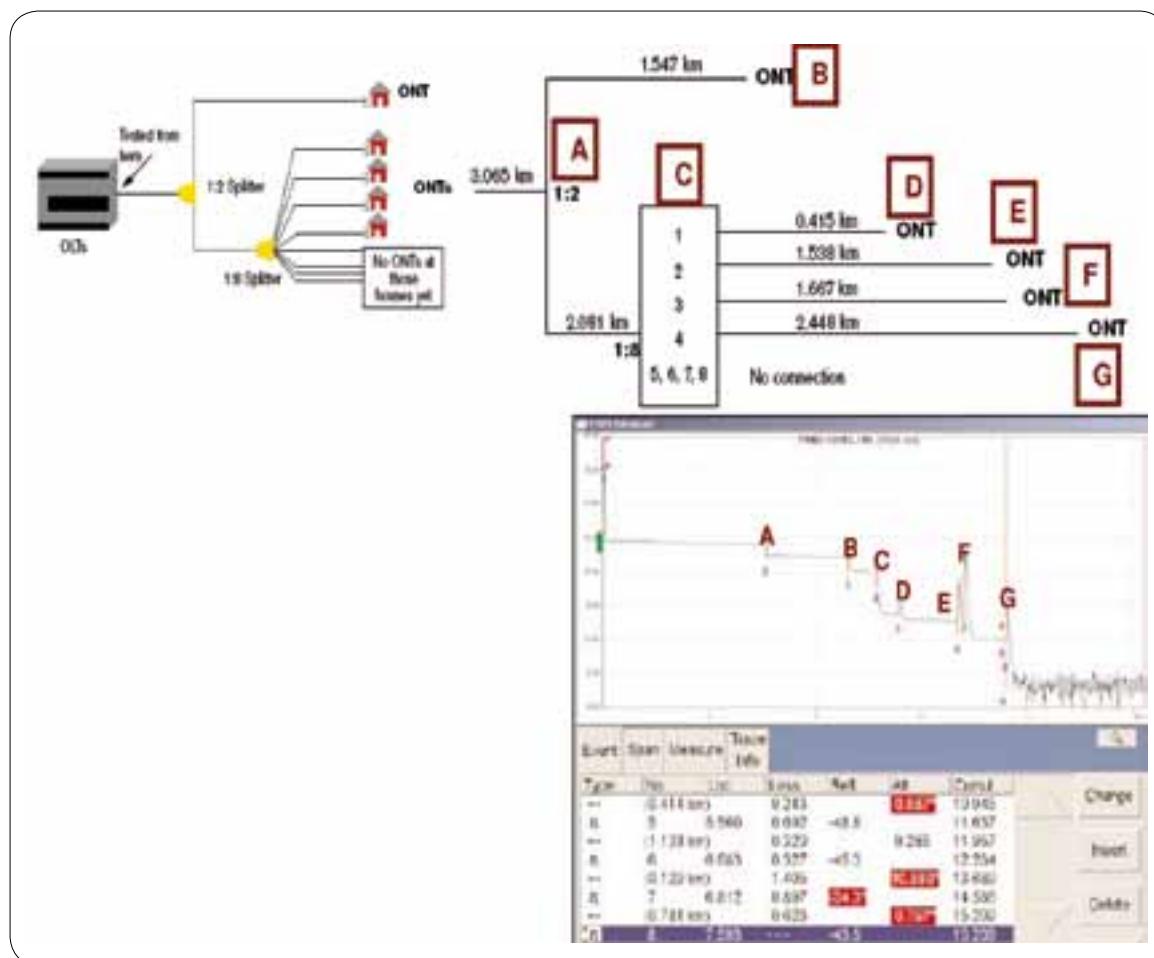


Figure 8.9 : trace OTDR (NRO-PBO) – infrastructure mettant en oeuvre des coupleurs

Le nombre d'événements étant important pour des réseaux relativement courts, il est nécessaire d'utiliser des nouveaux modules OTDR de grande dynamique avec des zones mortes réduites.

Malgré tout, l'analyse des défauts est complexe : pour valider précisément les événements, il faut régulièrement jouer sur les paramètres de mesure, largeur d'impulsion versus résolution.

Une nouvelle technologie dite intelligente, basée sur la réflectométrie permet de s'affranchir de cette problématique puisque l'équipement va lui-même effectuer les mesures aux différentes impulsions et compiler toutes les informations mesurées pour donner une représentation parfaite du réseau et du/des défaut(s). L'utilisation de ces appareils de mesure de nouvelle génération simplifie l'analyse pour les techniciens et n'impose plus un niveau d'expertise élevé.



Figure 8.10 : réflectomètre de nouvelle génération

8.3 EXPLOITATION ET MAINTENANCE DU RÉSEAU D'ACCÈS

8.3.1 GÉNÉRALITÉS

Les missions d'exploitation et de maintenance des réseaux d'accès à très haut débit sur fibres optiques sont essentielles 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.

8.3.2 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 :

- soigner la conception,
- 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.

8.3.2.1 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 la mise à jour de la documentation,
- l'administration de la base de données du SIG,
- l'évolution du logiciel SIG.

8.3.2.2 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).

8.3.3 LES MISSIONS D'EXPLOITATION

8.3.3.1 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,
- 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 en 3 phases :

- 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.

8.3.3.2 LES CALCULS DE BILANS

Le bilan optique sera calculé aux deux ou trois longueurs d'onde (1310 et 1550 nm, ou 1490 nm). Il tiendra compte des valeurs d'affaiblissement de chacun des composants constitutifs du circuit et des pertes d'insertion dues aux coupleurs 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	0,35 dB/km à 1310 nm et 0,20 dB/km à 1550 nm
Pour les coupleurs, sans spécifications constructeurs, on utilisera les valeurs moyennes suivantes dans le calcul du bilan optique	
coupleur 1/4	7 dB
coupleur 1/8	10 dB
coupleur 1/16	14 dB
coupleur 1/32	18 dB

Tableau 8.4 : valeur moyenne d'affaiblissement des différents composants d'un circuit optique

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

8.3.3.3 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.

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

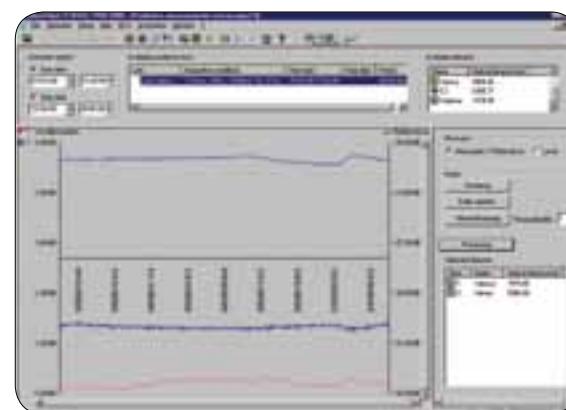


Figure 8.11 : surveillance dans le temps atténuation et réflectance

8.3.4 LES MISSIONS DE MAINTENANCE

8.3.4.1 LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE

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.

8.3.4.2 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.

8.3.4.3 LES TRAVAUX PROGRAMMÉS

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.

8.3.5 LA DOCUMENTATION ET LES OUTILS D'EXPLOITATION

8.3.5.1 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, etc.). Elle précise les moyens mis en oeuvre 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.

8.3.5.2 SYSTÈME 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 favorise 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 pourcents 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, etc.),
- 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, etc.),
- 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, etc.),
- 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 8.12 : 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).

