

## L'ouvrage du Cercle C.R.E.D.O éclaire les questions d'aménagement numérique du territoire

Voici quelques années déjà que plusieurs pays publient des stratégies où ils annoncent le 2 Mb/s pour tous alors qu'à cette époque, le haut débit ne dépassait guère les 0,5 Mb/s. La France n'échappe pas à cette règle avec son plan RESO/ 2007 de novembre 2002 et sa stratégie haut débit qui vient d'être publiée. ([http://www.telecom.gouv.fr/index\\_expl.htm](http://www.telecom.gouv.fr/index_expl.htm))

Ils anticipaient en réalité les augmentations de débit que l'on constate dans le temps sur chacune des technologies et ils tiennent aujourd'hui parole avec des croissances fulgurantes de débit. Pensons par exemple que l'on trouve déjà, sur paire de cuivre, du 8 Mb/s en débit descendant et 1 Mb/s en débit montant avec des promesses de tripler à brève échéance.

Mais il ne s'agit encore là que du haut débit et la frontière s'ouvre avec le "très haut débit" qui permet des débits de l'ordre de 100 Mb/s à l'usager final grâce aux technologies de GigaEthernet sur fibre optique.

Les familiers des réseaux internes d'entreprises connaissent bien ces technologies mais qui sait qu'elles commencent à se développer dans des villes urbaines (Milan), suburbaines (Sollentuna dans la banlieue de Stockholm avec 11 000 immeubles raccordés pour une population de 60 000 habitants.) et même dans les zones rurales (la région de Västerbotten dans le Nord de la Suède a investi 28 M € pour les réseaux de collecte et 18 M€ pour les réseaux d'accès qui raccorderont plus de la moitié de ses 30 000 habitants répartis sur 75 000 km<sup>2</sup>.)

Même si l'on ne sait pas encore précisément quels services seront offerts pour les usagers privés reliés à 100 Mb/s, on voit déjà des écoles primaires partagées entre deux villages grâce à la visio-conférence haute définition, des personnes maintenues à domicile grâce à la télé-médecine, des divertissements nouveaux offerts au grand public (vidéo à la demande, jeux en ligne...) pour des prix voisins de ceux du 10 Mb/s.

Quant aux usages professionnels, on voit déjà des applications à 100 Mb/s dans les échanges entre les groupes de l'aéronautique et leurs sous traitants.

Pour ce qui concerne l'intérieur des immeubles, le Premier ministre Anglais a lancé une consultation publique en mars 2003 pour étudier la meilleure option parmi cinq options de bonnes pratiques ou de législation sur le câblage des immeubles.

Quelle conséquence en tirer pour la France avec sa politique de soutien au déploiement du haut débit affinée à chaque CIADT et pour les collectivités locales dont un nombre croissant se préoccupe de l'aménagement numérique de leur territoire ?

Est-ce que les technologies classiques ou alternatives de haut débit (câble, DSL, Wimax, Wifi, Bluetooth, CPL, satellite ...) et les algorithmes de compression (ex MPEG 4) se développeront suffisamment vite pour satisfaire les besoins des usagers avec les technologies actuelles du haut débit ou est-ce que la fibre optique jusque chez l'habitant deviendra un point de passage obligé ?

Tel est un des points que l'ouvrage du Cercle C.R.E.D.O permet d'éclairer à la fois dans les bâtiments et entre les bâtiments et les réseaux de télécommunications.

**Nicolas Jacquet**

Délégué à l'Aménagement du Territoire et à l'Action Régionale

**Alain Ducass**

Chef de mission "Aménagement numérique du territoire" à la DATAR



<b><u>1 - PRÉAMBULE</u></b>	<b>1</b>
<b><u>2 - QU'EST CE QU'UN RÉSEAU DE TÉLÉCOMMUNICATIONS ?</u></b>	<b>3</b>
<b><u>3 - PANORAMA DU MARCHÉ DES TÉLÉCOMMUNICATIONS</u></b>	<b>13</b>
<b><u>4 - QUEL RÔLE POUR LES TERRITOIRES ?</u></b>	<b>19</b>
<b><u>5 - LES ÉTAPES D'UNE BONNE MISE EN PLACE</u></b>	<b>26</b>
<b><u>6 - INGÉNIERIE DES RÉSEAUX DE COLLECTE</u></b>	<b>29</b>
<b><u>7 - TECHNOLOGIES ET PRODUITS DES RÉSEAUX DE COLLECTE</u></b>	<b>40</b>
<b><u>8 - LES APPLICATIONS MISES EN ŒUVRE DANS LE RÉSEAU DE COLLECTE</u></b>	<b>55</b>
<b><u>9 - INGÉNIERIE DES RÉSEAUX D'ACCÈS</u></b>	<b>64</b>
<b><u>10 - TECHNOLOGIES ET PRODUITS DES RÉSEAUX D'ACCÈS</u></b>	<b>83</b>
<b><u>11 - RÈGLES ET TECHNIQUES DE MISE EN ŒUVRE DES CÂBLES</u></b>	<b>97</b>
<b><u>12 - EXPLOITATION ET MAINTENANCE</u></b>	<b>104</b>
<b><u>13 - ACRONYMES</u></b>	<b>113</b>
<b><u>14 - RÉFÉRENCES</u></b>	<b>120</b>
<b><u>15 - LISTE DES MEMBRES ET CONTRIBUTEURS</u></b>	<b>122</b>

# SOMMAIRE DÉTAILLÉ



<b>1 - PRÉAMBULE</b>	<b>1</b>
<b>2 - QU'EST CE QU'UN RÉSEAU DE TÉLÉCOMMUNICATIONS ?</b>	<b>3</b>
<b>2.1 HISTORIQUE ET ÉVOLUTION DES RÉSEAUX DE COMMUNICATION</b>	<b>3</b>
<b>2.2 LES SERVICES ET LES APPLICATIONS</b>	<b>3</b>
<b>2.3 NOTIONS D'ARCHITECTURE DES RÉSEAUX</b>	<b>5</b>
<b>2.4 HIÉRARCHIE DES RÉSEAUX DE COMMUNICATION</b>	<b>6</b>
2.4.1 RÉSEAUX LONGUE DISTANCE	6
2.4.2 RÉSEAUX DE COLLECTE	6
2.4.3 RÉSEAUX D'ACCÈS OU DE DESSERTE	7
<b>2.5 EXEMPLES DE MISE EN ŒUVRE D'APPLICATIONS</b>	<b>9</b>
2.5.1 INTERCONNEXION DE RÉSEAUX D'ENTREPRISE	9
2.5.2 RÉSEAU DE VIDÉOSURVEILLANCE URBAINE	10
2.5.3 RACCORDEMENT DE ZAC	10
2.5.4 LE HAUT DÉBIT EN ZONE RURALE	11
<b>3 - PANORAMA DU MARCHÉ DES TÉLÉCOMMUNICATIONS</b>	<b>13</b>
<b>3.1 CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE</b>	<b>13</b>
<b>3.3 LA VALORISATION DES EMPRISES</b>	<b>15</b>
3.3.1 RÉSEAUX LONGUE DISTANCE - LES RÉSEAUX AUTOROUTIERS	15
3.3.2 RÉSEAUX LONGUE DISTANCE - LES RÉSEAUX FÉRROVIAIRES	16
3.3.3 RÉSEAUX LONGUE DISTANCE - LES VOIES FLUVIALES	16
3.3.4 RÉSEAUX LONGUE DISTANCE - LES RÉSEAUX DE TRANSPORT ÉLECTRIQUE	16
3.3.5 RÉSEAUX URBAINS - L'EXEMPLE DE TELCITÉ (FILIALE TÉLÉCOM DE LA RATP)	17
3.3.6 RÉSEAUX URBAINS - VALORISATION DES EMPRISES DES VILLES	18
<b>3.4 CONTEXTE ÉCONOMIQUE ET ÉTAT D'ÉQUIPEMENT</b>	<b>18</b>
<b>4 - QUEL RÔLE POUR LES TERRITOIRES ?</b>	<b>19</b>
<b>4.1 LES ENJEUX ET ATOUTS POUR LES TERRITOIRES</b>	<b>19</b>
<b>4.2 LE CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE</b>	<b>20</b>
<b>4.3 DOMAINE D'INTERVENTION DES TERRITOIRES</b>	<b>21</b>
4.3.1 LES RÉSEAUX NATIONAUX	21
4.3.2 LES RÉSEAUX DE COLLECTE "MAN"	21
4.3.3 LES RÉSEAUX D'ACCÈS	22
<b>4.4 UN RÉSEAU DE COLLECTE POURQUOI FAIRE ?</b>	<b>23</b>
<b>4.5 UN RÉSEAU D'ACCÈS HAUT DÉBIT POURQUOI FAIRE ?</b>	<b>23</b>
4.5.1 QUELLE TECHNOLOGIE POUR QUEL SERVICE DANS L'ACCÈS ?	23
4.5.2 QUEL SERVICE POUR QUELLE TYPOLOGIE D'USAGE ?	24

<b>5 - LES ÉTAPES D'UNE BONNE MISE EN PLACE</b>	<b>26</b>
<b>  5.1 PLANIFIER</b>	<b>26</b>
5.1.1 ENQUÊTES DE BESOINS UTILISATEURS	26
5.1.2 APPÉTENCE DES FOURNISSEURS DE SERVICES	26
5.1.3 ETUDE ET INGÉNIERIE DU RÉSEAU	26
<b>  5.2 ÉTABLIR</b>	<b>27</b>
<b>  5.3 GÉRER</b>	<b>27</b>
<b>6 - INGÉNIERIE DES RÉSEAUX DE COLLECTE</b>	<b>29</b>
<b>  6.1 RÈGLES D'INGÉNIERIE</b>	<b>29</b>
6.1.1 ARCHITECTURE GÉNÉRALE	29
6.1.2 COMPOSANTES DU RÉSEAU DE COLLECTE	31
6.1.3 DIMENSIONNEMENT DU RÉSEAU DE COLLECTE	32
6.1.4 ORGANISATION ET DIMENSIONNEMENT DES CENTRES TÉLÉCOMS	34
6.1.5 TESTS ET RECETTE	36
<b>  6.2 UTILISATION DES EMPRISES RÉGIONALES DE RTE</b>	<b>37</b>
6.2.1 L'ADAPTATION AUX BESOINS DES TERRITOIRES	37
6.2.2 UN RÉSEAU SÉCURISÉ ET MAILLÉ	37
6.2.3 UNE COUVERTURE NATIONALE COMPLÈTE	38
<b>  6.3 UTILISATION DES EMPRISES RÉGIONALES DE RFF</b>	<b>38</b>
6.3.1 PRÉSENTATION DE RFF	38
6.3.2 UN RÉSEAU ÉTENDU ET LINÉAIRE QUI DESSERT 11 000 COMMUNES	38
6.3.3 RFF ET SNCF : DES PARTENAIRES OFFRANT DES AVANTAGES	39
<b>  6.4 L'APPUI DES AUTRES EMPRISES</b>	<b>39</b>
<b>7 - TECHNOLOGIES ET PRODUITS DES RÉSEAUX DE COLLECTE</b>	<b>40</b>
<b>  7.1 PANORAMA DES FIBRES MONOMODES - QUELLE FIBRE CHOISIR ?</b>	<b>40</b>
7.1.1 LA FIBRE G652 - SMF	40
7.1.2 LA FIBRE G652 À FAIBLE PMD	40
7.1.3 LA FIBRE G652C	41
7.1.4 LES FIBRES G655 - NZ-DSF	41
7.1.5 QUELLE FIBRE DÉPLOYER ?	42
<b>  7.2 LE CÂBLE OPTIQUE</b>	<b>42</b>
7.2.1 CHOIX D'UNE STRUCTURE ÉLÉMENTAIRE	43
7.2.2 CHOIX DES ÉLÉMENTS DE RENFORTS DES CÂBLES	44
7.2.3 CHOIX DE LA GAINÉE DU CÂBLE	44
7.2.4 CHOIX D'UN CÂBLE SELON SON ENVIRONNEMENT ET SA MISE EN ŒUVRE	45
<b>  7.3 LA CONNECTIQUE OPTIQUE</b>	<b>47</b>
7.3.1 TYPES ET CHOIX DE CONNECTEURS	47
7.3.2 LES ÉPISSURES	48
<b>  7.4 LES RÉPARTITEURS</b>	<b>49</b>
7.4.1 CRITÈRES DE CHOIX	50
7.4.2 L'APPLICATION	50
7.4.3 LA CONFIGURATION DU NŒUD	51
7.4.4 LES AUTRES PARAMÈTRES	51

<b>7.5 BOÎTIERS DE RACCORDEMENT ET D'ÉPISSURAGE</b>	<b>52</b>
7.5.1 DÉFINITIONS	52
7.5.2 CRITÈRES DE CHOIX	53
7.5.3 QUELQUES RECOMMANDATIONS	54
<b>8 - LES APPLICATIONS MISES EN ŒUVRE DANS LE RÉSEAU DE COLLECTE</b>	<b>55</b>
<b>8.1. CODAGE ET TRANSMISSION DES SIGNAUX</b>	<b>55</b>
8.1.1 INTRODUCTION	55
8.1.2 CODAGE DES SIGNAUX	55
8.1.3 MULTIPLEXAGE ET COMMUTATION/ROUTAGE	56
<b>8.2 LES APPLICATIONS LONGUE DISTANCE ET MÉTROPOLITAINES</b>	<b>58</b>
8.2.1 LES APPLICATIONS SDH	58
8.2.2 LES APPLICATIONS DWDM	59
<b>8.3 LES APPLICATIONS MÉTROPOLITAINES</b>	<b>61</b>
8.3.1 LES ARCHITECTURES ET SYSTÈMES WDM MÉTRO - L'ÉVOLUTION VERS LE CWDM	61
8.3.2 LES SYSTEMES D'INTERCONNEXION LAN À LAN	62
8.3.3 SYSTÈMES DE COMMUTATION OPTIQUE ET ÉVOLUTION VERS GMPLS	63
<b>9 - INGÉNIERIE DES RÉSEAUX D'ACCÈS</b>	<b>64</b>
<b>9.1 LA PROBLÉMATIQUE DE LA FIBRE DANS LE RÉSEAU D'ACCÈS</b>	<b>64</b>
<b>9.2 LES PREMIÈRES MISES EN ŒUVRE OPÉRATIONNELLES</b>	<b>65</b>
9.2.1 APPLICATIONS PROFESSIONNELLES	65
9.2.2 APPLICATIONS INSTITUTIONNELLES	65
9.2.3 APPLICATIONS RÉSIDENTIELLES	66
<b>9.3 LES ÉVOLUTIONS RÉCENTES</b>	<b>67</b>
9.3.1 APPLICATIONS PROFESSIONNELLES	67
9.3.2 LES RÉSEAUX CÂBLÉS MODERNES	67
<b>9.4 LES PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION</b>	<b>68</b>
<b>9.5 ARCHITECTURE DES RÉSEAUX D'ACCÈS</b>	<b>69</b>
9.5.1 INTRODUCTION	69
9.5.2 ARCHITECTURE CIBLE	70
9.5.3 DÉCLINAISONS DE L'ARCHITECTURE CIBLE	71
<b>9.6 INGÉNIERIE ET DIMENSIONNEMENT DU RÉSEAU D'ACCÈS</b>	<b>72</b>
9.6.1 DESSERTE EN HABITAT URBAIN DENSE	72
9.6.2 DESSERTE EN HABITAT URBAIN RÉSIDENTIEL	73
9.6.3 DESSERTE DE ZAC	74
9.6.4 DESSERTE EN HABITAT RURAL DISPERSÉ	76
<b>9.7 ARCHITECTURE DE CÂBLAGE D'INTÉRIEUR ET ACCÈS À L'ABONNÉ</b>	<b>77</b>
9.7.1 ARCHITECTURE DE DISTRIBUTION ÉTOILE	77
9.7.2 ARCHITECTURE À ACCESSIBILITÉ PERMANENTE	77
<b>9.8 INGÉNIERIE ET DIMENSIONNEMENT DU RÉSEAU D'INFRASTRUCTURE DANS L'ACCÈS</b>	<b>78</b>
9.8.1 OPTIMISATION D'UN FOURREAU EXISTANT	78
9.8.2 POSE DE FOURREAUX PRÉ-TUBÉS	79
9.8.3 RÉALISATION DE MICRO-RAINURES EN ZONE URBAINE	79
9.8.4 DIMENSIONNEMENT DU RÉSEAU D'INFRASTRUCTURE	80
9.8.5 PRISE EN COMPTE DES CHAMBRES ET ÉQUIPEMENTS ADAPTÉS	80
<b>9.9 MISE EN SERVICE D'UN RÉSEAU À BASE DE PON</b>	<b>81</b>

<b>10 - TECHNOLOGIES ET PRODUITS DES RÉSEAUX D'ACCÈS</b>	<b>83</b>
<b>10.1 QUELLE FIBRE POUR VOTRE APPLICATION ?</b>	<b>83</b>
<b>10.2 LES CÂBLES POUR LES RÉSEAUX D'ACCÈS</b>	<b>83</b>
10.2.1 RAPPEL SUR LES SOLUTIONS À MICRO-MODULES	83
10.2.2 CÂBLES À HAUTE DENSITÉ POUR PASSAGE EN CONDUITES STANDARD	84
10.2.3 CÂBLES POUR PASSAGE EN MICRO-CONDUITES (5 À 12 MM)	85
10.2.4 CÂBLES POUR LA POSE DIRECTE EN MICRO-RAINURE (MICRO-TRANCHÉE)	88
10.2.5 CÂBLES POUR POSE EN AÉRIEN	89
<b>10.3 LES CÂBLES D'INTÉRIEUR ET D'ACCÈS À L'ABONNÉ</b>	<b>89</b>
10.3.1 CÂBLE POUR ARCHITECTURE DE DISTRIBUTION EN ÉTOILE	89
10.3.2 CÂBLE POUR ARCHITECTURE À ACCESSIBILITÉ PERMANENTE	90
10.3.3 PROTECTION AU FEU	91
<b>10.4 LES ACCESSOIRES DE RACCORDEMENT DANS LE RÉSEAU D'ACCÈS</b>	<b>93</b>
10.4.1 PRÉAMBULE	93
10.4.2 LE RÉPARTITEUR AU NŒUD D'ACCÈS (NA)	94
10.4.3 LES BOÎTIERS DE RACCORDEMENT	94
10.4.4 LES NŒUDS DE FLEXIBILITÉ PASSIFS (NF)	95
10.4.5 LES NŒUDS DE FLEXIBILITÉ ACTIFS	95
10.4.6 LES POINTS DE BRANCHEMENT	96
<b>11 - RÈGLES ET TECHNIQUES DE MISE EN ŒUVRE DES CÂBLES</b>	<b>97</b>
<b>11.1 POSE DE CÂBLES AU TREUIL</b>	<b>97</b>
11.1.1 RECOMMANDATION POUR LE TIRAGE DE LONGUEURS DE 0 ET 900 M	97
11.1.2 RECOMMANDATION POUR LE TIRAGE DE LONGUEURS SUPÉRIEURES À 900 M	97
11.1.3 RECOMMANDATION POUR LE TIRAGE DIT "BOUCLE DE TAMPON"	97
<b>11.2 POSE DU CÂBLE PAR SOUFFLAGE</b>	<b>97</b>
<b>11.3 POSE DU CÂBLE PAR PORTAGE (AIR)</b>	<b>98</b>
11.3.1 IMPACT SUR LES CÂBLES	99
11.3.2 IMPACT SUR LES FOURREAUX	99
11.3.3 POSE DE CÂBLES MULTIPLES	99
11.3.4 PRÉCAUTIONS À PRENDRE PENDANT LA MISE EN PLACE	100
11.3.5 EXEMPLE DE MISE EN PLACE D'UN PORTAGE SUR 7200 M EN 3 ÉTAPES	101
<b>11.4 POSE DU CÂBLE PAR FLOTTAGE (EAU)</b>	<b>102</b>
11.4.1 AVANTAGES DE LA MÉTHODE	102
11.4.2 DÉSAVANTAGES DE LA MÉTHODE	102
<b>11.5 LES CONTRAINTES APPLIQUÉES AU CÂBLE</b>	<b>102</b>
11.5.1 LA TRACTION	102
11.5.2 LA TORSION OU LE VRILLAGE	102
11.5.3 LE PLIAGE (FAIBLE RAYON DE COURBURE STATIQUE OU DYNAMIQUE)	103
11.5.4 L'ÉCRASEMENT	103
11.5.5 LES CONTRAINTES CLIMATIQUES	103

<b><u>12 - EXPLOITATION ET MAINTENANCE</u></b>	<b>104</b>
<b>12.1 GÉNÉRALITÉS</b>	<b>104</b>
<b>12.2 ORGANISATION</b>	<b>104</b>
12.2.1 EXPLOITATION	104
12.2.2 MAINTENANCE	104
12.2.3 BASE DE DONNÉES	104
<b>12.3 EXPLOITATION</b>	<b>104</b>
12.3.1 CALCUL DU BILAN OPTIQUE	105
12.3.2 MESURES DU CIRCUIT OPTIQUE	105
<b>12.4 MAINTENANCE</b>	<b>105</b>
12.4.1 MAINTENANCE CURATIVE	105
12.4.2 MAINTENANCE PRÉVENTIVE	105
12.4.3 TRAVAUX PROGRAMMÉS	106
<b>12.5 PROCÉDURES</b>	<b>106</b>
<b>12.6 DOCUMENTATION</b>	<b>106</b>
12.6.1 SYSTÈME DE GESTION	106
12.6.2 DOSSIER DE RECETTE	107
<b>12.7 FORMATION</b>	<b>107</b>
<b>12.8 QUALITÉ</b>	<b>108</b>
12.8.1 INDICATEURS DE QUALITÉ	108
12.8.2 COMMENT AMÉLIORER LES PERFORMANCES DE QUALITÉ ?	108
<b>12.9 OUTILS D'AIDE À L'EXPLOITATION</b>	<b>109</b>
12.9.1 INTRODUCTION	109
12.9.2 QUELS AVANTAGES ?	110
12.9.3 DOCUMENTATION DU RÉSEAU	110
12.9.4 MAINTENANCE PRÉVENTIVE ET LOCALISATION RAPIDE DE DÉFAUTS	111
<b><u>13 - ACRONYMES</u></b>	<b>113</b>
<b><u>14 - RÉFÉRENCES</u></b>	<b>120</b>
<b><u>15 - LISTE DES MEMBRES ET CONTRIBUTEURS</u></b>	<b>122</b>
<b>15.1 LISTE DES CONTRIBUTEURS</b>	<b>122</b>
<b>15.2 COMITÉ ÉDITORIAL</b>	<b>123</b>
<b>15.3 LISTE DES ADHÉRENTS* AU CERCLE C.R.E.D.O</b>	<b>124</b>

# LISTE DES FIGURES, TABLEAUX, RENVOIS

---

## LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 : La convergence des sphères d'activité .....	3
Figure 2.2 : Services et débits.....	4
Figure 2.3-a : Infrastructure en arbre .....	5
Figure 2.3-b : Infrastructure en boucle .....	5
Figure 2.4 : Hiérarchie des réseaux .....	6
Figure 2.5 : Architecture et segmentation du réseau téléphonique .....	6
Figure 2.6 : Positionnement des technologies d'accès .....	8
Figure 2.7 : Interconnexion de réseaux d'entreprises .....	9
Figure 2.8 : Réseau de vidéosurveillance urbaine .....	10
Figure 2.9 : Raccordement des ZAC .....	11
Figure 2.10 : Les solutions haut débit en zone rurale.....	12
Figure 3.1 : Cartographie de déploiement de réseaux pan-européens .....	15
Figure 3.2 : Cartographie du réseau parisien de Telcité .....	17
Figure 4.1 : Principe de hiérarchisation des réseaux d'infrastructure .....	21
Figure 4.2 : Panorama des technologies pour les réseaux d'accès .....	23
Figure 5.1 : Phasage des projets et choix structurants dans le mode d'établissement d'infrastructure	28
Figure 6.1-a : Topologie d'un réseau de collecte .....	29
Figure 6.1-b : Topologie d'un réseau de collecte .....	29
Figure 6.2 : Exemple de cartographie d'un réseau de collecte - le réseau RISQ .....	30
Figure 6.3 : Exemple d'architecture d'un réseau de collecte - le réseau RISQ .....	30
Figure 6.4 : Composantes du réseau de collecte.....	31
Figure 6.5 : Organisation des Centres télécoms - accès des clients colocalisés et externes .....	34
Figure 6.6 : Carte du réseau de RFF .....	39
Figure 7.1 : Définition des bandes de longueurs d'onde utilisées dans les fibres - standard G692.....	41
Figure 7.2 : Courbes de dispersion chromatique correspondant aux fibres G652, G653 et G655.....	41
Figure 7.3 : Structure à micro-modules .....	43
Figure 7.4 : Micro-modules de fibre .....	43
Figure 7.5 : Rangement des Micro-modules de fibres dans les boîtiers d'épissure.....	43
Figure 7.6 : Structure de câble LTA .....	44
Figure 7.7 : Structures de câbles aériens .....	46
Figure 7.8 : Fiche de connecteur SC/APC.....	47
Figure 7.9 : Épissure mécanique .....	48
Figure 7.10 : Châssis d'épissure .....	49
Figure 7.11 : Nœud d'interconnexion .....	51
Figure 7.12 : Nœud de brassage.....	51
Figure 7.13 : Exemple de répartiteur optique.....	51
Figure 7.14 : Les différents types de boîtiers de jonction.....	52
Figure 7.15 : Préparation d'une entrée de câble mécanique.....	54
Figure 7.16 : Exemples de boîtiers joint droit et piquage en ligne.....	54
Figure 8.1 : Articulation des couches physiques, multiplexage en longueur d'onde et SDH .....	56
Figure 8.2 : Interconnexion de réseaux d'entreprise à travers un réseau SDH.....	57
Figure 8.3 : Interconnexion de réseaux d'entreprise à travers un réseau RPR et un réseau SDH .....	57
Figure 8.4 : Section de multiplexage SDH.....	58
Figure 8.5 : Architecture de boucle SDH.....	59
Figure 8.6 : Section de multiplexage en longueur d'onde .....	59
Figure 8.7 : Architecture d'une liaison DWDM .....	60
Figure 8.8 : Les architectures WDM Métro.....	61
Figure 8.9 : Architecture de réseau privé virtuel optique (VPN) Ethernet .....	63
Figure 8.10 : Architecture à base de commutateurs optiques .....	63
Figure 9.1 : Topologies de déploiement FITL .....	64
Figure 9.2 : Exemple de PON dans une topologie FTTH .....	64
Figure 9.3 : Éléments constitutifs d'une liaison de transport vidéo Broadcast .....	65

Figure 9.4 : Éléments constitutifs d'une liaison de télésurveillance .....	66
Figure 9.5 : Répartiteur optique dans les réseaux 1G .....	67
Figure 9.6 : Architecture d'un réseau câblé HFC .....	68
Figure 9.7 : A-PON : technologies et services .....	68
Figure 9.8 : Technologies FITL .....	68
Figure 9.9 : Extension xDSL sur fibre .....	69
Figure 9.10 : Architecture cible FTTH .....	70
Figure 9.11 : Déclinaison de l'Architecture cible FTTH - exemple 1.....	71
Figure 9.12 : Déclinaison de l'Architecture cible FTTH - exemple 2.....	71
Figure 9.13 : Déclinaison de l'Architecture cible FTTH - exemple 3.....	71
Figure 9.14 : Hiérarchisation du réseau d'accès .....	72
Figure 9.15 : Architecture de desserte en habitat urbain dense .....	73
Figure 9.16 : Architecture de desserte en habitat urbain résidentiel .....	74
Figure 9.17 : Architecture de desserte de ZAC.....	75
Figure 9.18 : Architecture de desserte en habitat rural dispersé .....	76
Figure 9.19 : Architecture de distribution d'intérieur d'immeuble en étoile.....	77
Figure 9.20 : Architecture de distribution d'intérieur d'immeuble à accessibilité permanente.....	77
Figure 9.21 : Micro-tubes mis en place dans un fourreau existant.....	78
Figure 9.22 : Principe de réalisation d'une micro-rainure sur chaussée ou trottoir .....	80
Figure 9.23 : Réalisation de micro-rainurage sur chaussée ou trottoir .....	80
Figure 9.24 : Composants d'un réseau PON .....	81
<u>Figure 9.25 : Chronologie des tests dans le cycle de déploiement .....</u>	<u>82</u>
Figure 10.1 : Éléments de câbles à micro-modules.....	84
Figure 10.2 : Câble à micro-modules assemblés .....	85
Figure 10.3 : Câble 72 fibres de 6 mm pour soufflage en micro-conduites de type 8/10.....	86
Figure 10.4 : Micro-module renforcé de 1,5 mm contenant 6 fibres optiques .....	86
Figure 10.5 : Conduite de 4 micro-conduites de 3,5/5 contenant un micro-module renforcé 6 fibres.....	87
Figure 10.6 : Conduite de 4 micro-conduites de 8/10 contenant un micro-câble de 72 fibres. ....	87
Figure 10.7 : Conduite de F 15,5 mm sous tubée avec 4 micro-conduites de 3,5/5. ....	88
Figure 10.8 : Micro-câble soufflé en micro-conduite de 8/10. ....	88
Figure 10.9 : Conduite de F 15,5 mm sous tubée avec 4 micro-conduites de 3,5/5. ....	88
Figure 10.10 : Câble pour pose directe en micro-tranchée .....	88
Figure 10.11 : Structures de câbles pour pose en aérien .....	89
Figure 10.12 : Câble de distribution d'intérieur .....	89
Figure 10.13 : Câble de distribution d'intérieur .....	90
Figure 10.14 : Coupe de Câble à Accessibilité Permanente (CAP) .....	90
Figure 10.15 : Boîtier de distribution pour Câble à Accessibilité Permanente (CAP).....	90
Figure 10.16 : Distribution optique d'intérieur d'abonné .....	90
Figure 10.17 : Architecture du réseau d'accès .....	93
Figure 10.18 : Boîtiers de raccordement .....	94
Figure 10.19 : Nœud de Flexibilité en armoire de rue .....	95
Figure 10.20 : Nœud de Flexibilité actif.....	95
Figure 10.21 : Points de branchement .....	96
Figure 11.1 : Pose par soufflage .....	98
Figure 11.2 : Pose par portage.....	98
Figure 11.3 : Étapes d'un portage sur 7200 m .....	101
Figure 12.1 : Modules d'outils d'aide à l'exploitation.....	109
Figure 12.2 : Outils d'aide à la documentation des réseaux .....	111
Figure 12.3 : Outils d'aide à la localisation des défauts .....	112

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 6.1 : G.957 – Classification des interfaces optiques en fonction des applications .....	33
Tableau 6.2 : Kilométrages de réseaux haute tension gérés par RTE .....	37
Tableau 7.1 : Caractéristiques normatives des fibres G652.....	40
Tableau 7.2 : Classement des connexions .....	48
Tableau 8.1 : Classification des d'interfaces SDH.....	58
Tableau 8.2 : Caractéristiques optiques des interfaces SDH .....	59
Tableau 9.1 : Dimensionnement de l'architecture de desserte en habitat urbain dense .....	73
Tableau 9.2 : Dimensionnement de l'architecture de desserte en habitat urbain résidentiel .....	74
Tableau 9.3 : Dimensionnement de l'architecture de desserte de ZAC.....	75
Tableau 9.4 : Dimensionnement de l'architecture de desserte en habitat rural dispersé .....	76
Tableau 9.5 : Dimensions des fourreaux les plus répandus .....	79
Tableau 9.6 : Dimensions des micro-tubes standard.....	79
Tableau 10.1 : Caractéristiques des micro-câbles pour micro-conduites .....	85
Tableau 10.2 : Normes de non propagation de flamme .....	91
Tableau 10.3 : Normes de non propagation d'incendie .....	91
Tableau 10.4 : Essais de non propagation d'incendie .....	91
Tableau 10.5 : Normes d'émission de fumées .....	92
Tableau 10.6 : Normes d'émission de gaz toxiques .....	92
Tableau 10.7 : Normes d'émission de gaz corrosifs .....	92
Tableau 10.8 : Normes d'émission d'halogènes.....	92
Tableau 11.1 : Caractéristiques du compresseur pour la pose par portage .....	100

## LISTE DES ANNEXES ET RENVOIS :

Fiche architecture et segmentation du réseau téléphonique.....	7
Fiche présentation de Telcité.....	17
Fiche cadre réglementaire .....	20
Fiche de contrôle des infrastructures optiques .....	36
Fiche mesure des paramètres optiques .....	36
Fiche présentation de RTE .....	38
Fiche fibre .....	40
Fiche câble .....	42
Fiche connectique .....	47
Fiche spécifications détaillées répartiteur.....	50
Fiche spécifications détaillées boîtiers de raccordement .....	52
Fiche mesure des PON .....	82
Fiche fibre .....	83
Fiche Sécurité Laser .....	107
Fiche outils d'aide à l'exploitation .....	112



A la faveur d'un contexte réglementaire réadapté, les Collectivités Territoriales joueront un rôle essentiel dans le nouveau panorama des télécommunications.

L'attractivité numérique de leur territoire est désormais entre leurs mains puisque les difficultés rencontrées par les opérateurs, acteurs traditionnels du monde des télécommunications, limitent durablement leurs capacités d'investissement et d'aménagement. Dans un marché des télécommunications en pleine mutation, les réseaux de collecte et les réseaux d'accès constituent aujourd'hui encore, les chaînons bien souvent manquants au développement de services à haut débit vers les usagers.

Dès 1997, le Cercle C.R.E.D.O s'est intéressé à la démarche des Collectivités Territoriales, à la faveur des déploiements de boucles régionales, métropolitaines et locales motivées par la création de GFU (Groupes Fermés d'Utilisateurs). L'évolution du contexte réglementaire, des technologies et des pratiques a motivé la ré-écriture de cet ouvrage.

Nous avons voulu, dans un même ouvrage synthétique, éclairer le Maître d'Ouvrage sur les enjeux, l'organisation du marché, le contexte réglementaire, et les choix technologiques qui lui permettront de favoriser le développement des services télécoms sur le territoire, en pérennisant les infrastructures et investissements.

L'ouvrage est par ailleurs complété par un ensemble de 14 fiches d'approfondissement fournies sur CD-ROM.

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

Les performances actuelles des équipements de transmission, la redondance des fonctions électroniques permettront de garantir la fiabilité du réseau, sous réserve d'une bonne étude et d'un bon dimensionnement de l'architecture physique de transmission (réseau de câbles). La définition du besoin ne doit pas occulter la maintenabilité du réseau et sa sécurisation. Elle doit les prendre en compte, comme base de départ, en les considérant comme le garant de la disponibilité et de la fiabilité du réseau.

Lors de l'étude d'ingénierie, les structures retenues devront être suffisamment évolutives pour permettre le support d'applications de natures très différentes et l'extension aisée vers de nouveaux sites (prise en compte de plans d'urbanisme, évolution de la population, futurs services multimédias).

L'implantation des sites techniques, des points de accordement, des points de branchement, la redondance des liaisons, le nombre et la capacité des câbles utilisés donneront toute la souplesse nécessaire au réseau et permettront de garantir un taux de disponibilité important et une maintenance simplifiée.

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

---

Association interprofessionnelle, créée en 1993, le Cercle C.R.E.D.O., Cercle de Réflexion et d'Étude pour le Développement de l'Optique, s'est donné pour vocation de promouvoir le rôle et l'utilisation de la fibre optique dans le domaine des infrastructures et applications des télécommunications et réseaux.

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

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

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

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

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

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

- les réseaux d'entreprise, bâtiments et campus, pour lesquels le Cercle C.R.E.D.O a récemment publié "**La fibre optique dans les réseaux d'entreprise**",
- les grands réseaux étendus, infrastructures, pour lesquels les travaux ont abouti au "**guide de réalisation des réseaux fibre optique étendus**",
- les réseaux de collecte et de desserte, objets du présent ouvrage.

# 2 – QU'EST CE QU'UN RÉSEAU DE TÉLÉCOMMUNICATIONS ?

## 2.1 HISTORIQUE ET ÉVOLUTION DES RÉSEAUX DE COMMUNICATION

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

Malgré des origines et des problématiques différentes voire opposées à l'origine, les deux mondes des télécommunications et de l'audiovisuel de divertissement voient leurs sphères d'influence se rapprocher et se heurter en raison de leur ouverture respective sur une palette plus large de services et d'applications.

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

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

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

## 2.2 LES SERVICES ET LES APPLICATIONS

Avant de décrire le rôle et la structure des réseaux de communication, il convient de faire un bref rappel sur les services et applications qui nourrissent ces réseaux. Ceux-ci mettent en œuvre la voix, l'image et les données, et appartiennent à des sphères d'applications distinctes (figure 2.1). Les réseaux multiservices et large bande modernes traduisent la convergence de ces sphères en combinant la voix, l'image et les données, en particulier sous la houlette fédératrice du protocole IP (Internet Protocol). Partant du monde informatique, celui-ci a atteint la sphère des télécommunications pour pénétrer maintenant la sphère audiovisuelle (avec le streaming vidéo) et la sphère de la domotique

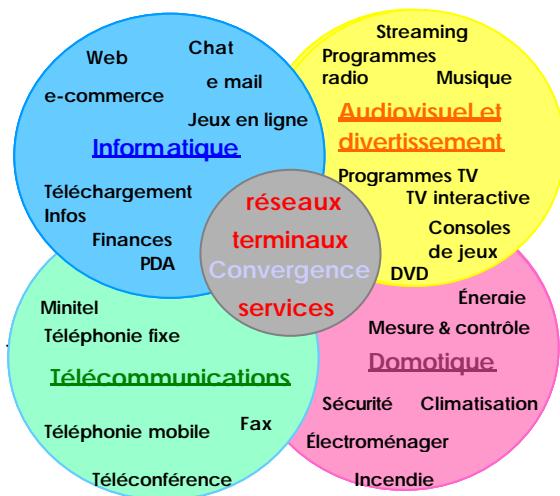


Figure 2.1 : La convergence des sphères d'activité

Les catégories d'utilisateurs sont très variées, tant vis à vis des besoins que vis à vis des usages : les usagers résidentiels, les télétravailleurs, les travailleurs nomades, les très petites entreprises (TPE), les PME et PMI et les très grandes entreprises (TGE).

On peut décrire, comme sur la figure ci-contre, les services et applications en les classant vis à vis du débit instantané nécessaire et du niveau d'interactivité, c'est à dire du caractère bidirectionnel des communications.

Néanmoins, derrière les terminologies "large bande" ou "haut débit" peuvent se cacher des points de vue bien différents

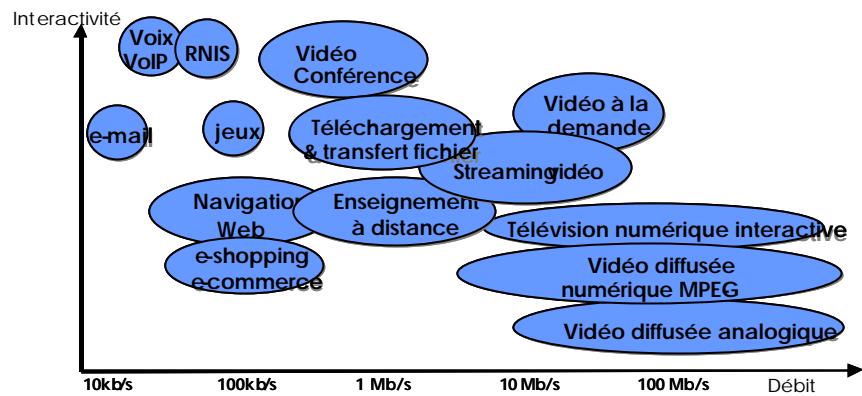


Figure 2.2 : Services et débits

Pour clarifier une partie du débat, il nous paraît utile de différentier capacité et débit sur des exemples concrets. La capacité est la masse de données relative à un fichier. Elle est exprimée en octets, kilooctets ou mégaoctets. Cela ne préjuge pas de la vitesse de transfert ni de l'usage que l'on en fait. Si l'on prend l'exemple de la vidéo, on peut soit télécharger le fichier pour lecture différée, soit souhaiter une consultation en temps réel (ce que l'on appelle le streaming) ce qui impose un débit minimum qui correspond à la qualité recherchée. Ce débit utilise une ressource de transmission à prélever dans la ressource totale partagée entre tous les utilisateurs en connexion effective à travers un même réseau d'accès. Le débit utile va donc varier selon que l'on est ou non en période de pointe (heures chargées).

La multiplication des services s'accompagne de la multiplication du nombre de terminaux, une diversification du type de terminaux et une explosion dans les différentes pièces du logement. Selon les fonctions principales qu'ils remplissent, on peut classer les terminaux en trois catégories :

- les terminaux d'applications : téléviseur, PC et moniteur, chaîne HiFi, Minitel, poste téléphonique, fax, PDA (Personnal Digital Assistant),
- les périphériques associés : imprimante, lecteur DVD, dispositif de stockage externe, clavier, magnétoscope, télécommande,
- les terminaux d'interface avec les réseaux : modem, décodeur, démodulateur.

La connectivité des terminaux entre eux et avec le monde extérieur et l'interopérabilité des applications imposent une révision drastique des modèles; le terminal d'adaptation n'est plus simplement la terminaison du réseau d'accès. La mise en œuvre d'un réseau domestique implique l'utilisation d'une passerelle d'accès et de services (residential gateway) qu'elle soit dédiée et installée à l'entrée du logement ou fonctionnellement installée sur un des terminaux d'interface, qui deviendrait un terminal maître. L'intégration progressive de l'image, de la voix et des données sur un même réseau d'accès peut conduire les constructeurs à intégrer ces fonctions dans un même terminal.

Les consommateurs, qui doivent retenir de plus en plus l'attention des opérateurs, imposent de traiter correctement le problème de la qualité de service, qui peut se décliner sous trois aspects :

- la qualité du signal à la prise, qui s'avère plus critique qu'il y a plusieurs années, notamment pour les nouveaux services,
- la disponibilité de services qui, pour une architecture donnée, dépend de la fiabilité des équipements et de la performance de la fonction maintenance,
- la capacité du réseau à délivrer les services, dans la mesure où la ressource de bande passante est partagée entre plusieurs usagers.

L'architecture a une influence indiscutable sur la capacité du réseau, notamment dès qu'il y a partage de ressource de bande passante entre plusieurs usagers. C'est le cas des technologies hertziennes, comme le GSM (Global System for Mobile communication), la BLR (Boucle Locale Radio), la DBS (Direct Broadcast Satellite) ou la TNT (Télévision Numérique Terrestre), mais aussi de l'architecture coaxiale arborescente des réseaux câblés.