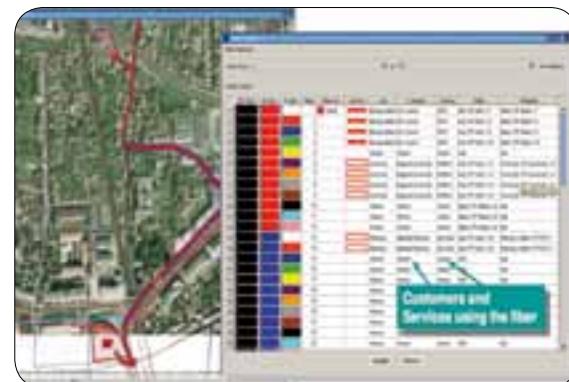


Figure 8.13 : cartographie

8.3.5.3 LA BASE DE DONNÉES 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.

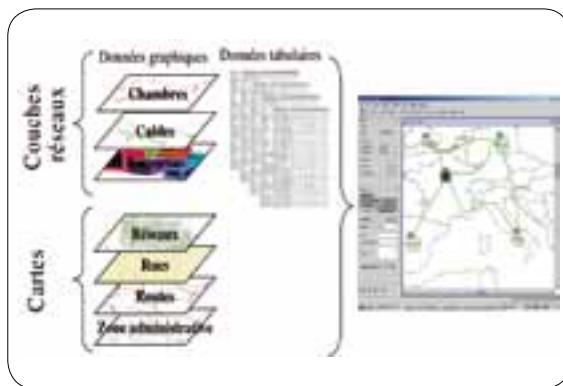


Figure 8.14 : gestion de l'infrastructure

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.

8.3.5.4 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 « longue distance ». 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.

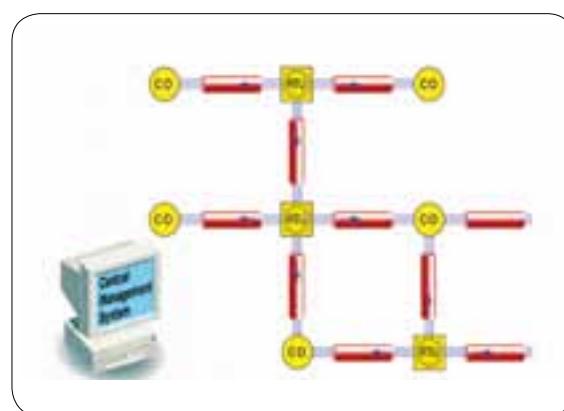


Figure 8.15 : système de surveillance RFTS

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.

8.4 EXPLOITATION ET MAINTENANCE DE LA COUCHE RÉSEAU

En cas de défaut, grâce aux différents systèmes de gestion des équipements actifs, l'exploitant du réseau pourra dans une première analyse pré-localiser la zone en cause :

- défaut affectant l'OLT,
- défaut entre NRO et clients.

Dans le cas d'un défaut situé entre le NRO et le DTIO, l'exploitant aura la vision des ONT en défaut. Ces informations, couplées à la consultation du SIG, permettront de pré-localiser le tronçon concerné, 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 :

- un 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**, un technicien se déplacera 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. Il procédera à une mesure de puissance (photométrie).

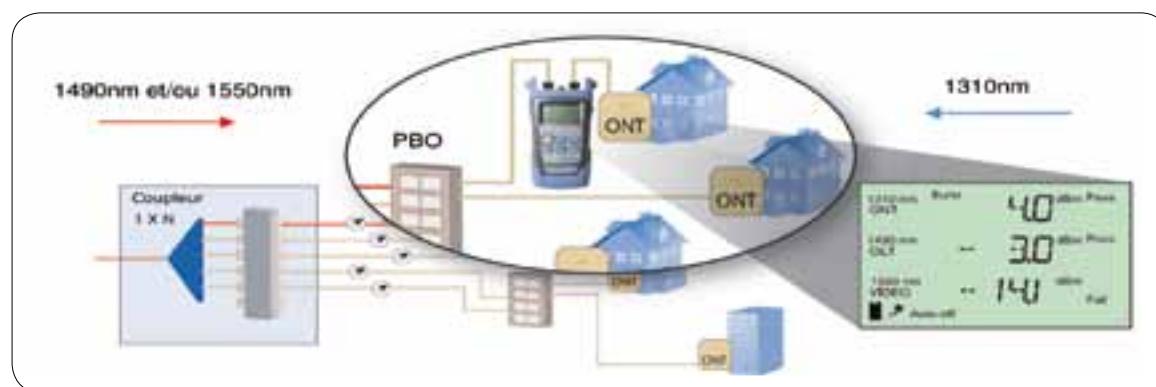


Figure 8.16 : insertion d'un testeur dans l'installation d'abonné

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.

Il se peut aussi que l'ONT à 1310nm émette une puissance correcte mais que dû à des réflections trop importantes, le signal n'atteigne pas le central.

L'étape suivante permet de valider le parcours optique depuis le point d'accès d'abonné.

On branchera une source laser rouge visible sur la prise optique afin de suivre le câble sur sa partie visuellement accessible jusqu'au PBO.

Si la lumière rouge n'apparaît pas, l'incident se situe entre la prise et le PBO, 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.

Il est à noter que le service peut être défectueux alors que l'ONT est fonctionnel et le bilan optique conforme. Dans ce cas, le client est pollué par un ONT défaillant chez un autre client ; ONT émettant au même moment que le client en défaut.

Cette double émission simultanée est alors incompréhensible pour l'OLT. Cet ONT défaillant émettant à un autre moment que celui qui lui est attribué est appelé rogue ONT. Cette défaillance peut-être répétitive, c'est alors toujours le même autre client qui est impacté ; ou alors aléatoire (émission aléatoire dans le temps à tout moment), et le nombre de clients impactés peut-être très variable. Sa mise en évidence n'est donc pas une chose aisée.

Il existe aussi un cas où un ONT va émettre de manière continue, on parle d'ONT « tueur ». La totalité des clients sur l'arbre PON est alors perturbée et en défaut. Pour déterminer l'ONT en défaut, il faut alors les déconnecter par commande logicielle les uns après les autres.

Dans le cas où **plusieurs ONT sont en défaut**, la consultation de la base de données (SIG) permettra de déterminer le PBO en défaut. Un technicien se déplacera sur le PBO 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 PBO et l'ONT. Si, par contre, il n'y a pas de signal, le problème se situe entre PBO 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 optique de l'OLT dans le cas d'un PON, soit du câble de transport.

Le technicien se déplacera au noeud de raccordement optique. En l'absence d'une cause de défaut visuellement évidente au NRO, 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, d'associer la supervision des alarmes remontées par les équipements actifs avec la gestion de l'infrastructure fibre.

Avantages d'un système de supervision fibre optique de test centralisé :

- 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 moins 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 d'accès sera guidée par les contraintes d'optimisation des ressources, de poursuite d'un objectif de qualité et de disponibilité optimum.

La maintenance étant liée à l'exploitation, la mutualisation des équipes pour ces deux tâches pourra également être considérée.

L'inconvénient reste le coût de la solution pour des services dédiés aux particuliers. La fiabilité de la fibre qui se dégraderait moins que le cuivre dans le temps ne joue pas non plus en faveur de ce type de solutions.

8.5 EXPLOITATION ET MAINTENANCE DE LA ZONE D'ABONNÉ

Si le promoteur est le propriétaire du câblage d'immeuble, il est conseillé d'en concéder l'exploitation et la maintenance par convention à l'opérateur d'immeuble. Ceci assurera aux occupants des appartements l'exploitation d'un service de bout en bout allant du NRO 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 :

- 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 BPO, probabilité de rupture ou d'écrasement. Si elle apparaît bien au BPO, 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 (Nœud d'Accès NRO),
- Jusqu'à récemment, étaient utilisées des pinces de trafic permettant de valider la présence d'un signal, son sens de transmission, voire d'obtenir une estimation de la puissance, en courbant localement la fibre optique. Or cet outil ne fonctionnera pas pour les fibres G657 dorénavant utilisées dans les réseaux d'accès, ces fibres étant insensibles au rayon de courbure.



Figure 8.17 : pince optique

8.6 DONNÉES ET CRITÈRES DE MESURE

8.6.1 DONNÉES DE MESURE

Affaiblissement linéaire

L'affaiblissement linéaire de chaque tronçon de fibre (entre 2 événements) ne doit pas être supérieur à :

- **G652**

0,22 dB / Km à la longueur d'onde de 1550 nm

0,36 dB / Km à la longueur d'onde de 1310 nm

- **G657**

0,21 dB / Km à la longueur d'onde de 1550 nm

0,35 dB / Km à la longueur d'onde de 1310 nm

Indice de réfraction

Type de fibre	Longueur d'onde	
	1 310 nm	1 550 nm
Fibre G 652	1.466	1.466
Fibre G 657	1.467	1.468

Avec un indice de réfraction fixé à 1,468 pour les fibres G652D et à 1,467 pour les fibres G657.