## 2.3 NOTIONS D'ARCHITECTURE DES RÉSEAUX

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

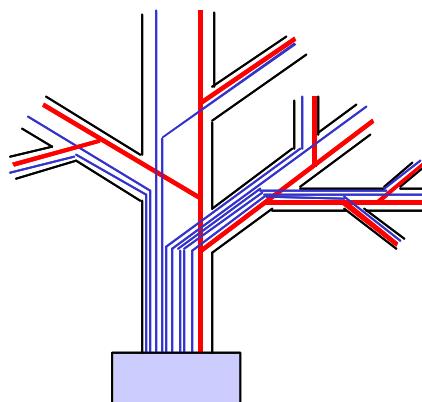
Les architectures logiques permettent d'optimiser les liaisons en fonction des contraintes économiques et opérationnelles. Parmi celles-ci on trouve les grandes familles suivantes :

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

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

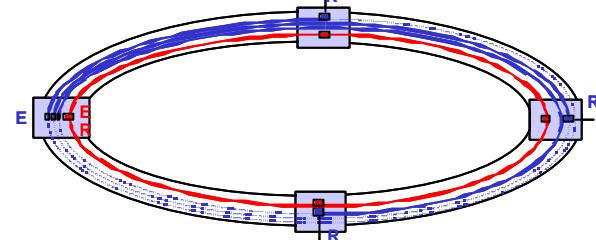
Les architectures physiques sont la traduction des choix précédents regroupant les liaisons sur des infrastructures telles que les conduites multitudinaires. On peut en particulier citer :

- l'infrastructure en arbre, qui peut supporter une étoile logique (c'est le cas de la boucle locale cuivre) ou un réseau arborescent (c'est le cas de la partie coaxiale des réseaux câblés) (figure 2.3-a),
- l'infrastructure en anneau, qui peut supporter une étoile logique (c'est le cas d'une boucle optique fédératrice) ou une boucle logique (c'est le cas d'un LAN Ethernet) (figure 2.3-b).



*Figure 2.3-a : Infrastructure en arbre*

(en bleu : étoile logique; en rouge : arbre logique)



*Figure 2.3-b : Infrastructure en boucle*

(en bleu : étoile logique; en rouge : boucle logique)

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

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

Afin d'assurer le dialogue entre les différents équipements intervenant dans la chaîne, il est nécessaire de mettre en œuvre des protocoles très nombreux, eux aussi hiérarchisés en fonction des couches définies par l'ISO (International Standard Organisation), parmi lesquels on peut citer PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy), SDH (Synchronous Digital Hierarchy), FDM (Frequency Division Multiplexing) ou WDM (Wavelength Division Multiplexing) pour la couche physique ainsi que Ethernet, ATM (Asynchronous Transfert Mode), FDDI (Fiber Distributed Data Interface) ou MPLS (Multi Protocol Label Switching) pour la couche liaison de données.

## 2.4 HIÉRARCHIE DES RÉSEAUX DE COMMUNICATION

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

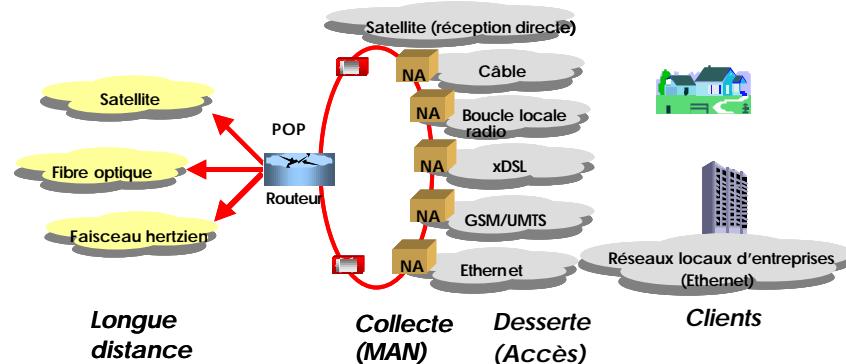


Figure 2.4 : Hiérarchie des réseaux

### 2.4.1 RÉSEAUX LONGUE DISTANCE

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

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

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

### 2.4.2 RÉSEAUX DE COLLECTE

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

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

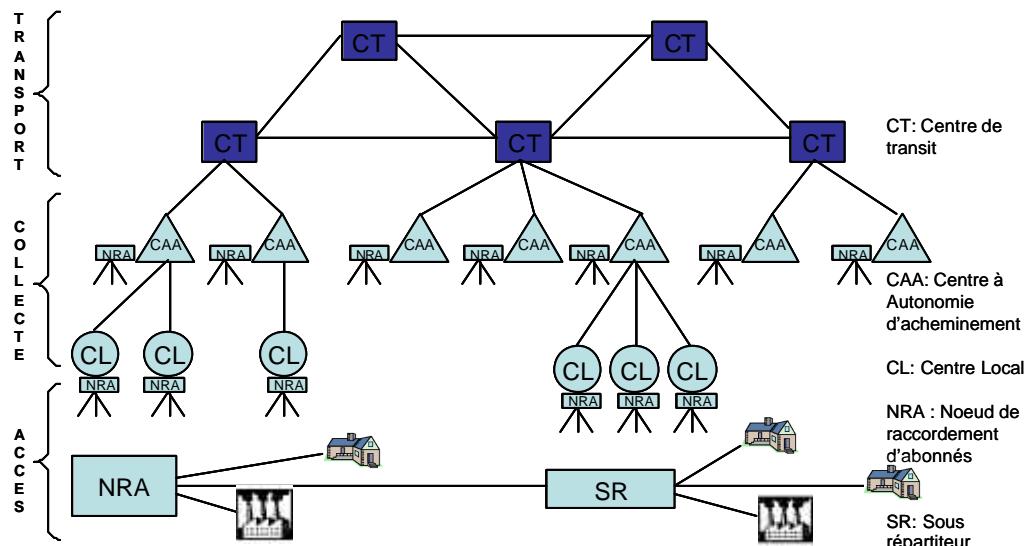


Figure 2.5 : Architecture et segmentation du réseau téléphonique



## Pour en savoir plus..... Voir annexe CD ROM : **FICHE ARCHITECTURE ET SEGMENTATION DU RÉSEAU TÉLÉPHONIQUE**

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

En ce qui concerne les solutions techniques, on trouve ici deux approches :

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

Les technologies mises en œuvre sur ces réseaux sont principalement fondées sur les fibres optiques. C'est ce que l'on appelle souvent les "boucles optiques". Néanmoins, dans certains cas particuliers comme les déports, elles peuvent être complétées par des liaisons hertziennes ou optiques non guidées (FSO = Free Space Optic).

Les Collectivités Territoriales, au niveau régional, départemental ou local (communes ou groupes de communes), sont très souvent sensibilisées aux réseaux de collecte fondés sur des fibres optiques car elles peuvent intervenir de façon volontariste en mettant en place un projet d'investissement limité aux infrastructures proprement dites, au tirage de câbles à fibres optiques et à la location de ces fibres ("noires") à des opérateurs.

### 2.4.3 RÉSEAUX D'ACCÈS OU DE DESSERTE

Les réseaux d'accès, aussi appelés "réseaux de desserte" réalisent la connexion des usagers. Ils constituent le dernier (ou le premier) bond ("the last mile") vers les utilisateurs et la chevelure (capillarité) du réseau. Ils représentent généralement le maillon crucial du réseau notamment en terme de performance et en terme économique. A ce niveau, on dispose d'une importante panoplie 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 (PME/PMI).

Pour les infrastructures filaires, citons :

- la boucle locale cuivre qui est le champ d'action privilégié de l'opérateur historique France Télécom. L'introduction des technologies xDSL apporte un certain nombre de contraintes, notamment vis à vis de la portée. Néanmoins, il faudra considérer d'une part l'évolution des normes (notamment ADSL 2+) qui augmente les débits en diminuant la portée, et d'autre part les possibilités offertes par des solutions mixtes alliant la fibre optique et permettant de s'affranchir des limitations de portée,
- les réseaux câblés de télédistribution, centrés sur les zones urbaines et disposant d'une capacité multiservices. Ils mettent en œuvre une combinaison de technologies large bande sur fibre optique et sur câble coaxial,
- les réseaux optiques passifs, qui sont entre autres le support privilégié d'Ethernet à haut débit (FastEthernet ou GigabitEthernet). Ils peuvent être déployés sous la forme de liaisons spécialisées (point à point) ou à partir d'architectures partagées telles que les PON (Passive Optical Network = Réseau Optique Passif) dans des configurations comme le FTTB (Fiber To The Building) ou FTTH (Fiber To The Home),
- les courants porteurs en ligne, qui sont adaptés aux réseaux locaux d'entreprise ou aux réseaux domestiques, mais dont la mise en œuvre reste encore problématique en réseau d'accès.

Du côté des réseaux radio, on trouve une panoplie assez large comprenant :

- les réseaux satellites, notamment ceux dédiés à la diffusion directe, qui proposent maintenant des solutions bidirectionnelles pour les services de données,
- la future télévision numérique terrestre, qui remplacera progressivement le réseau de diffusion de télévision analogique sur les antennes individuelles ou collectives,
- la boucle locale radio, avec les normes MMDS (Multichannel Multipoint Distribution System) à 3,5 GHz ou LMDS (Local Multipoint Distribution System) à 26 GHz ou MVDS (Multipoint Video Distribution System) à 40 GHz; la nouvelle norme générique (WirelessMAN™) qui couvre ces systèmes est l'IEEE 802.16, dans sa première version qui couvre la bande 10-66 GHz ou dans son évolution en cours 802.16a qui concerne la bande 2-11 GHz. Il est à noter que la couche MAC de cette nouvelle version supporte le maillage (meshed networks),
- la téléphonie mobile avec les versions successives du GSM de deuxième génération WAP (Wireless Access Protocol), GPRS (Global Packet Radio Service), EDGE (Enhanced Data rate for GSM Evolution) et les promesses de l'UMTS (Universal Mobile Telecommunication System); les technologies propriétaires de type QDMA (Quadratic Division Multiple Access), permettant de mettre en œuvre des architectures maillées (meshed networks) fondées sur la combinaison de liaisons par bonds successifs "peer to peer", où chaque station terminale joue le rôle de répéteur / routeur,
- les réseaux locaux radio, avec des normes comme :
  - 802.11b, dite WiFi (Wireless Fidelity), et ses dérivées 802.11a, 802.11g (WiFi 2) et 802.11i pour la sécurité,
  - la norme européenne Hiperlan 2, voisine de 802.11a, mais non compatible,
  - le W ADSL (Wireless ADSL), qui combine un canal de diffusion hertzien (MMDS) avec des voies retour empruntant le réseau téléphonique cuivre,
  - le Wimax émergent,
  - d'autres technologies comme Bluetooth ou DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) ne rentrent pas dans la catégorie large bande et multiservices.
- les liaisons optiques non guidées FSO (Free Space Optic) en point à point pour des applications spécifiques.

Contrairement à certaines idées reçues, il est tout à fait dommageable d'opposer les différentes technologies dans le réseau d'accès. La technologie se doit d'être **neutre**. Elles ne doivent pas constituer la nourriture du débat. Il est nécessaire de positionner ces technologies par rapport à 3 paramètres forts :

- 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.

Selon la situation, certaines technologies s'avèrent plus adaptées sans que pour autant il ne soit pas judicieux de rechercher les synergies et les complémentarités.

Le graphique présenté ici montre le positionnement respectif des candidats les plus sérieux.

La desserte des zones rurales constitue néanmoins le problème le plus délicat. Dans cet environnement, les architectures peuvent associer à ces différentes technologies un ensemble de technologies complémentaires : sans fil terrestre, satellite et optique non guidée en vue de réaliser une solution optimale.

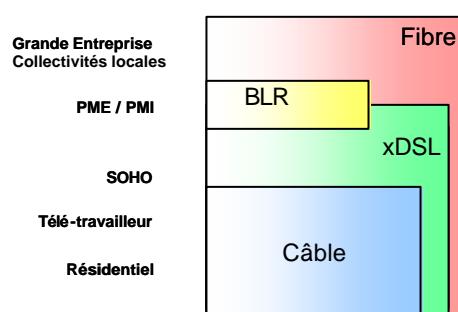


Figure 2.6 : Positionnement des technologies d'accès

## 2.5 EXEMPLES DE MISE EN ŒUVRE D'APPLICATIONS

Les exemples de mise en œuvre de réseaux de télécommunications utilisant ces différentes technologies sont très nombreux. Nous présentons ci-après plusieurs exemples mettant en évidence les différents niveaux hiérarchiques et les différentes technologies qui peuvent intervenir. Nous soulignons également le rôle joué par les fibres optiques dans ces différentes situations.

### 2.5.1 INTERCONNEXION DE RÉSEAUX D'ENTREPRISE

Le premier exemple concerne les entreprises. Celles-ci disposent de réseaux locaux (LAN) qu'il convient d'interconnecter à travers des réseaux étendus (WAN). La mise en œuvre peut être réalisée par de simples liaisons spécialisées (louées) ou à travers un VPN (Virtual Private Network) déployé sur une infrastructure partagée.

A l'intérieur d'une agglomération, les différentes entités sont raccordées par le réseau d'accès, par exemple par fibre optique, sur un réseau de collecte (MAN), celui-ci étant lui-même fondé sur des technologies optiques, ou éventuellement radio. L'interconnexion avec Internet ou le réseau téléphonique général est réalisé à travers un backbone longue distance, lui-même réalisé principalement en fibre optique. Des passerelles peuvent être établies à travers le réseau téléphonique fixe commuté ou les réseaux mobiles (GSM et GPRS) de façon à permettre aux personnels isolés (télétravailleurs) ou nomades d'accéder à l'Intranet de l'entreprise. Enfin, les liaisons avec des sites très éloignés ou inaccessibles (plateformes off-shore) peuvent être réalisées par des liaisons satellites VSAT.

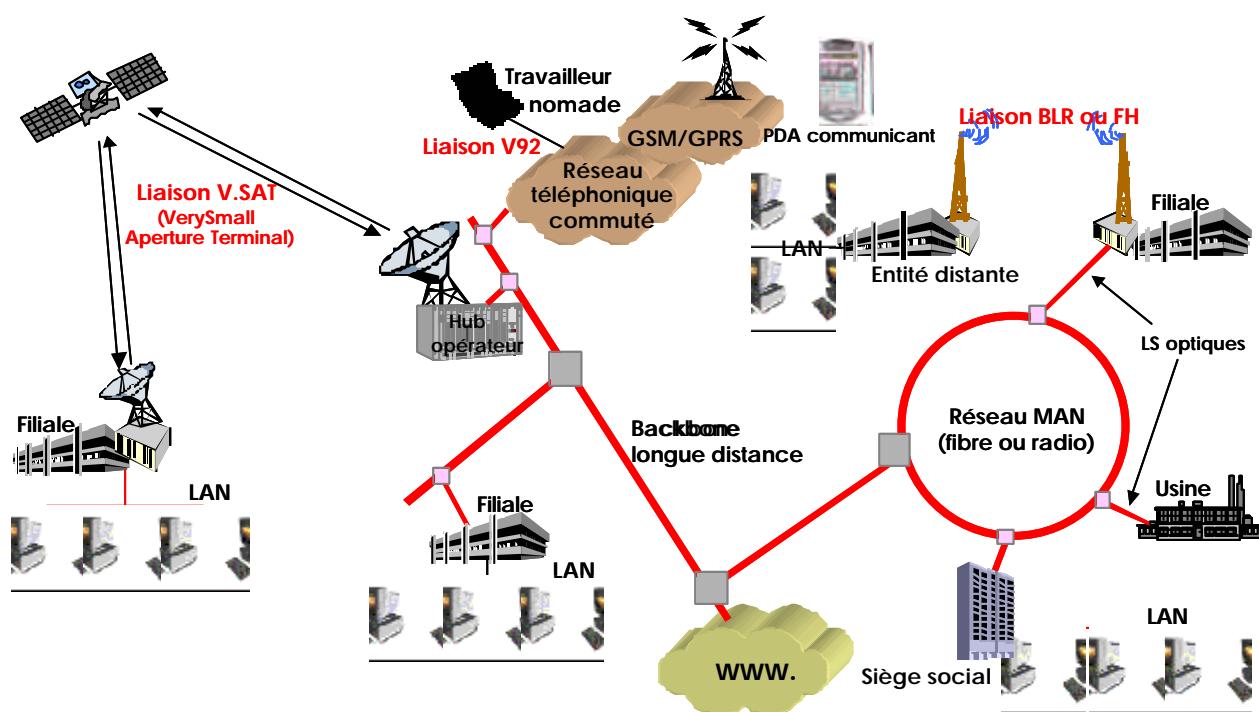


Figure 2.7 : Interconnexion de réseaux d'entreprises

## 2.5.2 RÉSEAU DE VIDÉOSURVEILLANCE URBAINE

Le deuxième exemple concerne la vidéosurveillance urbaine.

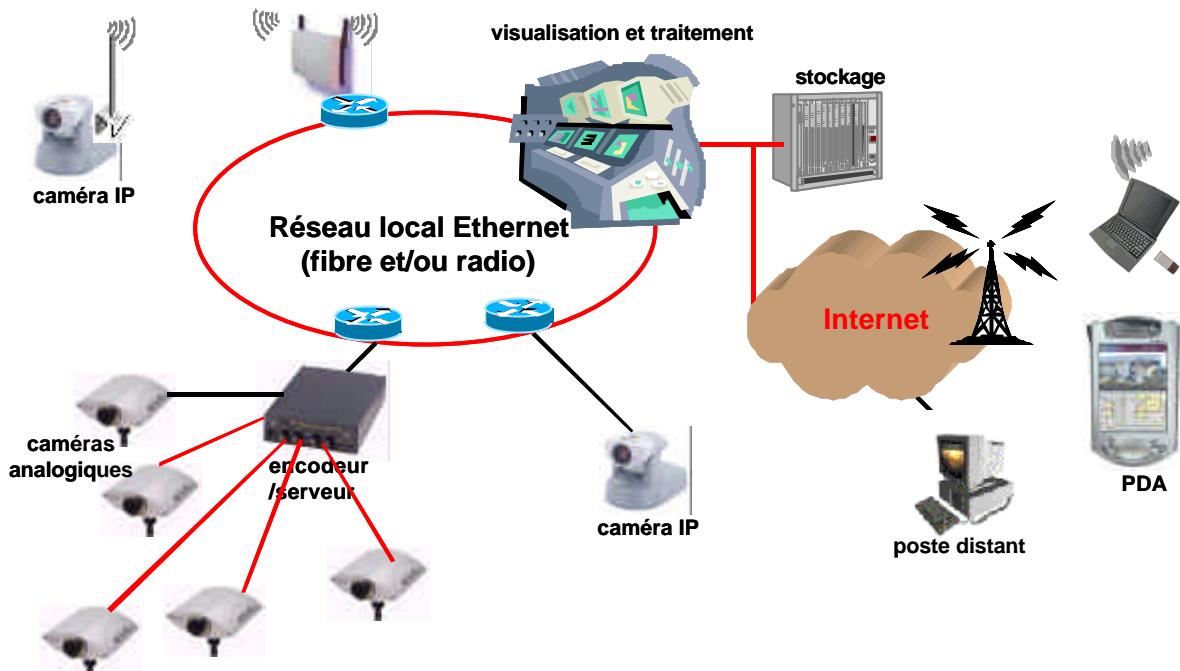


Figure 2.8 : Réseau de vidéosurveillance urbaine

Historiquement, les systèmes de télésurveillance urbaine se sont développés sur la base de technologies traditionnelles telles que la télévision analogique et la transmission d'un ou plusieurs signaux vidéo par câble coaxial puis par fibre optique. Beaucoup plus récemment sont apparues les solutions fondées sur le protocole IP. Celui-ci présente l'avantage d'optimiser et de partager les ressources de transmission, mais introduit un temps de latence dans la transmission des images.

On trouve plusieurs niveaux hiérarchiques dans de tels réseaux : la portion "accès" consiste à regrouper (multiplexer) les signaux émanant de plusieurs caméras sur un lien unique les reliant à un réseau fédérateur (boucle locale) de plus en plus orienté IP et fondé sur des technologies optiques ou radio. C'est sur ce réseau urbain de collecte que se situe le poste central de surveillance qui traite également les fonctions de traitement et de stockage. De plus, ce système peut être naturellement raccordé au réseau Internet de façon à proposer des fonctions complémentaires de surveillance distante à partir de postes fixes ou de postes embarqués sur véhicules grâce à l'utilisation d'une boucle locale radio.

La tendance actuelle consiste à réaliser la portion "accès" par transmission numérique non compressée, éventuellement multiplexée, des vidéos analogiques issues des caméras, pour bénéficier de façon pérenne de la meilleure définition possible. Le codage, plus évolutif, est effectué dans un point de concentration, interfacé avec un réseau IP pour offrir une exploitation plus conviviale des informations.

## 2.5.3 RACCORDEMENT DE ZAC

Pour les Collectivités Locales et les gestionnaires de ZAC, l'objectif principal est d'attirer et de garder les entreprises sur leur territoire. Il faut donc amener la connectivité haut débit à ces entreprises et structurer une infrastructure appropriée pour la desserte terminale.

Dans les zones urbaines, le raccordement au backbone ou au réseau de collecte le plus proche peut être réalisé par des liaisons spécialisées sur fibre optique jusqu'à l'entrée de la ZAC, la desserte finale utilisant des technologies traditionnelles, ou en fibre jusqu'à chaque client (FTTH). Une deuxième catégorie de solutions est fondée sur les technologies ASDL, soit en raccordement direct à partir du NRA de rattachement, soit en mettant en œuvre des techniques d'extension sur fibre optique permettant de s'affranchir les limitations de portées sur cuivre.

Dans les zones sub-urbaines ou semi-rurales, des solutions radio (faisceaux hertziens, boucle locale radio) ou des solutions satellites peuvent être privilégiées.

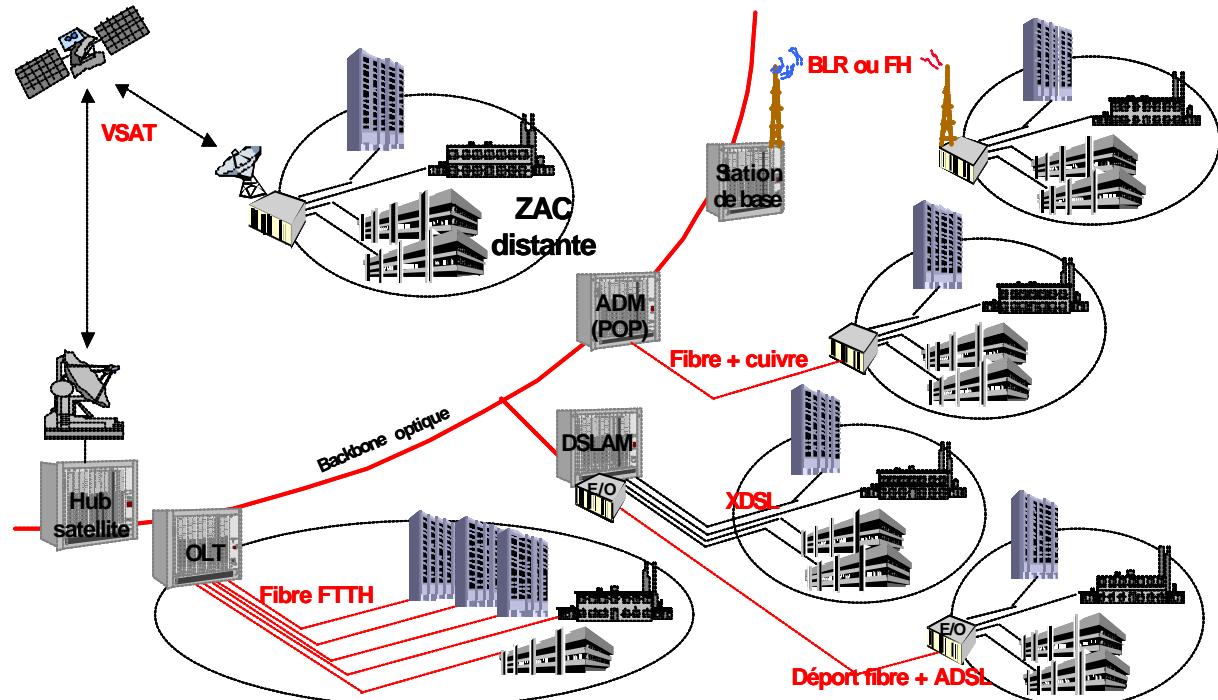


Figure 2.9 : Raccordement des ZAC

Au niveau de la desserte terminale à l'intérieur du périmètre de la ZAC, un grand nombre de solutions, fondées sur les technologies traditionnelles ou les solutions alternatives comme WiFi ou les CPL, peut compléter le dispositif.

#### 2.5.4 LE HAUT DÉBIT EN ZONE RURALE

Les zones rurales sont par nature défavorisées puisque leur plus faible densité de population et leur éloignement des principaux pôles d'activité du territoire les rendent peu attractives et en tout cas moins prioritaires pour les opérateurs. C'est là que la combinaison de technologies alternatives peut apporter une solution.

Le transport des signaux vers les zones concernées (hameaux dispersés par exemple) peut être réalisé par satellite, par transport fibre optique sur câble soufflé en micro-conduite, câble aérien ou câble installé sur les infrastructures RTE (Réseau de Transport d'Electricité), ou par liaison optique non guidée (FSO - Free Space Optic) dans la mesure où la zone n'est pas trop éloignée d'un backbone haut débit.

En ce qui concerne la desserte terminale, on pourra privilégier des solutions ne nécessitant pas de travaux complémentaires de génie civil : par Courant Porteur en Ligne (CPL) à partir du poste de distribution basse tension ou par radio (WiFi) à partir d'un point central; néanmoins, la desserte des usagers par fibre optique constitue la solution d'avenir la plus pérenne.

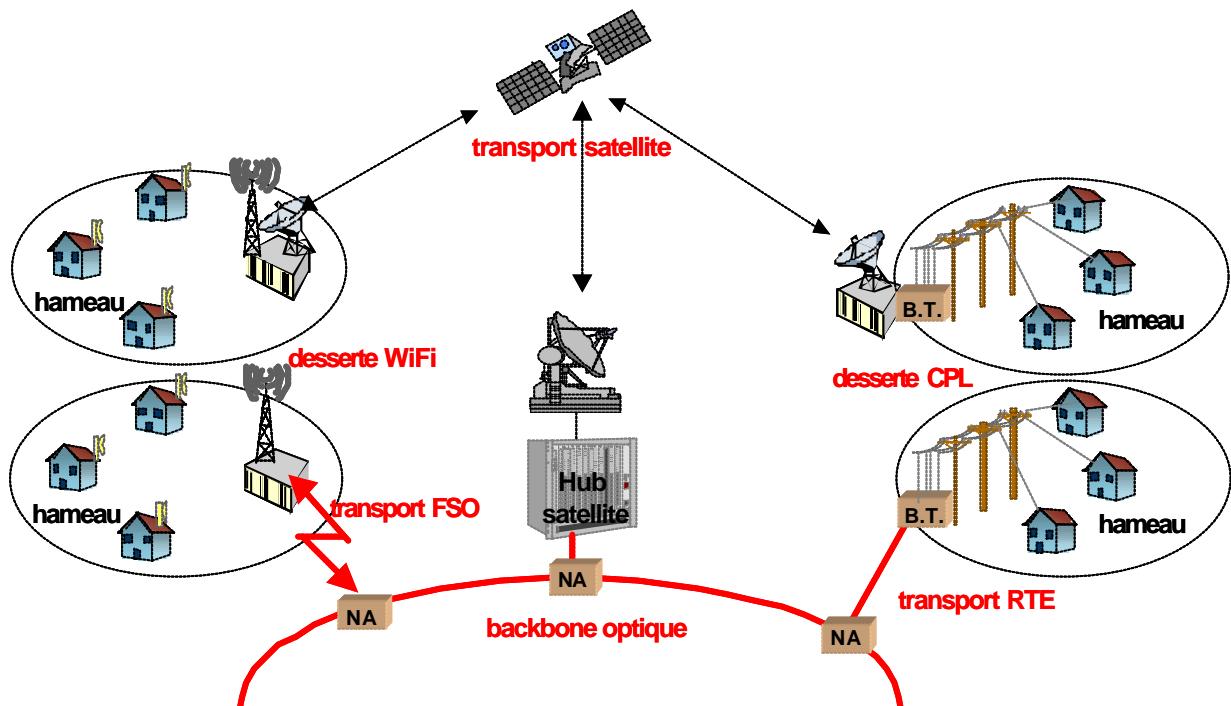


Figure 2.10 : Les solutions haut débit en zone rurale

On voit que la fibre optique est déjà omniprésente dans la plupart des scénariis, surtout pour les réseaux de transport et de collecte, ainsi que pour la desserte des entreprises. L'évolution des besoins vers les très hauts débits combinée aux baisses de coût de ces technologies ne feront qu'accélérer la pénétration des fibres optiques dans les réseaux de télécommunications futurs.

# **3 – PANORAMA DU MARCHÉ DES TÉLÉCOMMUNICATIONS**



## **3.1 CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE**

L'actuel paysage des télécommunications prend racine dans la loi de réglementation des télécommunications du 26 Juillet 1996 qui a ouvert ce secteur à une concurrence totale à partir du 1<sup>er</sup> Janvier 1998.

L'Autorité de Régulation des Télécommunications (ART), Autorité indépendante, créée dès Janvier 1997, accompagne et pilote depuis lors, l'ouverture de ce marché en veillant, dans un esprit de neutralité :

- à favoriser **l'exercice au bénéfice des utilisateurs d'une concurrence effective et loyale**. La concurrence n'est pas une fin en soi; elle a pour objectif de fournir aux consommateurs une meilleure qualité de service à de meilleurs prix,
- à la **fourniture et au financement de l'ensemble des composantes du service public des télécommunications**, dont la loi a réaffirmé le principe dans un environnement concurrentiel. La concurrence doit être compatible avec l'égal accès de tous au service téléphonique,
- au **développement de l'emploi, de l'innovation et de la compétitivité dans le secteur des télécommunications**. La concurrence ne vaut que si elle est un facteur de développement du marché,
- à prendre en compte **l'intérêt des territoires et des utilisateurs dans l'accès aux services et aux équipements**. La concurrence doit contribuer à l'aménagement du territoire.

Cette régulation s'est exercée, entre autres, à travers l'attribution de **licences** aux acteurs du marché (opérateurs) désireux de développer et commercialiser des services de télécommunication. Jusqu'au mois de juillet 2003, l'attribution s'effectuait après instruction des dossiers de demande d'autorisation fournis par les acteurs concernés. A partir de juillet 2003, l'ART a fait évoluer le cadre réglementaire pour se conformer aux directives européennes en matière de "paquet télécom"; cette évolution impacte en particulier l'attribution de licence qui se fait, depuis lors, sur simple déclaration de l'opérateur.

L'Autorité a distingué, dans ses procédures d'attribution, 3 grandes classes d'acteurs qui interviennent sur des domaines spécifiques :

- les opérateurs mobiles,
- les opérateurs de boucle locale radio,
- les opérateurs de téléphonie fixe, et parmi ceux-ci deux types de licences :
  - la licence L.33-1 = licence d'opérateur de réseaux,
  - la licence L.34-1 = licence de fournisseur de service téléphonique au public.

Les opérateurs de réseau (L33-1) ont pour vocation d'établir et d'exploiter des infrastructures de réseaux ouverts au public.

On trouve, dans cette catégorie, en particulier, tous les "opérateurs de transport", qui construisent et exploitent des infrastructures de transmission et commercialisent des services d'interconnexion et de débit entre différents points du territoire (lignes spécialisées, réseaux VPN IP, etc.).

Ce sont également ces acteurs qui, en déployant leurs infrastructures (DSLAM, etc.) dans les centres de France Télécom (NRA), exploitent et commercialisent des services d'accès Internet à haut débit sur les lignes de téléphone dégroupées dans la boucle locale.

Contrairement à la licence L34-1, ce type de licence ne donne pas lieu à l'attribution de préfixe téléphonique.

Les opérateurs de service (L34-1), quant à eux, fournissent des services téléphoniques au public.

Cette licence est exclusivement associée au service téléphonique et donne lieu à l'attribution d'un préfixe téléphonique qui permet d'aiguiller et d'acheminer les appels téléphoniques de l'abonné vers le réseau de l'opérateur.

Le déploiement de tels services s'appuie bien entendu sur des infrastructures qui peuvent être louées à des opérateurs de réseau ou appartenir à l'opérateur qui, dans ce cas, disposera d'une licence complète (L33-1 + L34-1).

#### "INFRASTRUCTURE PASSIVE" ET "INFRASTRUCTURES DE RÉSEAUX D'OPÉRATEUR"

L'ART distingue clairement pour l'attribution des licences d'opérateur de réseau L33-1, les infrastructures passives des infrastructures "activées".

- L' exploitation et la commercialisation d'une infrastructure passive n'est pas assimilée à un statut d'opérateur de réseau et n'est donc pas soumise à licence par l'Autorité.

Pour illustrer ce cas de figure, on peut par exemple considérer le cas d'une entité qui exploite un réseau de fibres optiques à partir duquel elle loue des "fibres noires" (location de fibres au bout desquelles l'utilisateur viendra brancher ses propres équipements de télécommunication). Cette activité n'est pas soumise à licence de la part de l'ART qui impose cependant que la commercialisation de ces infrastructures s'effectue dans des conditions non discriminatoires.

- L' "activation" d'une infrastructure passive intervient dès lors que l'on branche, sur cette infrastructure, des équipements de télécommunication.
  - Lorsque le réseau actif, ainsi constitué, est réservé à l'usage de l'entité qui l'établit, on parle de "réseau indépendant à usage privé". Lorsque ce réseau est réservé à l'usage de plusieurs entités, constituées en un groupe en vue d'échanger des communications internes au sein du groupe on parle de "réseau indépendant à usage partagé" ou GFU (Groupe Fermé d'Utilisateurs). L'établissement de tels réseaux indépendants est soumis à la décision de l'Autorité, mais ne relève pas d'une licence d'opérateur de réseau.
  - Lorsque le réseau actif est établi en vue de déployer et commercialiser des services vers le public (service de ligne spécialisée haut débit, service de réseau IP, etc.), on parle d' "infrastructure de réseau ouvert au public". L'établissement d'un tel réseau est soumis à l'attribution d'une licence d'opérateur de réseau L33-1.

### 3.3 LA VALORISATION DES EMPRISES

La première phase de déploiement des réseaux et services de télécommunication alternatifs s'est opérée, au niveau européen, autour des grandes agglomérations. Une forte densité de population et un tissu économique dynamique constituaient un terrain privilégié pour le développement des nouveaux acteurs sur ces zones.

Ce déploiement nécessitait la mise en place rapide de grandes artères d'interconnexion, à base de réseaux fibre optique, entre ces agglomérations. Pour ce faire, les grandes entreprises nationales et locales ont été utilisées.



*Figure 3.1 : Cartographie de déploiement de réseaux pan-européens*

La nécessité d'une ouverture rapide des services a conduit les opérateurs à examiner l'utilisation des grandes emprises nationales pour passer les câbles à fibre optique, supports des grands réseaux d'interconnexion.

### 3.3.1 RÉSEAUX LONGUE DISTANCE - LES RÉSEAUX AUTOROUTIERS

La plupart des réseaux autoroutiers étaient d'ores et déjà équipés d'infrastructures fibre optique, installées pour répondre aux besoins de communication des sociétés d'autoroute sur leurs emprises (interconnexion des réseaux téléphoniques et des réseaux informatiques).

A leur demande, les sociétés d'autoroutes ont d'abord mis à la disposition des opérateurs des fibres noires disponibles. Cette location a nécessité un réaménagement des infrastructures de surface (locaux techniques, schelters) pour héberger les équipements télécoms des opérateurs, tout au long du réseau. Parallèlement, les infrastructures ont été étendues depuis la sortie des emprises et jusque dans les grandes villes. La forte demande a ensuite conduit dans de nombreux cas, à renforcer les réseaux existants (passage de nouveaux câbles).

A ce jour, les sociétés d'autoroute limitent la commercialisation de leurs services autour de deux axes complémentaires :

- mise à disposition de "fibres noires" sur le réseau,
  - hébergement d'équipements dans des sites placés le long du réseau.

### 3.3.2 RÉSEAUX LONGUE DISTANCE - LES RÉSEAUX FÉRROVIAIRES

Depuis de nombreuses années, la SNCF a déployé de nombreux câbles fibre optique sur ses emprises pour satisfaire ses besoins propres.

En 1997, la SNCF et CEGETEL se sont associées au travers d'une filiale commune baptisée TELECOM DEVELOPPEMENT, destinée à :

- exploiter et renforcer ce réseau de fibre sur les emprises,
- déployer sur ce réseau de fibre, un réseau d'équipements de télécommunication pour commercialiser des services de débit.

La capillarité des emprises a permis à TELECOM DEVELOPPEMENT de créer un grand réseau optique national, maillé et pénétrant.

A ce jour, cependant, TELECOM DEVELOPPEMENT ne loue pas de fibre noire sur son réseau, mais commercialise exclusivement des services télécoms. Réseau Ferré de France (RFF) peut, quant à lui, mettre ses emprises à disposition d'autres acteurs, notamment des Collectivités, pour leur permettre de créer des boucles régionales.

### 3.3.3 RÉSEAUX LONGUE DISTANCE - LES VOIES FLUVIALES

En s'appuyant, entre autre, sur les emprises de Voies Navigables de France (VNF), la société LDCom a déployé à partir de 1998, une grande infrastructure optique de niveau national.

Ce réseau national a ensuite été prolongé par des réseaux métropolitains (MAN) afin de délivrer des services haut débit au plus près des utilisateurs. Ces réseaux métropolitains irriguent ainsi les grandes villes et interconnectent, par des liens fibre optique, les principaux points de présence des opérateurs, dont l'ensemble des PRO (Point de Raccordement d'Opérateur) et de nombreux NRA (Nœud de Raccordement d'Abonné) de France Télécom. Pour renforcer cette capillarité, LDCom développe des solutions d'accès (sur le dernier kilomètre) via le déploiement de réseaux xDSL et de Boucles Locales Radio (BLR) à l'échelle nationale.

### 3.3.4 RÉSEAUX LONGUE DISTANCE - LES RÉSEAUX DE TRANSPORT ÉLECTRIQUE

Depuis de nombreuses années, EDF a déployé de nombreuses fibres sur son réseau de transport, pour satisfaire ses propres besoins d'exploitation.

Jusqu'en 2001, l'ouverture des emprises de transport à des acteurs tiers n'a pas été considérée. En Juillet 2001, le CIADT (Comité Interministériel d'Aménagement et de Développement du Territoire) a proposé d'utiliser les supports RTE (Réseau de Transport d'Électricité) pour réduire la fracture numérique sur le territoire. RTE se positionne donc en fournisseur de fibre noire vers les Collectivités. Les nouveaux déploiements de fibre sont destinés à servir :

- les besoins de RTE pour son réseau de sécurité,
- les Collectivités Locales qui, via un gestionnaire d'infrastructures les mettent à disposition des opérateurs.

Les emprises de RTE sont ici considérées pour créer, à l'échelle régionale, les réseaux de collecte, complémentaires des grandes artères nationales existantes. Ces réseaux de collecte sont nécessaires pour déployer des services à haut débit vers les usagers.

### **3.3.5 RÉSEAUX URBAINS - L'EXEMPLE DE TELCITÉ (FILIALE TÉLÉCOM DE LA RATP)**

Dans un certain nombre de localités, les emprises disponibles ont été utilisées pour créer des infrastructures de collecte et d'accès locales. Un des exemples caractéristiques de cette valorisation est le cas de la RATP à Paris.

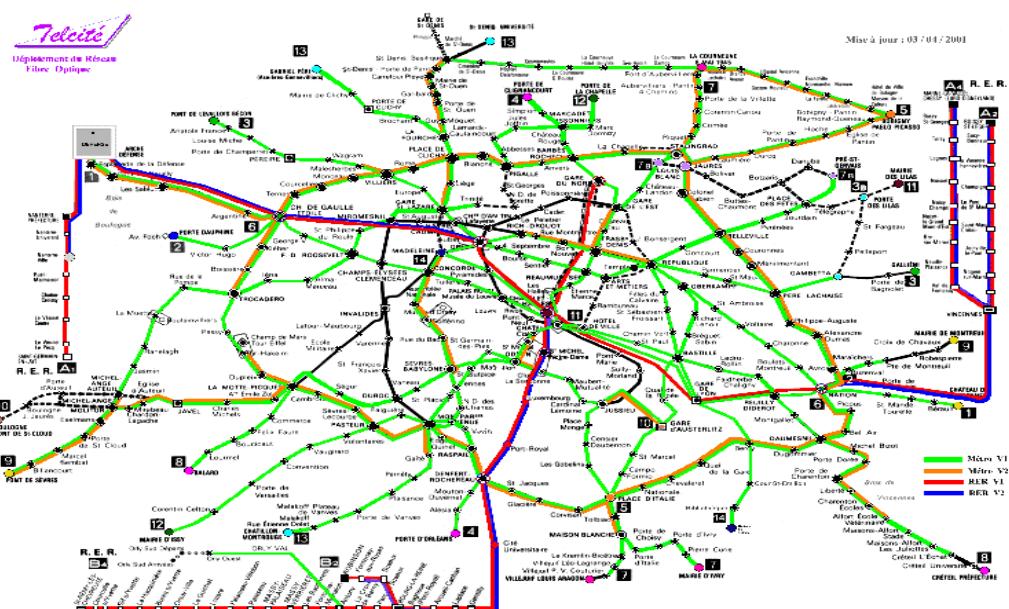
Depuis le début des années 1980, la RATP a déployé un réseau à fibres optiques pour ses propres besoins. Forte de sa grande expérience dans le domaine et pour jouer son rôle dans le cadre de la déréglementation des Télécommunications, elle a décidé en 1997 de valoriser son savoir faire et son patrimoine en créant TELCITE. TELCITE est une Société Anonyme au capital de 1,52 Millions d'Euros, dont la RATP détient 100% du capital.

Le but poursuivi est de rendre accessible au plus grand nombre l'accès aux emprises de la RATP par une mutualisation de ressources rares (chemins de câbles, fourreaux, locaux techniques), en alliant transparence, neutralité (non exclusivité accordée aux tiers) et dans un souci d'aménagement du territoire (utilisation au maximum des infrastructures existantes).

En région Ile de France, TELCITE est propriétaire, gestionnaire et commercialise un réseau à fibres optiques dédié et entièrement réservé à ses clients, en particulier les opérateurs et les gestionnaires de réseaux indépendants.

Ce réseau de câbles à fibres optiques est déterminant pour le dynamisme général de l'offre de Télécommunications en Ile de France. Il relie entre elles des zones régionales de forte activité (Marne La Vallée, La Défense, Massy-Palaiseau et Saclay), tout en desservant Paris avec un maillage dense. C'est un réseau interconnecté à l'international, au national et au régional grâce à des interconnexions avec d'autres réseaux et boucles locales filaires et satellitaires (Irisé, Autoroutes, Voies Navigables de France, EPAD, EPAMARNE, Téléports).

Le réseau est déployé en empruntant les 400 km de cheminement des lignes du métro, du RER et du tramway. Aujourd'hui, 1000 km de câbles constitués de fibre monomode G652 et conformes à la norme K209B de la RATP (câbles sans halogène utilisés dans les réseaux ferroviaires souterrains) sont installés, ce qui représente 40 000 km de fibres. Par son maillage et la densité de son réseau (400 points de sortie), TELCITE peut établir des liens totalement sécurisés.



*Figure 3.2 : Cartographie du réseau parisien de Telcité*



Pour en savoir plus..... Voir annexe CD ROM :

## FICHE PRÉSENTATION DE TELCITÉ

### 3.3.6 RÉSEAUX URBAINS - VALORISATION DES EMPRISES DES VILLES

Certaines villes ne souhaitent pas se lancer dans une politique de gestionnaire ou d'exploitant de réseaux d'infrastructures passives de télécommunications pour différentes raisons :

- manque de compétences internes pour cette activité,
- cette activité ne fait pas partie des priorités,
- ...

Toutefois elles possèdent des emprises qui facilitent le déploiement de tels réseaux :

- réseaux d'égouts visitables,
- galeries de chauffage urbain,
- voies navigables propres (canaux, installations portuaires...),
- ...

Un exemple significatif d'une telle démarche est celui de la Ville de Paris.

Pour valoriser ces installations et faciliter le déploiement de tels réseaux, la ville est amenée à signer des concessions avec des opérateurs, concessions consistant en l'autorisation de passage d'artères de transmission sur ces emprises.

La Ville n'est en aucun cas responsable de ces réseaux; elle se limite à imposer des règles d'exploitation, d'hygiène et de sécurité.

## 3.4 CONTEXTE ÉCONOMIQUE ET ÉTAT D'ÉQUIPEMENT

Le secteur des télécommunications s'est trouvé au centre de l'éclatement de la bulle spéculative de mi-2000 et a essuyé les contrecoups financiers de cette tourmente.

Dans un contexte économique tendu, et privés des ressources de financement du Marché, beaucoup d'opérateurs ont dû se résoudre à ralentir, voire suspendre leurs déploiements en se concentrant sur les niches économiques et géographiques les plus rentables.

Dans ce contexte, l'état d'équipement est aujourd'hui très contrasté :

Les grandes artères nationales et pan-européennes sont très largement équipées voire en très sensible surcapacité. Les grands axes sont généralement redondants et on estime le taux des fibres éclairées à moins de 10%.

A contrario, hors des grandes zones urbaines denses, le travail demeure inachevé et l'état actuel d'équipement des réseaux de collecte et d'accès fait défaut pour le déploiement de services à haut débit.

# 4 – QUEL RÔLE POUR LES TERRITOIRES ?

## 4.1 LES ENJEUX ET ATOÛTS POUR LES TERRITOIRES

L'éclatement de la bulle financière télécom a laissé les opérateurs de télécommunications au milieu du gué et sans ressources pour achever les investissements nécessaires à une couverture haut débit des territoires.

Hors des grandes artères nationales et des grandes zones urbaines denses, le travail demeure inachevé et les réseaux de collecte et d'accès font encore défaut pour déployer des services à haut débit vers les usagers.

A la faveur d'un contexte réglementaire réadapté, les Collectivités Territoriales sont amenées aujourd'hui à jouer un rôle grandissant dans le panorama des télécommunications et l'attractivité numérique de leur territoire est désormais entre leurs mains.

Les Entreprises présentes sur les territoires ont besoin aujourd'hui, pour se développer, de réseaux de télécommunications performants afin d'intégrer l'ensemble des flux d'information issus des messageries, du mixage voix/données/image, et pour accéder à un système Internet fiable et sécurisé leur permettant de délivrer des services à très haute valeur ajoutée à leurs clients, leurs partenaires ou leurs collaborateurs.

L'attractivité et la compétitivité des territoires passent donc par la mise en place d'infrastructures supports de réseaux de télécommunications neutres, ouverts et mutualisables, aussi bien dans le domaine de la collecte que dans celui de l'accès.

Les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) représentent un axe stratégique majeur pour les acteurs locaux. Toutefois, les bouleversements actuels et à venir sont souvent complexes et difficiles à cerner. Face à la vague déferlante de nouvelles technologies, on doit tout d'abord noter que les échéanciers respectifs sont à considérer avec précaution et que la couverture géographique réelle n'est pas toujours conforme aux annonces. La multiplication soudaine de l'offre n'est pas favorable à une montée en cadence rapide sur chacun des médias, ni à une rentabilité rapide des investissement lourds qu'ils impliquent. Il est indéniable que les Collectivités Territoriales ont un rôle fondamental à jouer, notamment pour la valorisation du tissu économique local.

Les territoires sont inégaux face à ces technologies, en raison des contraintes techniques de déploiement ou des objectifs marketing des opérateurs, la majorité des investissements étant concentrée sur les zones plus denses. Pour l'ensemble des Collectivités Territoriales, les enjeux sont directement liés à l'aménagement du territoire. Les approches sont évidemment différentes selon le niveau d'intervention :

- au niveau régional comme au niveau départemental, l'objectif est de mettre en place des infrastructures de transport permettant de desservir les territoires pénalisés dans le haut débit (constat de carence dans les zones blanches) ainsi qu'à mettre en œuvre les interconnexions entre différents sites dans des domaines aussi variés que l'éducation (universités, lycées et collèges), la santé (hôpitaux) ou l'administration (bâtiments publics); on est alors dans le domaine des réseaux de collecte et des réseaux métropolitains (MAN),
- au niveau local, l'élément central de la démarche est lié au souci de renforcement du tissu socio-économique, notamment à travers le renforcement ou le développement des ZAC; on se focalise alors sur les réseaux d'accès (ou de desserte). Pour des raisons de taille critique, les projets sont souvent portés par des Communautés de Communes, des Communautés d'Agglomérations ou par des Communautés Urbaines.

Ces projets doivent impérativement s'inscrire dans un cadre stratégique précis répondant à quelques contraintes générales, notamment :

- l'infrastructure haut débit doit pouvoir évoluer harmonieusement pour prendre en compte les évolutions à moyen et long terme des besoins des utilisateurs. On ne construit pas une infrastructure pour quelques années. En conséquence, il paraît important de valoriser la notion de réseau cible, celui-ci étant fortement orienté vers des solutions fibres optiques. Certaines solutions, indispensables pour assurer le décollage du projet, auront donc un caractère intérimaire,
- la topologie et le dimensionnement de l'infrastructure permettent d'accueillir plusieurs opérateurs et plusieurs types d'applications. Les contraintes de mutualisation des infrastructures font partie inhérente de tels projets.

### **Un plan d'accompagnement du haut débit sur les territoires**

Le Comité Interministériel d'Aménagement et de Développement du Territoire (CIADT) du 18 décembre 2003 a réaffirmé la priorité fixée par le Président de la République : le haut débit pour tous en 2007 à un prix acceptable.

La couverture du territoire s'étend encore de façon très inégale, les villes importantes étant les seules à bénéficier d'une offre diversifiée et les zones rurales risquent d'être tardivement couvertes.

Pour atteindre l'objectif fixé, le Gouvernement multiplie les initiatives répondant aux attentes des territoires. De manière à poursuivre l'effort de couverture, notamment dans les zones rurales, il a décidé la création d'un fond de soutien au déploiement du haut débit et favorisera, à l'occasion de l'attribution de la réserve de performance de fonds européens, la mobilisation d'une enveloppe de l'ordre de 100 M€

## **4.2 LE CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE**

La mise en place d'un réseau de télécommunications à haut débit par une Collectivité Territoriale s'inscrit bien évidemment dans le cadre de la libéralisation des télécommunications mise en place au terme de la loi de juillet 1996 qui a permis d'ouvrir à la concurrence non seulement le trafic de données, mais également le trafic de la voix tant au niveau local que national et international.

Concernant le rôle des Collectivités Territoriales dans la mise en place de réseaux de télécommunications, leur intervention a été rendue possible grâce à la modification du code des Collectivités Territoriales et plus principalement de l'article L.1511-6 qui grâce à des versions successives adoptées par le Parlement lève aujourd'hui un certain nombre d'interdits portant obstacle à l'intervention des Collectivités Territoriales dans ce secteur jusque là réservé aux intervenants de droit privé.

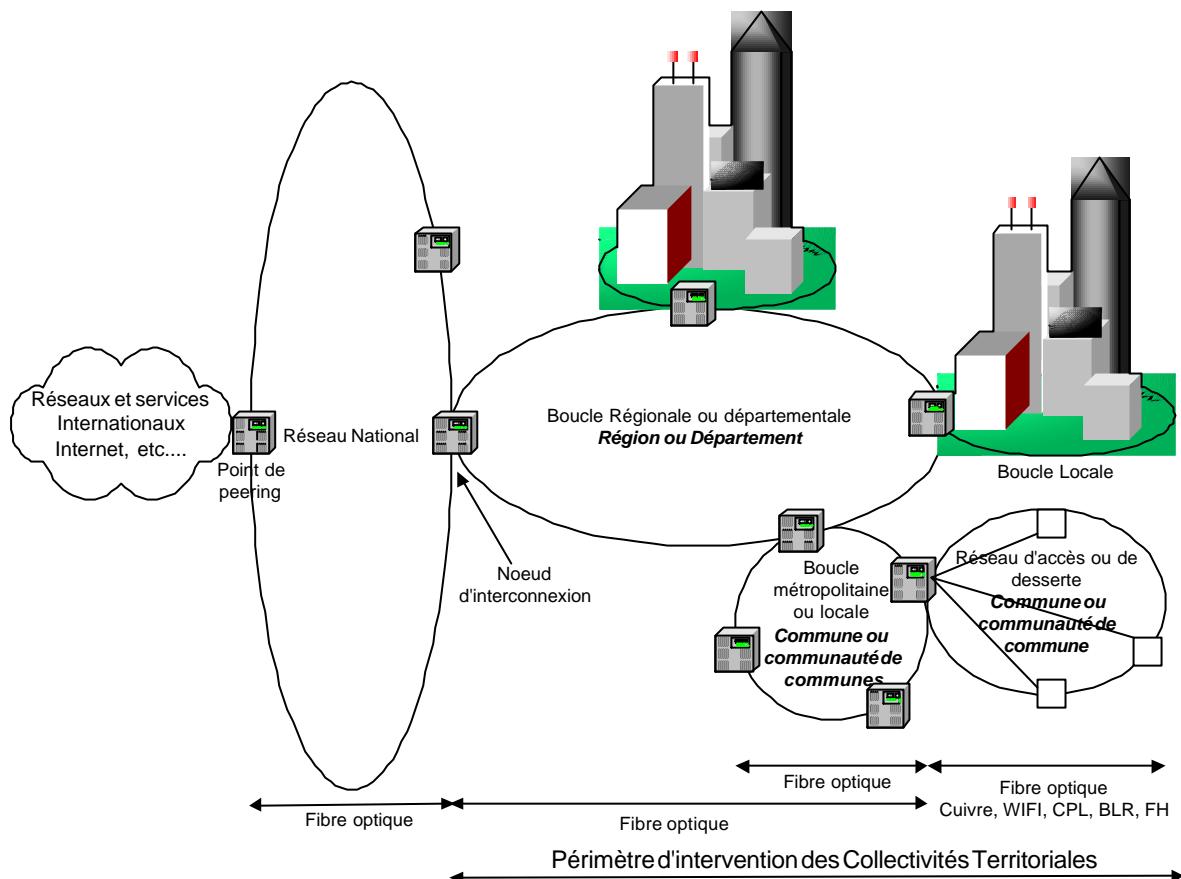
L'objet de l'article L.1425-1 du code des Collectivités Territoriales, dont le Sénat a voté une nouvelle version le 25 juin 2003, est de lever l'obstacle tenant à l'impossibilité des Collectivités Locales d'exploiter elles-mêmes des réseaux ouverts au public, accordant ainsi un choix plus vaste dans le mode de gestion du réseau.



Pour en savoir plus..... Voir annexe CD ROM :

**FICHE CADRE RÉGLEMENTAIRE**

### 4.3 DOMAINE D'INTERVENTION DES TERRITOIRES



*Figure 4.1 : Principe de hiérarchisation des réseaux d'infrastructure*

#### 4.3.1 LES RÉSEAUX NATIONAUX

Les grandes artères nationales et pan européennes sont très largement équipées aujourd'hui, voire en très sensible surcapacité. Elles constituent un appui pour les infrastructures locales. Les infrastructures de collecte et d'accès devront s'interfacer sur ces réseaux nationaux pour permettre l'accès aux services et applications à haut débit.

#### 4.3.2 LES RÉSEAUX DE COLLECTE "MAN"

Ces réseaux ont pour vocation de concentrer les flux de télécommunication des utilisateurs et de les véhiculer jusqu'aux points d'entrée sur les réseaux nationaux. On distingue deux niveaux de réseaux de collecte.

##### 4.3.2.1 Les réseaux régionaux ou départementaux

Ces infrastructures couvrent une envergure régionale ou départementale. Elles sont généralement gérées au niveau du département si la couverture se limite au territoire départemental et par la région lorsque leur couverture s'étend sur plusieurs départements.

De large envergure, ces infrastructures distribuent un nombre limité de nœuds d'interconnexion :

- les grands centres de télécommunications (POP) présents sur le territoire et permettant le raccordement sur les réseaux nationaux,
- les agglomérations de grande et moyenne importance, à raison de 1 à 2 nœuds d'interconnexion par agglomération.

La capillarité de ces réseaux dépendra du seuil fixé, au niveau du projet, pour la taille des agglomérations concernées par l'interconnexion.

#### 4.3.2.2 Les réseaux Métropolitains

Ces réseaux sont gérés au niveau d'une Commune ou d'une Communauté de Communes. Ils prolongent les réseaux départementaux ou régionaux en offrant une capillarité accrue à l'intérieur d'un territoire plus restreint. Ils distribuent un nombre élevé de nœuds d'interconnexion :

- les nœuds d'interconnexion vers les réseaux de hiérarchie supérieure départementaux ou régionaux,
  - les centres de télécommunications locaux (POP) :
    - lorsqu'ils existent, les centres de télécommunications des différents opérateurs alternatifs présents sur la zone. Cette interconnexion permettra à ces opérateurs de bénéficier de l'infrastructure métropolitaine pour distribuer leurs services vers les abonnés. Elle leur permettra également d'extraire leurs flux locaux vers les réseaux régionaux et nationaux,
    - lorsqu'il existe, le centre de l'opérateur historique (NRA). Cette interconnexion permettra, dans le cas où le centre est capable de distribuer des services à haut débit sur ADSL, d'extraire les flux locaux vers les réseaux régionaux et nationaux,
    - lorsqu'ils existent, les "têtes de réseau" des réseaux de télédistribution présents localement.
  - les principaux bâtiments et entités consommateurs de services de télécommunications :
    - les bâtiments administratifs - mairie, écoles, hôpital, etc,
    - les Zones d'activité (ZAC) et quartiers d'affaire, hébergeant des entreprises désireuses de services à haut débit.
- Cette interconnexion permettra en particulier de réaliser l'interconnexion de réseaux locaux internes aux différentes entités administratives (GFU).
- de nouveaux "Centres télécoms de distribution" permettant, par leur emplacement géographique central, d'irriguer, au mieux de nouveaux clients au travers de réseaux d'accès.

#### 4.3.3 LES RÉSEAUX D'ACCÈS

Les réseaux d'accès constituent la partie terminale et capillaire de l'infrastructure. Ils ont vocation à relier l'ensemble des clients finaux sur les centres de distribution.

La distribution de services à haut débit vers les clients nécessite une infrastructure haut débit de bout en bout. Des services haut débit passent donc par un accès haut débit. Les réseaux d'accès haut débit pourront être, selon le cas :

- des réseaux existants que les boucles métropolitaines doivent prévoir d'interconnecter :
  - le réseau cuivre de l'opérateur historique. Selon la qualité du réseau et la distance du client au central télécom, il peut être possible de distribuer des services moyen débit sur des technologies de type ADSL. Le central télécom correspond au NRA (Nœud de Raccordement d'Abonné), souvent localisé au Centre à Autonomie d'Acheminement (CAA), mais également dans des Centres Locaux (CL),
  - les réseaux de télédistribution, lorsqu'ils existent. Dans le cas où un réseau de télédistribution existe sur la commune, il peut être possible, moyennant la restructuration technique du réseau, de distribuer des services d'accès à l'Internet à débit moyen à partir de la tête de réseau,
  - le réseau de Boucle Locale Radio déployé, le cas échéant par un opérateur BLR, et permettant par voie hertzienne de relier les clients finaux, au réseau.
- de nouveaux réseaux de distribution à créer :
  - un nouveau réseau de distribution WIFI, permettant de distribuer sur des ondes radio des services d'accès à l'Internet, à moyen débit,
  - **un nouveau réseau de distribution sur fibre optique**, permettant de distribuer des services à haut et très haut débit vers les clients.

Pour des raisons budgétaires, la mise en place d'un tel réseau filaire à haute performance ne peut pas s'envisager de manière exclusive et systématique en remplacement des infrastructures existantes sur l'ensemble des zones déjà irriguées. Il est cependant opportun et recommandé d'envisager son implantation dans le cas du raccordement des entreprises et dans le cas de création de nouvelles zones et lotissements. Dans de tels cas, la mise en place de nouvelles infrastructures de génie civil (fourreaux) s'impose. Les postes de coûts seront donc identiques entre une distribution classique sur cuivre permettant au mieux des services à débit moyen et une distribution sur fibre optique offrant des possibilités de déploiement de services à très haut débit.

#### 4.4 UN RÉSEAU DE COLLECTE POURQUOI FAIRE ?

L'investissement de la Collectivité dans un réseau de collecte permettra de mutualiser les investissements d'infrastructure. Une telle infrastructure est ainsi destinée à couvrir les besoins :

- des opérateurs de télécommunications (opérateurs fixes, opérateurs mobiles), qui pourront utiliser l'infrastructure pour extraire leurs flux locaux et les interconnecter sur les réseaux nationaux,
- de la Collectivité et de ses établissements qui pourront utiliser l'infrastructure à des fins d'interconnexion de leurs réseaux locaux (réseaux informatiques, réseaux d'autocommutateurs) générant ainsi de substantielles économies sur leurs coûts télécoms concourant à accélérer le retour sur investissement lié à la mise en place du réseau.

Elle réalise le chaînon entre les grands réseaux nationaux, fédérateurs des services, et la distribution des services vers les clients au travers des réseaux d'accès. Elle doit se concevoir en prenant en considération l'ensemble de ces nœuds d'interconnexion.

#### 4.5 UN RÉSEAU D'ACCÈS HAUT DÉBIT POURQUOI FAIRE ?

Pour des raisons marketing et commerciales, le terme de "haut débit" a été largement galvaudé par les acteurs du marché, ces derniers mois. Un accès ADSL à 128 Kbit/s ne saurait en effet être considéré comme un accès haut débit. Il ne représente que le double de la vitesse de transfert obtenue sur le réseau commuté téléphonique.

Mais alors qu'est-ce que le haut débit ? Sa définition peut être approchée en terme d'usage. Le transport, en numérique, d'une source vidéo de la qualité d'une cassette VHS (Video Home System) nécessite environ 1 Mbit/s de débit. La cible basse du haut débit se situe donc autour de cette valeur. Signalons que les usagers suédois, habitués aux services haut débit, situent eux la frontière à environ 10 Mbit/s. Un tel débit chez l'usager ne peut être atteint qu'au travers d'un réseau d'accès sur fibre optique.

##### 4.5.1 QUELLE TECHNOLOGIE POUR QUEL SERVICE DANS L'ACCÈS ?

La figure ci-dessous délimite les performances relatives aux différentes technologies en concurrence dans l'accès. La performance dépend généralement de la distance déployée entre l'usager et le Central de Télécommunications. En particulier, les contraintes de distance sur les réseaux cuivre limitent le développement des services moyen débit ADSL sur le réseau téléphonique existant dans les zones de desserte rurale.

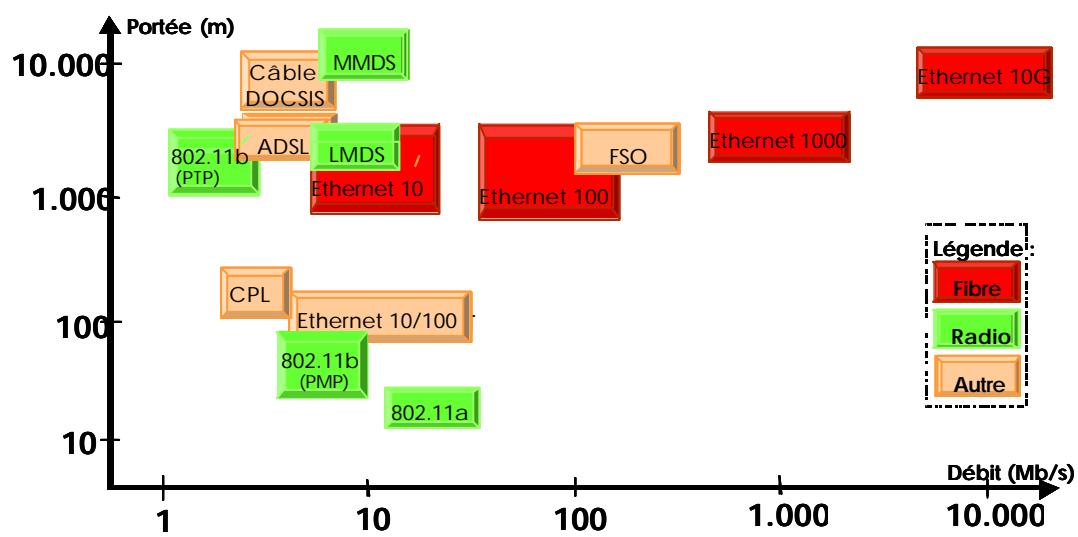


Figure 4.2 : Panorama des technologies pour les réseaux d'accès

#### 4.5.2 QUEL SERVICE POUR QUELLE TYPOLOGIE D'USAGE ?

Notons préalablement qu'en matière d'infrastructures, il est nécessaire de répondre non seulement à la demande identifiée aujourd'hui mais également d'anticiper les usages de demain.

Pour répondre au mieux aux besoins des clients, il est nécessaire de distinguer les usages. Il est possible d'éclairer ceux-ci en distinguant 3 typologies :

- les usages entreprises,
- les usages liés au télétravail,
- les usages résidentiels.

##### 4.5.2.1 Les usages entreprises

Les entreprises ont besoin aujourd'hui de réseaux de télécommunications performants, tant à l'intérieur de l'entreprise qu'à l'extérieur.

A l'intérieur de son périmètre, l'entreprise a généralement mis en place des infrastructures de réseaux performantes permettant à ses collaborateurs d'accéder aux données et applications de l'entreprise sur des accès à des débits aujourd'hui largement supérieurs à 10 Mbit/s. En l'espace d'une dizaine d'années, la performance des réseaux internes a été multipliée par un facteur 100, accompagnant ainsi la puissance développée sur les ordinateurs et les besoins des nouvelles applications.

L'entreprise doit ouvrir ses réseaux et données au delà de son périmètre, au travers des réseaux d'accès. Ces accès extérieurs ont pour objet :

- l'interconnexion des différents sites de l'entreprise,
- l'accès de ses collaborateurs nomades et télétravailleurs aux données dans des conditions de performance (confort) équivalentes à leur travail sur le site même de l'entreprise,
- l'accès de ses clients aux données et services de l'entreprise dans des conditions de performance adéquates.

Dans ces conditions, un service d'accès sous dimensionné constitue pour l'entreprise une contre performance préjudiciable en terme d'image pour ses clients et de fonctionnement pour ses collaborateurs.

Dimensionnées sur des réseaux internes à 10 Mbit/s voir 100 Mbit/s, les applications de l'entreprise s'accommodent mal d'accès réseaux extérieurs à quelques centaines de kbit/s. Pour ces raccordements d'entreprise, les réseaux d'accès à base de fibre optique sont donc tout à fait recommandés.

##### 4.5.2.2 Les usages liés au télétravail

Le télétravail se développe aujourd'hui dans les entreprises. Les réseaux de communication permettent au personnel nomade (commerciaux, consultants, etc.) d'accéder à distance aux applications et données d'entreprise. Pour ce faire, l'usager nomade doit disposer à son domicile de conditions d'accès aux réseaux qui soient compatibles avec ce type d'activité.

A titre d'exemple, le téléchargement d'un message électronique (mail) associé à une pièce jointe de 2 Méga Octets à partir d'un accès traditionnel sur le réseau téléphonique commuté nécessite de 10 à 15 minutes. Il n'est pas rare, dans ces conditions de voir son ordinateur bloqué pendant plus d'une heure dans le rapatriement de sa messagerie électronique. De telles conditions d'accès sont totalement rédhibitoires pour un usage régulier de ce type.

L'usager télétravailleur recherchera des conditions d'accès proches de celles dont il dispose à l'intérieur de son entreprise. Si dans un premier temps, un accès à débit moyen améliore le confort de son activité, il est probable que l'évolution de ses applications et données le contraindra à évoluer, dans les prochaines années, vers de plus hauts débits que seule la fibre saura lui procurer.

#### 4.5.2.3 Les usages résidentiels

Les deux moteurs des usages résidentiels sont aujourd'hui :

- l'accès à des services numériques de vidéodistribution,
- l'accès à l'Internet à haut débit.

L'accès à des services numériques de vidéodistribution est aujourd'hui en concurrence avec d'autres types d'accès tels que la TNT (Télévision Numérique Terrestre) ou les réseaux câblés de télédistribution et cette relative confusion des offres et technologies ralentit le développement de ces services. La distribution de services de vidéodistribution de qualité requiert néanmoins des débits de l'ordre de plusieurs dizaines de Mbit/s que seule la fibre optique saura véhiculer jusque chez l'abonné.

Dans le domaine résidentiel, l'accès à l'Internet s'accorde aujourd'hui, faute de mieux, de débits moyens. Le développement des usages sur cet accès, tels que les jeux en réseau ou l'accès à des banques de musique ou vidéo rendront vite ce débit moyen très insuffisant.

Notons également qu'un accès à haut débit, dès lors qu'il existera permettra le développement de nouveaux usages, tels que le télé enseignement, la surveillance médicale, etc....

# 5 – LES ÉTAPES D'UNE BONNE MISE EN PLACE

---



L'ambition de ce guide n'est pas de définir une nouvelle méthodologie. Les principales phases sont parfaitement décrites dans la notice de la Caisse Des dépôts et Consignations "Éléments clefs pour réussir le Développement Numérique des territoires", éditée par la Documentation Française.

Le but est ici d'apporter des éclairages techniques sur le processus de planification et les choix pour établir et gérer cette l'infrastructure de télécommunication.

Il est important pour la Collectivité de comprendre la nature structurante des choix qu'elle fera au cours des différentes phases du projet pour rester, sur le long terme, actrice de l'aménagement numérique de son territoire.

## 5.1 PLANIFIER

La phase de planification doit permettre à la Collectivité de comprendre les besoins d'aménagement du territoire en fonction non seulement des besoins des utilisateurs, mais aussi des souhaits des fournisseurs de services et, sur cette base, de déterminer l'infrastructure de télécommunication à établir.

### 5.1.1 ENQUÊTES DE BESOINS UTILISATEURS

Côté utilisateurs, une enquête des besoins sera réalisée auprès des différentes cibles : entreprises, PME, services publics, particuliers.

On peut à ce stade noter que les besoins exprimés sont souvent assez faibles. Les entreprises se basent sur leurs échanges actuels, fichiers textes, tableurs, quelques images, etc... Bien peu pensent à des transmissions plus gourmandes comme la vidéo (diffusion de chaînes, vidéosurveillance, visiophonie) ou à des applications encore peu répandues (Voix sur IP) qui nécessitent un service de transmission de qualité.

Penser que la vidéo couplée au téléphone sur IP puisse actuellement justifier la création d'un réseau haut débit peut prêter à sourire. Qui prévoyait en début du siècle dernier l'explosion du téléphone ou du téléphone portable au début des années 90?

### 5.1.2 APPÉTENCE DES FOURNISSEURS DE SERVICES

Des éléments précédents, un dossier de consultation sera élaboré et soumis aux fournisseurs de services afin de connaître leur appétence par rapport au territoire de la Collectivité.

Les stratégies des fournisseurs de services sont très différentes. Certains ne s'intéressent qu'aux entreprises alors que d'autres visent les particuliers en priorité.

Si par exemple une région principalement rurale est enclue à estimer n'intéresser personne, plusieurs fournisseurs de services peuvent être intéressés par cette région si les NRAs sont éligibles au dégroupage dans des conditions intéressantes.

### 5.1.3 ETUDE ET INGÉNIERIE DU RÉSEAU

Selon les éléments qui ressortiront de ces études, la Collectivité déterminera son niveau d'intervention en fonction de l'existence, ou de la non-existence, d'un marché pertinent pour justifier un investissement de la part des fournisseurs de services.

L'élaboration du tracé de l'infrastructure de télécommunication à construire demandera à la Collectivité un travail rigoureux pour répertorier les infrastructures mobilisables permettant de minimiser les coûts de construction. En particulier, la Collectivité recherchera :

- les fourreaux posés lors de travaux d'infrastructure passés et pouvant être utilisés,
- les fourreaux, fibres noires ou services d'interconnexion qui pourraient être loués ou achetés à des gestionnaires ou à des opérateurs d'infrastructure,

Le tracé sera aussi déterminé par la localisation :

- des infrastructures de collecte et de desserte,
- des points de connexion aux réseaux nationaux et internationaux des fournisseurs de services et opérateurs d'infrastructures,

Les méthodes de réalisation des réseaux d'accès pour les premiers kilomètres devront être décidées en fonction des besoins recensés.

L'étude déterminera également les différentes options possibles en vue de :

- aider au choix du bon maître d'œuvre du déploiement du réseau,
- assurer le contrôle et le suivi de ce déploiement.

## 5.2 ÉTABLIR

Parmi les choix qui doivent être faits par la Collectivité, quelle que soit la taille du territoire dont elle a la charge, le mode d'établissement de l'infrastructure de télécommunication est sans doute le plus structurant.

Soit la Collectivité recourt à la Délégation de Service Public (DSP) pour trouver une entreprise qui en assurera la construction et, éventuellement, la gestion, soit la Collectivité décide d'établir elle-même cette infrastructure.

La nature même d'une infrastructure de télécommunication est de devoir évoluer, en l'occurrence en fonction de contraintes et opportunités qu'il ne sera généralement pas possible de prévoir. Le développement d'une nouvelle zone d'activité, la réhabilitation d'un quartier ou d'une friche industrielle sont autant de causes qui feront que l'infrastructure initialement prévue devra être étendue ou modifiée.

Le montage d'une DSP nécessite, de la part du délégant (la Collectivité), de définir précisément ce qui sera délégué. Si ce contrat peut prévoir les règles qui s'appliqueront dans des cas de prolongement ou modification de l'infrastructure, on peut s'interroger sur la capacité qu'aura la Collectivité de contrôler plus tard les relations, et différents, avec un concessionnaire possédant un service juridique aguerri à la gestion des relations avec les Collectivités.

En recourant à des marchés de travaux pour établir cette nouvelle infrastructure, si importante pour son territoire, la Collectivité assume pleinement son rôle d'aménageur et offre, *de facto*, la garantie que les besoins futurs seront pris en compte au mieux des intérêts du plus grand nombre.

Le souhait de l'Etat, dans le domaine de l'eau, de voir les Collectivités recourir plus fréquemment aux régies directes semble aller dans le même sens.

## 5.3 GÉRER

L'évolution du service qui peut, ou doit, être rendu *au-dessus* de l'infrastructure de télécommunication doit également être bien compris par la Collectivité.

Si la Collectivité est convaincue que le service qu'elle doit rendre sur l'infrastructure qu'elle aura établie peut être défini, le recours à une concession sera adapté.

Si elle pressent que la nature du service rendu sur cette infrastructure évoluera dans le temps, pour des raisons structurelles ou juridiques, ou que de nouveaux services devront être fournis sur cette infrastructure, le recours à des marchés de services pourra se révéler plus adapté.

Le schéma ci-dessous résume ces éléments :

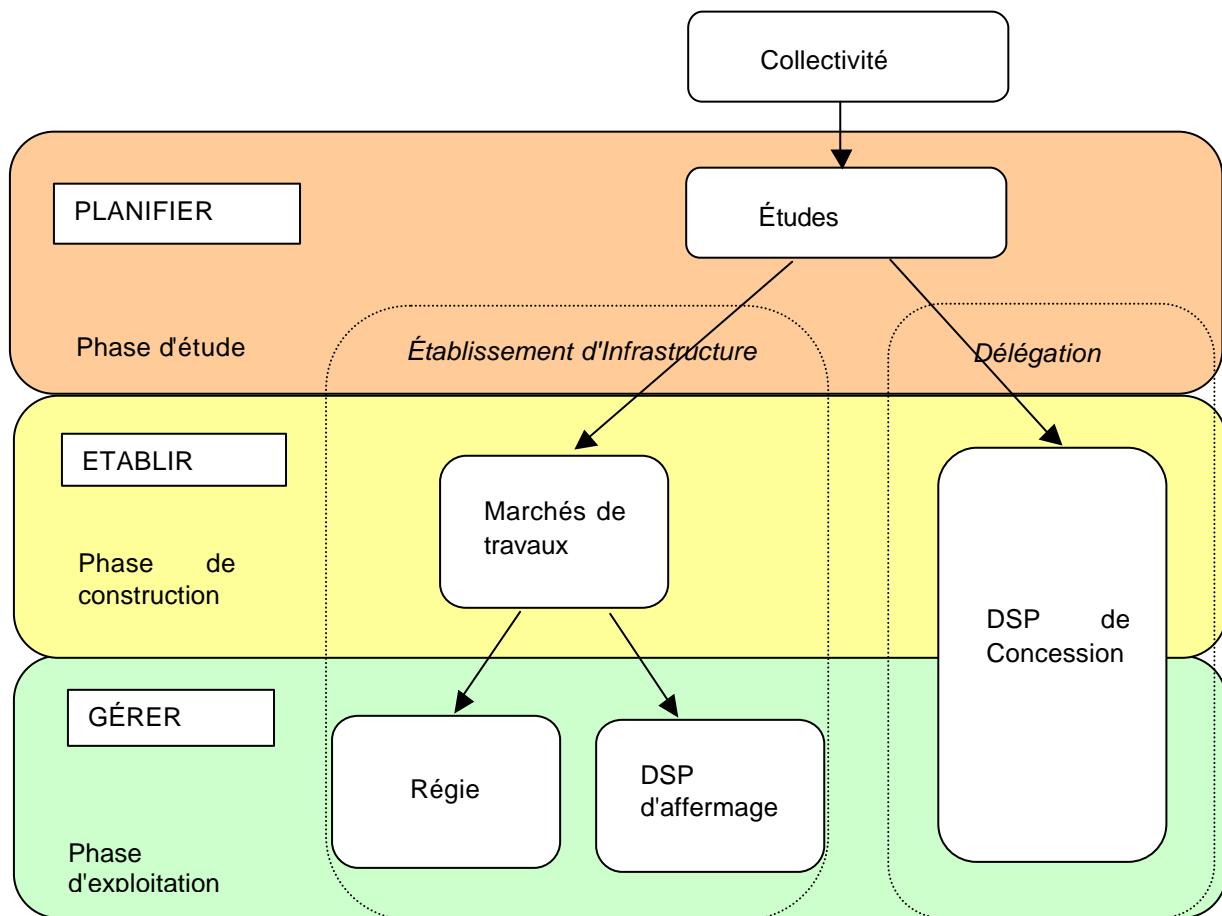


Figure 5.1 : Phasage des projets et choix structurants dans le mode d'établissement d'infrastructure

# 6 – INGÉNIERIE DES RÉSEAUX DE COLLECTE

## 6.1 RÈGLES D'INGÉNIERIE

### 6.1.1 ARCHITECTURE GÉNÉRALE

Le réseau de collecte créé par une Collectivité doit s'intégrer entre les réseaux nationaux existants et les réseaux d'accès tout en prenant en compte l'existence des réseaux des Collectivités voisines. Le réseau de collecte régional doit, en théorie, réaliser l'interconnexion des réseaux départementaux qui à leur tour interconnectent ceux des Communautés de Communes. Cette hiérarchisation n'est que théorique et ce qui doit dicter l'architecture est la réalisation au meilleur coût du réseau le plus sûr pour répondre aux besoins.

En effet deux réseaux départementaux limitrophes peuvent avoir intérêt à utiliser des infrastructures partagées indépendantes du réseau régional : les infrastructures existantes ou potentielles (voies navigables, voies ferrées ou lignes électriques) sont indépendantes des frontières administratives.

#### 6.1.1.1 Topologie du réseau de collecte

Pour garantir un service de télécommunications dans un lieu, l'idéal est évidemment de doubler les voies de transmission qui permettent d'y accéder en évitant au maximum les éléments communs entre elles.

Desservir une zone rurale par un câble optique est déjà un challenge, et il faudrait en amener deux par des chemins différents ! Au lieu de doubler les voies en étoile depuis un point d'accès aux réseaux opérés existants, la constitution d'une boucle permet cette sécurisation tout en minimisant les liaisons.

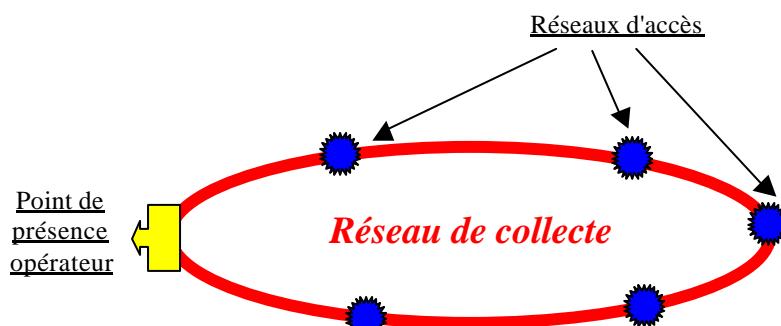


Figure 6.1-a : Topologie d'un réseau de collecte

Il faut aussi admettre, en fonction des coûts, que certaines villes ne seront pas secourues et seront alimentées "en antenne". Le temps d'indisponibilité des services haut débit dépendra alors de la technologie utilisée et des temps contractuels de réparation garantis par l'exploitant des câbles optiques.

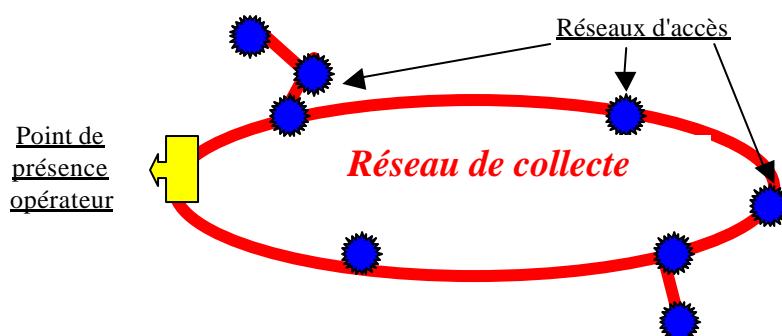


Figure 6.1-b : Topologie d'un réseau de collecte

La topologie finale aboutit, du fait des structurations des matériels de routage et de sécurisation des réseaux, à une structure comportant :

- une boucle principale ou anneau sécurisé,
- des boucles secondaires branchées sur cet anneau,
- et quelques ramifications non secourues.

L'infrastructure fibre du réseau RISQ (Réseau d'Informations Scientifiques du Québec) illustre cette architecture :



Figure 6.2 : Exemple de cartographie d'un réseau de collecte - le réseau RISQ

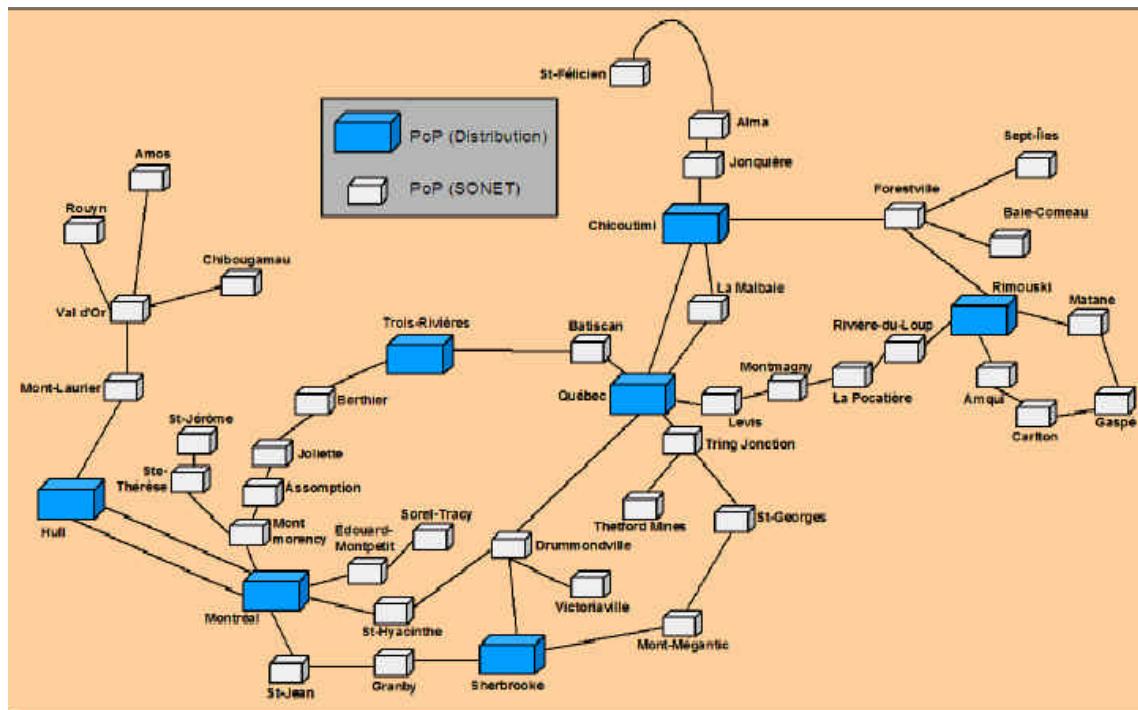


Figure 6.3 : Exemple d'architecture d'un réseau de collecte - le réseau RISQ

### 6.1.1.2 Les points de connexion aux réseaux d'accès

Afin de préparer l'avenir, le haut débit amené par le réseau de collecte aux portes des agglomérations (de 1000 à 3000 habitants) est un haut débit "fibres optiques". Où doivent aboutir les câbles optiques du réseau de collecte ?