Coefficient de rétrodiffusion

Type de fibre	Longueur d'onde	
	1 310 nm	1 550 nm
Fibre G 652	-77 dB	-82 dB
Fibre G 657	-77 dB	-82 dB

Connecteur

	Longueur d'onde	
	1 310 nm	1 550 nm
SC /APC	1 310 nm	1 550 nm
Atténuation	0.5 dB	0.5 dB
Taux de réflexion	<50dB	<50dB

L'affaiblissement d'un connecteur à 1550 nm ne doit pas être supérieur à celui relevé à 1310 nm de plus de **0,10 dB**.

Epissure par fusion

L'épissage par fusion est utilisé massivement pour le raccordement des câbles en ligne, en chambre souterraine ou en aérien. C'est également, la méthode préconisée pour le raccordement des pigtails.

Aucun pic de réflexion n'est toléré au niveau d'une soudure.

L'affaiblissement maximum autorisé pour une soudure est de 0,20 dB à 1 550 nm.

L'affaiblissement d'une soudure à 1550 nm ne doit pas être supérieur à l'affaiblissement à 1310 nm de plus de 0,10 dB.

La moyenne dans les 2 sens doit être au maximum de 0,1dB.

Affaiblissement du coupleur vu depuis le NRO

L'atténuation d'un coupleur 1 vers 8 est proche de 10.0 dB. Cependant, lorsqu'elle est mesurée du NRO vers le PBO, cette valeur mesurée par le réflectomètre est différente selon le nombre de branches raccordées. Lorsque toutes les branches sont raccordées la valeur attendue est autour de 5dB.

8.6.2 CRITÈRES D'ACCEPTATION

Exemple :

Connecteur	Atténuation	Valeur >1,0dB
	Réflectance	Valeur >-50dB
Epissure	Atténuation	Valeur limité à 0,2dB
	Réflectance	Aucune réflectance tolérée
	Différence 1550 / 1310 nm	La valeur à 1550nm ne doit pas être supérieure de plus de 0,1dB de la valeur à 1310nm. La moyenne dans les 2 sens doit être au maximum de 0,1dB.
Bilan Optique	Atténuation du connecteur, de l'épissure et de la fibre (affaiblissement linéaire)	Inférieur au calcul théorique issu de la somme de chacun des éléments
1er coupleur (1x8)	Atténuation	Valeur <5,6dB
	Réflectance	<-60dB

Tableau 8.5 : critères d'acceptation

8.6.3 PARAMÈTRAGE OTDR

Largeur d'impulsion

	transport	distribution 1	Coupleur 1	Réseau 1x64
bobine amorce	300m	150m	300m	300m
largeur d'impulsion	30ns	30ns	100ns	500ns
indice de réfraction	1.467	1.467	1.467	1.467
	1310nm : -79dB	1310nm : -79dB	1310nm : -79dB	1310nm : -79dB
OTDR	coefficient de rétrodiffusion	1550nm : -81dB	1550nm : -81dB	1550nm : -81dB

Tableau 8.6 : paramètres OTDR

- Les préconisations varient en fonction des opérateurs.

- La largeur d'impulsion utilisée doit permettre une acquisition réflectométrique avec le meilleur compromis résolution/bruit. Elle sera généralement comprise entre 10 ns à 30 ns sans présence de coupleur.

En présence de coupleur 1x8, on utilisera des impulsions un peu plus longues de 100ns. Pour tester un réseau PON avec deux niveaux de couplage ou 1x64, répartis dans le champ, certains OTDR vont permettre de travailler avec une largeur d'impulsion de 500ns (au lieu de 1µs ou plus).

- Pour mémoire, les nouveaux équipements intelligents basés sur la technologie réflectométrique permettent dorénavant de prendre des mesures automatiquement à ces différentes largeurs d'impulsion pour n'afficher qu'un rendu unique représentant parfaitement le réseau. Il n'est plus nécessaire de choisir la largeur d'impulsion.



Figure 8.18 : exemple de réflectomètre optique

Bobine amorce



Figure 8.19 : bobine amorce

Pour toute mesure réflectométrique, des bobines amorces doivent être placées à chaque extrémité du câble dans le cas de fibres équipées de connecteurs. Ces bobines permettent de caractériser l'atténuation et la réflexion des connexions d'extrémité dans chaque sens de propagation.

Sa longueur dépend de la largeur d'impulsion. Dans un réseau PON dont les distances sont courtes (très inférieures à 80Km), la longueur d'impulsion maximum utilisée est de 1µs. Cela correspond à une longueur d'environ 110m. Des bobines amorces de 150m suffiront donc.

Certains cahiers des charges stipulent encore des longueurs de 1000m et plus. Ils ne font que reprendre les usages pour les réseaux « longue distance ». Lorsque le réseau ne fait que 4 ou 5Km de long, il est préférable de ne pas rajouter 2Km (voir 4Km) de longueur.

- Les connecteurs de ces bobines doivent être vérifiés et remplacés régulièrement afin de ne pas fausser la valeur d'affaiblissement des connecteurs de la liaison.
- Les bobines amorces seront en fibre G.652, quel que soit le type de fibre du câble.

8.6.4 DOSSIER DE MESURE DE RACCORDEMENT (AVEC RÉFLECTOMÉTRIE)

Le dossier de mesure de raccordement doit contenir impérativement :

- Une vérification visuelle des installations ;
- Une vérification des informations enregistrées dans le SIG ;
- Un contrôle de continuité optique ;
- Un schéma de la liaison, créé par le prestataire et faisant apparaître notamment toutes les distances, les épissures et connecteurs et toute information nécessaire à la compréhension du schéma général ;
- La marque, le modèle des appareils de mesures ainsi que la date de leur calibrage ;
- La longueur des bobines amorces ainsi que la nature de la fibre de la bobine amorce ;
- Le dossier réflectométrique complet (courbes de toutes les fibres), ainsi que le tableau récapitulatif des résultats à 1310 et 1550 nm comprenant :
 - la valeur dans les deux sens et la valeur moyennée (si une mesure bidirectionnelle est demandée) :
 - > des affaiblissements de tous les événements, des affaiblissements linéaires, du taux de réflexion de chaque connecteur,
 - > l'affaiblissement réflectométrique total de la liaison pour chaque fibre, incluant s'il y a lieu les connecteurs d'extrémité,

- > les écarts d'atténuation, pour les connecteurs et les épissures entre les deux longueurs d'onde, si une mesure aux deux longueurs d'ondes est demandée
- > la longueur cumulée de tous les tronçons optiques.

La courbe réflectométrique – ou le synoptique de réseau - est un élément indispensable en cas de litige. Ces mesures sont demandées pour garantir que le travail réalisé (tirage de câble, raccordement, installation des coupleurs) respecte les critères de qualité.