- le futur verra sans doute la fibre directement chez l'abonné à l'image de nos voisins européens (Suède, Italie),
- pour l'heure, les technologies de desserte sont le plus souvent soit sur réseau cuivre (ADSL ou CPL) soit sur réseau hertzien (BLR, WiFi).

Les points de connexion des réseaux de collecte et d'accès vont donc dépendre de la technologie de ce dernier :

- réseaux cuivre :
  - le cas actuellement le plus répandu est l'utilisation des points de dégroupage du réseau de l'opérateur historique : les **NRA** (Nœuds de Raccordement d'Abonnés) de France Télécom. Le premier kilomètre en fibre du réseau d'accès (ou le dernier km du réseau de collecte) devra donc aboutir à ce "central PTT" du village d'où partiront les liaisons ADSL du ou des opérateurs utilisant le réseau de la Collectivité,
  - des réalisations utilisant la technique des CPL (Courants Porteurs en Ligne), dans les zones d'habitat dense (cités, coeurs de bourgs...) feraient aboutir ce premier km au(x) poste(s) de distribution basse tension EDF.
- réseaux hertziens :
  - le premier km doit aboutir à un point haut : émetteur existant, relais radio, pylône haute tension. Le nombre de ces points d'émission varie selon la zone géographique à desservir et le rayon d'action de la technologie employée : un seul en BLR mais beaucoup en WiFi pour une ville cible de 3000 habitants.

Dans tous les cas, des solutions de prolongement par Faisceaux Hertziens (FH), des fibres optiques vers ces points de connexion aux réseaux d'accès peuvent être étudiées et se révéler économiques.

### 6.1.2 COMPOSANTES DU RÉSEAU DE COLLECTE

Le schéma ci-dessous recense les différents composants d'un réseau de collecte.

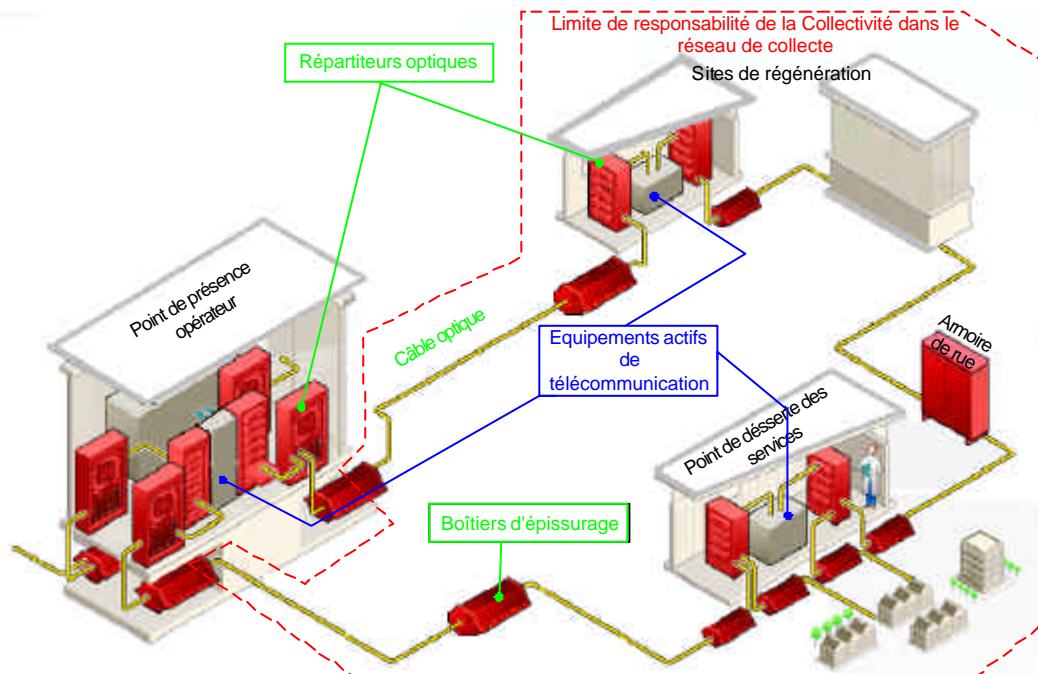


Figure 6.4 : Composantes du réseau de collecte

Le réseau de collecte est constitué :

- de tronçons de câbles optiques. Ces tronçons sont généralement posés sous fourreaux. Pour des raisons techniques, liées au mode de fabrication et de pose, les tronçons de câble sont limités à une longueur de l'ordre de 4 à 6 km (selon le mode de pose),
- de boîtiers d'épissurage - ces boîtiers réalisent l'interconnexion de deux tronçons de câbles. Ils abritent les fibres optiques soudées deux à deux. Ces boîtiers sont généralement logés dans des chambres d'épissurage.

Les portions ainsi réalisées interconnectent deux catégories de sites :

- les sites de régénération. Ceux-ci sont répartis le long du réseau et ont pour fonction d'abriter les équipements de télécommunication (répéteurs, amplificateurs, etc...) qui régénèrent (remise en forme) le signal optique. Ces sites, espacés historiquement de moins de 80 kms, n'interviennent pas au niveau de la délivrance de service vers les clients. Dans le cas d'un réseau de collecte, la Collectivité devra prendre en considération ce type de site dans l'ingénierie de son réseau et prévoir les services nécessaires à l'accueil et au raccordement des équipements actifs des opérateurs clients (voir Chapitre 6.1.4 - Organisation et dimensionnement des centres télécoms).
- les sites de délivrance de service :
  - les "points de présence opérateurs" permettant d'interconnecter le réseau de collecte aux différents réseaux nationaux. Ces "points de présence opérateurs" sont de la responsabilité des différents opérateurs et hors limite de responsabilité de la Collectivité. La limite de responsabilité peut être matérialisée selon les cas, par un boîtier d'épissurage en entrée du bâtiment opérateur. Les câbles du réseau d'accès seront raccordés sur ces boîtiers. L'opérateur pourra ainsi transporter ses différents services au travers du réseau de collecte jusqu'aux "points de desserte de services".
  - les "points de desserte de services" réalisent la frontière avec les réseaux d'accès locaux. Les différents services seront distribués vers les clients particuliers ou entreprises au travers des réseaux d'accès (sur fibre optique, cuivre ou réseaux radio...). Dans ces centres, la Collectivité devra également pouvoir abriter les équipements de concentration et de transport de ses clients opérateurs. Elle devra donc, à ce titre, prévoir les services nécessaires à l'accueil et au raccordement des équipements actifs des opérateurs clients (voir chapitre 6.1.4-Organisation et dimensionnement des centres télécoms).

Le branchement d'équipements télécoms ou le brassage de fibres sur le réseau nécessite que les câbles optiques soient connectorisés. Cette opération est réalisée au travers des répartiteurs optiques. C'est sur le répartiteur optique que viendront se raccorder les équipements télécoms. On trouvera donc ce type de fonction dans tous les sites (site de régénération ou site de desserte de service).

### 6.1.3 DIMENSIONNEMENT DU RÉSEAU DE COLLECTE

#### 6.1.3.1 Mutualiser les infrastructures longue distance pour économiser, mais jusqu'où ?

La croissance exponentielle des besoins en débit des applications et les exigences des opérateurs ont conduit à dimensionner les infrastructures des réseaux de télécommunications pour permettre un nombre de plus en plus élevé de fibres :

- multiplicité de fourreaux dans la même fouille (12 voire 24), sous-fourreautage,
- augmentation du nombre de fibres par câble à diamètre extérieur constant (micro-modules) permettant d'atteindre 400 à 800 fibres par câble.

Jusqu'en 2001, chaque opérateur a construit ses propres infrastructures et, sur les grands axes, il n'est pas rare de voir en parallèle des dizaines de fourreaux (partiellement équipés) le long d'une voie ferrée, d'une autoroute et dans un fleuve (Vallée du Rhône).

La location de fourreaux excédentaires ou de fibres noires dans les câbles existants a commencé à se développer initialement pour des besoins de sécurisation. Certains investisseurs, sans être eux même opérateurs, ont commencé à construire des infrastructures de fourreaux pour les louer.

Parallèlement, la technologie des fibres et les techniques de transmission, en particulier le multiplexage en longueur d'ondes (DWDM), ont permis d'atteindre des débits très élevés sur chaque paire de fibres (jusqu'à 100 canaux de 10 à 40 Gbit/s) en couvrant des distances de plusieurs centaines de km.

Si la modularité de base de certains opérateurs était, en 2001, de 144 fibres sur leurs tronçons, leur demande est actuellement généralement de trois paires, voire une seule.

On pourrait même être tenté de constituer un réseau en louant du débit sur une paire de fibres existante.

Il faut cependant tenir compte du fait que toute intervention sur des éléments actifs (terminaisons optiques, multiplexeurs, routeurs, etc....) peut perturber l'ensemble des utilisateurs. En exploitation d'un réseau de transmission, ces interventions d'exploitation sont très fréquentes. Elles sont générées par les modifications du réseau, les remplacements de matériels pour accroître la capacité ou diversifier les chemins, etc....

Il est donc conseillé de limiter la mutualisation aux éléments non actifs : la fibre noire, le câble ou le fourreau qui ne seront perturbés que par les opérations de maintenance curatives (rares !).

Dans les cas pratiques actuels, chaque utilisateur (opérateur, GFU éventuel) va réserver de une à trois paires de fibres. Si le réseau de collecte régional peut intéresser trois opérateurs et deux GFU privés, 5 à 15 paires de fibres sont donc suffisantes. Une capacité de câble de 36 à 144 fibres (12 micro-modules indépendants) est donc un dimensionnement cohérent.

Dans un réseau de collecte régional, les liaisons entre les villes de 3000 à 5000 habitants (ou plus) sont de 20 à 30 km en moyenne. Si la construction de l'infrastructure se réalise en souterrain, la pose de trois fourreaux dont un équipé de 72 fibres peut constituer l'infrastructure de base. Dans le cas de pose aérienne, les câbles optiques sur lignes d'énergie sont typiquement de 48 fibres.

#### 6.1.3.2 distances déployées

Le tableau ci-dessous présente les recommandations de L'UIT pour les systèmes de transmission SDH utilisant la fibre G652. Les systèmes actuels dépassent largement ces niveaux de performances.

Application	Intra-station	Inter-station			
		Courte distance		Longue distance	
Longueur d'onde nominale (nm) de la source	1310	1310	1550	1310	1550
Distance (km)	≤ 2		~ 15	~ 40	~ 80

Tableau 6.1 : G.957 – Classification des interfaces optiques en fonction des applications

Les systèmes longue distance développent un budget optique de 20 à 30 dB. Une fibre G652 ayant un affaiblissement moyen de 0,25 dB/km à 1550 nm, une station d'amplification optique sera nécessaire tous les 80 km.

Dans un réseau de collecte régional qui sera en général constitué de tronçons interurbains de 20 à 30 km, l'utilisation de fibres G652 à 1550 nm est donc, à priori, totalement suffisante.

Il faut cependant noter que cette distance peut largement être dépassée dans les cas suivants :

- les réseaux départementaux s'interconnectent entre eux et permettent ainsi de réaliser une dorsale régionale. Il peut être intéressant de réservé une paire de fibres pour ces trafics entre les villes principales d'une région,
- le bouclage de sécurisation d'un réseau peut emprunter un chemin très long et utiliser des réseaux des départements ou des régions voisines,
- enfin et surtout, la location des fibres aux opérateurs peut les intéresser pour la desserte locale ou régionale mais peut aussi les intéresser pour compléter ou sécuriser leurs infrastructures nationales.

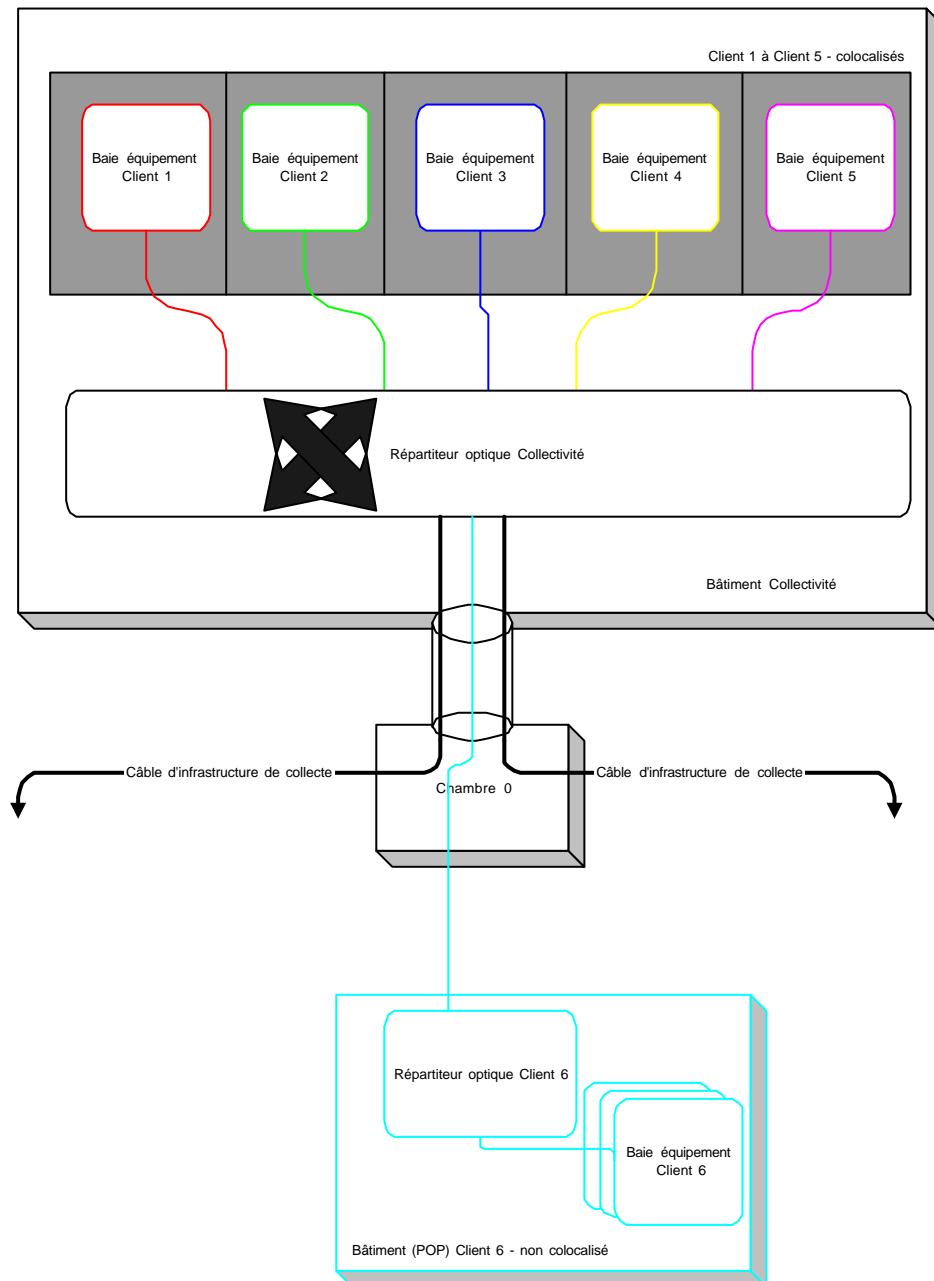
Pour ce dernier cas les distances aboutées peuvent être très importantes : plusieurs centaines voire milliers de kilomètres. Il peut donc être intéressant de prévoir, dans les fibres tirées, un certain nombre de fibres G655 (un tube de 12 par exemple) qui permette, à grand débit, et tout en conservant des amplificateurs optiques au pas de 80 km, de limiter les pas de régénération du signal.

#### 6.1.4 ORGANISATION ET DIMENSIONNEMENT DES CENTRES TÉLÉCOMS

Les points de desserte de service et les sites de régénération devront être dimensionnés et organisés pour pouvoir colocaliser les matériels actifs des opérateurs clients de l'infrastructure.

##### 6.1.4.1 Accès des clients aux fibres mutualisées

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



*Figure 6.5 : Organisation des Centres télécoms - accès des clients colocalisés et externes*

### Cas n°1 d'un client non colocalisé

C'est le cas du client 6 représenté sur la figure 6.5. Celui-ci dispose d'un site extérieur au bâtiment de la Collectivité qui abrite le répartiteur optique d'accès aux fibres. Pour permettre à ce client d'accéder aux fibres, un câble optique sera installé entre son local et la "chambre 0", première chambre de la Collectivité, située à l'extérieur du bâtiment, sur la voie publique (cette chambre constitue le point d'entrée vers le bâtiment).

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

### Cas n°2 d'un client colocalisé

C'est le cas des client 1 à 5 représentés sur la figure 6.5. Ceux-ci installent leurs équipements à l'intérieur du bâtiment de la Collectivité au plus près du répartiteur optique d'accès aux fibres.

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

La Collectivité devra 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.

#### 6.1.4.2 Contraintes liées à la colocalisation

##### Organisation d'un local client

Une zone spécifique devra être réservée pour les clients. Cette zone est destinée à recevoir les équipements actifs des clients. Chaque équipement est généralement installé dans un ensemble de baies télécoms au format ETSI ou 19". En pratique, un espace d'au minimum 20 m<sup>2</sup> sera réservé à l'usage des clients.

Cette zone pourra être cloisonnée ou non. Un cloisonnement intérieur en "box" pourra également être réalisé pour isoler les locaux clients entre eux.

##### Accès des personnes

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

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

##### Fourniture des sources d'énergie

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

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

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

##### Climatisation, chauffage des locaux

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

##### Détection incendie

### 6.1.5 TESTS ET RECETTE

Le but des tests est de démontrer que les différents composants constitutifs d'une liaison sont conformes aux spécifications, installés selon les règles de l'art et ne subissent pas de contraintes mécaniques dans leur environnement. Les procédures et méthodologies de test ont été largement développées dans les différents ouvrages du C.R.E.D.O, en particulier dans le guide "Mesures et Recette d'un câblage optique".

Nous fournissons dans ce paragraphe quelques conseils et éclairages en fonction des différents environnements organisationnels.

#### 6.1.5.1 Cas général

Dans le cas général où l'infrastructure est construite sous la maîtrise et le contrôle de la Collectivité Territoriale, celle-ci en maîtrise parfaitement les composants et leur origine. Un test classique peut donc être entrepris.

Les contrôles de l'infrastructure optique sont donc réalisés au travers de mesures effectuées par réflectométrie et insertion. Ces tests permettent de contrôler les valeurs des affaiblissements linéaires des tronçons de fibre et des pertes d'insertion (et réflectance) des composants connectique.

La Collectivité pourra s'appuyer sur la "fiche de contrôle des infrastructures optiques" pour imposer une présentation des résultats de test, ainsi que les sanctions applicables.

 Pour en savoir plus..... Voir annexe CD ROM : **FICHE DE CONTRÔLE DES INFRASTRUCTURES OPTIQUES**

#### 6.1.5.2 Cas particulier des réseaux mal connus

Une partie de l'infrastructure peut être louée ou concédée à la Collectivité par un gestionnaire d'entreprise. Dans ce cas, la Collectivité ne maîtrise pas forcément l'origine des composants et leur spécification, en particulier l'ensemble des paramètres dispersifs de la fibre (Dispersion Chromatique et Dispersion de Mode de Polarisation - PMD) qui sont susceptibles de limiter sa capacité à supporter des très hauts débits (10 Gbit/s et au delà) sur l'infrastructure.

De manière à s'assurer que les infrastructures seront bien aptes à supporter les évolutions vers les très hauts débits, il peut être utile de contrôler, tronçon par tronçon, outre les paramètres classiques (perte d'insertion et réflectance), les valeurs des paramètres de dispersion - dispersion chromatique et PMD.

On pourra se référer au guide "Réseau fibre optique étendu - MAN-WAN" ou consulter la "fiche mesure des paramètres optiques" pour obtenir plus de renseignements sur ces différents paramètres, leur origine, mode de contrôle et valeurs de référence, en fonction des débits visés sur l'infrastructure.

 Pour en savoir plus..... Voir annexe CD ROM : **FICHE MESURE DES PARAMÈTRES OPTIQUES**

## 6.2 UTILISATION DES EMPRISES RÉGIONALES DE RTE

L'utilisation du réseau de transport d'électricité haute tension de RTE comme support d'infrastructures en fibres optiques constitue une opportunité particulièrement attractive pour une réalisation rapide, sûre et économique des projets haut débit des Collectivités. C'est une modalité de déploiement éprouvée et utilisée en France et dans plusieurs pays européens depuis de nombreuses années. Elle est particulièrement adaptée soit pour constituer l'infrastructure de référence d'un projet, soit pour compléter un dispositif faisant appel à d'autres supports, notamment dans les zones où RTE est la seule infrastructure mobilisable pour la pose de câbles optiques.

Parmi les solutions envisageables pour leurs projets d'infrastructures de collecte à haut débit, l'offre de RTE, en complémentarité avec d'autres solutions, doit retenir toute l'attention des Collectivités en raison de ses nombreux avantages.

### 6.2.1 L'ADAPTATION AUX BESOINS DES TERRITOIRES

La forte densité du réseau public de transport d'électricité est un atout considérable pour le déploiement de telles infrastructures notamment pour les Collectivités à l'écart des grands réseaux de télécommunications. RTE gère un réseau national de près de 80 000 kilomètres<sup>(1)</sup> se décomposant comme suit :

400 kV	225 kV	150 kV	90 kV	63 kV
13 170 km	21 285 km	1 214 km	12 720 km	29 510 km

*Tableau 6.2 : Kilométrages de réseaux haute tension gérés par RTE*

#### **Il dessert la totalité des villes de plus de sept mille habitants et plus de la moitié des villes de cinq mille habitants.**

RTE dessert ainsi deux mille trois cents sites sur le territoire national. Seul le réseau de France Télécom dispose d'un nombre de points de desserte comparable. Une utilisation privilégiée du réseau RTE est, en conséquence, l'établissement de liaisons avec ou entre les villes moyennes d'un département ou d'une région.

Sa densité permet aussi de répondre aux objectifs d'irrigation des territoires les plus excentrés à des coûts abordables. Ainsi, du fait de ses obligations de service public, le réseau de RTE traverse fréquemment des zones montagneuses (près de 18% du territoire métropolitain) non desservies en haut débit et peu accessibles, et dans lesquelles les coûts de génie civil sont particulièrement élevés. De manière générale, dans les zones rurales (qui représentent 13,6 millions d'habitants en France), le réseau RTE est souvent disponible pour recevoir des fibres optiques qui peuvent assurer ainsi la collecte du trafic local en haut débit.

On peut en outre améliorer la desserte du territoire en prévoyant des points de raccordement sur les pylônes les mieux situés pour desservir des communes isolées entre deux points d'aboutissement du réseau de RTE.

### 6.2.2 UN RÉSEAU SÉCURISÉ ET MAILLÉ

Le réseau RTE est sécurisé pour les besoins du service public de fourniture d'électricité et il est maillé. Ces caractéristiques sont appréciables pour la réalisation de réseaux de télécommunications, dans la mesure où elles permettent de constituer des boucles sécurisées, gages d'une excellente disponibilité du service de télécommunications. Ce réseau comporte également 2 800 kilomètres de liaisons souterraines, situées généralement dans les agglomérations de plus de cinquante mille habitants, où l'enfouissement des réseaux électriques est de rigueur. De ce fait, RTE peut disposer de capacités excédentaires de fibres optiques sur des câbles souterrains ou parfois de fourreaux vides qui peuvent être équipés en fibres optiques. Ces liaisons destinées à irriguer les principaux centres

<sup>(1)</sup> Ces 80 000 km représentent la longueur totale des files de pylônes de RTE. Certains pylônes pouvant supporter plusieurs lignes électriques, le réseau RTE est en fait constitué de près de 100 000 km de lignes.

urbains peuvent être utilisées pour une desserte plus proche des centres villes ou pour la connexion de ces centres à un backbone passant en périphérie de ceux-ci.

Les fibres optiques posées sur les lignes du RPT (Réseau Primaire de Transport) constituent un support de transmission particulièrement bien adapté aux télécommunications à haut débit. Mais, pour des raisons liées au coût élevé de la pose et au principe de spécialité, le taux d'équipement des lignes à RTE était resté assez faible en comparaison d'autres GRT (Gestionnaire de Réseau de Transport) européens (REE, NGC, ...). Il existe en fin 2003 près de 4 000 km de câbles optiques RTE.

#### 6.2.3 UNE COUVERTURE NATIONALE COMPLÈTE

Mi 2003, RTE a décidé d'engager le déploiement d'un Réseau Optique de Sécurité (ROSE) d'environ 4 500 km de câbles optiques. Ce réseau doit permettre à RTE de s'affranchir des risques induits par les télécommunications sur les systèmes de protection contre les court circuits. Les premiers tronçons de ROSE doivent être déployés dès 2004, le déploiement devant s'achever en 2007.

Cela permettra à RTE de disposer, à cette échéance, d'un réseau continu de fibres optiques de plus de 8000 km desservant bon nombre de zones actuellement "blanches" qui pourra être mis à disposition des Collectivités Territoriales sous forme de contrat de location adapté à leurs besoins.



Pour en savoir plus..... Voir annexe CD ROM :

**FICHE PRÉSENTATION DE RTE**

### 6.3 UTILISATION DES EMPRISES RÉGIONALES DE RFF

#### 6.3.1 PRÉSENTATION DE RFF

Créé en 1997, RFF (Réseau Ferré de France) a en charge l'aménagement, le développement, la cohérence et la mise en valeur du réseau ferré national. RFF est à la fois maître d'ouvrage, gestionnaire et propriétaire du réseau national. Ces missions sont de trois ordres :

- l'exploitation (gestion du trafic et fonctionnement),
- l'entretien du réseau (qu'il sous-traite à la SNCF),
- l'aménagement et le développement.

En tant que propriétaire de la majeure partie du patrimoine ferroviaire, RFF assure une mission de gestion de ce patrimoine. Acteur du développement local, il accompagne les Collectivités dans le choix de leurs opérateurs.

#### 6.3.2 UN RÉSEAU ÉTENDU ET LINÉAIRE QUI DESSERT 11 000 COMMUNES

RFF est l'un des plus importants propriétaires fonciers de France et son patrimoine est réparti sur l'ensemble du territoire. RFF dispose de 31 320 km de voies ferrées. Comme le confirme la figure 6.6, la capillarité du réseau ferré est importante.



*Figure 6.6 : Carte du réseau de RFF*

### 6.3.3 RFF ET SNCF : DES PARTENAIRES OFFRANT DES AVANTAGES

Du fait de sa présence jusqu'au cœur des villes, le réseau ferroviaire offre de grandes facilités de raccordement aux réseaux de collecte des communes. La présence de voies ferrées au cœur des villes évite ainsi aux communes d'avoir à assurer une extension de leur réseau de collecte. Des liens avec d'autres réseaux régionaux peuvent être établis en peu de temps et sans mise en œuvre importante. Enfin, les entreprises ferroviaires sont sécurisées dans la mesure où, fermées au public, elles ne sont accessibles qu'au personnel qualifié.

La SNCF en tant que gestionnaire délégué de l'infrastructure assure depuis 1997 la construction du réseau de fibres optiques pour le compte d'un opérateur. Elle dispose à ce titre d'un savoir-faire spécifique en matière de pose de câbles par soufflage sous tube PeHD. Attentif à l'évolution des techniques, la SNCF s'est aussi orientée vers la pose par flottage, faisant de premiers essais dès novembre 2002.

La pose en aérien, problématique car nécessitant l'arrêt des circulations et la coupure d'alimentation avant toute intervention, a été abandonnée au profit de la pose enterrée. Celle-ci est réalisée à l'aide de machines de pose spécialement développées pour l'environnement ferroviaire.

Pour assurer la lutte anti-rongeurs, la SNCF a par ailleurs fait fabriquer un câble avec armature métallique.

## 6.4 L'APPUI DES AUTRES EMPRISES

Les exemples cités au chapitre précédent montrent la grande diversité des offres de fibres optiques noires mises en place par des opérateurs d'infrastructures optiques longue distance.

Selon le même principe, des gestionnaires d'entreprises ont également décidé la mise en place de telles infrastructures. On peut en particulier citer les Sociétés d'Autoroutes qui ont engagé une politique volontariste en la matière ou encore le réseau Telcité sur les emprises de la RATP.

D'autres entreprises sont également mobilisables pour la création d'un réseau de fibres optiques en minimisant les coûts d'installation. C'est le cas des égouts, aqueducs, canaux ou encore des infrastructures gérées par les DDE ou GDF.

# 7 – TECHNOLOGIES ET PRODUITS DES RÉSEAUX DE COLLECTE

Tout développement d'une infrastructure de communication repose nécessairement sur l'utilisation d'un support de transmission. Ce chapitre présente l'état de l'Art des technologies et produits existants dans l'infrastructure. Il dresse un bilan exhaustif des fibres et câbles optiques, de la connectique et des contenus mis en œuvre. Il est important de parfaitement choisir les composants de l'infrastructure de câblage afin de minimiser les coûts d'installation, de raccordement, de maintenance tout en disposant d'une infrastructure fiable et pérenne.

## 7.1 PANORAMA DES FIBRES MONOMODES - QUELLE FIBRE CHOISIR ?

Avant la lecture de ce paragraphe, le lecteur pourra se référer à la "fiche fibre", pour obtenir une information préliminaire concernant les fibres, leur mode de fabrication et leurs caractéristiques principales.



Pour en savoir plus..... Voir annexe CD ROM :

### FICHE FIBRE

La fibre la plus couramment employée dans le domaine des télécommunications demeure la fibre monomode G652 (standard UIT-T repris par la CEI 60793). Grâce à son faible affaiblissement linéaire et à sa bande passante illimitée, elle permet la réalisation de liaisons longue distance à très hauts débits. D'autres types de fibres ont été développés en référence à celle-ci pour améliorer notamment les paramètres de dispersion chromatique. Ces développements ont révélé l'importance de nouveaux effets, parmi lesquels la PMD (Dispersion des Modes de Polarisation) est un des plus contraignants.

### 7.1.1 LA FIBRE G652 - SMF

La fibre G652 est une fibre dont la dispersion chromatique est nulle aux alentours de 1310 nm. Sa dispersion chromatique est de l'ordre de 17 ps/nm.km à 1550 nm. Cette fibre est très peu sujette aux effets non linéaires. Malgré l'apparition sur le marché de fibres à dispersion chromatique décalée (G655-NZDSF), **la G652 reste la fibre de référence des réseaux de collecte d'aujourd'hui et de demain.**

$\varnothing$ champ de mode (μm)	$\varnothing$ Gaine (μm)	$\varnothing$ Revêtement (μm)	Longueur d'onde de coupe (nm) en câble	Longueur d'onde d'amplitude de dispersion	Dispersion typique à 1550 nm (ps/nm.km)	Affaiblissement max à 1310 nm (dB/km)	Affaiblissement max à 1550 nm (dB/km)	Atténuation max à 16XX nm (dB/km)
8,6 à 9,5	125±1	245±10	≤ 1260	1310<λ<1324	17	≤ 0,4	≤ 0,3	≤ 0,4

Tableau 7.1 : Caractéristiques normatives des fibres G652

La valeur de PMD de cette fibre n'est pas spécifiée dans la norme CEI 60793-2-50 (norme de spécification produit des fibres optiques monomodes) mais elle est introduite dans la norme de spécification des câbles optiques (CEI 60794). Cette valeur doit être meilleure que 0.5 ps/km<sup>1/2</sup>. Néanmoins, une valeur de 0.2 ps/km<sup>1/2</sup> sera nécessaire pour permettre des transmissions de 40 Gbit/s jusqu'à 150 km ou de 10 Gbit/s jusqu'à 2400 km sans régénération.

### 7.1.2 LA FIBRE G652 À FAIBLE PMD

Les caractéristiques de la G652 à faible PMD sont identiques à celles de la G652 classique, **exception faite de la valeur de PMD en câble.** Il est important de mesurer la PMD en câble, car ce n'est qu'après la mise en câble que la PMD atteint sa valeur quasi définitive (la valeur de la PMD en câble peut légèrement varier dans le temps).

Les fibres à très faible PMD bénéficient d'une qualité de fibrage qui leur permet de garantir une faible valeur de PMD. En limitant ce phénomène statistique et difficilement compensable, la fibre G652 à faible PMD permet d'atteindre des débits et des distances encore plus élevés. **Une valeur de 0.2 ps.km<sup>-1/2</sup> permet en effet d'atteindre des débits de l'ordre de 40 Gbit/s sur plus de 100 km.**

### 7.1.3 LA FIBRE G652C

La fibre G652c est une fibre G652 dont on a supprimé le pic d'absorption situé entre 1360 et 1530 nm. Son utilisation n'est pas clairement identifiée aujourd'hui compte tenu du manque d'interfaces optoélectroniques utilisant le spectre correspondant au pic OH (bande E - 1385 nm). Dans l'avenir, le marché proposera peut-être des interfaces optoélectroniques utilisant la bande E. Néanmoins, les applications DWDM actuelles utilisent les bandes C et L et sont parfaitement adaptées aux fibres G652 standard. Elles supportent d'ores et déjà des débits supérieurs au térabit/s.

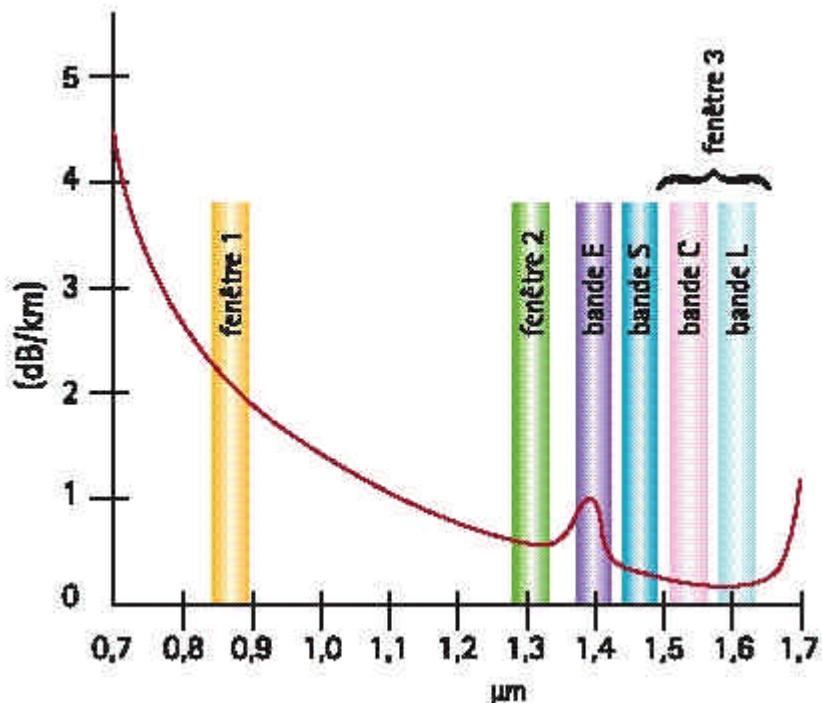


Figure 7.1 : Définition des bandes de longueurs d'onde utilisées dans les fibres - standard G692

### 7.1.4 LES FIBRES G655 - NZ-DSF

La fibre G655 est dite "fibre à dispersion décalée non nulle". Contrairement à la fibre G652, cette fibre a été optimisée pour une utilisation longue distance à 1500 nm. Pour se faire, ses valeurs mini et maxi de dispersion chromatique sont spécifiées sur l'intervalle 1530 – 1565 nm (zone d'opération des amplificateurs à fibre dopée erbium – bande EDFA).

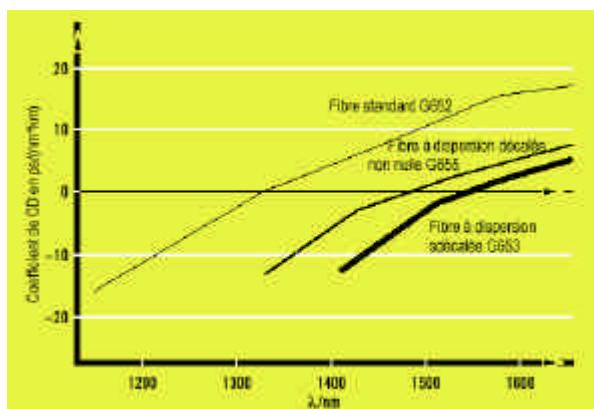


Figure 7.2 : Courbes de dispersion chromatique correspondant aux fibres G652, G653 et G655

Spécifier une valeur minimum pour la dispersion chromatique garantit que la dispersion chromatique est suffisante pour limiter les phénomènes non linéaires, en particulier, le mélange à quatre ondes FWM (Four Wave Mixing).

Spécifier une dispersion chromatique maximum permet de s'assurer qu'elle est assez faible pour réaliser la liaison sans avoir recours à la compensation de dispersion chromatique.

L'intérêt des fibres G655 est donc de limiter l'utilisation de modules de compensation de dispersion (DCM - Dispersion Compensation Module). Cet intérêt est réel dans le cas de liaisons très longue distance où le nombre de modules de compensation de dispersion est élevé. Il est en revanche beaucoup moins évident dans le cas des réseaux de collecte et contrebalancé par le surcoût des fibres G655 par rapport aux fibres G652.

Ces fibres présentent par ailleurs un niveau d'interopérabilité limité entre leurs différentes sources industrielles, ce qui limite la capacité à inter-marier ces fibres sur un même réseau et induit un certain nombre de contraintes sur l'évolutivité et la maintenance du réseau.

#### 7.1.5 QUELLE FIBRE DÉPLOYER ?

**La fibre G652 à faible PMD reste le meilleur choix pour les utilisations moyenne et longue distance, à très hauts débits.**

La plupart des applications se satisfont largement des fibres de la famille G652, les fibres G655 étant réservées à des besoins de très hauts débits sur de très longues distances (plus de 400 km).

Les fibres G652 à faible PMD présentent l'avantage d'une très bonne interopérabilité. Elles sont compatibles entre elles quelles que soient leurs origines industrielles. Ces fibres permettent de satisfaire tous les besoins en débits faibles, moyens, et très élevés (40 Gbit/s) et sont bien adaptées au support du multiplexage en longueur d'onde (DWDM).

## 7.2 LE CÂBLE OPTIQUE

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

Compte tenu de l'évolution des besoins vers :

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

Le câble optique est devenu aujourd'hui un produit à très haute valeur ajoutée. Les gammes de câbles optiques sont développées en fonction des environnements dans lesquels ils sont utilisés. Nous présentons ci-après les solutions existantes selon l'environnement et la méthode de pose retenue.

L'état de l'art repose sur l'utilisation de deux structures élémentaires permettant de construire un câble optique : les micro-modules et les tubes libres (ou "loose tube").

 Pour en savoir plus..... Voir annexe CD ROM :

**FICHE CÂBLE**

### 7.2.1 CHOIX D'UNE STRUCTURE ÉLÉMENTAIRE

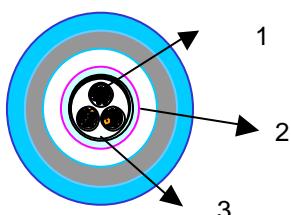
Deux structures élémentaires permettent la réalisation de câbles optiques :

- le micro-module : tube souple dont le diamètre est de l'ordre de 1.3 mm,
- le tube libre (appelé loose tube), plus rigide que le précédent, dont le diamètre est de 2 à 3 mm.

Ces structures élémentaires sont protégées, armées, gainées selon les environnements dans lesquels elles seront placées, et selon le type de mise en œuvre choisi (tirage, soufflage, portage, pose en pleine terre...).

#### Structure micro-modules :

Les fibres nues et colorées sont placées par module de 6 à 12 dans un micro-module de diamètre 1.3 mm. Il est ainsi possible de développer la structure présentée ci-dessous.



Le câble est constitué de 1 à 12 micro-modules (1) contenant jusqu'à 12 fibres. Ces micro-modules sont placés dans un tube élémentaire (2) à **étanchéité sèche** assurée par un ruban hydrogonflant (3). Les différents renforts périphériques, armures et gaines finales seront choisis en fonction de l'environnement dans lequel le câble sera utilisé.

Les structures à micro-modules simplifient et accélèrent la mise en œuvre des boîtes de jonction, elles facilitent les ouvertures en plein câble, le piquage en ligne et la maintenance des réseaux optiques.

Figure 7.3 : Structure à micro-modules

Les micro-structures sont choisies dans les réseaux de collecte pour deux raisons principales :

- la très forte compacité des câbles réalisés par l'utilisation de cette structure : les câbles sont plus légers, plus denses, plus aisés à poser et à souffler ou porter,
- **la facilité de réalisation des joints et boîtiers de dérivation** : dans le cas des réseaux de collecte, l'accès aux fibres est plus fréquent que dans le cas des réseaux très longue distance déjà implantés. Un accès aux fibres simple, rapide et sûr, devient dans le cas des réseaux de collecte un paramètre économique primordial tant pour l'installation que pour la maintenance des réseaux optiques.

Micro-module souple, pelable manuellement.

Accès aux fibres sans outils.