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

9.1 LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 :	position du point de mutualisation (source ARCEP)	13
Figure 2.1 :	croissance du débit d'accès depuis 1985	29
Figure 2.2 :	téléchargement ou streaming	29
Figure 2.3 :	applications envisageables à l'horizon 2015-2020	29
Figure 2.4 :	diffusion du télétravail dans les pays de l'OCDE (source Gartner 11-2009)	30
Figure 2.5 :	représentation graphique d'un réseau	32
Figure 2.6 :	date d'apparition des différents types de support de transmission	32
Figure 2.7 :	exemple de typologie de réseau	33
Figure 2.8 :	organisation de la boucle locale cuivre	35
Figure 2.9 :	services ADSL disponibles en fonction de la distance au NRA	35
Figure 2.10 :	pyramide des couches du réseau d'accès	36
Figure 2.11 :	répartition des investissements et des revenus d'un réseau	36
Figure 2.12 :	réseau de collectivité	37
Figure 2.13 :	déclinaison des architectures FTTx	39
Figure 2.14 :	déclinaison d'architecture FTTx - le cas du NRA- HD	40
Figure 2.15 :	déclinaison d'architecture FTTx - le cas des réseaux câblés HFC	40
Figure 2.16 :	déclinaison d'architectures FTTx - le cas du « curb switch Ethernet »	40
Figure 2.17 :	topologie FTTH point à point (P2P)	41
Figure 2.18 :	topologie FTTH en double étoile active (AON)	41
Figure 2.19 :	topologie FTTH en PON	41
Figure 3.1 :	le modèle en couches du réseau d'accès	45
Figure 3.2 :	architecture cible FTTH	47
Figure 3.3 :	PBO avec câblage au fil de l'eau	48
Figure 3.4 :	PBO avec pré-câblage à 100%	48
Figure 3.5 :	le câblage des immeubles collectifs	49
Figure 3.6 :	schéma général des différentes configurations possibles	51
Figure 3.7 :	cas d'un PM avec hébergement des actifs	52
Figure 3.8 :	cas d'un PM sans hébergement des actifs	52
Figure 3.9 :	Figure 3.9 : cas d'un PM avec accès des opérateurs au niveau du NRO	53
Figure 3.10 :	cas d'un PM avec accès des opérateurs au niveau d'un boîtier intermédiaire	53
Figure 3.11 :	cas d'un PM au niveau d'un NRO avec hébergement des actifs des opérateurs	54
Figure 3.12 :	cas d'un PM < 1000 au niveau d'un NRO sans hébergement des actifs des autres opérateurs	54
Figure 3.13 :	évolution des débits liés à une utilisation basique (source : CETE de l'Ouest)	57
Figure 3.14 :	la boucle locale cuivre	57
Figure 3.15 :	les briques de la montée en débit	57
Figure 3.16 :	exemple de bi-injection	58
Figure 3.17 :	exemple de mono-injection	58
Figure 3.18 :	exemple de cohabitation en mono-injection d'un déport optique et d'un DSLAM	59
Figure 4.1 :	synoptique du réseau d'accès	66
Figure 4.2 :	exemple de tube rainuré	68
Figure 4.3 :	fourreau en tranchée standard	70
Figures 4.4 :	assemblage de micro-tubes en nappe et pose en rainure	70
Figure 4.5 :	réhabilitation génie civil	71
Figure 4.6 :	micro-tubes assemblés	71

Figure 4.7 : accessoires de tirage	71
Figure 4.8 : section d'un fourreau PeHD avec micro-tubes indépendants	71
Figure 4.9 : section d'un fourreau avec micro-tubes assemblés	72
Figure 4.10 : micro-tubes et assemblage de micro-tubes FRLSOH	72
Figure 4.11 : micro-tubes et assemblage de micro-tubes enterrables	73
Figure 4.12 : assemblage de micro-tubes avec gaine de protection	73
Figure 4.13 : accessoires pour fourreaux	73
Figure 4.14 : raccords pour micro-tubes	74
Figure 4.15 : boîtiers de dérivation	74
Figure 4.16 : atténuation spectrale des fibres G652 B & D	78
Figure 4.17 : câble forte contenance	80
Figure 4.18 : traitement des modules et identification	81
Figure 4.19 : structure d'un câble pleine terre / égouts	81
Figure 4.20 : structure d'un câble tunnel / métro	82
Figure 4.21 : structure d'un câble structure mini-unitube	83
Figure 4.22 : structure d'un câble structure renforcée	83
Figure 4.23 : câble pour portage à l'air	84
Figure 4.24 : coupe d'un module dans un câble à accessibilité permanente	85
Figure 4.25 : vue en coupe d'un câble à accessibilité permanente	85
Figure 4.26 : principe de l'accessibilité permanente sans épissure	85
Figure 4.27 : vue en coupe d'un câble à accessibilité permanente	85
Figure 4.28 : câble aérien pour appuis HTA	86
Figure 4.29 : câble aérien pour appuis Télécom ou BT	87
Figures 4.30 : câbles aérien en "8" en sans protection	87
Figure 4.31 : câble de branchement intérieur / extérieur	88
Figure 4.32 : câble de branchement extérieur	88
Figure 4.33 : câble optique en façade (Saint Lo)	89
Figure 4.34 : câble de branchement extérieur	89
Figure 4.35 : câble intérieur de colonne montante	90
Figure 4.36 : câble immeuble de branchement	91
Figure 4.37 : câble de colonne montante pré-connectorisé sur touret carton	92
Figure 4.38 : câble de branchement pré-connectorisé	92
Figure 4.39 : exemples d'épissures mécaniques et outillages de mise en oeuvre	93
Figure 4.40 : connecteurs SC/PC et SC/APC (vert)	94
Figure 4.41 : schéma de câblage d'un pigtail 900 μ	95
Figure 4.42 : illustration de l'installation d'un pigtail 900 μ	95
Figure 4.43 : schéma d'installation d'un pigtail 2mm	96
Figure 4.44 : principe de brassage d'un pigtail 2mm	96
Figure 4.45 : illustration de l'installation d'un pigtail 2mm	96
Figure 4.46 : principe de brassage d'une jarretière 2mm	96
Figure 4.47 : exemple de connecteur monté terrain	97
Figure 4.48 : outillages de montage des connecteurs montés terrain	97
Figure 4.49 : symboles pour la schématisation des solutions de câblage de coupleurs	99
Figure 4.50 : coupleur avec entrée et sorties pré-connectorisées	100
Figure 4.51 : coupleur 1x32 "nu" et coupleur 1x16 "nu" pré-connectorisé sans dispositif d'intégration pour répartiteur	100
Figure 4.52 : coupleur avec entrée fibre nue soudée et sorties 900 μ m pré-connectorisées	100

Figure 4.53 : coupleur avec entrée longue et sorties pré-connectorisées	101
Figure 4.54 : coupleur avec entrée fibre nue soudée et sorties longues pré-connectorisées	101
Figure 4.55 : coupleur avec entrée et sorties longues pré-connectorisées	102
Figure 4.56 : coupleur 1x32 en boîtier avec gaine 2mm sans dispositif d'intégration	102
Figure 4.57 : tiroirs 19 pouces hauteur 1U (2 coupleurs 1x16) et 3U (2 coupleurs 1x64)	103
Figure 4.58 : modules coupleurs 1x64 (sortie sur raccords)	103
Figure 4.59 : modules coupleurs 1x8 et 1x64 (sorties longues)	103
Figure 4.60 : ingénierie type raccordement direct	105
Figure 4.61 : ingénierie type raccordement indirect	106
Figure 4.62 : répartiteurs sur fermes	107
Figure 4.63 : répartiteurs en baies	107
Figure 4.64 : répartiteurs sur ferme en raccordement indirect	108
Figure 4.65 : baies en raccordement indirect	108
Figure 4.66 : câblage d'un répartiteur à 100% de jarretières	108
Figure 4.67 : armoire de rue RAL7035 anti graffiti	109
Figure 4.68 : Armoire de rue active et passive 360 LR en SC (576 FO abonnés + 36 FO pour collecte) double paroi	110
Figure 4.69 : gabarit de pose et armoire sur socle béton	111
Figure 4.70 : armoire câblée à 100%	111
Figure 4.71 : shelters béton	112
Figure 4.72 : exemple d'implantation shelter PM1000 avec répartiteur en baie	113
Figure 4.73 : opération de grutage	115
Figure 4.74 : Shelters intégrés dans l'environnement	115
Figure 4.75 : boîtier de jonction et piquage	116
Figure 4.76 : exemple de PRDM	116
Figure 4.77 : exemples de point d'attente	116
Figures 4.78 : entrées et sorties de câbles	117
Figure 4.79 : exemples de système d'ouverture d'un boîtier	117
Figures 4.80 : points de branchement optique façade, poteau et souterrain	118
Figure 4.81 : schématisation du câblage d'un petit et d'un grand immeuble (gauche)	118
Figure 4.82 : boîtier de pied d'immeuble	118
Figures 4.83 : exemple d'un PBO pour le câblage d'un immeuble ancien	119
Figures 4.84 : boîtier d'étage	119
Figure 4.85 : DTIO intérieur	119
Figure 4.86 : prise terminale optique 2 fibres	120
Figure 5.1 : confection de tranchée et mise en place des fourreaux sous chaussée (Classe Trafic Type T5)	122
Figure 5.2 : pose de fourreau en tranchée standard	122
Figure 5.3 : coupe d'une saignée réalisée en micro-tranchage classique - Pose de plusieurs fourreaux	123
Figures 5.4 : machine de micro-tranchage en milieu urbain	124
Figure 5.5 : étapes de mise en œuvre de micro-tranchage - détection des réseaux existants sous chaussée	124
Figure 5.6 : étapes de mise en œuvre de micro-tranchage - tranchage	125
Figure 5.7 : étapes de mise en œuvre de micro-tranchage - pose de fourreaux	125
Figure 5.8 : étapes de mise en œuvre de micro-tranchage - remblaiement béton	125
Figure 5.9 : étapes de mise en œuvre de micro-tranchage - réfection de la couche de roulement	126

Figure 5.10 : schéma technique de la machine de micro-tranchage en milieu urbain ou semi-urbain sous chaussée	126
Figure 5.11 : schéma technique de la machine de micro-tranchage sous chaussée ou trottoir	127
Figure 5.12 : atelier de micro-tranchage en action	127
Figure 5.13 : système de pose de micro-tubes par soufflage	128
Figure 5.14 : pose en conduite occupée avec un câble	128
Figures 5.15 : pose de micro-conduite	128
Figures 5.16 : pose de micro-tubes indépendants et micro-conduite	129
Figure 5.17 : baies communications et serveurs	131
Figure 5.18 : corridors froids, haute densité	131
Figure 5.19 : passage des câbles en partie haute	131
Figure 5.20 : accès connectique	131
Figure 5.21 : accessoires de contrôle des micro-tubes	132
Figure 5.22 : mandrin adapté au contrôle des conduites PVC	133
Figure 5.23 : mandrin adapté au contrôle des conduites PeHD	133
Figure 6.1 : pose par soufflage - tirage	137
Figure 6.2 : pose par soufflage	138
Figure 6.3 : pince d'ancrage	142
Figures 6.4 : mise en place du balisage	143
Figure 6.5 : mise en place des pouliés provisoires	143
Figure 6.10 : Joint ou protection d'épissure optique	145
Figure 6.11 : Positionnement d'un joint dans une chambre	145
Figures 6.12 : installation d'un boîtier dans une chambre	146
Figure 6.16 : configuration joint droit	148
Figure 6.17 : configuration distribution	148
Figure 6.18 : configuration piquage en ligne	148
Figure 6.19 : soudeuse alignement sur cœur	149
Figure 6.22 : Raccordement câbles sur PBO	150
Figure 7.1 : CPE susceptible de supporter quatre opérateurs de services indépendants	157
Figure 7.2 : schéma d'une chaîne de liaison Ethernet point à point	157
Figure 7.3 : schéma d'une chaîne de liaison Ethernet en double étoile active (AON)	158
Figures 7.4 : exemple de NRO AON (réseau départemental de l'Ain mis en place par le SIEA) et de CPE chez l'abonné (la gestion des fibres est intégrée dans le module abonné)	158
Figure 7.5 : schéma d'une chaîne de liaison PON	160
Figure 7.6 : schéma d'un réseau WDM-PON (cas d'une longueur d'onde par abonné)	161
Figure 7.7 : exemple d'OLT industriel	162
Figure 7.8 : exemple de coupleurs industriels	163
Figure 7.9 : exemple d'ONU industriel	163
Figure 7.10 : chaîne de liaison type d'une architecture PON	165
Figure 7.11 : exemple de dimensionnement pour de zones distantes	167
Figure 7.12 : schéma de PON DWDM	168
Figure 7.13 : mutualisation passive des PON	169
Figure 8.1 : segments de l'architecture du réseau d'accès	172
Figure 8.2 : tronçons sur le réseau d'accès	173
Figure 8.3 : tests OTDR (NRO-PBO) – architecture avec coupleurs	174
Figure 8.4 : laser rouge pour le test du raccordement d'abonné	176

Figure 8.5 : constitution d'un « circuit » point à point FTTH	177
Figure 8.6 : constitution d'un « circuit » point à multipoint FTTH	177
Figure 8.7 : schéma de principe d'une mesure par insertion	179
Figure 8.8 : mesure de puissance sélective	180
Figure 8.9 : trace OTDR (NRO-PBO) – infrastructure mettant en oeuvre des coupleurs	182
Figure 8.10 : réflectomètre de nouvelle génération	182
Figure 8.11 : surveillance dans le temps atténuation et réflectance	184
Figure 8.12 : système global de gestion	186
Figure 8.13 : cartographie	186
Figure 8.14 : gestion de l'infrastructure	187
Figure 8.15 : système de surveillance RFTS	187
Figure 8.16 : insertion d'un testeur dans l'installation d'abonné	188
Figure 8.17 : pince optique	190
Figure 8.18 : exemple de réflectomètre optique	192
Figure 8.19 : bobine amorce	192

9.2 LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : articulation des documents (source : directive du Premier Ministre)	24
Tableau 2.1 : temps de chargement en fonction de la technologie d'accès	29
Tableau 2.2 : débit nécessaire par programme TV	31
Tableau 2.3 : débit nécessaire par logement	31
Tableau 2.4 : les différentes couches de réseau et leurs caractéristiques	34
Tableau 2.5 : répartition des NRA de France Télécom par capacité	34
Tableau 2.6 : Panorama des solutions d'accès	34
Tableau 2.7 : marché mondial FTTH	42
Tableau 2.8 : marché français FTTH	42
Tableau 3.1 : longueur moyenne de câble par logement	56
Tableau 3.2 : synthèse des différentes solutions techniques	59
Tableau 3.3 : MeD - comparaison des solutions techniques	64
Tableau 4.1 : norme fourreaux télécoms	67
Tableau 4.2 : dimensions de tubes avec indication des diamètres de câble pour pose en tirage	69
Tableau 4.3 : dimensions de micro-tubes avec indication des capacités de câbles pour soufflage	69
Tableau 4.4 : rayons de courbure applicables aux micro-tubes	74
Tableau 4.5 : types de chambres sous trottoir	75
Tableau 4.6 : types de chambres sous chaussée	76
Tableau 4.7 : systèmes de câblage	77
Tableau 4.8 : caractéristiques des fibres G657 selon ITU G657 version de Novembre 2009	78
Tableau 4.9 : code des couleurs - fibres et modules	79
Tableau 4.10 : caractéristiques des câbles à forte contenance	81
Tableau 4.11 : caractéristiques des câbles mini-unitube	83
Tableau 4.12 : caractéristiques des câbles pour portage à l'air	84
Tableau 4.13 : conditions climatiques	86
Tableau 4.14 : portée d'un câble ADSS 48 fibres	86