Lovage simplifié, modules souples sans effet mémoire. La mise en œuvre et la réintervention dans les boîtes de jonction et/ou les têtes de câbles sont plus sûres et plus simples

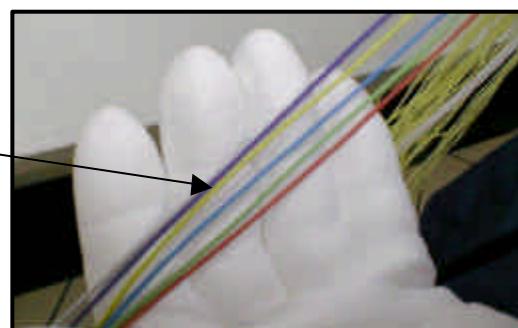


Figure 7.4 : Micro-modules de fibre

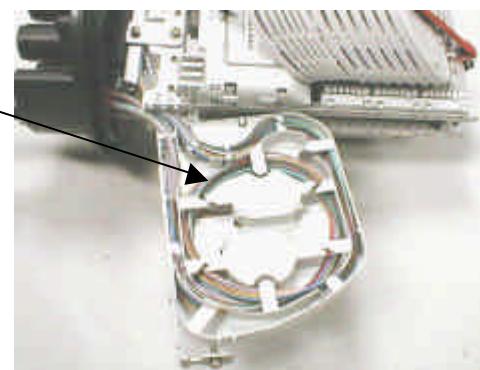
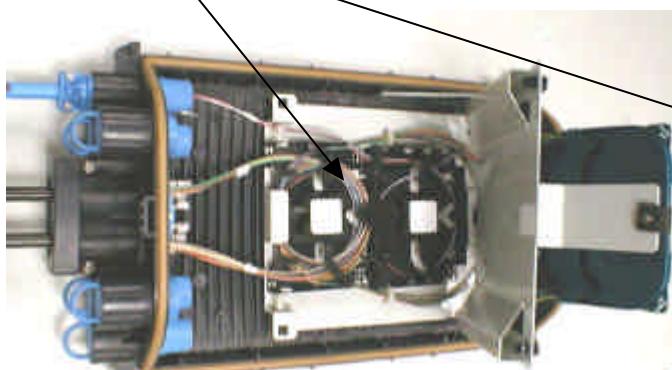
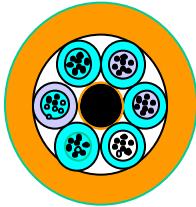


Figure 7.5 : Rangement des Micro-modules de fibres dans les boîtiers d'épissure

### Structure LTA (Loose Tubes Assemblés)

Cette structure éprouvée est utilisée depuis des années et reste une référence dans le domaine du câble optique de forte contenance.



Basée sur des tubes libres élémentaires de 2.5 à 2.8 mm de diamètre contenant jusqu'à 12 fibres, cette structure classique est issue du marché des télécommunications. Dans le cas des réseaux de collecte, la nécessité d'accéder fréquemment aux fibres pour réaliser des piquages en ligne rend cette solution plus lourde à mettre en œuvre que la structure à micro-modules.

**Figure 7.6 : Structure de câble LTA**

Malgré la plus grande difficulté d'accès aux fibres liée aux structures LTA, ces câbles sont souvent choisis par les opérateurs familiarisés avec ces solutions plus adaptées aux besoins des réseaux très longue distance.

## 7.2.2 CHOIX DES ÉLÉMENTS DE RENFORTS DES CÂBLES

### 7.2.2.1 Les fibres d'aramide

Éléments à forte résistance à la traction, diélectriques. Utilisables pour la reprise d'effort lors de l'arrivée sur une boîte de jonction ou une tête de câble.

Les fibres d'aramide ne permettent pas d'assurer une protection efficace contre l'attaque des rongeurs.

### 7.2.2.2 Les fibres de verre

Ces renforts diélectriques sont des éléments de traction. Ils peuvent être utilisés pour la reprise d'efforts dans les mêmes conditions que les fibres d'aramide.

Ces renforts sont également préconisés dans les environnements exposés aux rongeurs. Les mèches de verres dites "enduites" ou "hot melt" augmentent encore la protection contre les rongeurs.

### 7.2.2.3 Les armures acier

Ces armures procurent aux câbles une très bonne résistance mécanique (écrasement, choc...) autorisant l'usage de ces câbles en conduite, caniveau ou en pleine terre (câbles à gaine PeHD).

La pose et le fonctionnement du câble armé acier sont compatibles avec les environnements les plus sévères. L'usage de ces armures est préconisé dans les environnements fortement exposés aux rongeurs. La présence d'une armure acier dégrade la facilité de mise en œuvre du câble optique (manque de souplesse, difficultés d'ouverture du câble).

## 7.2.3 CHOIX DE LA GAINE DU CÂBLE

### 7.2.3.1 Les gaines LSOH

LSOH (ou LSZH) : Low Smoke Zero Halogen. Matériau de gainage sans halogène ayant des propriétés de faible dégagement de fumée non corrosive et de non propagation du feu.

Ces matériaux sont particulièrement recommandés pour les installations intérieures. Pour les installations nécessitant une liaison inter-bâtiment, une version qualité "LSOH intérieur et extérieur" permettra d'utiliser le même câble. Dans ce cas, les matériaux LSOH sont traités anti UV et sont étanches à l'eau.

### 7.2.3.2 Les gaines PVC

D'un faible coût, ces gaines ont de bonnes propriétés de non propagation du feu mais ont le désavantage d'un dégagement de fumées toxiques et corrosives en cas d'incendie, ce qui est dangereux pour la sécurité des personnes et néfaste pour les équipements périphériques.

### 7.2.3.3 Les gaines PeHD : Polyéthylène Haute Densité

Matériau de gainage possédant d'excellentes propriétés mécaniques : étanchéité, résistance à la perforation, aux chocs, aux agressions chimiques, à l'environnement marin...

Le matériau PeHD dispose d'un faible coefficient de frottement améliorant les conditions de pose (tirage, soufflage...). Ce matériau n'est pas retardateur de la flamme, il ne peut pas être utilisé en zone de vie sans protections supplémentaires.

Les gaine PeHD sont donc préconisées pour tous les usages extérieurs : les poses en conduite (tirage sur plusieurs kilomètres), en caniveaux ou en pleine terre.

### 7.2.3.4 Étanchéité des câbles optiques

Toutes les gaines extérieures doivent être étanches à l'eau. Mais les renforts doivent eux aussi bénéficier d'une protection hydro-bloquante afin d'éviter une propagation de l'eau dans la structure du câble. L'étanchéité longitudinale doit être systématiquement spécifiée dans tout cahier des charges traitant du câble optique quelque soit sa gaine extérieure et son armure.

## 7.2.4 CHOIX D'UN CÂBLE SELON SON ENVIRONNEMENT ET SA MISE EN ŒUVRE

Les gammes de câbles optiques sont développées en fonction des environnements dans lesquels ils sont utilisés, et selon la méthode de pose retenue.

### 7.2.4.1 Câble pour pose par soufflage en conduite standard

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

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

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

### 7.2.4.2 Câble pour pose par tirage en conduite standard

Le câble doit avoir un ratio poids linéique/traction maximale optimisé (noté W) et supérieur à 1.  $W = \text{poids linéique (kg/km)} / \text{traction maximale (daN)}$ . Les câbles utilisant des renforts en mèche d'aramide ou en mèche de verre sont souvent préférés dans ce type d'utilisation afin d'améliorer les valeurs de traction maximale. Là encore, la gaine extérieure PeHD sera préférée.

### 7.2.4.3 Câble pour pose par soufflage en micro-conduite

Les réseaux de collecte sont de plus en plus fréquemment réalisés avec des conduites pré-tubées de diamètre 8/10 (8 mm intérieur, 10 mm extérieur). Les câbles pour micro-conduites devant être denses, les solutions à base de micro-modules seront préférées pour leur encombrement mais aussi leur facilité de mise en œuvre. La structure permet de réaliser des câbles contenant 72 fibres (6 micro-modules de 12 fibres) dans un diamètre inférieur à 6 mm. La gaine extérieure devant bénéficier d'un coefficient de frottement très faible, les solutions à "effet peau de requin" (Shark skin effect) seront privilégiées.

#### 7.2.4.4 Câble pour pose en environnements sévères

Les câbles directement enterrables, pour cheminements en égout, ou antirongeurs renforcés seront choisis avec une armure acier.

Dans les cas de pose en pleine terre, une gaine PeHD extérieure d'une épaisseur radiale de 1.5 mm permet une protection renforcée contre les matériaux étrangers pouvant se trouver dans les tranchées. Un double gainage peut être demandé pour des résistances à l'écrasement élevées (enfouissement profond, passage de véhicules sur le chemin de câble, pose en pleine terre ...)

La résistance à l'écrasement sera de 450 N/cm (ou 4500 N sur plateau de 10 cm) selon essai CEI 60 794-1-E3. La traction maximale n'est pas un paramètre prépondérant pour la pose en pleine terre. L'étanchéité longitudinale de tous les éléments constitutifs du câble est une absolue nécessité (âme, renforts...).

#### 7.2.4.5 Câble pour pose en aérien

Pour les câbles aériens deux structures coexistent :

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

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

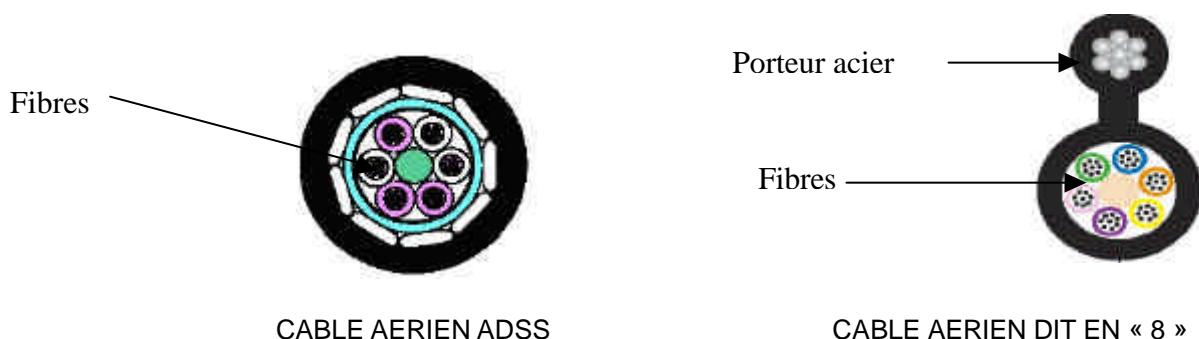


Figure 7.7 : Structures de câbles aériens

#### 7.2.4.6 Les câbles pour tunnel :

Dans le cas particulier du passage de câbles en tunnel, les contraintes mécaniques et de tenue des matériaux au feu sont très sévères. En effet le câble optique doit bénéficier d'une robustesse mécanique (écrasement, contact avec corps étrangers...) et assurer une bonne protection contre les rongeurs. Les câbles bénéficiant d'un double gainage et d'une armure acier seront imposés. La structure à base de micromodule simplifiera la mise en oeuvre des câbles en boîtes d'épissurage ou en terminaison de câble. De plus, cette structure contient beaucoup moins de gel que les structures à tube, ce qui lui assure une excellente tenue au feu. La gaine extérieure et la gaine intermédiaire ne seront pas en PeHD (ou PeMD) car ce matériau est propagateur de la flamme. La tenue au feu et la protection des personnes et des biens étant primordiale, une gaine finale de type LSOH sera imposée. Quand on parle de gaine LSOH, le cas du tunnel nécessite de bien spécifier ce que ces quatre lettres signifient. Low smoke : le câble devra dégager très peu de fumée afin de faciliter l'évacuation des personnes en cas d'incendie. Zero Halogène : les fumées émises par le câble doivent être non corrosives et non toxiques (protection des personnes et des biens). Le câble sera aussi non propagateur de la flamme et de l'incendie de type C1 au minimum.

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

## 7.3 LA CONNECTIQUE OPTIQUE

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

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

### 7.3.1 TYPES ET CHOIX DE CONNECTEURS

Plusieurs critères conduisent au choix d'un connecteur :

- la qualité optique : perte d'insertion ou affaiblissement, taux de réflexion,
- le type de verrouillage : encliquetable ("push-pull"), à visser ou à baïonnette.

Il existe une relative complexité liée à la variété de technologies sur le marché. On pourra se référer à la "fiche connectique" pour obtenir une vue exhaustive des solutions et technologies du marché.



Pour en savoir plus..... Voir annexe CD ROM :

### FICHE CONNECTIQUE

Nous fournissons ci-après quelques éléments pour le choix de ces technologies.

#### 7.3.1.1 Les principales tendances

##### **Les tendances du marché**

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



Figure 7.8 : Fiche de connecteur SC/APC

##### **Les nouvelles technologies émergentes**

Les connecteurs MU et LC sont les prétendants au remplacement des connecteurs actuels. Le MU et le LC existent en finition PC (taux de réflexion de -35 dB) et en finition APC (taux de réflexion de -55 dB).

##### **Choix de connecteurs à faible taux de réflexion (APC)**

La diversité des applications rencontrées sur les infrastructures milite pour l'utilisation de connecteurs à faible taux de réflexion. Les connectiques bénéficiant d'un faible niveau de réflectance (inférieur à -55 dB) telles que le SC/APC par exemple sont particulièrement recommandées dans le cas des réseaux de vidéocommunications et des réseaux de télécommunications à très hauts débits supérieurs à 2,5 Gbit/s.

##### **Raccordement des câbles aux extrémités**

On peut choisir de monter les connecteurs directement en extrémité de câble, mais dans la pratique, dans le cas des réseaux WAN et MAN, le raccordement des câbles sur site s'effectue par épissurage (soudure), sur l'extrémité du câble, de cordons optiques préfabriqués en usine.

Dans le cas des réseaux à fibres optiques monomodes, on préfère en effet utiliser des concepts de précablage plus ou moins poussés qui permettent d'obtenir la meilleure qualité/fiabilité des extrémités optiques (notamment pour les connectiques hautes performances qui requièrent un montage en usine). On notera pour mémoire dans un ordre d'intégration croissante :

- épissurage de pigtails (demi cordon) élémentaires,
- épissurage ou branchement de têtes de câble préconnectorisées.

### 7.3.2 LES ÉPISSURES

Des épissures mécaniques ou par fusion (arc électrique) seront mises en œuvre sur l'infrastructure. Les méthodes d'épissage consistent à souder entre elles deux fibres optiques en garantissant un minimum de pertes d'insertion. Ces épissures (soudures) peuvent concerner :

- des fibres de deux extrémités de câbles, pour le raccordement des câbles en ligne, en chambre souterraine ou en aérien,
- des fibres d'une extrémité de câble sur des demi cordons (pigtails) dans les répartiteurs de brassage.

La méthode d'épissage par fusion est principalement utilisée pour le raccordement des câbles en ligne, en chambre souterraine ou en aérien, et pour le raccordement des câbles ou pigtails dans les répartiteurs de brassage. Elle nécessite un équipement coûteux mais elle donne des raccordements très fiables et robustes. On préférera les soudeuses dites "cœur à cœur" qui alignent automatiquement les cœurs de 9 µm des fibres avant soudure.

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

#### 7.3.2.1 Type et choix d'épissures

##### **Préambule**

L'épissure et surtout la connexion mécanique des fibres ont longtemps été les parents pauvres des réseaux optiques alors que ces technologies de raccordement sont depuis toujours largement utilisées dans le monde du cuivre. Maintenant que ces modes de raccordement sont parfaitement maîtrisés et standardisés, il est intéressant de se poser la question du choix d'une connexion.



Figure 7.9 : Épissure mécanique

Trois critères principaux conduisent au choix d'un mode de raccordement :

- le nombre de manœuvres c'est à dire d'ouverture / fermeture de la liaison entre les deux fibres,
- le nombre de connexions à réaliser au point de raccordement en une même intervention,
- le type de matériel ou d'outillage à mettre en œuvre pour réaliser la connexion.

##### **Classement des connexions**

Nombre de manœuvre	Type de connexion	Commentaire
0	Soudure	Soudure par fusion
< à 10	Connexion mécanique	Outilage simple, peu onéreux
> à 10	Connecteur	Utilisation généralisée de pigtails associés à une soudure ou une épissure mécanique réalisée sur site

Tableau 7.2 : Classement des connexions

#### 7.3.2.2 Les principales tendances du marché

##### **La soudure**

Le raccordement par fusion (arc électrique) est la technologie la plus répandue d'épissure sur l'infrastructure.

Cette technique consiste à souder entre elles deux fibres en garantissant un minimum de perte d'insertion.

Les soudures seront notamment utilisées :

- au central pour le raccordement de pigtail sur les têtes d'équipement ou dans les répartiteurs de brassage,
- dans les réseaux pour le raccordement en ligne, piquage ou dérivation,
- dans les points de régénération pour le raccordement des pigtail nécessaires au branchement d'équipements,
- chez l'abonné pour les pigtail du coffret d'interface opérateur.

### **La connectique**

Sous la forme de pigtail et de cordons, la connectique est typiquement utilisée à tous les points d'interfaçage et de flexibilité.

#### **La connexion mécanique ou épissure mécanique**

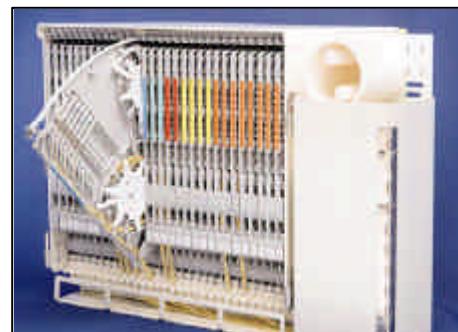
Cette technique consiste à aligner et bloquer deux fibres simplement clivées dans un positionneur. L'étanchéité et la qualité de la transmission étant généralement assurées par un gel d'indice. Cet assemblage purement mécanique ne nécessite pas de collage ni de polissage, donc pas d'énergie. Longtemps cantonné à la réparation d'épissure sur site, ce moyen de raccordement trouve dorénavant sa place dans le réseau et est de plus en plus spécifiée dans les projets "Fiber To The Home" en remplacement des connecteurs et de la soudure.

L'idée est de réaliser au coup par coup une ou deux connexions clients avec des outils aussi simples qu'une pince à cliver et un petit banc d'assemblage. Les épissures mécaniques seront notamment utilisées :

- au point de raccordement abonné,
- dans la distribution d'immeuble,
- chez l'abonné en interface d'équipement.

#### **Cas du répartiteur central ou du POP**

L'épissure mécanique est rarement utilisée en Europe comme point de connexion au répartiteur. Cela existe pourtant en réseau de desserte FTTH où pour une question de densité la connectique peut être remplacée par une connexion démontable comme sur les répartiteurs cuivre (régllettes CAD et à wrapper). L'avenir dira si cette conception fait son chemin.



*Figure 7.10 : Châssis d'épissure*

## **7.4 LES RÉPARTITEURS**

La mise en place de réseaux numériques sur des installations de dimensions géographiques moyennes, donne une importance primordiale aux choix des contenants et des câbles qui leurs sont associés. Bien loin de la problématique des réseaux WAN déployés au cours des dernières années, l'accès fréquent aux câbles pour irriguer des zones du territoire repose les questions du choix des câbles et des boîtes de raccordement qui leurs sont associées. La simplification de l'accès aux fibres, de la mise en œuvre des boîtes optiques mais aussi la sécurisation de la réintervention et de la maintenance des réseaux optiques amènent à choisir des produits adaptés. C'est sur le choix du contenant et de sa mise en œuvre avec un câble donné que la fiabilité et le coût d'une infrastructure optique peuvent être optimisés.

Le câble à base de micro-modules répond aux exigences de simplicité de mise en œuvre et de maintenance des nouvelles infrastructures optiques.

Un réseau à base de fibres optiques s'articule autour de différents nœuds que sont les répartiteurs, les sous-répartiteurs, les points de distribution ou coffrets de branchement.

Ces équipements assurent les fonctions générales :

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

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

- mise en place des fibres au fil du temps,
- modification des architectures de réseau, maillage, sécurisation,
- nouvelles générations de connectiques,
- nouveaux services,
- accès "plein câble" au cours du temps.



Pour en savoir plus..... Voir annexe CD ROM :

## FICHE SPÉCIFICATIONS DÉTAILLÉES RÉPARTITEUR

### 7.4.1 CRITÈRES DE CHOIX

Plusieurs critères conduisent au choix d'un répartiteur :

les critères fonctionnels

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

les critères d'exploitation

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

### 7.4.2 L'APPLICATION

On distingue essentiellement deux types d'applications :

#### *l'interconnexion avec des équipements actifs*

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

#### *le nœud de réseau passif*

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

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

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

#### 7.4.3 LA CONFIGURATION DU NŒUD

Les répartiteurs peuvent être conçus et installés suivant deux configurations :

##### *l'interconnexion*

Ce concept permet de n'avoir qu'un point de connexion au niveau du répartiteur.

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

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

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

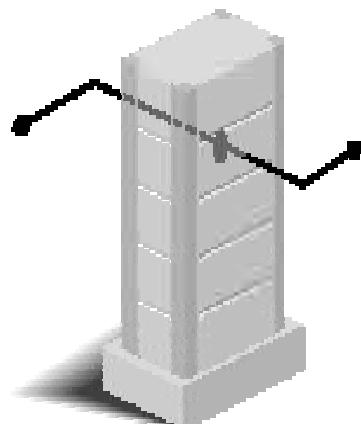


Figure 7.11 : Nœud d'interconnexion

##### *le brassage*

Ce concept est fondé sur une liaison à deux connectiques. Le lien est établi par une jarretière (ou cordon). Cette configuration est sans aucun doute la plus répandue aujourd'hui.

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

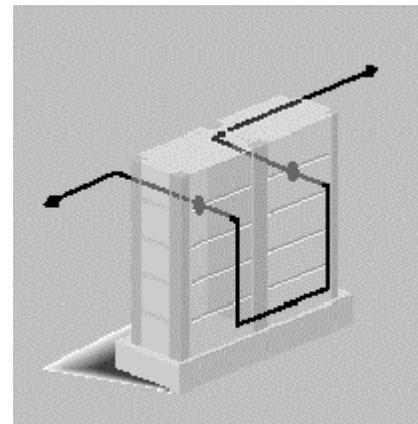


Figure 7.12 : Nœud de brassage

#### 7.4.4 LES AUTRES PARAMÈTRES

De conception :

- la capacité finale en nombre de connexions,
- le nombre de câbles traités au répartiteur,
- l'environnement,
- l'accessibilité aux différentes fonctions :
  - ancrage des câbles,
  - épissurage,
  - brassage.

D'exploitation :

- la sécurisation en cas de partage de locaux,
- la maintenabilité des liaisons,
- les possibilités d'évolution et d'extension,
- les possibilités de test.

Dans tous les cas :

- prévoir au minimum 30% de capacité supplémentaire,
- Vérifier l'exploitation à 100% de capacité.



Figure 7.13 : Exemple de répartiteur optique

## 7.5 BOÎTIERS DE RACCORDEMENT ET D'ÉPISSURAGE

Le rôle des boîtes de raccordement est de :

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

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

- longues distances,
- transport,
- distribution.

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

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



Pour en savoir plus..... Voir annexe CD ROM :

### FICHE SPÉCIFICATIONS DÉTAILLÉES BOÎTIERS DE RACCORDEMENT

#### 7.5.1 DÉFINITIONS

##### 7.5.1.1 Les applications

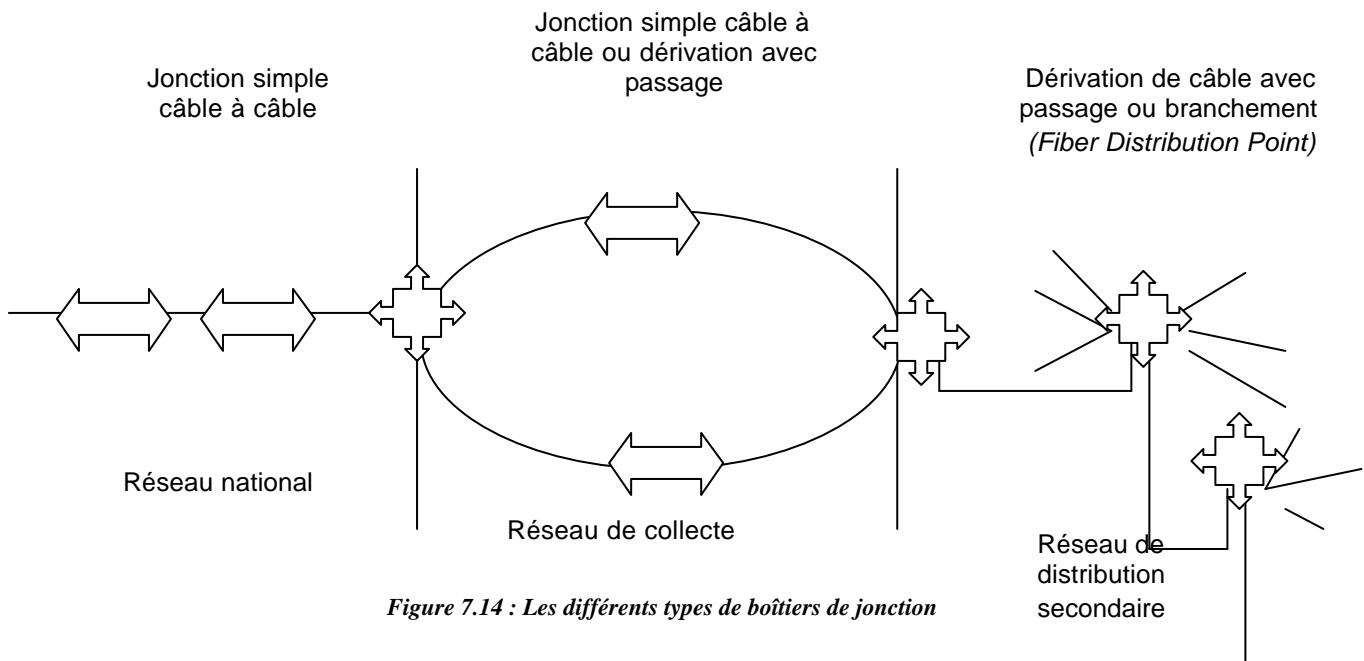


Figure 7.14 : Les différents types de boîtiers de jonction

**Jonction simple (End Of Cable)** : boîte permettant de raccorder un câble à un ou plusieurs câbles. Autres appellations : boîte de jonction et dérivation ou joint droit.

**Boîte de distribution (Cable Distribution Point)** : boîte permettant de piquer plusieurs éléments ou tubes en plein câble sans couper les autres éléments.

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

**Boîte de distribution de fibres (Fiber Distribution Point)** : boîte permettant de piquer une ou plusieurs fibres en plein câble sans couper les autres.

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

### 7.5.1.2 Les Fonctions

**Épissure** : reconstitution de la continuité du guide de lumière par une technique quelconque (soudure, épissage mécanique, collage, etc.).

**Protection d'épissure** : reconstitution de la protection de silice de la fibre par une technique quelconque (manchon thermorétractable, protection mécanique, etc.).

**Entrée de câble** : ensemble des pièces permettant de rétablir l'intégrité de l'enveloppe du câble.

**Ancre des câbles** : ensemble des pièces permettant de rétablir la continuité mécanique de la structure du câble (porteurs, renforts, etc.).

**Organiseur** : ensemble constitué par l'épanouissement, le cheminement et la protection des fibres et le système d'agencement et de protection des épissures.

**Boîte de raccordement** : l'ensemble du point de raccordement comprenant notamment :

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

**Élément d'un câble** : un câble est constitué d'éléments, chaque élément renfermant une certaine quantité de fibres.

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

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

- tubes,
- micro-modules.

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

**Cassette d'épissage** : partie de l'organiseur renfermant les fibres dénudées et les épissures et leurs protections.

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

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

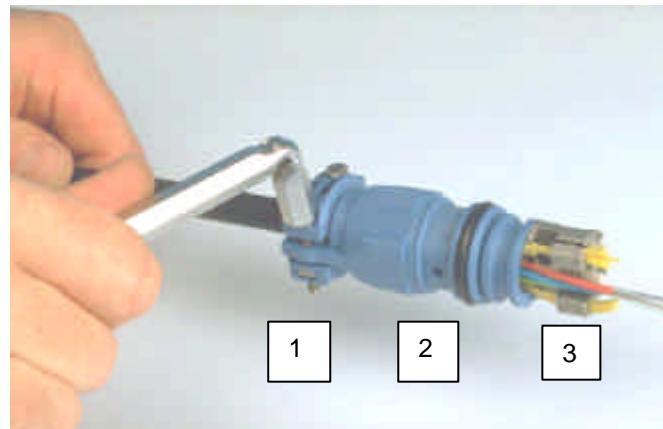
**Cassette de logage ou de stockage** : partie de l'organiseur permettant de stocker des éléments du câble ou des fibres.

### 7.5.2 CRITÈRES DE CHOIX

Plusieurs critères conduisent au choix d'une boîte de raccordement. Parmi ceux-ci, les critères fonctionnels :

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

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



**Figure 7.15 : Préparation d'une entrée de câble mécanique**

### 7.5.3 QUELQUES RECOMMANDATIONS

#### 7.5.3.1 Le joint droit

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

#### 7.5.3.2 La division ou dérivation

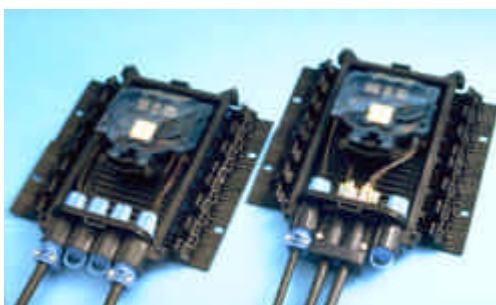
- fonction : consiste à raccorder un câble sur des câbles de capacités différentes,
- flexibilité : pas ou peu de réintervention sinon pour réparation,
- boîtier : une entrée principale, deux ou trois secondaires suivant la division,
- organisateur : gestion par élément du câble,
- cassettes : une cassette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

#### 7.5.3.3 Le piquage en ligne d'éléments du câble principal

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

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

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



**Figure 7.16 : Exemples de boîtiers joint droit et piquage en ligne**

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

à droite : piquage en ligne, le câble principal est placé dans l'entrée double central. Un câble dérivé sort sur la gauche du boîtier. Le câble choisi est un câble à base de micro-module pour des raisons de gains de mise en œuvre et de maintenance.

# 8 – LES APPLICATIONS MISES EN ŒUVRE DANS LE RÉSEAU DE COLLECTE

Les applications mises en œuvre dans les réseaux de collecte pourront être selon le cas :

- des applications de réseaux longue distance dont ils assurent le prolongement,
- des applications plus spécifiques qui tirent parti des spécificités des architectures métropolitaines.

## 8.1. CODAGE ET TRANSMISSION DES SIGNAUX

### 8.1.1 INTRODUCTION

Les réseaux, qu'ils soient de collecte ou d'accès, transportent des signaux supportant divers services fondés sur la voix, l'image ou les données. Historiquement, les trois types de signaux se présentaient sous leur forme native (souvent analogique) avant d'être modulés de façon à s'adapter au mieux au support de transmission, puis éventuellement multiplexés de façon à partager les mêmes supports de transmission et par là même à optimiser la ressource. La grande souplesse et la meilleure efficacité des transmissions numériques a conduit les fabricants à numériser les signaux puis à réduire les débits par des algorithmes de compression de plus en plus sophistiqués. Cela a permis de banaliser ces signaux et de rendre les réseaux de plus en plus transparents vis à vis de ces services.

### 8.1.2 CODAGE DES SIGNAUX

#### 8.1.2.1 Codage de la voix

A l'état natif, la voix couvre la bande 300-3400 Hz (fréquences vocales). Le codage PCM (échantillonnage à 8 kHz et codage sur 8 bits) conduit à un débit de 64 kbit/s (norme G.711). Différentes normes de compression ont été définies, fondées, sur un processeur DSP (Digital Signal Processor) : à 16 kb/s (norme G.728), à 8 kbit/s (norme G.729a) puis à 5,3-6,3 kbit/s (norme G.723.1). La transmission de ces signaux peut être réalisée par des techniques paquets (IP) avec ajout de signaux complémentaires (en-tête); ainsi un paquet compressé à 8 kbit/s utilisera un débit réel de 10 à 16 kb/s.

Plusieurs protocoles définissent les règles relatives à la voix sur IP :

- les acteurs historiques de la téléphonie ont défini la norme H.323 ,
- l'IETF (Internet Engineering Task Force) a finalisé en 1999 le protocole SIP (Session Initiation Protocol) qui est indépendant de la couche transport IP,
- enfin, d'autres protocoles ont été proposés, tels que MGCP (Media Gateway Control Protocol), H.248 ou SIP-T.

#### 8.1.2.2 Codage des données

Les données binaires natives peuvent être codées de façon à s'adapter aux contraintes de transmission. Les types de codage peuvent aller du plus simple comme le codage NRZ (Non Return to Zero) au plus sophistiqué comme le codage HDB3, 2B1Q ou 4B3T utilisés en télécommunications.

#### 8.1.2.3 Codage de l'image

Pour la vidéo, le signal natif est analogique, qu'il soit simplement fondé sur les composantes R,V,B (Rouge/Vert/Bleu) ou codé sous forme composite, avec des normes variées comme PAL (Phase Alternate Line), SECAM / NICAM (Sequential Encoding Color Amplitude Modulation / Near Instantaneous Compression of the Audio Modulation), ou NTSC (National Television System Committee).

La numérisation du signal de télévision, réalisée par échantillonnage répond aux formats 4 :2 :2 ou 4 :2 :0 définis par la recommandation 601 de l'UIT-R (ex CCIR). Pour un format 4/3, le débit brut est de 216 Mbit/s pour un codage à 8 bits et de 270 Mbit/s pour un codage à 10 bits.

Les techniques de compression de la vidéo ont subi de nombreuses évolutions :

- dès 1970, dans le cadre de l'ETSI (European Telecommunication Standardisation Institute), ont été définies des normes de compression à 34 Mb/s (ETSI 300 174 – CCIR 723) et à 140 Mbit/s (CCIR 721),
- de son côté le Motion Picture Expert Group (MPEG) a défini plusieurs normes (ISO/CEI 13818 – ETS 30 421) :
  - MPEG-1 : format SIF (Source Intermediate Format) : débit constant de 1,5 Mbit/s,
  - MPEG-2 (1995) : débit variable de 4 à 10 Mbit/s avec plusieurs formats, notamment MP@ML (720x576 pixels),
  - MPEG-4 ASP (Advanced Simple Profile) : 750 kbit/s par programme,
  - MPEG-4 AVC (Advanced Video Coding) : débits binaires entre 10 kbit/s et 300 Mbit/s (IUT H.264),
  - et quelques autres en cours de finalisation, notamment MPEG-7.
- d'autres formats, principalement liés aux applications de streaming vidéo, complètent la panoplie, parmi lesquels on peut citer :
  - DivX,
  - WM-9 de Microsoft.

### 8.1.3 MULTIPLEXAGE ET COMMUTATION/ROUTAGE

La communication entre deux entités peut être établie selon deux modes : avec connexion (modèle de référence) ou sans connexion (messagerie par exemple). L'établissement de ces liens nécessite des fonctions de transmission et des fonctions de commutation. Ces dernières peuvent être réalisées selon différents principes : commutation de circuits, de messages, de paquets, de trames ou de cellules (comme l'ATM). Outre les fonctions de commutation et de routage, on trouve également d'autres fonctions telles que le brassage ou la concentration.

En ce qui concerne la transmission, on trouve deux grandes familles :

- le traitement par circuit, qui gère des flux continus d'information,
- le traitement par paquets, par échange sporadique de données (mode "burst").

L'ensemble des fonctions réalisées dans les réseaux est très souvent décrit selon le modèle OSI (Open System Interconnection) défini par l'ISO (International Standard Organization). Il organise les protocoles selon leur nature et leur fonction. On trouve en particulier :

- la couche physique ("physical layer") qui organise les éléments de la transmission (support, modulation, multiplexage); c'est à ce niveau que l'on trouve les protocoles SDH et WDM,
- la couche liaison de données ("data link layer") qui a pour principale fonction d'insérer les données dans une trame, de type Ethernet ou ATM,
- la couche réseau ("network layer") qui met en forme les données et ajoute les données d'adressage (IP par exemple),
- la couche transport ("transport layer") contrôle l'intégrité de la connexion, corrige les erreurs et s'assure de la reconstruction du signal. On y trouve par exemple le protocole TCP (Transmission Control Protocol).

La figure ci-dessous présente un exemple d'articulation de la couche physique dans le cas **DES** réseaux SDH en combinaison avec le multiplexage en longueur d'ondes (DWDM ou CWDM).

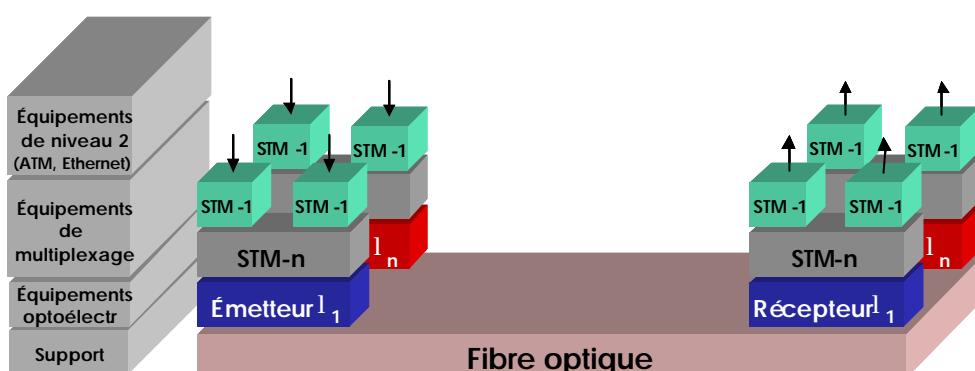


Figure 8.1 : Articulation des couches physiques, multiplexage en longueur d'onde et SDH

Ces différentes couches interagissent entre elles et on peut les combiner harmonieusement. A titre d'exemples, on peut citer Ethernet dans HDLC, IP sur ATM, IP sur Ethernet, MPEG-2 sur IP, MPEG-2 sur IP sur ATM ou IP sur DOCSIS sur HFC.

Au niveau des réseaux de collecte, on trouve deux approches différentes, même si elles s'imbriquent fortement comme on l'a dit ci-dessus : l'approche SDH/ATM issue du monde des télécommunications et de la téléphonie, et l'approche IP/MPLS issue du monde de la transmission de données.

#### 8.1.3.1 Le monde SDH/ATM

Dans les systèmes fondés sur l'ATM (Asynchronous Transfer Mode), la connexion est établie pour chaque bloc d'information constitué d'une cellule de longueur fixe (53 octets) au rythme de 155 Mb/s. On parle alors de canaux virtuels (VC = Virtual Channel) et de chemins virtuels (VP = Virtual Path) qui définissent un circuit virtuel (VPC = Virtual Path Connection). La qualité de services (QoS) est déterminée par la couche d'adaptation ATM (AAL). Dans le cas de paquets IP, elle assure le lien (encapsulation) entre la couche 3 (IP) et la couche 2 (ATM).

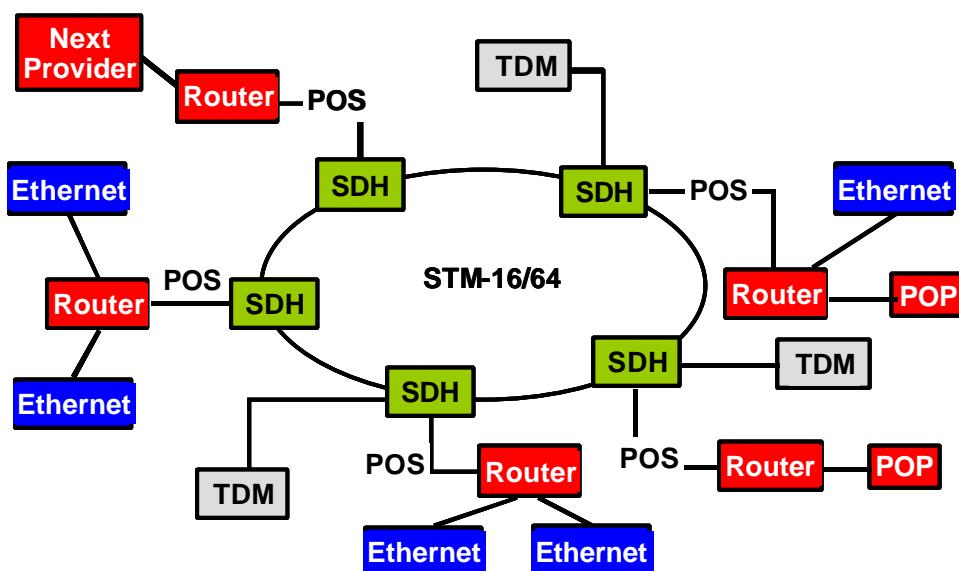


Figure 8.2 : Interconnexion de réseaux d'entreprise à travers un réseau SDH

Récemment, on a vu apparaître la norme RPR (Resilient Packet Ring – IEEE 802.17), présentée comme le successeur de SDH, car plus orientée paquets et adaptée au mode sans connexion. Ce standard est fondé sur les couches physiques existantes (SDH ou Ethernet).

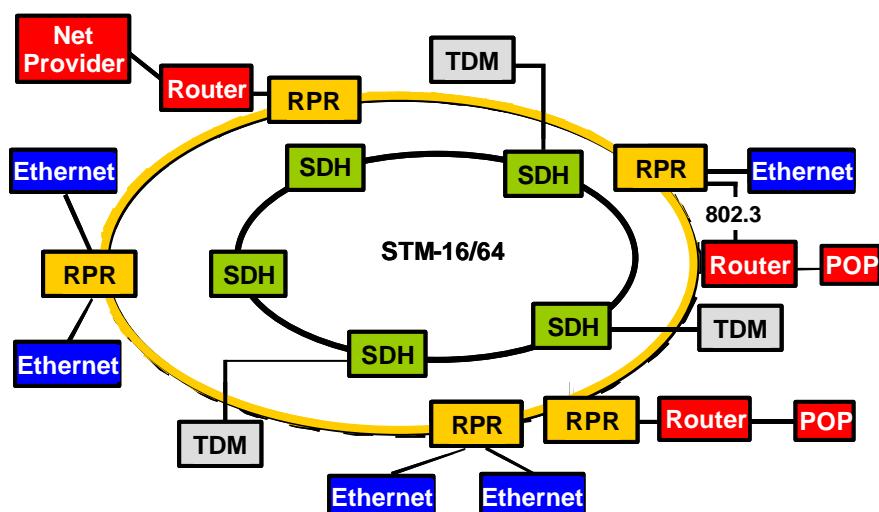


Figure 8.3 : Interconnexion de réseaux d'entreprise à travers un réseau RPR et un réseau SDH

### 8.1.3.2 Le monde IP/MPLS

Le standard MPLS (Multi Protocol Label Switching) permet 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, et donc compatible avec Ethernet, ATM et les relais de trames. Il permet de réaliser des services à valeur ajoutée tels que VPN (Virtual Private Network). Une évolution de cette norme est en cours sous le nom G.MPLS (Generalized MPLS) qui permet son utilisation avec n'importe quel type de brasseurs.