Tableau 4.15 : caractéristiques mécaniques de câbles aérien de distribution	87
Tableau 4.16 : caractéristiques des câbles intérieurs de colonne montante	90
Tableau 4.17 : caractéristiques principales des épissures et connecteurs	94
Tableau 4.18 : caractéristiques principales d'un connecteur monté terrain	97
Tableau 4.19 : caractéristiques standards des coupleurs PLC	98
Tableau 4.20 : indication de dimensions de coupleurs PLC	99
Tableau 4.21 : types de nœuds d'exploitation	104
Tableau 4.22 : caractéristiques d'un shelter béton	113
Tableau 4.23 : caractéristiques des chambres de communications électroniques	117
Tableau 5.1 : micro-tranchage en milieu urbain sous chaussée - largeurs et profondeurs des micro-tranchées	126
Tableau 5.2 : micro-tranchage en milieu urbain sous trottoir - largeurs et profondeurs des micro-tranchées	127
Tableau 5.3 : dimension des mandrins en fonction des types et dimensions de la conduite à contrôler	133
Tableau 6.1 : caractéristiques du compresseur pour la pose par soufflage	140
Tableau 6.2 : distance de pose par flottage - câble de 11mm de diamètre	140
Tableau 6.3 : stratégies de déploiement d'un réseau FTTH	151
Tableau 7.1 : solutions Ethernet point à point	157
Tableau 7.2 : évolution des normes PON	159
Tableau 7.3 : caractéristiques type d'un OLT PON industriel	163
Tableau 7.4 : caractéristiques type d'un ONU PON industriel	164
Tableau 7.5 : modélisation des besoins en fibres de transport dans le cas de systèmes PON	165
Tableau 7.6 : caractéristiques comparées des systèmes P2P, AON et PON	166
Tableau 8.1 : synthèse des tests réalisés sur les circuits de la couche optique	178
Tableau 8.2 : valeur moyenne d'affaiblissement des différents composants d'un circuit optique	181
Tableau 8.3 : exemple de calcul de bilan optique pour un PON non activé	181
Tableau 8.4 : valeur moyenne d'affaiblissement des différents composants d'un circuit optique	184



RECOMMANDATIONS UIT ET NORMES IEEE

FIBRES :

- G.652 : fibres monomodes standard
- G.657 : Fibres monomodes à faible rayon de courbure

RÉSEAUX PON :

- G.984.1 : GPON – Caractéristiques générales
- G.984.2 : GPON – Couche physique
- G.984.3 : GPON – Couche Convergence de transmission
- G.984.4 : GPON – Gestion des ONT
- G.984.5 : GPON – Extension de bande
- G.984.6 : GPON – Portée étendue
- G.984.7 : GPON – Longue portée
- G.987 : XG-PON
- IEEE 802.3ah : EPON (1 Gbit/s)
- IEEE 802.3av : 10G EPON (10 Gbit/s)

RÉSEAUX POINT-À-POINT :

- G.985 : Ethernet 100 Mbit/s – Point à Point
- G.986 : Ethernet 1Gbit/s – Point à Point

ACRONYMES

Acronyme	Terminologie	Définition
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber 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.
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.
AMII	Appel à manifestations d'intentions d'investissements	Projets des opérateurs de déploiements de réseaux de boucle locale à très haut débit en fibre optique à horizon de 5 ans sur des zones situées hors des zones très denses.
ANT	Aménagement numérique du territoire	L'aménagement numérique du territoire est le processus par lequel les acteurs publics améliorent les conditions d'accès aux ressources de la société de l'information, pour la population (particuliers et entreprises) de leur territoire.
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.
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).
ARCEP	Autorité de Régulation des Communications Électroniques et des Postes	Autorité administrative indépendante française chargée, entre autre de réguler le marché et les services de communications électroniques.
ARS	Agences régionales de santé	Les agences régionales de santé sont en charge de la prévention, la santé publique, la veille et sécurité sanitaire, l'offre de soins et l'accompagnement médico-social.
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.
BPE	Béton Prêt à l'Emploi	Le BPE est préparé dans des installations fixes, les centrales à béton, et transporté jusqu'au lieu d'utilisation par camions malaxeurs ou camions bennes.
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.
B-PON	Broadband Passive Optical Network	Technologie de réseau PON standardisée par l'ITU-T et fondée sur le protocole ATM.
CAA	Centre à Autonomie d'Acheminement	Central de commutation du réseau téléphonique commuté.
CCI	Chambre de Commerce et d'Industrie	Les CCI fournissent informations, conseils et outils pratiques aux entreprises, créateurs d'entreprises, étudiants et lycéens, collectivités territoriales.
CCRANT	Commission consultative régionale pour l'ANT	Instance régionale de concertation réunissant les services de l'Etat et des collectivités et les opérateurs de communications électroniques.
CEI	Commission électrotechnique internationale	La CEI est l'organisation internationale de normalisation chargée des domaines de l'électricité, de l'électronique et des techniques connexes.
CL	Centre Local	Etablissement de France Télécom, intégré dans l'architecture du réseau téléphonique.
CPE	Customer premises equipment	Le CPE est un équipement qui se trouve dans le site d'un client (d'une entreprise) et qui est raccordé à l'infrastructure d'un opérateur via la boucle locale.

Acronyme	Terminologie	Définition
CPL	Courant porteur en ligne	Technique de transmission de données permettant d'utiliser le câblage d'alimentation électrique à l'intérieur du logement.
CGCT	Code Général des Collectivités Territoriales	Ensemble des articles de loi régissant le fonctionnement des Collectivités Territoriales.
CPCE	Code des Postes et Communications Electroniques	Code juridique qui regroupe des dispositions réglementaires et législatives relatives au service postal et aux communications électroniques.
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplexing	Technique de multiplexage en longueurs d'ondes. Les longueurs d'ondes sont ici relativement espacées.
DATAR	Délégation interministérielle à l'aménagement du territoire et à l'attractivité régionale	La DATAR prépare, impulse et coordonne les politiques d'aménagement du territoire menées par l'Etat et accompagne les mutations économiques.
DDT	Direction départementale des territoires	La DDT met en œuvre les politiques publiques d'aménagement et de développement durable du territoire.
DIR	Direction interdépartementale des routes	Service dépendant de la direction des infrastructures de transport du ministère de l'écologie, créé dans le cadre du transfert des routes nationales d'intérêt local aux départements.
DIRECCTE	Direction régionale des entreprises, de la concurrence, de la consommation, du travail et de l'emploi	Direction régionale regroupant des services administratifs issus de divers horizons : commerce extérieur, tourisme, commerce et artisanat, intelligence économique, industrie, travail et emploi, concurrence et consommation.
DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specification	Norme spécifique permettant le transfert de données à vitesse élevée (internet) sur un système de télévision par câble existant. La norme actuelle de référence est DOCSIS 3.0
DOE	Dossier des Ouvrages Exécutés	Terme d'ingénierie décrivant les dossiers de récolement et recette dans une construction.
DP	Domaine Public	En droit public français, le domaine public est l'ensemble des biens appartenant à l'Etat, à des collectivités locales et à des établissements publics et affectés à une utilité publique.
DRAAF	Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt	Service déconcentré du ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du territoire.
DREAL	Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement	Service déconcentré du Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement.
DSL	Digital Subscriber Line	Voir ADSL
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 délégué. Cette solution est beaucoup employée pour mettre en œuvre les infrastructures territoriales de communication.
DTIO	Dispositif de Terminaison d'Intérieur Optique	Équipement de la couche optique passive décrivant la prise terminale d'abonné.
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) avec un espacement de 0,25 à 1,6 nm..
EDGE	Enhanced Data rate for GSM Evolution	Norme compatible avec le GSM (2 ^{nde} génération) permettant d'augmenter les débits et dite aussi 2.75G (voir GPRS).
E PON	Ethernet Passive Optical Networks	Technologie de réseau PON standardisée par l'IEEE (IEEE 802.3ah) et fondée sur la norme Ethernet.
EPCI	Établissement public de coopération intercommunale	L'EPCI est une structure administrative regroupant des communes ayant choisi de développer des compétences en commun.
ETSI	European Telecommunication Standardization Institute	Organisme Européen chargé de la normalisation pour l'ensemble du domaine des télécommunications.
FAI	Fournisseur d'Accès à Internet	Fournisseur de services d'accès à l'internet.
FANT	Fonds d'Aménagement Numérique des Territoires	Créé par la loi Pintat du 17/12/2009.

Acronyme	Terminologie	Définition
FC	Fiber Connector	Type de connecteur optique à fûrûle céramique Ø 2,5 mm
FC/APC	Fiber Connector/Angled Physical Contact	Connecteur FC de type APC (voir APC).
FDDI	Fiber Distributed Data interface	Standard de transmission de données à 100Mbit/s sur un réseau local en fibres optiques.
FH	Faisceau Hertzien	Liaison radioélectrique point à point, bilatérale et permanente (full duplex)
FMC	Field Mountable Connector	Technologie de connecteur optique à montage « terrain »
FNCCR	Fédération nationale des collectivités concédantes et régies	la FNCCR représente ses adhérents au niveau national, auprès des pouvoirs publics, des instances européennes et des entreprises concessionnaires.
FRP	Fiber Reinforced Polymer	Matière polymère résistante utilisée dans la protection des câbles
FSAN	Full Service Access Network	Terme générique regroupant les normes des réseaux d'accès optiques issus des acteurs majeurs des télécoms (opérateurs et équipementiers) des années 1990.
FSN	Fonds national pour la Société Numérique	Le FSN accompagne le développement de l'économie numérique par la mobilisation de moyens à destination des entreprises et des structures de recherche et développement.
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
FTTH	Fiber to the Home	Architecture de réseau de distribution sur fibres optiques où la terminaison optique est située dans le logement des usagers
FTTx	Fiber to the x	Terme générique décrivant les différentes architectures de réseau de distribution optique (FTTC, FTTLA, FTTN, FTTB, FTTH)
GC	Génie Civil	
GFU	Groupe Fermé d'Usagers	Ensemble d'usagers ayant la possibilité de communiquer entre eux, mais pas avec l'extérieur, sauf exception.
GIX	Global Internet eXchange	Point physique permettant aux fournisseurs d'accès internet (FAI-ISP) d'échanger du trafic internet entre leurs réseaux grâce à des accords mutuels dits de « Peering ».
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 (2 ^{ème} génération) permettant d'augmenter les débits par l'introduction de techniques de transmission par paquets et dite aussi 2.5G.
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
HD	Haut Débit	Débit inférieur aux critères définis pour le très haut débit et au minimum supérieur ou égal à 512Kbit/s.
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
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access	Protocole de téléphonie mobile constituant une évolution logicielle de la 3G (UMTS, dite aussi 3.5G ou 3G+). Les performances de cette technologie sont dix fois supérieures à la 3G (UMTS R'99) et permettent d'approcher les performances des réseaux DSL.
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.
IMT-2000	International Mobile Telecommunications-2000	IMT-2000 désigne les technologies d'accès radio des systèmes cellulaires de la troisième génération qui sont retenues par l'UIT.

Acronyme	Terminologie	Définition
INSEE	Institut national de la statistique et des études économiques	
IP	Internet Protocol	Protocole de communications qui attribue à chaque machine une adresse qui permettra l'échange d'informations, transmises de manière discontinue (par paquets).
IPTV	Internet Protocol Television	L'IPTV utilise la même infrastructure que l'accès Internet, mais avec une bande passante réservée.
IRIS	Découpage du territoire en mailles de taille homogène	Les communes de 10 000 habitants et une forte proportion des communes de 5 000 à 10 000 habitants sont découpées en IRIS.
ISO	Organisation internationale de normalisation	L'ISO est le plus grand organisme de normalisation au monde.
ITU-T	International Telecommunication Union – Telecommunications Standardisation Section	Section Télécommunications de l'Union Internationale des Télécommunications, organisme de normalisation des télécoms basé à Genève.
LAN	Local Area Network	Réseau Local –Réseau d'entreprise.
LC	Local Connecteur	Type de connecteur optique basé sur une ferrule Ø 1,25 mm
LFO	Liaison Fibre Optique	Offre de France Télécom permettant le raccordement passif par fibre optique des répartiteurs distants NRA-NRA et NRA-POP.
LMDS	Local Multipoint Distribution Service	Version particulière du MMDS.
LME	Loi de Modernisation de l'Économie	La loi de modernisation de l'économie (LME) est une loi du 4 août 2008, constituée de quatre grands volets : encourager les entrepreneurs, relancer la concurrence, renforcer l'attractivité du territoire et améliorer le financement de l'économie
LTE	Long Term Evolution	Evolution de la norme 3G de téléphonie mobile vers la 4 ^{ème} génération.
LSOH	Low Smoke (0) zero Halogen	Matériau de gainage optique assurant en cas d'incendie une faible diffusion de fumées et le non dégagement de substances halogénées
MAN	Metropolitan Area Network	Réseau métropolitain de télécommunications.
MeD	Montée en Débit	Réaménagement de la boucle locale cuivre de France Télécom pour apporter de meilleurs débits et services.
MMDS	Multichannel Multipoint Distribution System	Système de distribution large bande utilisant la diffusion terrestre sur des fréquences allant de 1 à plusieurs de dizaines de GHZ.
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.
MVDS	Multipoint Video Distribution system	Autre terminologie utilisée pour le MMDS.
NF	Noeud de Flexibilité	Noeud de l'architecture du réseau d'accès optique.
NRA	Noeud de Raccordement d'Abonné	Le NRA est le siège du répartiteur général dans le réseau de boucle locale de France Télécom. C'est au niveau du NRA que les opérateurs alternatifs disposent de l'accès à la boucle locale et peuvent dégroupier les lignes de leurs abonnés
NRA-ZO	Noeud de Raccordement d'Abonné en Zone d'Ombre	NRA créés afin de réduire la distance de ligne des abonnés pour certains sites, d'augmenter le débit des services DSL sur ces lignes et de supprimer les lignes inélégibles.
NRO	Noeud de Raccordement Optique	Point de concentration du réseau en fibre optique d'un opérateur où sont installés les équipements actifs. Dans certains cas, le NRO peut assurer la fonction de PM.
OAM	Operation administration and management	Ou Operations, administration and maintenance ou Operations and maintenance
OC	Opérateur Commercial	Opérateur choisi par le client final pour lui délivrer le service de communications électroniques ou par un fournisseur d'accès au service pour la fourniture d'un service de communications électroniques à son propre client final.

Acronyme	Terminologie	Définition
OI	Opérateur d'Immeuble	Organisme qui a signé une convention avec le propriétaire ou le syndicat de copropriété pour câbler l'immeuble.
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 coté abonné
ONSCE	Observatoire national des services de communications électroniques	
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
P2P	Point à Point	Terme utilisé pour décrire une architecture de réseau Point à Point
PA	Point d'attente	
PBO	Point de Branchement Optique	Nœud de l'architecture du réseau d'accès à partir duquel sont branchés les clients
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 avec un contact physique au niveau des coeurs.
PeHD	Polyéthylène Haute Densité	Ces produits sont adaptés à la pose de câbles dans les réseaux de communications électroniques
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 sur substrat, proche de la microélectronique.
PLU	Plan Local d'Urbanisme	Principal document d'urbanisme et de planification au niveau communal et intercommunal
PM	Point de Mutualisation	Point d'extrémité où l'opérateur d'immeuble donne accès aux lignes à d'autres opérateurs. A partir de ce « point » dans l'architecture réseau des opérateurs, le réseau très haut débit en fibre optique est mutualisé entre les opérateurs (en desserte vers les abonnés).
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.
PNTHD	Programme National Très Haut Débit	Programme national en faveur du très haut débit défini par le gouvernement en juin 2010 avec un objectif de couverture de 100% de la population en 2025.
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, E-PON et G-PON.
POP	Point de Présence Opérateur	Local dans lequel sont hébergés les équipements d'un opérateur et à partir duquel il peut délivrer des services.
PRDM	Point de raccordement distant mutualisé	Point situé en amont du point de mutualisation dont les caractéristiques sont les mêmes que celles d'un point de mutualisation établi en l'absence d'offre de raccordement distant. C'est le point de livraison de l'offre de raccordement distant.
PRM	Points de Raccordements Mutualisés	Offre de référence France Télécom pour l'accès à la sous-boucle filaire, en mono injection, selon les recommandations de l'ARCEP de juin 2011.
PRP	Point de Raccordement passif	Offre de France Télécom pour l'accès à la sous-boucle filaire.