## 8.2 LES APPLICATIONS LONGUE DISTANCE ET MÉTROPOLITAINES

### 8.2.1 LES APPLICATIONS SDH

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

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

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

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

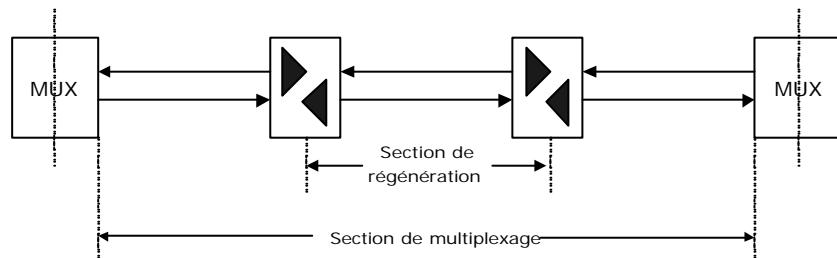


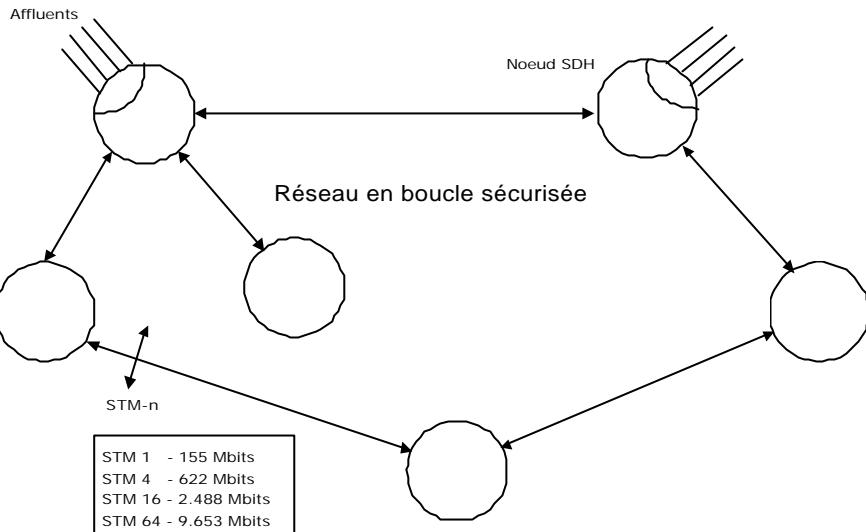
Figure 8.4 : Section de multiplexage SDH

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

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

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

Tableau 8.1 : Classification des d'interfaces SDH



*Figure 8.5 : Architecture de boucle SDH*

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

$\lambda$	1310 nm	1550 nm
Gamme d'affaiblissement	0-12 dB ou 10-24 dB	
Distance couverte	15-40 km	15-80 km

*Tableau 8.2 : Caractéristiques optiques des interfaces SDH*

Les interfaces SDH ont été définies pour un support fibre optique monomode répondant à la recommandation G652. Les principales caractéristiques de cette fibre ont été fournies dans ce document.

### 8.2.2 LES APPLICATIONS DWDM

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

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

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

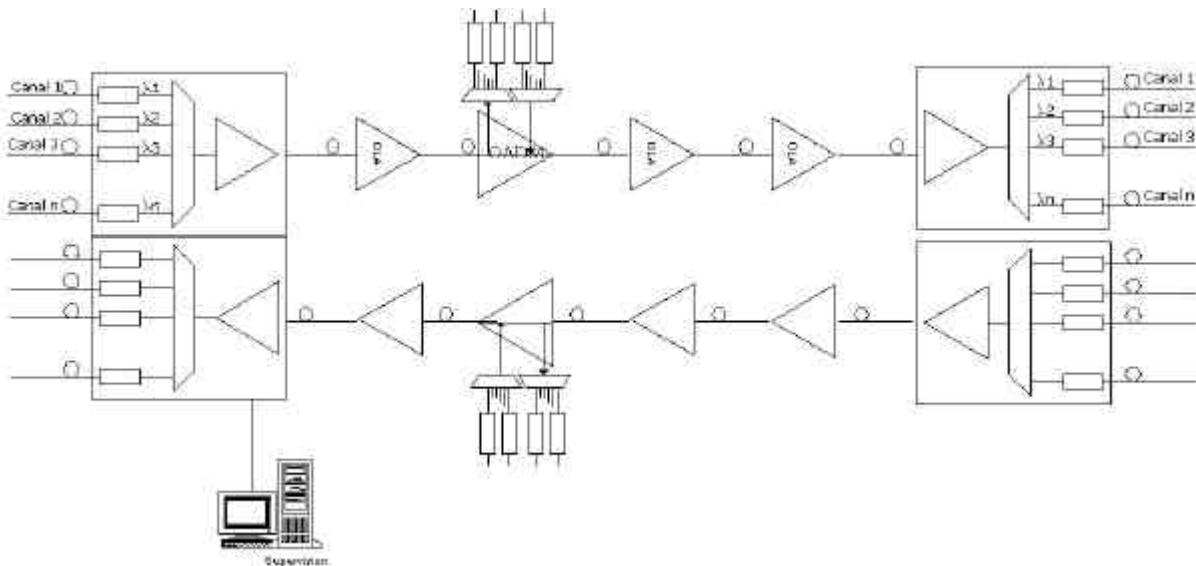
Les sections de multiplexage en longueur d'onde sont aujourd'hui largement utilisées comme sections de transport entre des nœuds de multiplexage SDH (ADM).



*Figure 8.6 : Section de multiplexage en longueur d'onde*

Les systèmes DWDM longues distances sont constitués principalement :

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



*Figure 8.7 : Architecture d'une liaison DWDM*

Les performances des systèmes DWDM s'apprécient par :

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

#### Spectre optique et nombre de longueurs d'onde gérées

Les longueurs d'onde des systèmes DWDM sont aujourd'hui comprises dans la fenêtre 1525 - 1565 nm. L'UIT a défini un peigne de fréquences espacées au pas de 100 GHz. Cette grille définit des longueurs d'onde de transmission au pas de 0,8 nm. Les différents systèmes fonctionnent aujourd'hui au pas de :

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

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

#### Débit maximal sur chaque longueur d'onde

Le débit maximal supporté aujourd'hui sur chaque longueur d'onde est typiquement du niveau STM16 (2,5 Gbit/s) ou STM64 (10 Gbit/s).

#### Distance couverte

La distance couverte s'exprime en fonction du nombre de "spans" qui définit le bond :

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

Ainsi que du budget optique sur un "span" élémentaire.

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

### 8.3 LES APPLICATIONS MÉTROPOLITAINES

Dans un environnement de réseau de collecte métropolitain, les dimensionnements et contraintes diffèrent des réseaux longue distance :

- distances mises en œuvre moindres,
- plus grand nombre de points de foisonnement,
- plus grand nombre de fibres.

Toutes ces caractéristiques permettent l'émergence de technologies et systèmes différents de ceux mis en œuvre dans les réseaux longue distance. En particulier, dans un environnement métropolitain, le critère de maximisation du nombre de canaux sur une même fibre ne sera pas forcément recherché. On souhaitera, par contre, pouvoir transporter des signaux de natures relativement différentes (SDH, PDH, Ethernet, Vidéo, etc...).

Cependant, face à la nécessité d'interopérabilité de ces réseaux, la tendance est à la concentration sur les deux technologies permettant de s'interfacer aisément avec les réseaux longue distance :

- SDH / ATM (STM1 à STM16) pour la téléphonie classique (fixe et mobile) et le raccordement des DSLAMs (Digital Subscriber Line Access Multiplexer),
- Ethernet (Gigabit Ethernet, Fast Ethernet) pour les réseaux tout IP.

#### 8.3.1 LES ARCHITECTURES ET SYSTÈMES WDM MÉTRO - L'ÉVOLUTION VERS LE CWDM

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

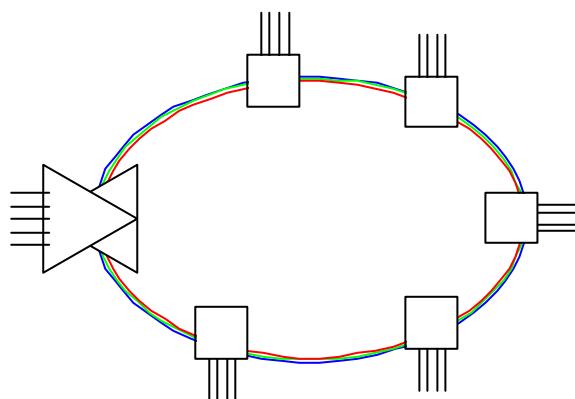


Figure 8.8 : Les architectures WDM Métro

Ces systèmes sont généralement installés sur des architectures en anneau et permettent de configurer des circuits entre différents points de cet anneau. A chaque circuit est affectée une longueur d'onde et les nœuds correspondent à des OADM (Optical Add Drop Multiplexer).

La spécificité de ces systèmes réside d'abord dans leurs coûts et performances. Destinés à des applications métropolitaines, ils utilisent généralement des composants moins sophistiqués que les systèmes longues distances. Les plus faibles distances à couvrir permettent souvent de s'affranchir de l'amplification optique et le plus faible nombre de canaux autorise l'utilisation de sources laser à modulation directe espacées de 1,6 nm par exemple.

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

Sur ce marché des télécommunications où l'élément coût est aujourd'hui déterminant, le multiplexage CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing), apparu récemment, est considéré comme moins onéreux et plus simple que le DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing). Dans les équipements CWDM, on peut en effet utiliser des lasers non régulés en température, et donc meilleur marché, qui émettent à des longueurs d'onde espacées de 20 nm entre 1270 et 1610 nm. Ces systèmes, ne sont pas compatibles avec les amplificateurs optiques (qui ne sont efficaces que sur une bande de 40 nm) et donc limités en distance.

Néanmoins, l'enjeu économique est apparu suffisamment important (on considère que les opérateurs qui disposent de suffisamment de fibres pourraient réaliser jusqu'à 30 % d'économie en adoptant le CWDM plutôt que le DWDM) pour que l'UIT décide de normaliser ces systèmes CWDM au travers des recommandations UIT-G.694.2 datant de 2002 et UIT-G.695 adoptée en novembre 2003.

Cette dernière recommandation UIT-T G.695 a pour objet de faciliter la compatibilité entre fournisseurs d'équipements, en spécifiant les caractéristiques de l'unité émetteur/multiplexeur et de l'unité démultiplexeur/récepteur aux deux extrémités d'une liaison CWDM.

Elle complète l'actuelle recommandation UIT-T G.694.2 qui définit une grille de longueurs d'onde avec un espace des canaux de 20 nm et 18 longueurs d'onde comprises entre 1 271 nm et 1 611 nm. En pratique, et même si le spectre CWDM normalisé intègre la "bande E" (bande couvrant le fameux PIC OH des fibres standard G652), les longueurs d'onde retenues par les constructeurs restent compatibles avec les fibres G652 du marché.

Il a été tenu compte des besoins du marché et la nouvelle norme prévoit des solutions souples et modulables, de 8 à 16 canaux optiques avec deux fibres pour les deux sens de transmission et de 2 + 2 à 8 + 8 canaux optiques avec une seule fibre pour les deux sens de transmission. On a également prévu la prise en charge d'une valeur de débit binaire de 1,25 Gbit/s, principalement pour les applications Ethernet de l'ordre du Gigabit. Cette possibilité complète la prise en charge du débit de 2,5 Gbit/s. Deux longueurs de liaison indicatives sont spécifiées dans la recommandation G.695 : jusqu'à environ 40 km et jusqu'à environ 80 km.

### 8.3.2 LES SYSTEMES D'INTERCONNEXION LAN À LAN

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

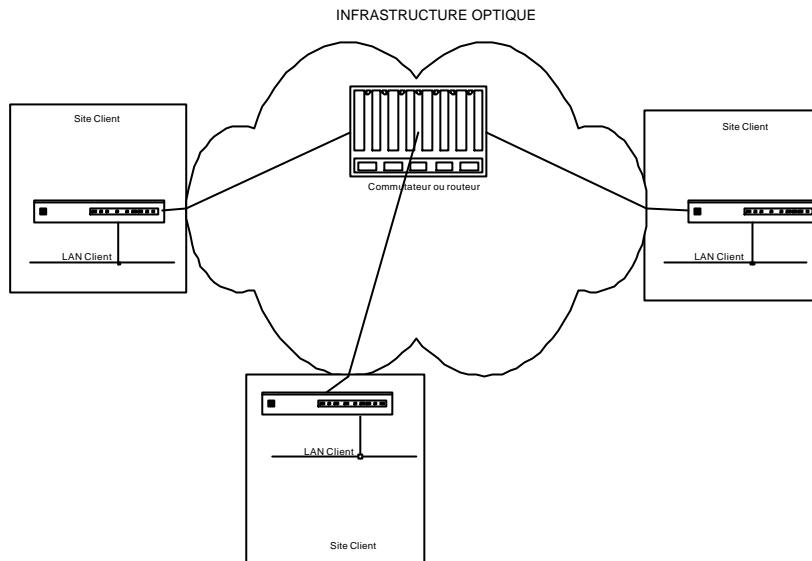
- 10BaseT (10 Mbit/s),
- 100BaseFX (100 Mbit/s),
- 1000BaseLX (1 Gbit/s),
- 10GbaseL, E ou LX4 (10 Gbit/s).

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

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

Dans cette classe d'applications, compte tenu des distances visées, les interfaces fonctionnent en règle générale dans la fenêtre 1310 nm. Les budgets optiques dépendent des matériaux et constructeurs. Les budgets suivants pourront être mis en œuvre à partir de ces matériaux :

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



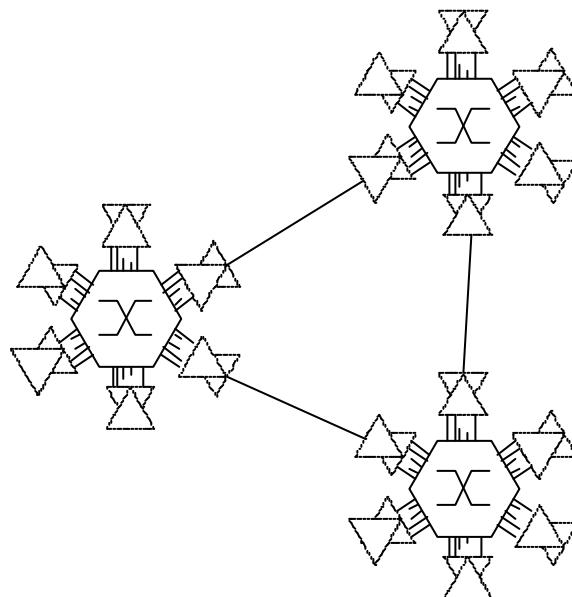
*Figure 8.9 : Architecture de réseau privé virtuel optique (VPN) Ethernet*

### 8.3.3 SYSTÈMES DE COMMUTATION OPTIQUE ET ÉVOLUTION VERS GMPLS

Ces dernières années, on s'est rendu compte que les réseaux optiques étaient capables de fournir bien plus de fonctions qu'une simple transmission point à point. Il existe de nombreux avantages à incorporer certaines des fonctions de commutation et de routage - jusqu'alors réalisées électroniquement - à la partie optique du réseau.

Les Cross Connect Optiques (OXC – Optical Cross Connect) sont des équipements de commutation susceptibles de mettre en relation des ports optiques d'entrée avec des ports optiques de sortie. Ils réalisent ainsi, une commutation de circuits optiques. L'intérêt de ces systèmes réside dans leur capacité à gérer, sans distinction, une grande variété d'interfaces et protocoles (SDH, Ethernet, mode trame, mode paquet, etc.).

Ces commutateurs apportent souplesse et facilité dans la gestion du réseau. Disposant d'une intelligence associée à l'administration centralisée du réseau, ils permettent de gérer le routage des circuits optiques et la redondance des circuits au travers du réseau maillé. Ce routage s'appuie sur le protocole GMPLS.



*Figure 8.10 : Architecture à base de commutateurs optiques*

# 9 – INGÉNIERIE DES RÉSEAUX D'ACCÈS

## 9.1 LA PROBLÉMATIQUE DE LA FIBRE DANS LE RÉSEAU D'ACCÈS

La mise en œuvre des technologies fibres optiques dans le réseau d'accès a subi au fil des années des hauts et des bas selon l'approche retenue, l'environnement technico-économique et la maturité des technologies considérées. Les différentes approches s'incluent dans un domaine générique généralement décrit sous l'acronyme **FITL** (**Fiber In The Loop** = fibre dans la boucle locale), qui regroupe différents types d'architectures.

Les différentes familles d'architecture se déclinent également selon le degré de pénétration topologique des fibres optiques par rapport aux usagers eux-mêmes, que l'on regroupe sous le vocable générique **FTTx** qui peut présenter les variantes suivantes : **FTTN** (Fiber To The Node), **FTTC** (Fiber To The Curb), **FTTB** (Fiber To The Building ou Fiber To The Business), **FTTU** (Fiber To The User), **FTTH** (Fiber To The Home), et enfin **FTTD** (Fiber To The Desk).



Figure 9.1 : Topologies de déploiement FITL

La généralisation des fibres optiques dans le réseau d'accès (FTTH) conduit à une équation économique délicate puisque, au delà du coût du génie civil à créer à cet effet, elle doit intégrer le coût des composants optoélectroniques d'extrême. Après les premières tentatives abandonnées en raison de leur coût élevé, les ingénieurs se sont orientés vers des solutions d'architectures fondées sur le partage des ressources de transmission, réduisant d'autant le coût des composants associés : ce sont les réseaux optiques passifs (PON = Passive Optical Network). Le principe de base du PON est de multiplexer l'ensemble des signaux sur une seule fibre optique du départ du centre de rattachement (OLT = Optical Line Terminal), ce signal étant ultérieurement distribué dans plusieurs directions à l'aide d'un coupleur optique 1:n; le même principe de partage est appliqué aux liaisons remontantes provenant des usagers. Les performances des PON, notamment le taux de partage, est directement lié au bilan optique et au cumul de bruit pour la voie remontante. Les taux de partage optique proposés varient de 1:8 à 1:32.

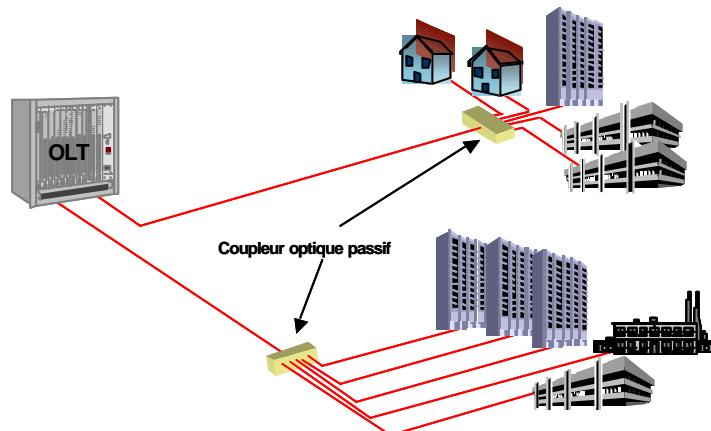


Figure 9.2 : Exemple de PON dans une topologie FTTH

Au-delà des aspects économiques, toutes ces architectures doivent être capables de toute la flexibilité nécessaire à la prise en compte de l'évolution des besoins et de la mutation permanente des technologies. Un point de flexibilité fondamental dans les réseaux d'accès est le point de distribution situé à proximité des abonnés, et qui assure la transition entre le réseau proprement dit et le réseau de branchement, celui-ci étant installé au fil des demandes de raccordement.

## 9.2 LES PREMIÈRES MISES EN ŒUVRE OPÉRATIONNELLES

### 9.2.1 APPLICATIONS PROFESSIONNELLES

Historiquement, l'introduction des fibres optiques dans le réseau d'accès a été initialisée aux Etats-Unis avec l'apparition du concept de DLC (Digital Loop Carrier) qui consiste à déporter dans le réseau de distribution une partie des fonctions réalisées en frontal du centre de commutation téléphonique; le lien entre les Unités de Raccordement d'Abonnés Déportées (URAD) et le cœur de chaîne étant réalisé par une liaison numérique (par exemple à 2 Mbit/s) sur fibre optique.

En France, l'opérateur historique France Télécom s'est employé à introduire les technologies optiques de façon pragmatique de manière à satisfaire au coup par coup les besoins de connexion à haut débit sous la forme de liaisons spécialisées (LS) de type point à point, offrant des interfaces variées parmi lesquelles on peut citer Transfix ou TransMic (de 64 kbit/s à 34 Mbit/s) ou les LS analogiques de type vidéo. Ultérieurement, de façon à satisfaire la desserte de plusieurs entreprises situées sur la même zone d'activités, France Télécom a introduit le système Molène, fondé sur un PON.

Une autre application concerne le Transport de télévision qualité studio (Broadcast). Les programmes de télévision réalisés dans des studios de production sont échangés avec d'autres studios ou acheminés vers des stations d'émission satellite. Ce transport s'effectue grâce à la fibre optique monomode et selon des standards de très haute qualité. Les standards actuels sont le SDI à 270 Mbit/s (norme ITU 656-4) ou 360 Mbit/s et le nouveau TVHD à 1,5 Gbit/s (recommandation SMPTE 292M). Les distances parcourues peuvent être importantes : 60 à 80 km.

Ces départs sont généralement point à point avec redondance pour des raisons de sécurité. Cependant la saturation des câbles à fibres optiques rend le multiplexage en longueurs d'onde de plus en plus nécessaire. Pour des raisons économiques on utilise le CWDM jusqu'à 8 longueurs d'onde par fibre. Ce type de liaison est utilisé par les opérateurs télécom qui proposent à la location les liens et équipements d'extrémité.

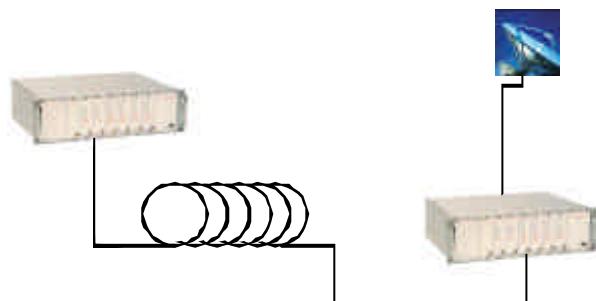


Figure 9.3 : Éléments constitutifs d'une liaison de transport vidéo Broadcast

### 9.2.2 APPLICATIONS INSTITUTIONNELLES

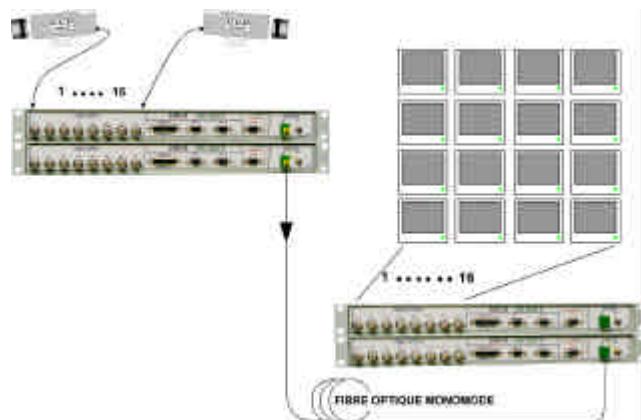
Dans un des domaines couverts par les Collectivités Locales, la vidéosurveillance, la mise en œuvre de liaisons point à point sur fibres optiques a rapidement élargi le champ d'applications initialement dévolu à la transmission sur câble coaxial. Les évolutions actuelles tendent à quitter le domaine des solutions analogiques pour rejoindre le domaine numérique avec l'usage de caméras IP, ce qui facilite grandement la mutualisation des infrastructures de transmission.

La fibre optique permet de concentrer les images collectées vers un poste de surveillance unique pour chaque district. Le marché offre un vaste choix d'équipements pour ces applications. En fonction des besoins on choisira de la transmission :

- vidéo temps réel numérique,
- vidéo compressée pour se rendre compatible avec les réseaux de télécommunications (SDH, ATM, IP....).

L'évolution des technologies a fait disparaître la transmission analogique au profit du numérique sous toutes ses formes. Dans ce domaine, une normalisation (IEEE 1394 - FireWire) a été élaborée. Les techniques de codage évoluent sans cesse puisqu'on a connu en quelques années MJPEG, Ondelettes, H261 et H 263, MPEG1, MPEG2 et maintenant MPEG4 qui permet l'obtention d'images exploitables à partir de 1,5 Mbit/s. Néanmoins, les systèmes de Détection Automatique d'Incidents (DAI) seront toujours plus réactifs et plus pertinents, donc plus efficaces, s'ils peuvent s'appuyer sur des images non compressées.

Les réseaux de vidéo temps réel utilisent des fibres optiques dédiées de préférence monomodes pour leur importante bande passante permettant un multiplexage temporel des vidéos. Le CWDM (normes ITU-T G.694.2 et G.695) est utilisé pour augmenter la capacité transmise sur une même fibre tout en se limitant à 2, 4 ou 8 longueurs d'onde car ce milieu craint de perdre la visibilité de ses sites en cas de rupture du support.



*Figure 9.4 : Éléments constitutifs d'une liaison de télésurveillance*

### 9.2.3 APPLICATIONS RÉSIDENTIELLES

Les premiers concepts de diffusion massive des technologies optiques dans le réseau d'accès ont en fait vu le jour dans les années 80, avec l'objectif de remplacer le cuivre par la fibre sans remettre en cause l'architecture étoilée du Réseau Téléphonique Commuté (RTC). En France, l'expérimentation du réseau multiservices de Biarritz a été le premier test en vraie grandeur de ces possibilités. Les contraintes technico-économiques ont conduit à privilégier l'architecture "étoile commutée" en topologie FTTH, conduisant à sélectionner les programmes de télévision dans le réseau pour n'envoyer vers chaque usager que le (ou les) programme(s) demandés à un instant donné. Quelques années après, la même démarche a été retenue pour le déploiement en 1986 du Plan Câble, sous la forme des réseaux de vidéocommunication de première génération (1G), mais fondés sur des technologies moins coûteuses (diodes électro-luminescentes et fibres multimodes).

La figure 9.5 montre la fonction de répartition optique à l'intérieur d'un Centre de Distribution regroupant 960 usagers potentiels. Au niveau de chaque tiroir optique, la structure élémentaire est fondée sur un jonc de 10 fibres optiques terminée sur 10 borniers optiques sur lesquels venaient se raccorder les jarretières optiques de liaison avec les équipements. Une extension mettant en œuvre des multiplexeurs WDM permettait de doubler la capacité de chaque fibre optique.

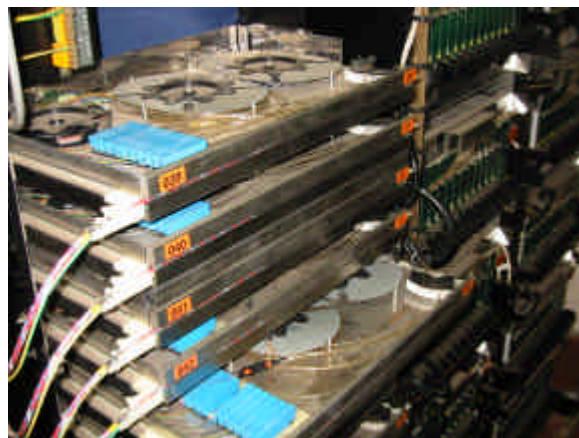


Figure 9.5 : Répartiteur optique dans les réseaux 1G

En raison du caractère très pénalisant du modèle économique, les choix liés au Plan Câble ont ensuite évolué vers des solutions mixte fibre et coaxial (voir § 9.3.2).

Alors que les tentatives précédentes étaient motivées par les services liés à la télévision, les opérateurs se sont réorientés vers les services de télécommunications. Une première vague d'expérimentations et de déploiement en vraie grandeur a eu lieu au début des années 90, notamment aux Etats-Unis, en Allemagne et très timidement en France, sur la base d'une combinaison d'un PON-TDM pour les applications télécom et d'un PON-RF, la plupart du temps dans une topologie FTTC ou FTTB.

Toujours dans l'approche FTTH, quelques évolutions ont été développées, notamment orientées vers le numérique et l'ATM (SDV = Switched Digital Video).

### 9.3 LES ÉVOLUTIONS RÉCENTES

#### 9.3.1 APPLICATIONS PROFESSIONNELLES

L'évolution du domaine des réseaux d'entreprise (LAN) a conduit au développement de protocoles spécifiques tels que FDDI ou Ethernet. La famille Ethernet (IEEE 802.3) est composée d'un grand nombre de normes qui se déclinent par rapport au débit (10 Mb/s, 100 Mb/s, 1 Gb/s puis 10 Gb/s) et en fonction du support de transmission utilisé (paire torsadée, câble coaxial ou fibre). Les portées varient en fonction des caractéristiques des liaisons; à titre d'exemple, on peut en particulier citer la norme 802.3ae de juin 2002 avec 2 versions :

- 10GBase-LR (long reach) : 10 km à 1310 nm sur fibre monomode,
- 10GBase-ER (extended reach) : 40 km à 1550 nm sur fibre monomode.

Les topologies de base sont de type point à point avec une évolution en cours vers des architectures partagées point à multipoint (voir § 9.4).

#### 9.3.2 LES RÉSEAUX CÂBLÉS MODERNES

Les réseaux câblés multiservices de type HFC (Hybrid Fiber Coax) mettent en œuvre les fibres optiques à plusieurs niveaux :

- le réseau de distribution optique qui relie, à travers un PON-RF à faible taux de partage, les nœuds d'accès (NA ou tête de réseau secondaire) aux nœuds optiques (servant environ 1000 logements) d'où part l'arborescence coaxiale,
- les boucles fédératrices d'interconnexion des nœuds d'accès avec la tête de réseau principale, équivalentes à un réseau de collecte.

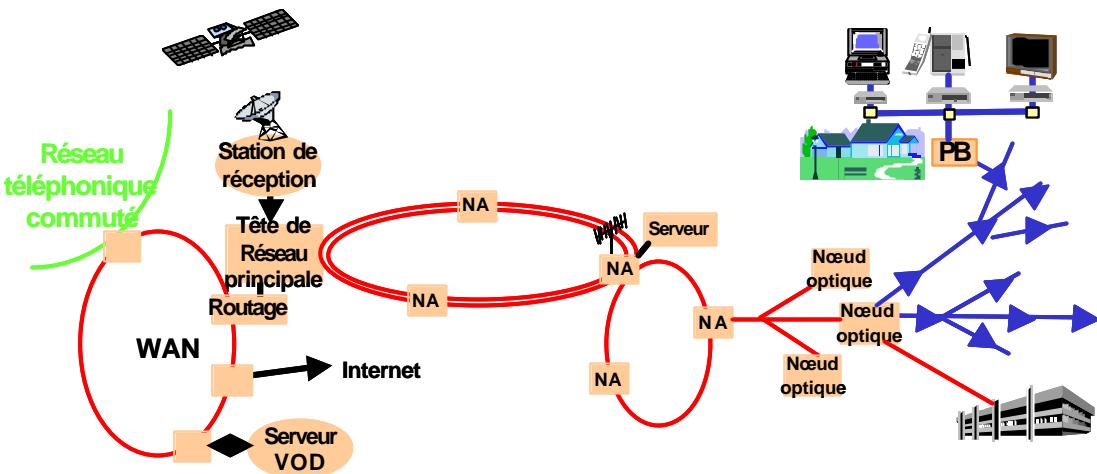


Figure 9.6 : Architecture d'un réseau câblé HFC

#### 9.4 LES PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION

Depuis quelques années, un regain d'intérêt très significatif a remis les PON en lumière, sous deux formes très différentes : Ethernet/PON (E-PON) et ATM/PON (A-PON).

Les PON Ethernet découlent directement de l'évolution des technologies de la famille Ethernet largement mise en œuvre dans le monde des "données". Les versions sur fibre optique en topologie point à point (de 1000BaseT au récent 10 Gigabit Ethernet), se sont enrichies d'une part avec le concept du "Curb Switch Ethernet" et maintenant du E-PON dans le cadre du groupe de travail First Mile Study Group au sein de l'IEEE 802.3, en vue de l'élaboration de la norme 802.3ah.

En parallèle, les approches ATM ont été développées par les acteurs télécom, dans le cadre des FSAN (Full Service Access Network) de l'IUT-T, et notamment la recommandation G.982.

L'exemple ci-contre illustre la situation des PON ATM (A-PON) mettant en évidence les convergences avec les services Ethernet et les nouvelles techniques xDSL (VDSL, ADSL 2+) mises en œuvre pour le dernier kilomètre dans la configuration FTTB/C.

Il est à noter que les interfaces usagers sont très variées (TDM, Ethernet, vidéo...).

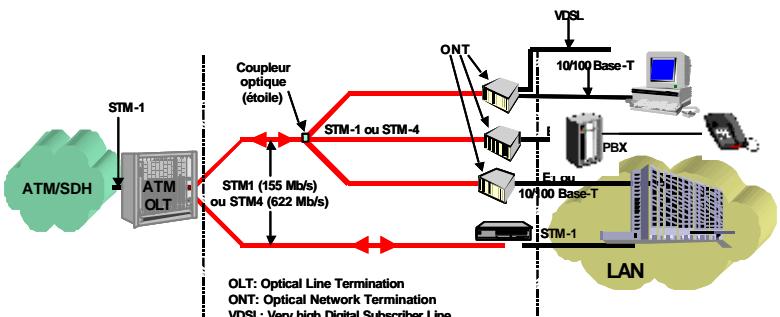


Figure 9.7 : A-PON : technologies et services

En résumé des propos précédents, la figure ci-contre schématise l'évolution historique de ces différentes architectures, partant de solutions poussées par des opérateurs télécom sur des architectures non partagées pour évoluer vers des architectures partagées telles que les réseaux optiques passifs.

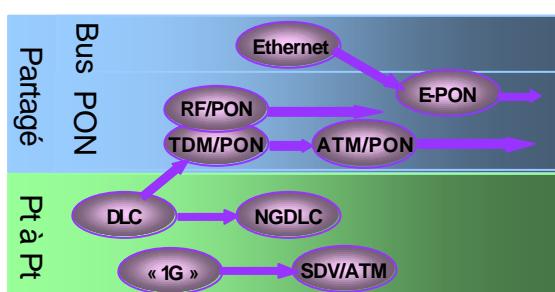


Figure 9.8 : Technologies FITL

Le coût de l'infrastructure restant prépondérant par rapport à celui des systèmes, plusieurs types de liaisons point à point peuvent être déployés pour profiter de fibres déjà installées.

On peut citer l'exemple de Fastweb à Milan qui a construit son système par rapport aux fibres déjà installées dans la ville.

Il est probable par ailleurs que pour augmenter le débit disponible chez leurs abonnés afin d'offrir de nouveaux services tels que la vidéo, les opérateurs xDSL soient amenés à déployer des solutions point à point optiques de type FTTC/FTTB pour limiter l'affaiblissement dû à de trop grandes longueurs de paires de cuivre.

La figure ci-dessous illustre l'extension de zone de couverture d'un DSLAM grâce à la fibre optique. Les solutions consistent soit à relier par fibre un mini DSLAM (esclave), soit à déporter directement un multiplex de lignes d'abonnés.

Dans les deux cas les abonnés distants pourront disposer des mêmes services que ceux situés à proximité du DSLAM principal comme par exemple la TV sur ADSL.

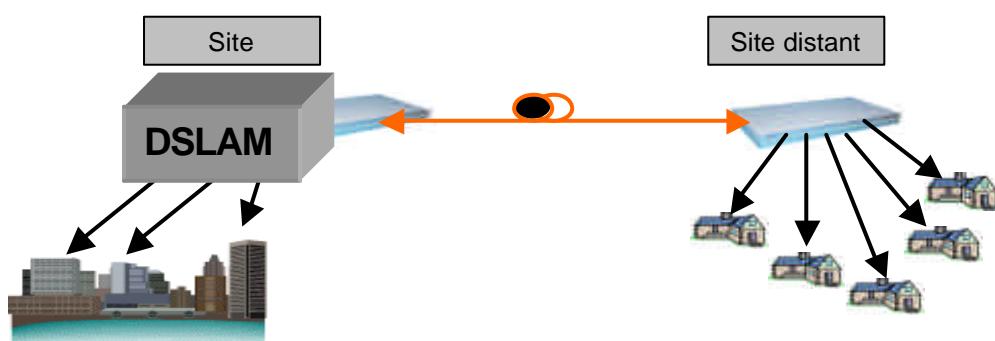


Figure 9.9 : Extension xDSL sur fibre

## 9.5 ARCHITECTURE DES RÉSEAUX D'ACCÈS

Nous allons décrire ici une architecture cible. Elle s'adresse à un bassin d'abonnés important. Néanmoins, en fonction d'un besoin donné, on pourra ne réaliser qu'une partie de cette architecture sans perdre de vue quelle pourra être complétée au fur et à mesure des besoins futurs.

Bien que ce chapitre ne traite que des réseaux d'accès, il ne faut pas voir les réseaux d'accès et de collecte comme deux réseaux totalement séparés physiquement. Certaines fibres d'un câble du réseau d'accès peuvent être utilisées pour le réseau de collecte et inversement.

Le niveau central de l'architecture est le "**Nœud d'Accès**" (NA). C'est le point de connexion aux opérateurs. Le niveau le plus proche de l'abonné est le "**Point de Raccordement d'usagers**" (PR).

### 9.5.1 INTRODUCTION

Il est impossible (techniquement et économiquement) que le nombre de fibres remontant au niveau du **Nœud d'Accès** soit égal à la somme des usagers potentiels. Cette constatation impose que l'architecture du réseau d'accès présente des points de flexibilité. Ces points de flexibilité permettront de réduire le nombre de fibres à mesure que l'on remonte du point de raccordement vers le point d'accès en utilisant des matériels actifs ou passifs.

Tous les points de flexibilité pouvant abriter du matériel actif devront prendre en compte les besoins de puissance électrique, climatisation éventuelle, sécurité, dégroupage ou co-localisation (interconnexion avec plusieurs opérateurs).

### La zone de raccordement

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

### Point de Raccordement d'usagers PR

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

### Nœud de Flexibilité NF

Selon l'architecture, ce nœud peut contenir ou non du matériel actif. Il est possible que dans une même armoire deux nœuds de flexibilité soient placés en cascade.

Un réseau donné peut présenter plusieurs niveaux de flexibilité **NF**). Cependant dans le cas des **PON**, les coupleurs seront centralisés sur un même niveau de flexibilité.

Le point de flexibilité permet de réduire le nombre de fibres à remonter vers le NA. Le rapport entre le nombre de fibres entrantes et sortantes est de l'ordre de 10 pour un milieu professionnel et de 100 pour un environnement résidentiel.

Le niveau de flexibilité le plus proche de l'abonné peut être accolé au **PR**.

### 9.5.2 ARCHITECTURE CIBLE

Toute structure simplifiée doit permettre une évolution vers ce type d'architecture. L'utilisation de fibres optiques dans les réseaux d'accès permet d'atteindre une distance de l'ordre de vingt kilomètres entre le point central qui est le Nœud d'Accès (NA) et le Point de Raccordement d'usagers (PR).

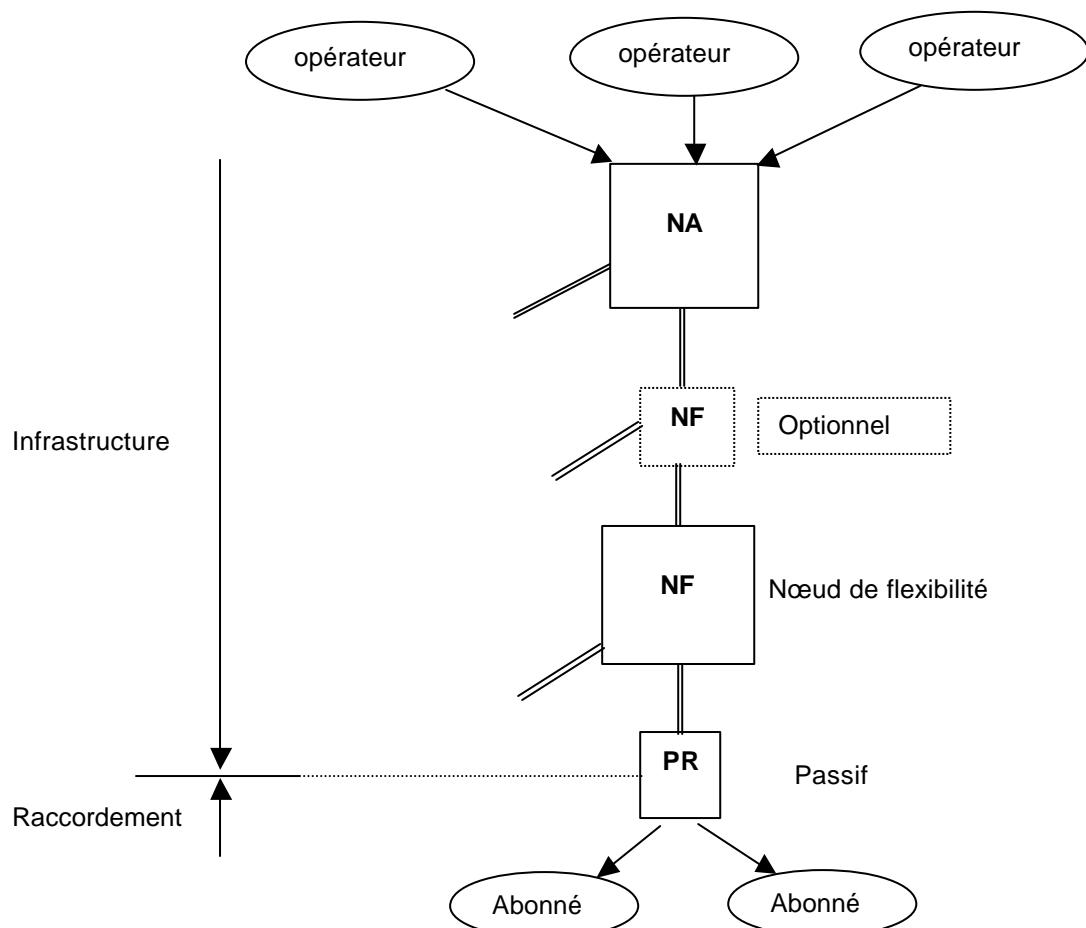


Figure 9.10 : Architecture cible FTTH

### 9.5.3 DÉCLINAISONS DE L'ARCHITECTURE CIBLE

Cette architecture générique peut être appliquée sous différentes formes. Les schémas suivants en illustrent quelques-unes.

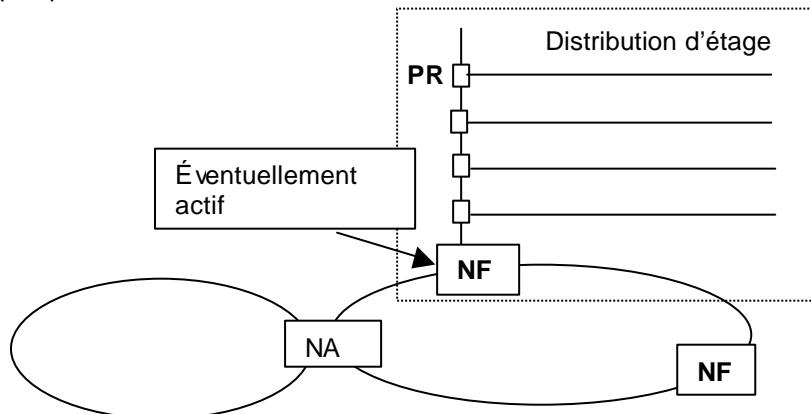


Figure 9.11 : Déclinaison de l'Architecture cible FTTH - exemple 1

Il existe des technologies de câbles à fibres optiques particulièrement adaptées à ce type de distribution.