Acronyme	Terminologie	Définition
UIT-T	Union Internationale des Télécommunications	Organisation intergouvernementale technique de coordination
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System	Norme constituant l'implémentation européenne des spécifications IMT-2000 de l'UIT pour les systèmes radio cellulaires 3G.
UTE	Union Technique de l'Electricité	Organisme de normalisation français
UV	Ultraviolet	Rayonnement électromagnétique d'une longueur d'onde plus courte que celle de la lumière visible.
VLAN	Virtual LAN	Réseau Local Virtuel
VOD	Video On Demand	La vidéo à la demande est une technique de diffusion interactive de contenus vidéo numériques 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)
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	Wireless Fidelity	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.
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
ZA/ZAE	Zone d'Activité	
ZMD	Zones moins denses	Les ZMD correspondent au complément des zones très denses.
ZTD	Zones très Denses	Cadre réglementaire défini par l'ARCEP. Elles regroupent 148 communes réparties sur 20 agglomérations ; le reste du territoire est défini « hors des zones très denses ».

LISTE DES ADHÉRENTS AU CREDO

3M Télécommunications	GRANIOU
ACOME	IDEA OPTICAL
ADP	IFOTEC
ALTEIS	INFRACTIVE
AMBITION TELECOM ET RESEAUX	INSTITUT MINES TELECOM
ARTERIA	JDSU
ARUFOG	LASER 2000
Association NOVEA	LEBON CONSEIL
AUBAY	LOOPGRADE
AXIONE	LYCEE LE DANTEC
CAISSE DES DEPOTS	MITSUBISHI ELECTRICITE
CETE de LYON	NORD FIBRE OPTIQUE
CETE de L'OUEST	OPTERNA
CEV	RATP
CIRCET	RTE
DRIVOPTIC	SERPOLLET. COM
E RESO	SNCF
ERI-INFORMATER	SOBECA
ERT TECHNOLOGIES	SOCOTEC
ESIGELEC	TACTIS
EXERA	TELCITE
FIBAPT	TELECOM SUD PARIS
FORMA 2000+	TYCO ELECTRONICS
FORTEL	VIERLING
FNCCR	WAVIN NOVOTECH

LISTE DU COMITÉ ÉDITORIAL ET DES CONTRIBUTEURS D'ACCÈS

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

13.1 COMITÉ ÉDITORIAL

13.1.1 LIGNE ÉDITORIALE

Dominique WATEL : Président du CREDO,
Claude RICHARD : Délégué Général du CREDO,

13.1.2 COMITÉ ÉDITORIAL ET AUTEURS

Gilles BILLET : IFOTEC,
Bastien COLLET : E RESO,
Patrick DEMARET : IDEA OPTICAL,
Eric GANGLOFF : TELECOM SUD PARIS,
Mathieu HUSSON : INFRACTIVE,
Thierry OISEL : AUBAY,
Philippe LESUEUR : ACOME,
Renaud MARTIN : CETE de l'OUEST,
Joël MAU : INSTITUT MINES-TELECOM,
Vincent POCHET : AMBITION TELECOM
ET RESEAUX,
Claude RICHARD : ALTEIS,
Michel TRIBOULET : E RESO,
Dominique WATEL : DRIVOPTIC

13.1.3 AUTEURS ET CONTRIBUTEURS

François ANCENAY : FORTEL,
Gilles BOLOGNESI : SOBECA,
Luc GARCIA : FIRALP-SOBECA,
Anne-Sophie de la GORCE : CAISSE DES
DEPOTS,
Jean-Charles GUERIT : ERI-INFORMATER,
Jacques JAILLET : ACOME,
Laurent LEBAILLY : WAVIN NOVOTECH,
Michel LEBON : LEBON CONSEIL,
Paul LEPINE : CEV,
Frédéric LERICHE : 3M TELECOMMUNICATIONS,
Sylvain MONEGAT : SERPOLLET.COM,
Bernard MILLORIT : TELCITE,
Sophie PAUTONNIER : MITSUBISHI ELECTRICITE,
Gaëtan PERRIER : 3M TELECOMMUNICATIONS,
Mathieu PORTIER : TELCITE,
Fabrice SCHMITZ : Groupe CIRCET,
Sébastien SILHE : Groupe CIRCET,
Alain TRIPLET : LOOPGRADE,
Philippe VASSEUR : CEV,

13.2 COMITÉ DE RELECTURE

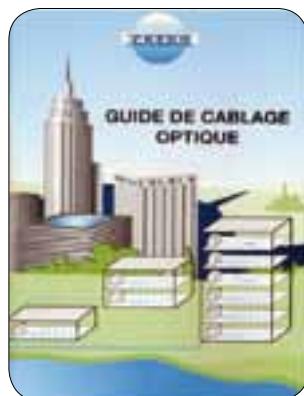
Juan BEZADA : Consultant 3M TELECOMMUNICATIONS,
Arnaud GUERRIER : RTE,
Thierry HELIE : ACOME,
Thierry HOUDARD : AXIONE,
Ivan MESEGUER : INSTITUT MINES-TELECOM,
Pierre OBERDORF : TYCO ELECTRONICS
Philippe PAUTONNIER : TACTIS,
Jean-Luc SALLABERRY : FNCCR,
Philippe THIBAUT : FIBAPT.

RÉFÉRENCES

14.1 PUBLICATIONS ANTÉRIEURES DU CREDO

GUIDE DE CÂBLAGE OPTIQUE

1996



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.

Il 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

1997



Près de 400 définitions du vocabulaire propre à la technologie de la fibre optique sont recensés dans ce glossaire du câblage optique.

Cet ouvrage est organisé par thèmes et 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

1998



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.

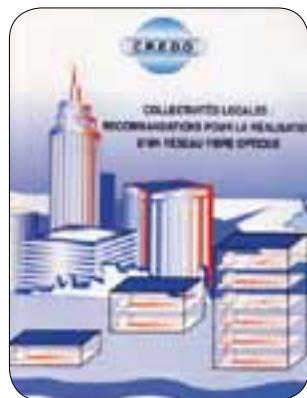
Pour chaque stade de réalisation, il précise les contrôles et mesures

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

1998



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 GFU 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

1999



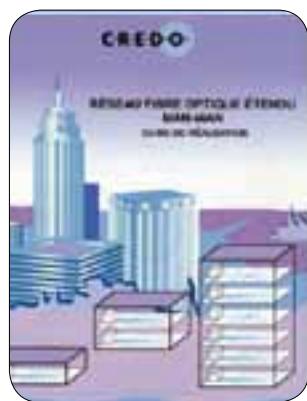
Le savoir-faire des intervenants est un élément décisif aussi stratégique que la qualité des technologies pour la réalisation d'un câblage optique. La lecture de ce guide fournit les éléments indispensables pour l'appréciation et le choix du prestataire le mieux adapté aux besoins et objectifs d'un projet.

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

2001



Cet 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.

LA FIBRE OPTIQUE DANS LES RÉSEAUX D'ENTREPRISE

2002



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 CREDO 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.

TERRITOIRES NUMÉRIQUES : GUIDE DE MISE EN PLACE DE RÉSEAUX FIBRE OPTIQUE HAUT DÉBIT

2003



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.

DÉVELOPPEMENT DES RÉSEAUX À TRÈS HAUT DÉBIT : GUIDE DE MISE EN PLACE DES RÉSEAUX FTTH

2007



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. 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.

Par cet ouvrage, fruit de la vision et de l'expertise partagée de ses membres, le CREDO entend fournir aux décideurs et acteurs du très haut débit 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.

Les conditions pour que la montée en débit sur cuivre ne soit pas un frein au déploiement du FTTH 2011

LES CONDITIONS POUR QUE LA MONTÉE EN DÉBIT SUR CUIVRE NE SOIT PAS UN FREIN AU DÉPLOIEMENT DU FTTH

2011



Ce fascicule édité en juin 2011, exprime clairement la vision du CREDO pour que les opérations de montée en débit (MeD), temporaires mais souvent nécessaires pour éviter une fracture numérique du très haut débit, s'inscrivent dans une logique de déploiement généralisé des réseaux à fibres optiques sur le territoire.

Ce document met en évidence, sous forme de recommandations, les risques, les enjeux et le rôle que devraient jouer les Collectivités Territoriales.



L'association des métiers et expertises
pour le Très Haut Débit

Prix : 60 € TTC

69, rue Ampère - Paris 75017

Retrouvez tous nos événements
et publications sur notre site
www.cercle-credo.com

CREDO