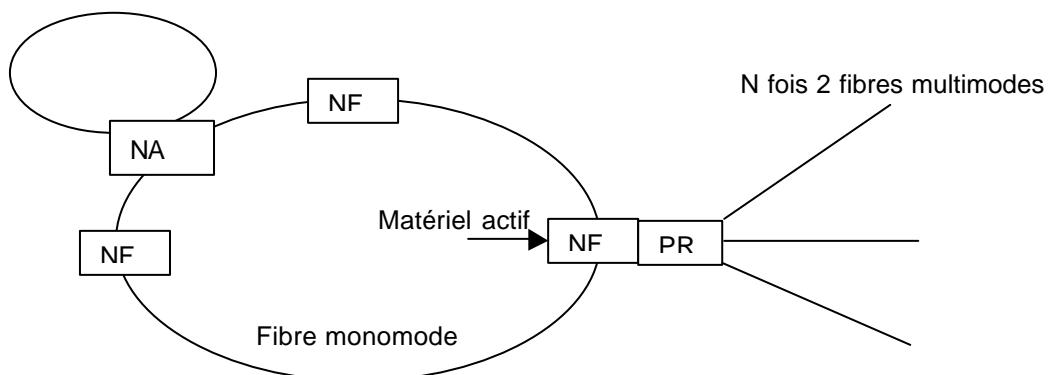


Figure 9.12 : Déclinaison de l'Architecture cible FTTH - exemple 2

### Architecture de type PON

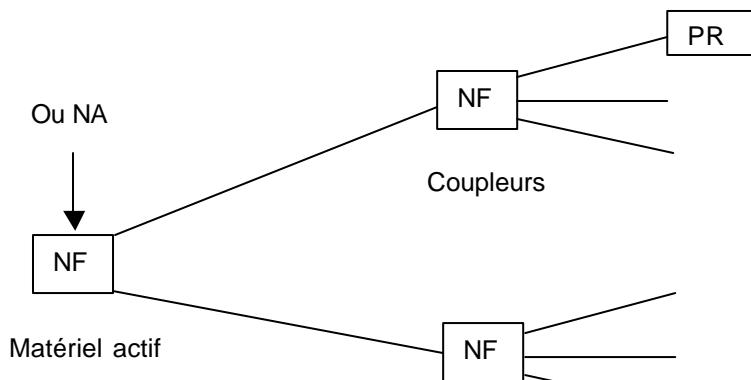


Figure 9.13 : Déclinaison de l'Architecture cible FTTH - exemple 3

## 9.6 INGÉNIERIE ET DIMENSIONNEMENT DU RÉSEAU D'ACCÈS

Nous fournissons dans ce chapitre quelques éléments d'orientation quant au positionnement et à la matérialisation des différents nœuds fonctionnels du réseau d'accès et au dimensionnement de l'infrastructure. La déclinaison de l'architecture cible sur le terrain dépend de la configuration et du type d'habitat à desservir. Nous avons isolé 4 cas de figure d'habitats pour illustrer cette mise en œuvre :

- la desserte en habitat urbain dense,
- la desserte en habitat urbain résidentiel,
- la desserte de zone d'activité (ZAC),
- la desserte en habitat rural dispersé.

Les éléments permettant de dimensionner l'infrastructure sont illustrés sur le schéma ci-après.

Il s'agit :

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

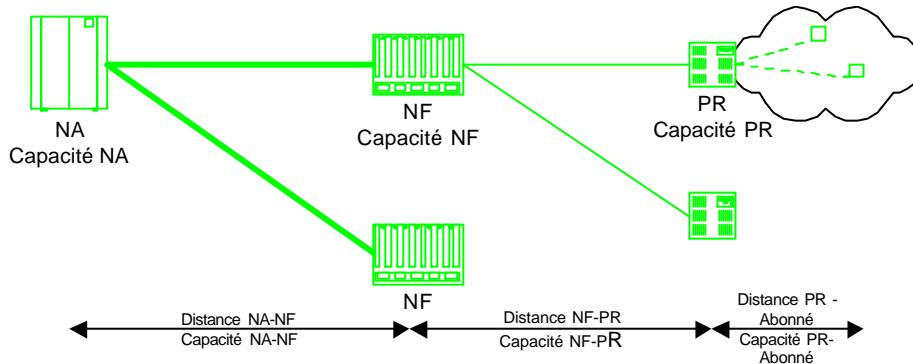


Figure 9.14 : Hiérarchisation du réseau d'accès

### 9.6.1 DESSERTE EN HABITAT URBAIN DENSE

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

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

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



Figure 9.15 : Architecture de desserte en habitat urbain dense

Dimensionnement des différents nœuds		
Nœud Fonctionnel	Paramètre de dimensionnement	Ordre de grandeur
Point de Raccordement (PR)	Capacité PR	10 à 50 Abonnés
Nœud de Flexibilité (NF)	Capacité NF	100 à 500 Abonnés
Nœud d'Accès (NA)	Capacité NA	5 000 à 50 000 Abonnés
Dimensionnement des différents liens		
Liaison	Paramètre de dimensionnement	Ordre de grandeur
(PR) - Abonné	Distance PR- Abonné	10 à 50m
	Capacité PR - Abonné	2 fibres
(NF) – (PR)	Distance NF - PR	100 à 500 m
	Capacité NF - PR	12 à 48 fibres
(NA) – (NF)	Distance NA - NF	1 000 à 2 000 m
	Capacité NA - NF	48 à 72 fibres

Tableau 9.1 : Dimensionnement de l'architecture de desserte en habitat urbain dense

### 9.6.2 DESSERTE EN HABITAT URBAIN RÉSIDENTIEL

Dans le cas d'un habitat résidentiel, les Nœuds de Flexibilité (NF) prendront principalement la forme d'armoires de rue. Les Points de Raccordement d'abonnés (PR) seront matérialisés sous la forme de coffrets de rue ou de coffrets de poteau.

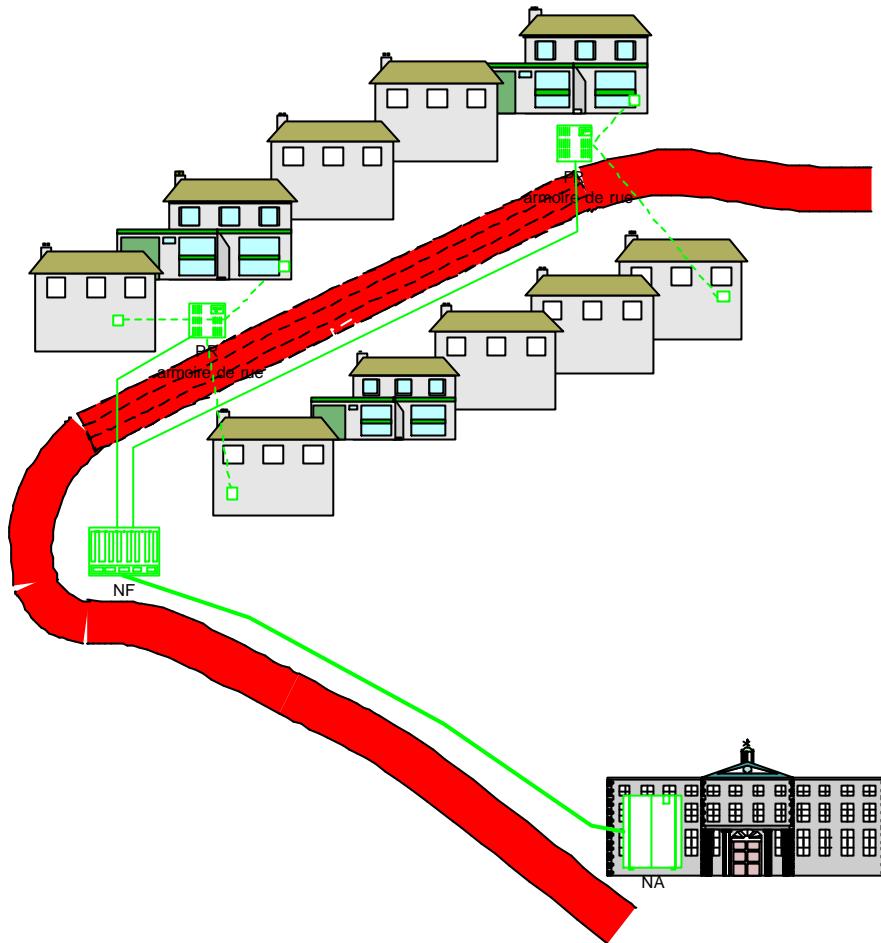


Figure 9.16 : Architecture de desserte en habitat urbain résidentiel

Dimensionnement des différents nœuds		
Nœud Fonctionnel	Paramètre de dimensionnement	Ordre de grandeur
Point de Raccordement (PR)	Capacité PR	10 à 50 Abonnés
Nœud de Flexibilité (NF)	Capacité NF	100 à 500 Abonnés
Nœud d'Accès (NA)	Capacité NA	5 000 à 50 000 Abonnés
Dimensionnement des différents liens		
Liaison	Paramètre de dimensionnement	Ordre de grandeur
(PR) - Abonné	Distance PR- Abonné	10 à 100 m
	Capacité PR - Abonné	2 fibres
(NF) – (PR)	Distance NF - PR	100 à 1 000m
	Capacité NF - PR	12 à 48 fibres
(NA) – (NF)	Distance NA - NF	1 000 à 5 000m
	Capacité NA - NF	48 à 72 fibres

Tableau 9.2 : Dimensionnement de l'architecture de desserte en habitat urbain résidentiel

### 9.6.3 DESSERTE DE ZAC

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

Les Points de Raccordement d'abonnés (PR) prendront le plus souvent la forme de coffrets de rue. L'ingénierie diffère des dessertes précédentes par la densité et le dimensionnement de l'infrastructure.

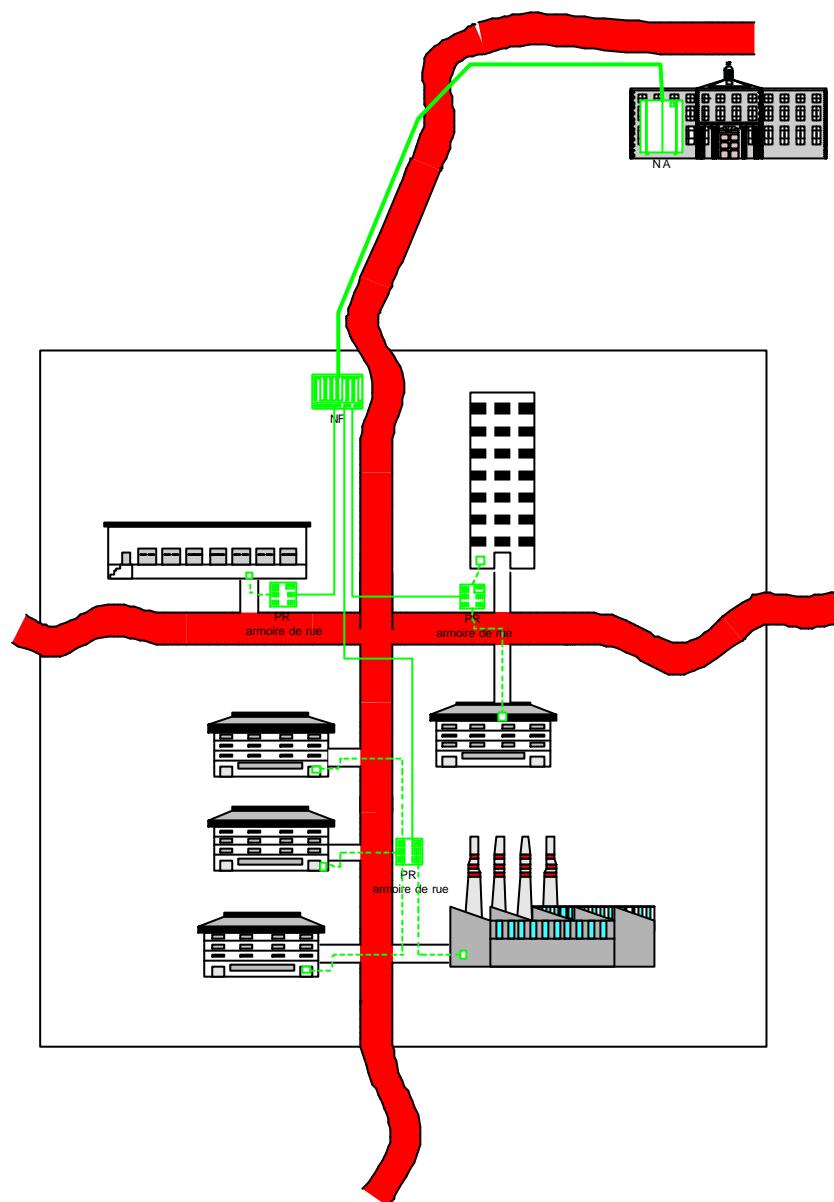


Figure 9.17 : Architecture de desserte de ZAC

Dimensionnement des différents nœuds		
Nœud Fonctionnel	Paramètre de dimensionnement	Ordre de grandeur
Point de Raccordement (PR)	Capacité PR	10 à 50 Abonnés
Nœud de Flexibilité (NF)	Capacité NF	100 à 500 Abonnés
Nœud d'Accès (NA)	Capacité NA	5 000 à 50 000 Abonnés
Dimensionnement des différents liens		
Liaison	Paramètre de dimensionnement	Ordre de grandeur
(PR) - Abonné	Distance PR- Abonné	50 à 500 m
	Capacité PR - Abonné	4 à 6 fibres
(NF) – (PR)	Distance NF - PR	500 à 2 000 m
	Capacité NF - PR	48 à 96 fibres
(NA) – (NF)	Distance NA - NF	1 000 à 5 000 m
	Capacité NA - NF	96 à 144 fibres

Tableau 9.3 : Dimensionnement de l'architecture de desserte de ZAC

#### 9.6.4 DESSERTE EN HABITAT RURAL DISPERSÉ

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

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



Figure 9.18 : Architecture de desserte en habitat rural dispersé

Dimensionnement des différents nœuds		
Nœud Fonctionnel	Paramètre de dimensionnement	Ordre de grandeur
Point de Raccordement (PR)	Capacité PR	10 à 50 Abonnés
Nœud de Flexibilité (NF)	Capacité NF	100 à 500 Abonnés
Nœud d'Accès (NA)	Capacité NA	5 000 à 50 000 Abonnés
Dimensionnement des différents liens		
Liaison	Paramètre de dimensionnement	Ordre de grandeur
(PR) - Abonné	Distance PR- Abonné	50 à 500m
	Capacité PR - Abonné	2 fibres
(NF) – (PR)	Distance NF - PR	1 000 à 2 000m
	Capacité NF - PR	12 à 48 fibres
(NA) – (NF)	Distance NA - NF	10 000 à 20 000m
	Capacité NA - NF	48 à 72 fibres

Tableau 9.4 : Dimensionnement de l'architecture de desserte en habitat rural dispersé

## 9.7 ARCHITECTURE DE CÂBLAGE D'INTÉRIEUR ET ACCÈS À L'ABONNÉ

Dans le cas du câblage d'intérieur et de l'accès à l'abonné, la structure du système de câblage est fondée sur l'utilisation de modules de deux fibres optiques. Cette modularité correspond à la mise à disposition d'un lien bidirectionnel à un usager (public ou privé). Deux techniques de câblage sont envisageables :

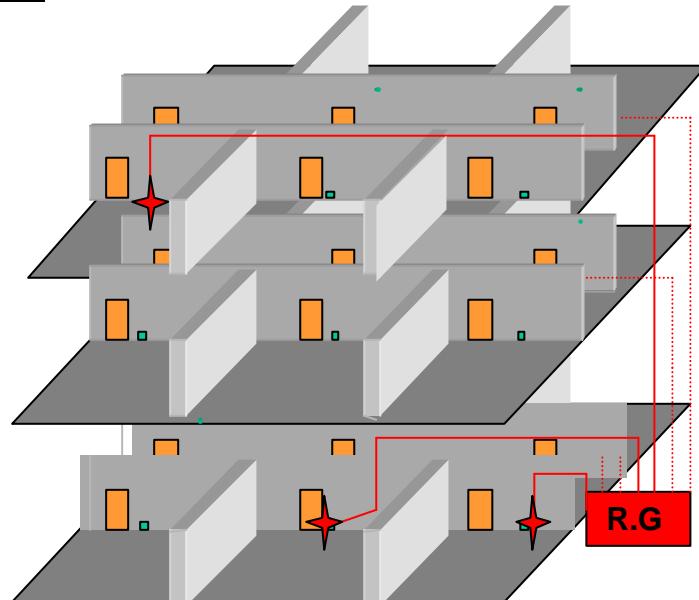
- passage de liens optiques de 2 fibres pour chaque abonné potentiel (architecture de distribution étoile),
- passage d'un câble optique à accessibilité permanente dans l'immeuble à câbler (architecture à accessibilité permanente).

### 9.7.1 ARCHITECTURE DE DISTRIBUTION ÉTOILE

A partir du Répartiteur Général (RG), il faut fournir une arrivée optique par abonné potentiel.

Le câblage est réalisé de manière systématique, pour éviter d'avoir à ajouter des chemins de câble ou à poser de nouveaux câbles au fur et à mesure des clients à éclairer.

Ces câbles peuvent être posés, tirés ou soufflés.



*Figure 9.19 : Architecture de distribution d'intérieur d'immeuble en étoile*

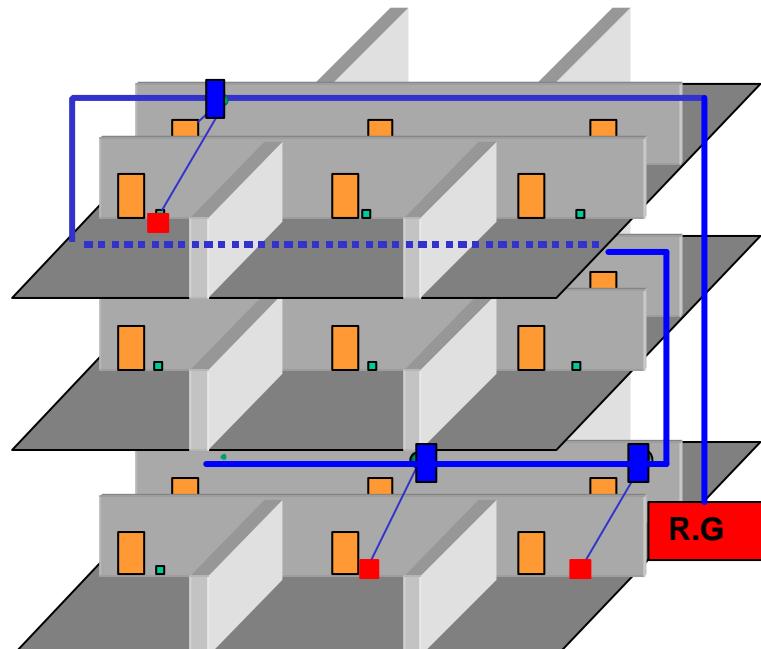
### 9.7.2 ARCHITECTURE À ACCESSIBILITÉ PERMANENTE

Une autre infrastructure de câblage est aujourd'hui utilisée et validée par le marché. Un seul câble optique à accessibilité permanente couvre l'intégralité du bâtiment.

Le système de câblage ne nécessite aucune réintervention de pose. Des boîtiers d'accès au câble seront ajoutés au fur et à mesure des connexions de nouveaux abonnés.

Le câble à accessibilité permanente est constitué d'une enveloppe dans laquelle sont placés des micro-modules souples de 4 à 12 fibres.

L'accès à un abonné se fera au fur et à mesure des besoins, par ouverture du câble et extraction d'un micro-module de fibres qui va desservir chaque abonné.



*Figure 9.20 : Architecture de distribution d'intérieur d'immeuble à accessibilité permanente*

## 9.8 INGÉNIERIE ET DIMENSIONNEMENT DU RÉSEAU D'INFRASTRUCTURE DANS L'ACCÈS

L'essentiel des coûts de mise en œuvre d'un réseau d'accès ou de collecte réside dans les travaux de génie civil. Ces infrastructures réalisées dès les premières phases devront satisfaire aux exigences de croissance du réseau. Un fourreau, même de section importante, peut ne plus permettre le passage d'un nouveau câble alors que deux seulement l'occupent. Le sous-fourreautage ou sous-tubage permet d'éviter cet écueil.

L'absence de câbles adaptés (faible section, forte capacité) aux techniques de pose par soufflage et portage dans des tubes de faible section diminuait jusqu'à aujourd'hui l'intérêt du sous-tubage. Les industriels savent aujourd'hui produire des câbles adaptés de 6 à 144 fibres dont le diamètre varie de 4 à 10 mm.

Avant de lancer de grands travaux de canalisation, il sera nécessaire de répertorier les infrastructures existantes afin de les utiliser au maximum, car si pour le réseau de collecte, il y a de grandes longueurs de câble sans raccord, il n'en est pas de même pour le réseau d'accès, qui devra être interrompu très souvent du fait de sa capillarité.

On pourra, par exemple, considérer le réemploi des appuis suivants, lorsqu'ils existent :

- location d'un tuyau du réseau France Télécom qu'il sera possible de sous-tuber,
- location d'un fourreau d'un câble opérateur qu'il sera également possible de sous-tuber,
- utilisation d'une canalisation d'éclairage public en direct ou en sous-tubant sur des longueurs < à 200 m. La fibre optique, contrairement au cuivre, peut longer un câble d'énergie sans créer d'interférences,
- pose en aérien en façade ou sur des appuis d'éclairage public,
- location à EDF du passage sur des appuis existants,
- sous tubage d'une canalisation d'eau désaffectée.

Toutes ces solutions permettront de réaliser à moindre coût le passage de la fibre surtout en fin de réseau, là où les infrastructures existantes sont déjà nombreuses.

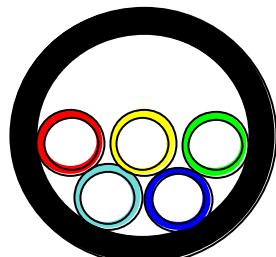
Suivant les cas de figures, il faudra bien sûr choisir un mode de pose et le câble le plus adapté.

### 9.8.1 OPTIMISATION D'UN FOURREAU EXISTANT

Pour optimiser un fourreau vide existant dans le réseau d'accès, il est possible aujourd'hui, sous certaines conditions, de sous-tuber le fourreau. Cette opération s'effectue par "portage" de micro-tubes à l'intérieur du fourreau existant.

Cette technique de pose n'est toutefois pas adaptée à tous les types de fourreaux. Une étude préalable permettra de déterminer si le fourreau est éligible à ce sous-tubage. Cette étude prendra en considération :

- la nature du fourreau et ses caractéristiques. La pose nécessite en effet une mise en pression du fourreau. Les fourreaux en PEHD sont conçus pour supporter cette mise en pression. Les fourreaux PVC ne remplissent généralement pas ces conditions,
- le trajet du fourreau.



*Figure 9.21 : Micro-tubes mis en place dans un fourreau existant*

### 9.8.1.1 Types de fourreaux les plus répandus

En France, les caractéristiques dimensionnelles des fourreaux les plus répandus sur le marché des télécoms sont les suivantes :

Fourreau	Ø Intérieur	Ø Extérieur	"Origine"
27 / 33	27 mm	33 mm	SNCF - TD
33 / 40	33 mm	40 mm	opérateurs alternatifs
41 / 50	41 mm	50 mm	France Télécom

Tableau 9.5 : Dimensions des fourreaux les plus répandus

### 9.8.1.2 Micro-tubes adaptés au sous-tubage de ces fourreaux

Pour optimiser ces différents fourreaux, les constructeurs proposent à leurs catalogues un ensemble de micro-tubes :

Micro-tube	Ø Intérieur	Ø Extérieur
3,5 / 5	3,5 mm	5 mm
4 / 6	4 mm	6 mm
5,5 / 7	5,5 mm	7 mm
8 / 10	8 mm	10 mm
10 / 12	10 mm	12 mm

Tableau 9.6 : Dimensions des micro-tubes standard

Pour "porter" un ensemble de micro-tubes dans un fourreau existant, les dimensions respectives de l'ensemble constitué par les micro-tubes et du fourreau doivent demeurer dans un rapport n'excédant pas 80%.

A titre d'exemple, il sera possible de "porter" un ensemble de 3 micro-tubes de 8/10 dans un fourreau de 33/40 et de 4 micro-tubes de 8/10 dans un fourreau de 41/50.

### 9.8.2 POSE DE FOURREAUX PRÉ-TUBÉS

Dans le cas d'une pose d'un nouveau fourreau, il est possible de choisir un fourreau pré-tubé. Les constructeurs offrent désormais, à leurs catalogues, des fourreaux pré-tubés permettant la mise en place progressive, par soufflage / portage, des câbles optiques, en fonction des besoins.

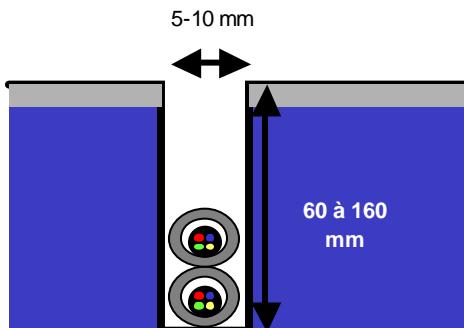
Le coefficient de remplissage de tels fourreaux est bien entendu optimisé par rapport à la solution précédente de sous-tubage à posteriori.

Les modularités suivantes constituent des standards de facto : 1, 2, 4, 7.

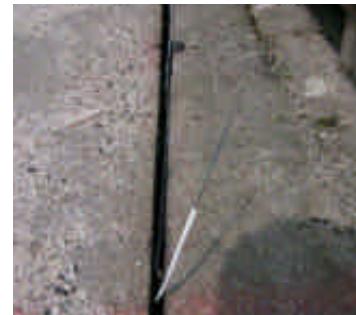
### 9.8.3 RÉALISATION DE MICRO-RAINURES EN ZONE URBAINE

Quand il n'est pas possible d'utiliser des fourreaux existants ou de réaliser la pose de fourreaux de fort diamètre, la réalisation de travaux de génie civil impose certaines contraintes. En effet la réalisation de tranchées sur les chaussées ou trottoirs coûte cher, cause des désagréments importants aux riverains et peut perturber le trafic automobile. La pose en aérien reste complexe, inesthétique et soumis aux risques climatiques. Un nouveau type de génie civil s'est donc considérablement développé aux cours des dernières années et a démontré son efficacité : le micro génie civil.

La réalisation de micro-rainures de faible largeur (5 à 10 mm) et de faible profondeur (60 à 160 mm) permet une réduction considérable des coûts. En optimisant la durée du chantier, elle permet aussi de diminuer les désagréments pour les riverains.



*Figure 9.22 : Principe de réalisation d'une micro-rainure sur chaussée ou trottoir*



*Figure 9.23 : Réalisation de micro-rainurage sur chaussée ou trottoir*

Le câble optique est posé dans la micro-rainure au fur et à mesure de l'avancement des travaux, le remplissage de la micro-rainure est réalisé immédiatement. Le génie civil est ainsi complètement réalisé en une seule passe. **Les gains de temps et de coût, la diminution de la gêne occasionnée pour les riverains et/ou le trafic sont considérables.**

En fonction du dimensionnement du réseau souhaité on choisira de poser des **câbles pour micro génie civil renforcés de contenances différentes**.

#### 9.8.4 DIMENSIONNEMENT DU RÉSEAU D'INFRASTRUCTURE

Sur un tronçon donné, le dimensionnement du réseau d'infrastructure (nombre de fourreaux) dépendra bien entendu :

- du plan de câble (nombre de câbles empruntant le tronçon en question),
- de la nature des équipements des tenants et aboutissants de part et d'autre du tronçon, en prenant en compte les plans d'urbanisme et extensions futures à court et moyen terme.

Dans tous les cas, on veillera à ménager, dans le cas d'une mise en place de nouveau fourreau, une disponibilité de l'ordre de 50% pour les extensions futures.

#### 9.8.5 PRISE EN COMPTE DES CHAMBRES ET ÉQUIPEMENTS ADAPTÉS

La mise en place, dans le réseau d'infrastructure d'accès, de tronçons sous tubés, est généralement motivée par une architecture arborescente et s'accompagne de la mise en place, dans les chambres de tirage, de branches de dérivations.

L'étude d'ingénierie devra déterminer en fonction des besoins :

- si les câbles sont soufflés directement au travers des points de dérivation,
- si certains micro-tubes doivent présenter des réserves de lavage dans les chambres pour permettre un "piqueage" de certains éléments de câbles en passage.

En fonction de cette étude, différents équipements de chambre pourront être implantés, en complément des boîtiers de raccordement optiques :

- simples protections des micro-tubes en passage,
- simples dérivations de micro-tubes,
- boîtes de dérivations pneumatiques.

L'étude devra s'attacher à prévoir l'ensemble des éléments de protection mécaniques des câbles. Les câbles soufflés dans les micro-tubes ne disposent pas, en effet, des renforts mécaniques traditionnels. Sur le trajet des fourreaux, le fourreau et les micro-tubes assurent la protection mécanique du câble. Cette protection devra être prolongée dans les chambres par différents moyens (retubage du câble, protection des micro-tubes en passage, etc...).

L'étude d'ingénierie s'attachera en particulier à étudier et garantir la cohérence et compatibilité des différents composants d'infrastructure entre eux et avec les boîtiers télécom :

- dimensionnement des chambres compatible avec les équipements implantés,
- protection des micro-tubes et éléments de câbles,
- compatibilité des micro-câbles et éléments de protection avec les points d'entrée et sortie des boîtiers de raccordement.

Dans tous les cas, pour permettre une reprise d'étanchéité lors des opérations de pose, les fourreaux destinés au soufflage (ou portage) de câbles ne devront pas être coupés au raz de la chambre.

## 9.9 MISE EN SERVICE D'UN RÉSEAU À BASE DE PON

Installer et maintenir des réseaux PON sur le terrain nécessite plusieurs étapes pour que les réseaux soient déployés correctement et fonctionnent sans erreur à la mise en service. Une partie importante de l'installation est le test terrain.

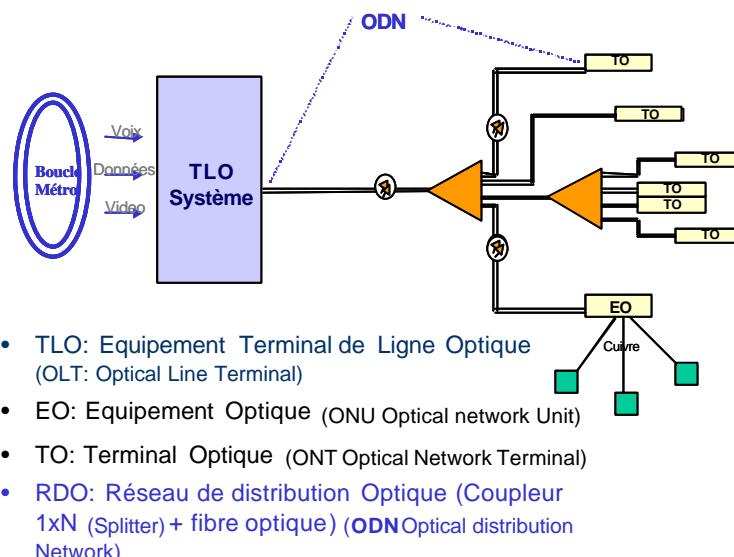


Figure 9.24 : Composants d'un réseau PON

En préambule, avant l'installation d'un système PON, le niveau physique devra être testé. Cela représente aussi bien le test de la fibre que les composants passifs (coupleur, splitter) déployés tout le long du réseau.

Ensuite, quand les équipements (OLT, ONU, ONT) seront mis en place, les différentes sections devront être testées. Cela correspond généralement à des essais composants ou essais locaux. Ceux-ci sont généralement fait par les fournisseurs d'équipements.

Enfin, quand les essais équipements sont achevés et validés, des essais intégrant le support et les équipements seront effectués démontrant les performances du réseau PON en service.

Ces essais définitifs sont importants et font aussi partie du processus de l'installation et de maintien en condition opérationnelle du réseau en servant de référence dans le temps.

Les améliorations du réseau exigent aussi des essais terrain. Pendant le processus de remise à niveau (par exemple plus de longueurs d'onde, plus de débit par canal, niveaux de puissance plus élevés), les conditions du réseau sont modifiées et un réglage des composants du système sera peut être nécessaire. Le système doit alors être optimisé et testé.

Le schéma repris ci-dessous est la synthèse des différents tests à effectuer suivant le processus de déploiement tel que décrit ci-dessus.

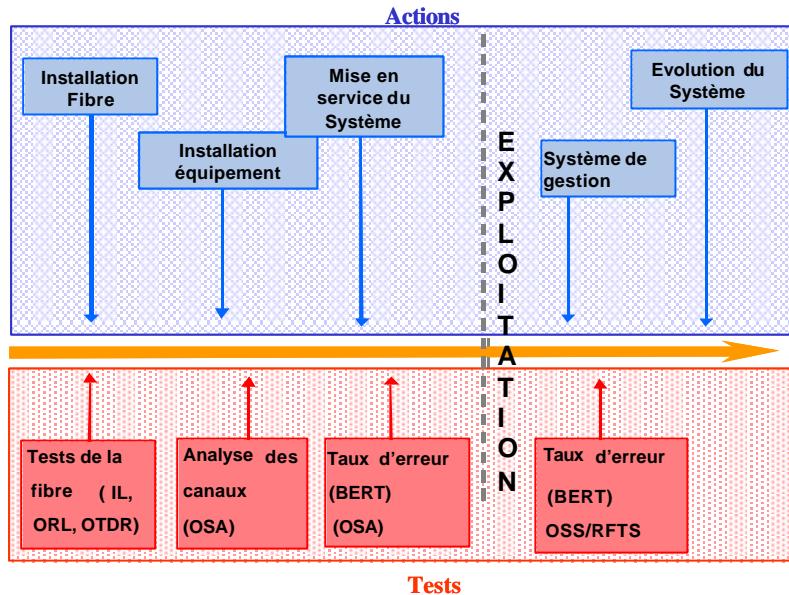


Figure 9.25 : Chronologie des tests dans le cycle de déploiement

Les tests à effectuer sur les réseaux PON sont très proches de ceux à effectuer sur les réseaux DWDM aux exceptions suivantes :

- possibilité d'utiliser un OSA (analyseur de spectre optique), mais sans l'obligation de mesurer l'OSNR (les raies ne sont pas très proches) et la précision de la longueur d'onde n'est pas aussi critique,
- possibilité d'utiliser un OTDR (Réflectomètre Optique) spécifique avec un logiciel associé car les distances sont courtes, et on doit pouvoir analyser toutes les branches,
- pas de besoins de mesure de PMD (Dispersion de Mode de Polarisation) et de CD (Dispersion Chromatique),
- pas de test d'amplificateur en ligne.



Pour en savoir plus..... Voir annexe CD ROM :

FICHE MESURE DES PON

# 10 – TECHNOLOGIES ET PRODUITS DES RÉSEAUX D'ACCÈS

Le réseau d'accès, souvent appelé "last mile" ou dernier kilomètre demeure le chaînon manquant pour amener aux utilisateurs finaux, qu'ils soient publics ou privés, les services dont ils sont demandeurs. En effet, si la fibre optique est déjà présente à différents niveaux hiérarchiques dans les réseaux de communication (WAN et MAN), **le dernier kilomètre est, du point de vue de l'utilisateur final le premier kilomètre.** C'est pourquoi le déploiement du réseau d'accès (ou réseau de desserte) représente le challenge des années à venir.

Nous allons, dans ce chapitre, présenter l'état de l'art des technologies et produits disponibles pour la réalisation des réseaux optiques d'accès.

## 10.1 QUELLE FIBRE POUR VOTRE APPLICATION ?

Dans le réseau d'accès comme dans le réseau de collecte, la fibre la plus couramment employée reste **la fibre monomode G652**. L'interopérabilité des fibres G652 entre elles reste un point fort de cette fibre optique qui est donc logiquement utilisée en continuité des réseaux d'accès. Grâce à son faible affaiblissement linéaire et à sa bande passante illimitée, la fibre monomode G652 permet la réalisation de liaisons courte, moyenne et longue distance à très hauts débits.

Pour des raisons économiques, les fibres multimodes peuvent être utilisées dans les tout derniers mètres.

La fibre monomode G652 classique ou à faible PMD, utilisable dans les bandes S, C et L, est parfaitement adaptée aux applications CDWM et DWDM. Ces techniques de multiplexage en longueurs d'onde étant majoritairement utilisées dans les réseaux d'accès, la fibre G652 constitue la solution optimale pour répondre aux besoins des réseaux d'accès.

Pour toute question relative à la fibre optique, sa fabrication et son fonctionnement, on se réfèrera à la "fiche fibre".



Pour en savoir plus..... Voir annexe CD ROM :

**FICHE FIBRE**

## 10.2 LES CÂBLES POUR LES RÉSEAUX D'ACCÈS

La problématique du réseau de desserte peut se décomposer en deux cas d'école :

- afin de se rapprocher ou d'atteindre l'usager, le câble optique peut emprunter des conduites existantes,
- si aucune conduite n'existe il faut réaliser un nouveau type de génie civil, moins onéreux, générant moins de gênes pour les riverains, plus souple et plus rapide que les solutions de génie civil mises en œuvre pour les réseaux de collecte.

Qu'il faille utiliser des conduites existantes ou en installer de nouvelles, le câble optique doit répondre à de nouvelles contraintes. Il doit être plus dense, plus léger, plus facile à mettre en œuvre.

Les solutions développées pour les câbles longue distance de très haute capacité (288 fibres et plus), mais de forte compacité, retrouvent ainsi un intérêt nouveau dans les infrastructures des réseaux d'accès.

### 10.2.1 RAPPEL SUR LES SOLUTIONS À MICRO-MODULES

Compte tenu de l'évolution des besoins vers :

- la très forte densification des câbles,
- un accès plus aisément aux fibres,
- l'accès en plein câble (Mid Span Access) pour permettre des piquages en ligne très fréquents.

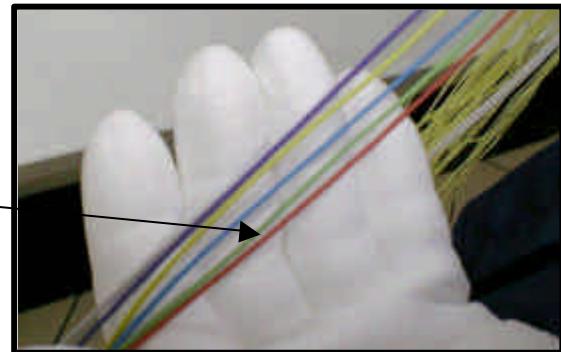
Les évolutions apportées aux câbles optiques pour les réseaux de télécommunications à très haute densité sont utilisées pour les réseaux d'accès.

Le câble optique doit répondre aux besoins des réseaux d'accès tout en respectant des limitations intrinsèques :

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

Des solutions optimales existent : elles sont fondées sur des **micro-modules souples contenant 12 fibres** avec un diamètre extérieur inférieur à 1,4 mm.

Micro-module contenant 12 fibres optiques



*Figure 10.1 : Éléments de câbles à micro-modules*

La réalisation de micro-modules plus compacts que les tubes du domaine des télécommunications (tube de 2.5 ou 2.8 mm de diamètre) permet aux câbles pour réseaux d'accès de gagner en volume et en facilité d'utilisation et de maintenance.

#### 10.2.2 CÂBLES À HAUTE DENSITÉ POUR PASSAGE EN CONDUITES STANDARD

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

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

##### Choix du câble pour conduite

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

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

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

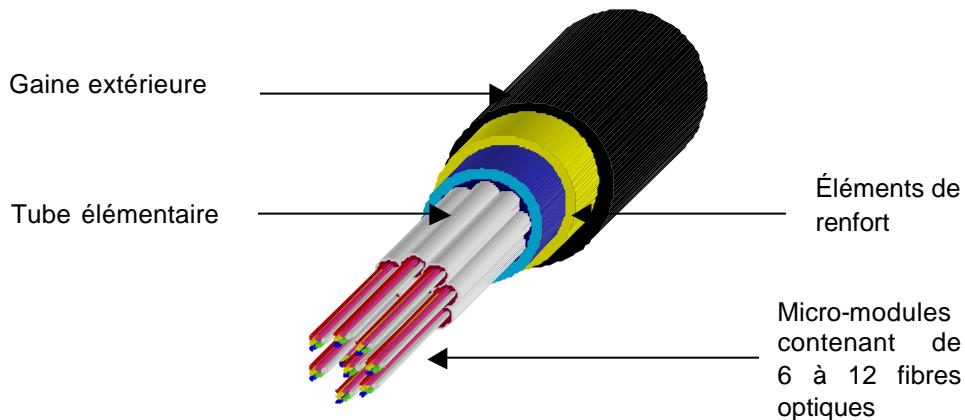


Figure 10.2 : Câble à micro-modules assemblés

### 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 ou portable. De plus l'armure acier rend le câble plus difficile à mettre en œuvre (ouverture, accès aux fibres, cheminement en parcours non rectiligne).

**Afin de palier un manque de standards internationaux concernant les attaques des rongeurs, de nombreuses séries de tests ont été réalisées par un laboratoire indépendant (voir fiche câble).**

En résumé :

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

Pour un niveau de risque élevé, les tests révèlent que la solution de câbles à structure diélectrique avec renforcement fibre de verre "hot melt" représente un optimum prix / performance. **Le renforcement à base de mèches de verre enduites étant nettement préférable dans le cas des réseaux d'accès pour sa plus grande légèreté et sa meilleure facilité de mise en œuvre.**

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

### 10.2.3 CÂBLES POUR PASSAGE EN MICRO-CONDUITES (5 À 12 mm)

Dans les cas de tubage de conduites existantes, de retubage de conduites encombrées ou de pose de nouvelles conduites, des câbles différents seront utilisés.

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

En fonction du nombre de fibres souhaité, on dimensionnera les micro-conduites nécessaires. C'est donc à partir du choix du nombre de fibres et donc du diamètre du câble que l'on va choisir la micro-conduite la plus appropriée. Deux structures de câbles optiques sont envisageables :

- le micro-module renforcé,
- le micro-câble.

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

Tableau 10.1 : Caractéristiques des micro-câbles pour micro-conduites

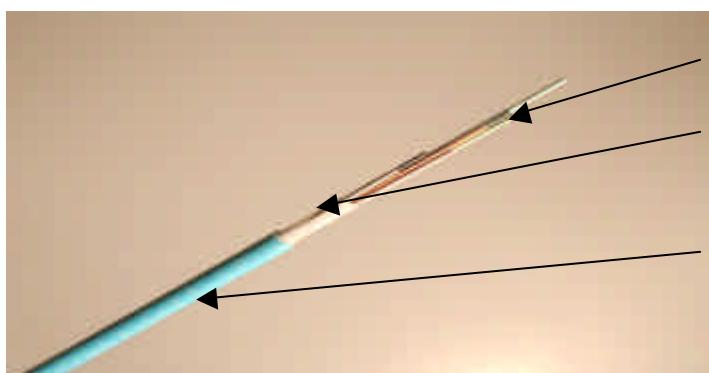
### 10.2.3.1 Les micro-câbles

Le soufflage de micro-câbles permet de faire transiter dans des conduites, encombrées ou non des câbles de contenances élevées (jusqu'à 144 fibres). Dans le cas de conduites déjà utilisées, le micro-câble permet d'utiliser le réseau existant pour faire transiter des quantités importantes de fibres optiques, par simple passage de micro-conduites de 5,5 à 12 mm de diamètre extérieur. Le micro-câble optique permet d'amener un maximum de fibres optiques, dans un encombrement très réduit.

Pour simplifier et sécuriser le déploiement de l'infrastructure optique, le choix de structures à base de micro-modules souples est impératif pour plusieurs raisons :

- les structures à base de loose tube rigides sont très fragiles,
- les micro-structures souples permettent de réaliser des accès en plein câble et des piquages en ligne très aisément,
- la mise en œuvre des boîtes de jonction est facilitée et sécurisée dans le cas de l'utilisation de micro-modules souples.

L'étanchéité sèche des micro-câbles est souhaitable pour faciliter la mise en œuvre, mais pas impérative.



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

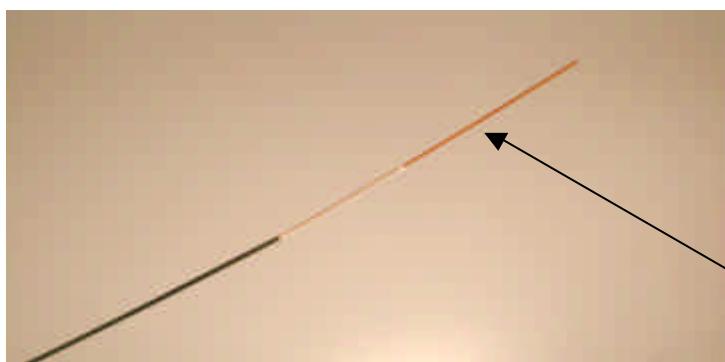
Ruban hydroponic permettant de garantir L'étanchéité du câble sans utiliser de gel.

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

Figure 10.3 : Câble 72 fibres de 6 mm pour soufflage en micro-conduites de type 8/10.

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

### 10.2.3.2 Les micro-modules renforcés



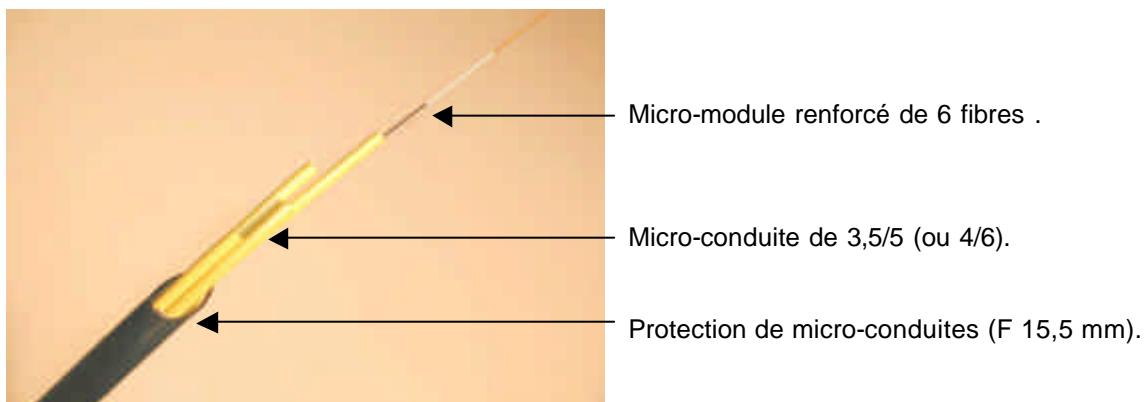
Les micro-modules renforcés ont un diamètre inférieur à 2 mm afin de pouvoir utiliser les conduites standard de type 3,5/5 mm (ou 4/6). La gaine extérieure devra avoir un coefficient de frottement le plus faible possible. Dans le cas d'applications intérieures la gaine LSOH sera impérative.

Fibres optiques

Figure 10.4 : Micro-module renforcé de 1,5 mm contenant 6 fibres optiques

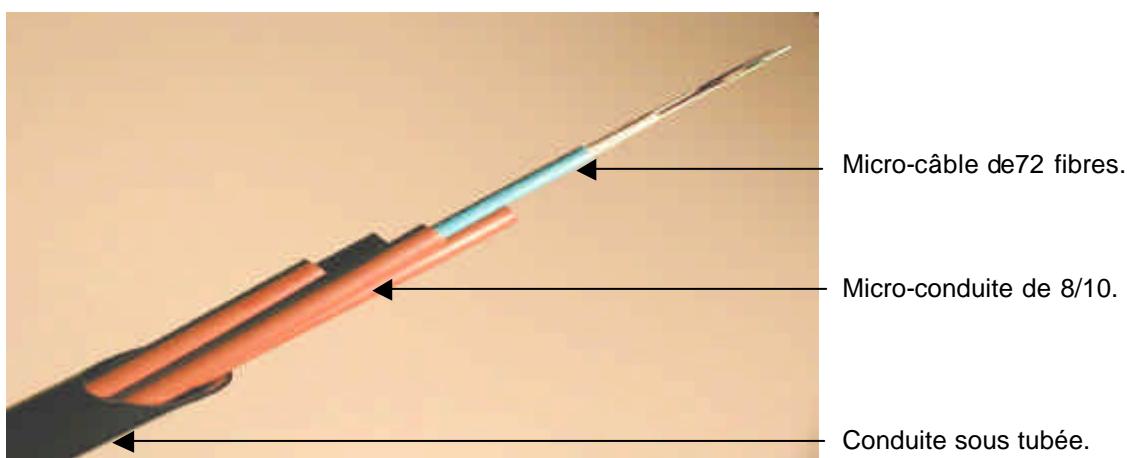
### 10.2.3.3 Mise en œuvre des micro-modules renforcés et des micro-câbles

Les micro-modules renforcés de 6 à 12 fibres sont soufflés en micro-conduites de 3,5/5 ou 4/6.



*Figure 10.5 : Conduite de 4 micro-conduites de 3,5/5 contenant un micro-module renforcé 6 fibres.*

Les micro-câbles optiques de 6 à 144 fibres optiques sont soufflés en micro-conduites de 5,5/7, 8/10 ou 10/12.



*Figure 10.6 : Conduite de 4 micro-conduites de 8/10 contenant un micro-câble de 72 fibres.*

Quelque soient les câbles et conduites retenues, les constructeurs doivent être à même de fournir des tests fiables de mise œuvre de ces composants :

- tests et résultats en conditions réelles de passage de plusieurs chambres de tirage,
- tests et résultats en conditions réelles de bouclages en plusieurs points,
- tests et résultats en conditions réelles sur longues distances.

### 10.2.3.4 Micro-conduites associées aux câbles

Les standards du marché sont fondés sur deux familles de micro-conduites :

- les micro-conduites capillaires de diamètre 3,5/5 (3,5 mm de F intérieur et 5 mm de F extérieur) ou 4/6,
- les micro-conduites de 8/10 (8 mm de F intérieur et 10 mm de F extérieur).

### Les micro-conduites de diamètre 3,5/5

Les micro-conduites capillaires de diamètre 3,5/5 permettent de desservir les abonnés. Ces micro-conduites sont souvent groupées par 4 dans un tube de diamètre extérieur 15,5 mm qui peut être aisément tiré ou soufflé dans des fourreaux existants. On parle alors de conduite sous tubée. Les micro-conduites de 3,5/5 peuvent évidemment être utilisées individuellement.

*Figure 10.7 : Conduite de F 15,5 mm sous tubée avec 4 micro-conduites de 3,5/5.*



### Les micro-conduites de diamètre 8/10

Les micro-conduites de 8/10 sont utilisées séparément : 1 micro-câble sera soufflé dans chaque conduite. Le passage par soufflage ou tirage de 1, 2 ou 3 tubes de 8/10 en fourreau est fréquent dans les infrastructures optiques actuelles.

Dans le cas où une densité supérieure à 3 tubes est nécessaire on prendra des conduites sous tubées de 4 ou 7 micro-conduites de 8/10.



*Figure 10.8 : Micro-câble soufflé en micro-conduite de 8/10.*

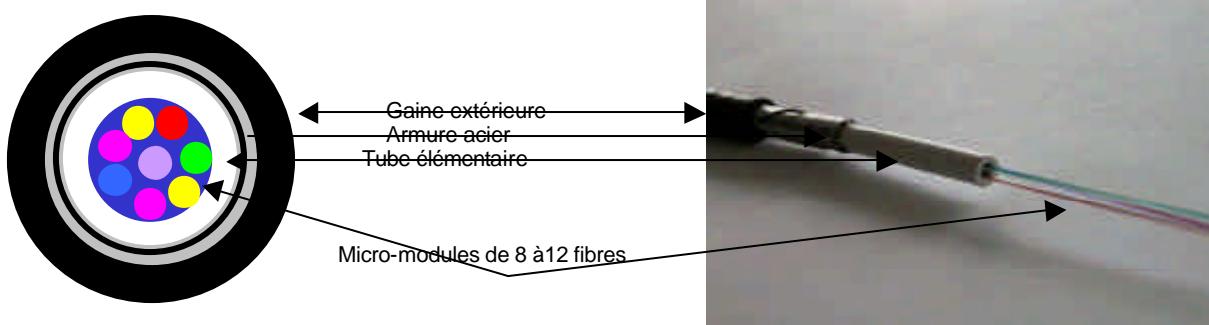


*Figure 10.9 : Conduite de F 15,5 mm sous tubée avec 4 micro-conduites de 3,5/5.*

#### 10.2.4 CÂBLES POUR LA POSE DIRECTE EN MICRO-RAINURE (MICRO-TRANCHÉE)

Le câble optique posé en micro-rainure doit répondre à des exigences mécaniques particulières. La plage de température de fonctionnement est étendue pour tenir compte des fortes variations de température du milieu. De plus les résistances radiales doivent être fortes pour résister au poids du matériau de remplissage ainsi qu'au passage des véhicules.

Le câble pour micro-rainure sera donc un câble utilisant les structures compactes de type micro-modules afin de conserver sa caractéristique essentielle qui est la compacité, tout en bénéficiant d'éléments de protection métalliques pour résister aux importantes contraintes thermiques et mécaniques.



*Figure 10.10 : Câble pour pose directe en micro-tranchée*

### 10.2.5 CÂBLES POUR POSE EN AÉRIEN

Dans les cas de contraintes spécifiques : distance importante entre le NF et le PR, hameaux excentrés en zone rurale, il est possible de réaliser certaines parties du réseau d'accès avec un câble aérien. Cette technique bien que peu esthétique, permet un déploiement rapide à moindre coût en utilisant des appuis existants (EDF, éclairage public, fixations sur bâtiments).

Cette solution peut être considérée comme provisoire en attendant un enfouissement du câble étalé dans le temps au gré de futurs travaux de génie civil en coordination avec la réalisation d'autres réseaux (adduction d'eau potable, de gaz etc...)

La pose de câble aérien bien que solution extrême, peut être réalisée sur des appuis existants appartenant à la Collectivité (éclairage public) ou loués (poteaux EDF) :

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

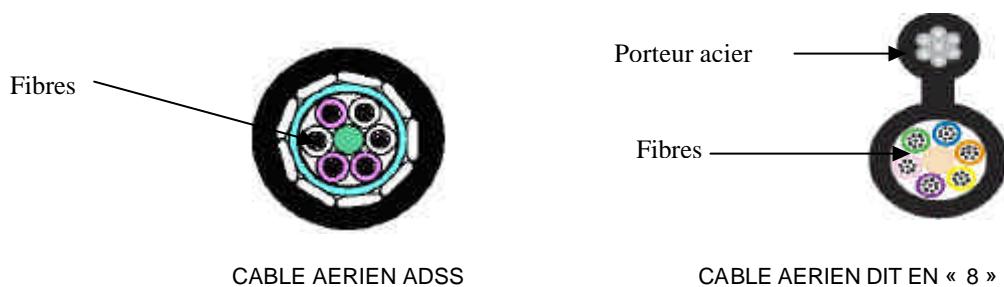


Figure 10.11 : Structures de câbles pour pose en aérien

### 10.3 LES CÂBLES D'INTÉRIEUR ET D'ACCÈS À L'ABONNÉ

Dans le cas du câblage d'intérieur et de l'accès à l'abonné, la structure du système de câblage est fondée sur l'utilisation de modules de deux fibres optiques.

#### 10.3.1 CÂBLE POUR ARCHITECTURE DE DISTRIBUTION EN ÉTOILE

Dans ce type d'architecture, on utilisera des câbles de deux fibres à structure serrée ou à structure libre. La structure serrée est appelée ainsi car elle est réalisée à partir d'une fibre nue (250 µm de diamètre) sur laquelle une gaine de protection de diamètre 900 µm est rajoutée. Des mèches d'aramide enveloppent la fibre serrée pour assurer une résistance en traction. Une gaine finale de 2 mm permet de terminer la protection de la fibre. Il est ainsi possible de connecter la fibre de 2 mm facilement. Ce type de structure est généralement appelé "break out".

Câble à structure serrée contenant 2 fibres présenté en coupe.

- 1- fibre optique de 250 µm de diamètre.
  - 2- mèches d'aramides.
  - 3- gaine de 2 mm.
  - 4- fibres de verre.
  - 5- gaine finale LSOH.
- Diamètre 5, 6 mm.

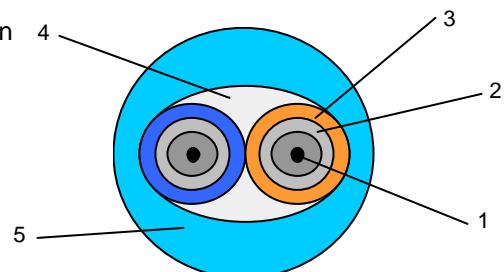


Figure 10.12 : Câble de distribution d'intérieur

La structure libre est réalisée en plaçant des fibres de 250 µm dans un tube.

- 1 - fibre optique 250 µm.
- 2 - minitube.
- 3 - produit de remplissage.
- 4 - mèches de verre.
- 5 - filin de déchirement.
- 6 - gaine LSOH
- Diamètre final 3 mm.

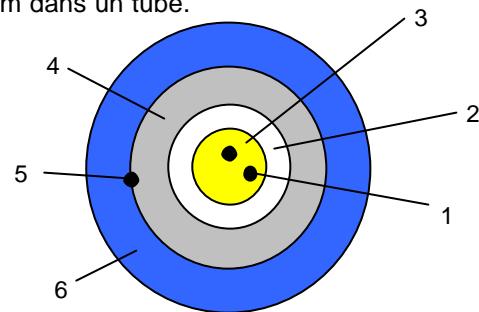


Figure 10.13 : Câble de distribution d'intérieur

#### Choix du câble de distribution

Dans le cas de la structure serrée, la tension maximale sera de l'ordre de 100 DaN pour un poids linéique de l'ordre de 30 kg/km, ce qui permet une pose manuelle par tirage aisée. La connectique sera montée sur la gaine 2 mm, la gaine 900 µm ou sur la fibre 250 µm. Dans le cas de la structure libre la tension maximale sera de l'ordre de 30 DaN pour un poids de 10 kg/km. La connectique sera montée directement sur la fibre 250 µm.

#### 10.3.2 CÂBLE POUR ARCHITECTURE À ACCESSIBILITÉ PERMANENTE

Dans le cas d'une architecture "à accessibilité permanente", on utilisera un câble à accessibilité permanente. La coupe d'un tel câble est présentée ci-après.

- 1 – micro-modules contenant de 4 à 12 fibres.
- 2 – porteurs latéraux.
- 3 – gaine extérieure LSOH.
- 4 – languette d'ouverture.

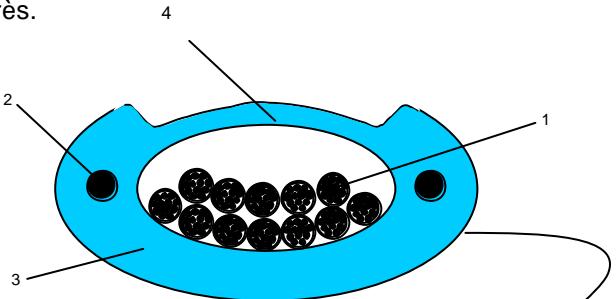


Figure 10.14 : Coupe de Câble à Accessibilité Permanente (CAP)

On réalisera avec un outil adéquat une ouverture au niveau de la languette du câble (4).

Cette ouverture permet l'accès à un micro-module dont deux fibres vont être soudées à un câble de 2 fibres de type "break out". Le câble "break out" ainsi connecté desservira un usager ou un groupe d'usagers en optique ou en cuivre via un convertisseur.

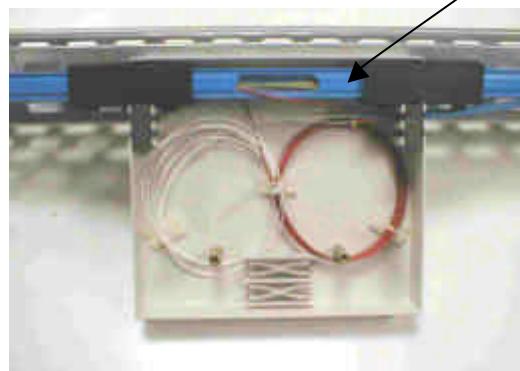


Figure 10.15 : Boîtier de distribution pour Câble à Accessibilité Permanente (CAP)

Figure 10.16 : Distribution optique d'intérieur d'abonné



### 10.3.3 PROTECTION AU FEU

Quel que soit le type de câble retenu, il faudra s'assurer que les câbles choisis répondent à des impératifs de sécurité incendie.

La tenue au feu est nécessaire dans les bâtiments même si aucune norme ne l'impose aujourd'hui formellement. Il s'agit notamment de garantir le non dégagement de substances halogénées et de fumées opaques en cas d'incendie et de retarder la propagation de la flamme et de l'incendie.

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

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

#### Non propagation de la flamme (flame retardant)

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

Norme internationale et équivalences :	EN 50265.1, CEI 60332-1, EN50265.2.1
Norme Française :	NF C 32-070 2.1 (catégorie C2)

*Tableau 10.2 : Normes de non propagation de flamme*

Les essais CEI, EN et NF sont désormais harmonisés et identiques. Le test C2 consiste à enflammer le câble posé verticalement dans une cheminée et à s'assurer que le câble s'éteint naturellement sans s'être consumé sur plus de 50 cm.

**Un cahier des charges pour une installation en intérieur doit demander une protection minimale de type C2 à défaut de pouvoir l'imposer par référence à une norme existante.**

#### Non propagation de l'incendie (fire retardant)

Norme internationale et équivalences :	EN 50266, CEI 60332-3, NFC 32072
Norme Française :	NF C 32-070 2.2 (catégorie C1)
Autres normes	IEEE 383

*Tableau 10.3 : Normes de non propagation d'incendie*

Les essais de la norme CEI (ou ses équivalents) pour juger de la non propagation de l'incendie sont réalisés sur des câbles posés en nappes verticales. Les normes CEI comportent trois catégories d'essais (A – B – C) définies suivant la quantité de matériau combustible présent par mètre de nappe.

Catégorie	Volume de matériau par mètre de câble (litre / m)	Durée d'application de la flamme (en minutes)
A	7	40
B	3,5	40
C	1,5	20

*Tableau 10.4 : Essais de non propagation d'incendie*

L'essai est satisfaisant si la partie des échantillons de câble carbonisée n'atteint pas une hauteur supérieure à 2,50 m au-dessus du brûleur.

Pour les câbles optiques, la catégorie C est généralement demandée, elle est jugée suffisante à défaut d'être imposée par une norme.

Pour la norme NFC (ou catégorie C1), un faisceau de câbles disposé verticalement est exposé à l'action d'un four (830°C) et d'une ventilation forcée. La durée de l'essai est de 30 minutes. L'essai est satisfaisant si la partie des échantillons de câbles carbonisée n'atteint pas 0,80 m au-dessus du four.

**La protection C1 peut-être demandée si cela est compatible avec le type de câble choisi : peu de gel, PeHD.**

La Directive européenne des Produits de Construction (CPD) prévoyant les mesures de dégagement de chaleur (EN 50266 modifiée) est ratifiée par le CENELEC et applicable depuis Septembre 2003.

La tenue au feu type C1 est comparable à l' "Euroclass C"; la tenue au feu C2 est comparable à l' "Euroclass D".

#### Normes d'émission de fumées (opacité des fumées)

Norme internationale et équivalences :	EN 50268, CEI 61034, NFC 32 073
Norme Française :	NF C 20-902

*Tableau 10.5 : Normes d'émission de fumées*

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

#### Normes d'émission de gaz toxiques

Norme internationale et équivalences :	EN 50267-2-1, CEI 60754.1
Norme Française :	NF C 20-454

*Tableau 10.6 : Normes d'émission de gaz toxiques*

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

#### Normes d'émission de gaz corrosifs

Norme internationale et équivalences :	EN 50267 2.2, CEI 60754.2
Norme Française :	NF C 32-074 et NF C 20-453

*Tableau 10.7 : Normes d'émission de gaz corrosifs*

Les essais déterminent la corrosivité par mesure de l'acidité et de la conductivité des gaz dégagés lors de la combustion des matériaux de gainage ou d'isolation. Ces normes sont aussi utilisées pour qualifier l'utilisation de matériaux "Zéro Halogène" (ZH).

#### **Low Smoke Zero Halogen (LSOH)**

Norme Française :	NF C 32-062.
-------------------	--------------

*Tableau 10.8 : Normes d'émission d'halogènes*

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

Toute installation d'intérieur doit utiliser des câbles certifiés ZH ou LSOH par le constructeur.

Dans le cas du réseau de desserte d'intérieur, une protection à la flamme de type C2 est nécessaire. La protection au feu de type C1 est souhaitable, mais impose certaines restrictions sur les choix de structures de câbles.

**Le non-dégagement de substances dangereuses en cas d'incendie est un paramètre primordial pour la sécurité des personnes. Un câble LSOH est nécessaire en câblage d'intérieur. Aucune norme n'imposant à ce jour ce type de protection, il est préférable de notifier clairement voire d'expliciter ce besoin.**

## 10.4 LES ACCESSOIRES DE RACCORDEMENT DANS LE RÉSEAU D'ACCÈS

### 10.4.1 PRÉAMBULE

Comme il a été vu au chapitre précédent, le réseau d'accès va être déployé sur différents types d'habitat :

- urbain dense,
- urbain résidentiel,
- zone d'activité,
- rural dispersé.

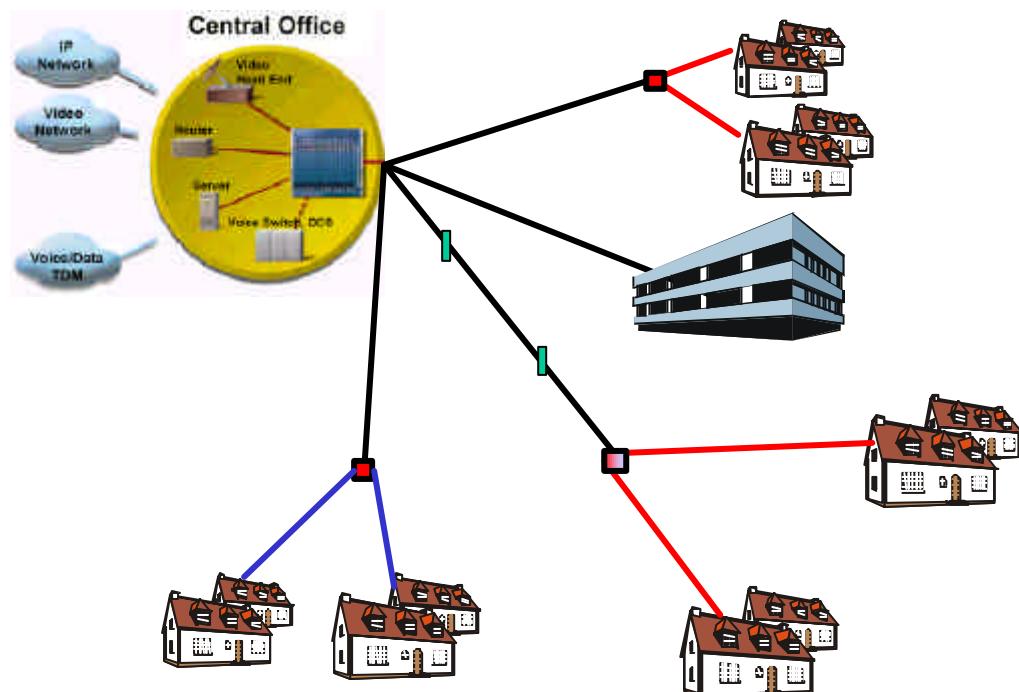


Figure 10.17 : Architecture du réseau d'accès

Suivant des modes de pose très différents :

- réseau directement enterré,
- sous conduite,
- aérien,
- sur façade.

Parfois avec des contraintes locales :

- pas d'armoire sur trottoir,
- pas d'appui sur poteau,
- pas d'énergie.

Les accessoires de réseaux seront donc adaptés à ces nouvelles contraintes avec en plus l'intégration de nouvelles fonctionnalités que sont les déports d'équipements et le partage des fibres. Un point également important sera la prise en compte des interventions et des branchements de paires de fibres au fil des abonnements.

#### 10.4.2 LE RÉPARTITEUR AU NŒUD D'ACCÈS (NA)

Les trois critères principaux dans le choix du répartiteur seront :

- l'application privilégiée à savoir connexion d'équipements ou brassage de liens,
- la capacité finale en nombre de connexions,
- l'environnement (salle dédiée, mutualisée, etc.).

Le détail sur les critères de choix d'un répartiteur est présenté au chapitre 7.4 et dans la fiche technique répartiteur.

Par contre, il est bon de préciser que, suivant le taux de partage des fibres au point de branchement le NA aura une capacité de 300 à 1000 fibres suivant la densité d'habitat. Au Danemark on envisage même des points à 10 000 fibres pour les zones urbaines denses avec liens sécurisés.

**Recommandation :** dans la mesure du possible les répartiteurs verticaux sur ferme seront privilégiés par rapport aux systèmes en armoire. Comme pour le cuivre ces systèmes ouverts, sans contrainte d'évolution de la capacité ont fait leur preuve comme la meilleure solution sur les répartiteurs grandes capacités et cela depuis bientôt 15 ans. La seule contrainte est d'ordre environnemental, c'est à dire qu'il faudra y consacrer un local ou une partie de local sécurisé.

#### 10.4.3 LES BOÎTIERS DE RACCORDEMENT

Les fonctionnalités et les critères de choix décrits au chapitre 7 restent valables pour les jonctions simples et les boîtes de distribution.

Le point de distribution de fibres ou point de branchement d'abonné en chambre souterraine sera traité de la même manière avec une attention particulière sur les possibilités de d'intervention : ouverture / fermeture / étanchéité.

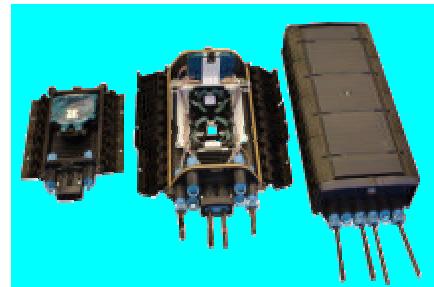


Figure 10.18 : Boîtiers de raccordement

Rappel des définitions :

**Jonction simple (End Of Cable)** : boîte permettant de raccorder un câble à un ou plusieurs câbles. Autres appellations : boîte de jonction ou joint droit.

**Boîte de distribution (Cable Distribution Point)** : boîte permettant de piquer plusieurs éléments ou tubes en plein câble sans couper les autres éléments.

Application : alimentation d'une boucle secondaire à partir de la boucle principale de desserte.

**Boîte de distribution de fibres (Fiber Distribution Point)** : boîte permettant de piquer une ou plusieurs fibres en plein câble sans couper les autres.

Application : branchement d'un abonné

#### 10.4.4 LES NŒUDS DE FLEXIBILITÉ PASSIFS (NF)

Fonctionnellement ces nœuds sont semblables aux sous répartiteurs cuivre du RTC. Il est d'ailleurs avantageux d'utiliser les mêmes contenants ou armoires passives pour composer ces nœuds.

D'une façon générale, la plupart des accessoires de réseau utilisés sur le cuivre peuvent être reconditionnés à l'usage de l'optique.

Cela présente un triple intérêt :

- harmonisation dans le paysage urbain avec les contenants du RTC ou du réseau CATV,
- possibilité d'utiliser les mêmes techniques de pose, emplacements et appuis,
- financier, base des produits standard :
  - armoires de rue,
  - boîtes sur poteaux,
  - manchons aériens.

Les nœuds de flexibilité pourront également être mixtes cuivre optique en cas de coexistence de deux réseaux ou d'évolution de média.



*Figure 10.19 : Nœud de Flexibilité en armoire de rue*

#### 10.4.5 LES NŒUDS DE FLEXIBILITÉ ACTIFS

Trois cas de figures existent en terme d'implantation :

- en local opérateur, colocation ou client,
- dans la rue en armoire,
- sous la rue en chambre.

En extérieur, c'est certainement le point de réseau le plus complexe à gérer et maintenir.

Il est rare de trouver comme en CATV des équipements adaptés aux contraintes extérieures, par conséquent cela oblige à recréer un environnement climatisé type intérieur. L'alimentation électrique, sa transformation (redresseur) et son secours (batterie) sont également à prendre en compte dans l'étude de ce point.

Le fait d'être complètement en optique ne permettra généralement pas les solutions de télé alimentation.



*Figure 10.20 : Nœud de Flexibilité actif*

#### 10.4.6 LES POINTS DE BRANCHEMENT

C'est sans doute au point de branchement que l'on peut envisager et trouver la plus grande diversité de solutions techniques. Elles seront mises en œuvre en fonction de l'habitat et du type de réseau :

Urbain dense :

- coffret en chambre souterraine,
- coffret sur façade type RTC,
- coffret en local ou gaine montante,
- type branchement CATV.

Urbain résidentiel :

- coffret en borne,
- coffret sur façade avec remontée aéro-souterraine,
- coffret en chambre,
- manchon en aérien,
- coffret aérien sur appui poteau.

Zone d'activité : coffret en borne

- coffret en chambre.

Rural dispersé : coffret en borne

- manchon en aérien,
- coffret aérien sur appui poteau.



Figure 10.21 : Points de branchement

La particularité du point de branchement sera la présence de coupleurs passifs afin de remonter un minimum de fibres aux points de flexibilité et au nœud d'accès. Ces composants sont standard et très souvent proposés dans des cassettes interchangeables avec celles d'épissurage. Ainsi est-il possible d'organiser sa gestion de fibres en fonction du besoin ou même du contrat d'abonné : fibres dédiées / fibres partagées / mixte des deux solutions.

# 11 – RÈGLES ET TECHNIQUES DE MISE EN ŒUVRE DES CÂBLES

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

## 11.1 POSE DE CÂBLES AU TREUIL

Elle se pratique de moins en moins, notamment sur les réseaux très longues distances. Les méthodes de portage ou de soufflage remplacent en effet progressivement les treuils.

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

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

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

### 11.1.1 RECOMMANDATION POUR LE TIRAGE DE LONGUEURS DE 0 ET 900 m

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

### 11.1.2 RECOMMANDATION POUR LE TIRAGE DE LONGUEURS SUPÉRIEURES À 900 m

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

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

### 11.1.3 RECOMMANDATION POUR LE TIRAGE DIT "BOUCLE DE TAMON"

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

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

## 11.2 POSE DU CÂBLE PAR SOUFFLAGE

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

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

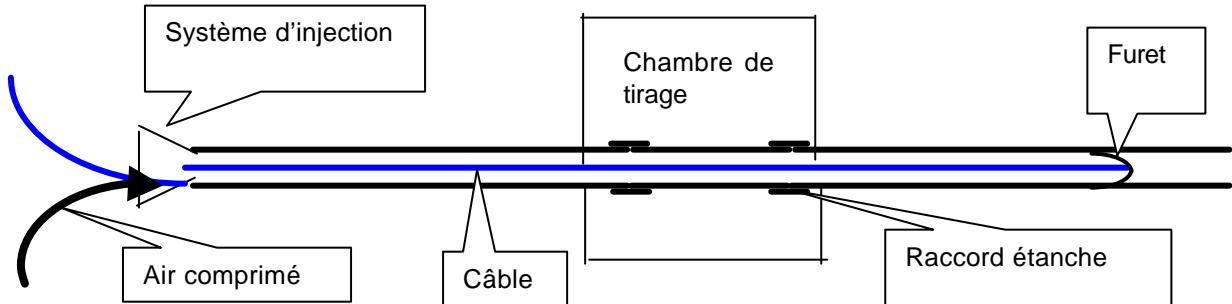


Figure 11.1 : Pose par soufflage

Par rapport au portage :

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

### 11.3 POSE DU CÂBLE PAR PORTAGE (AIR)

C'est sans doute la méthode la plus pratiquée de par le monde aujourd'hui. Le câble est toujours poussé mécaniquement, mais contrairement à la méthode précédente, il n'est pas tiré par la tête à l'aide d'un furet, mais par un très fort courant d'air qui passe à grande vitesse le long du câble et qui par sa viscosité l'agrippe sur l'ensemble de sa surface pour le tirer à l'intérieur 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.

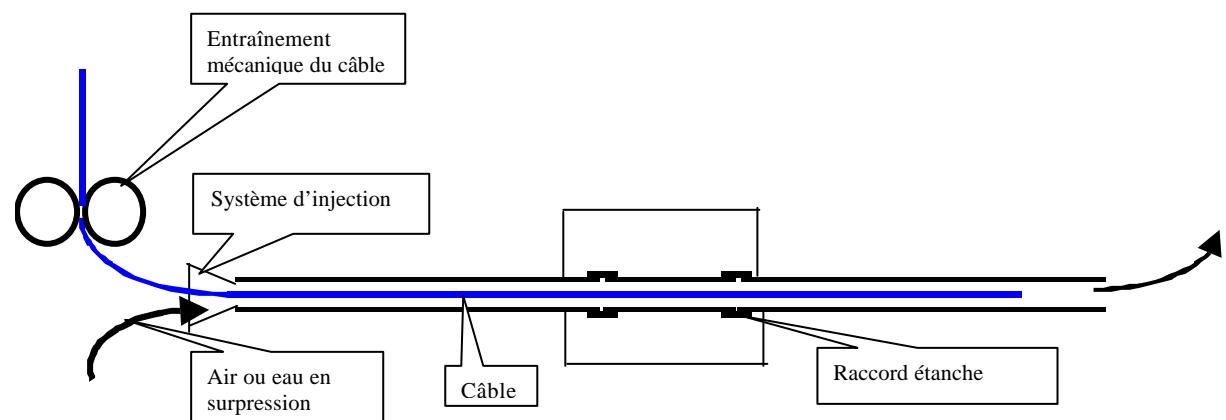


Figure 11.2 : Pose par portage

### 11.3.1 IMPACT SUR LES CÂBLES

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

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

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

Plus la surface du câble sera lisse et dure (PeHD, PeMD, nylon), plus la distance de pose sera longue. Un câble de très forte rigidité (pratiquement plus malléable à la main) ou ayant une très forte mémoire de forme aura une distance maximale de pose plus courte.

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

Un câble à armature non-concentrique peut provoquer des frictions plus importantes contre le fourreau et verra ses distances de pose raccourcies, mais il sera surtout un handicap à la pose d'un 2<sup>ème</sup> câble et à son usage dans les accessoires de réserve de lovage.

### 11.3.2 IMPACT SUR LES FOURREAUX

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

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

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

Le rapport D/d (Diamètre intérieur 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.

### 11.3.3 POSE DE CÂBLES MULTIPLES

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

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

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

#### 11.3.4 PRÉCAUTIONS À PRENDRE PENDANT LA MISE EN PLACE

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

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

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

Il est utile de rappeler ici que :

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

Caractéristiques du compresseur :

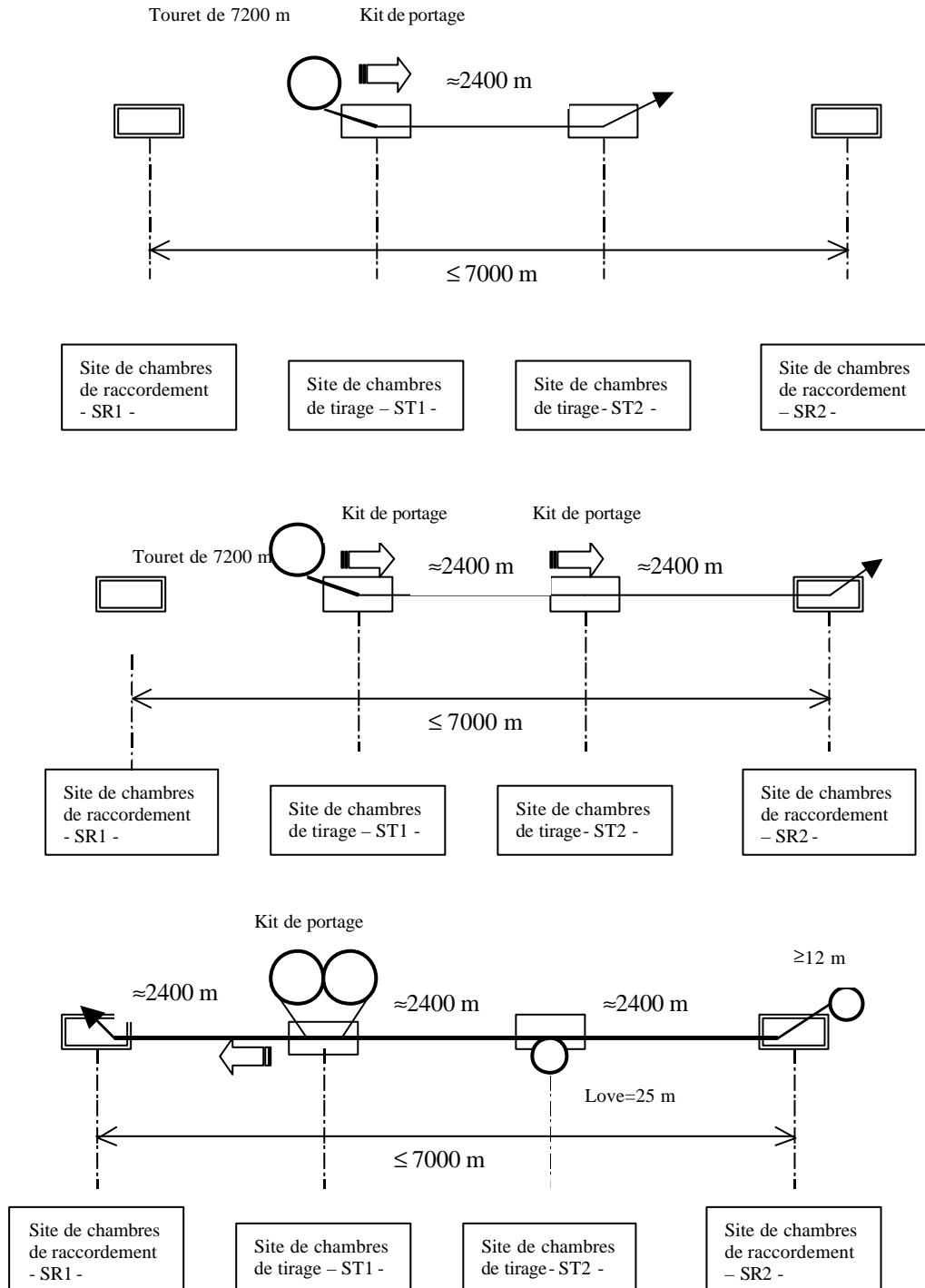
Pression exigée	12 bars (maximale et idéale), minimum 8 bars. La perte de longueur maximale de pose est d'environ 10% par bar en moins
-----------------	--

Débit minimum nécessaire, selon diamètre intérieur / extérieur du fourreau :	
3,5/5 mm	1 000 litres / minute
8/10 mm	1 500 litres / minute
27/32 mm	5 500 litres / minute
33/40 mm	7 500 litres / minute
42/50 mm	10 000 litres / minute

*Tableau 11.1 : Caractéristiques du compresseur pour la pose par portage*

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

### 11.3.5 EXEMPLE DE MISE EN PLACE D'UN PORTAGE SUR 7200 m EN 3 ÉTAPES



*Figure 11.3 : Étapes d'un portage sur 7200 m*

## 11.4 POSE DU CÂBLE PAR FLOTTAGE (EAU)

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

### 11.4.1 AVANTAGES DE LA MÉTHODE

Elle rend possible de plus longues portées, jusqu'à 3, voire 4 fois celles réalisables par le portage. Pas d'échauffement exagéré dû au compresseur. Lors de la pose d'un 2<sup>ème</sup>, voire 3<sup>ème</sup> câble, les performances du flottage sont nettement supérieures à celle du portage.

### 11.4.2 DÉSAVANTAGES DE LA MÉTHODE

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 portage.

## 11.5 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.

### 11.5.1 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.

### 11.5.2 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 câblette à l'aide d'un émerillon. Si un entraîneur intermédiaire est utilisé, on vérifiera qu'il n'induit pas d'effort de torsion sur le câble.

#### 11.5.3 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 éviter toute formation de boucle. Pour dévider un touret de câble les spires doivent être prélevées par rotation du touret, soit en utilisant un dérouleur de câble, soit en faisant rouler le touret. Dans le cas de pose en conduit extérieur, les équipements ad-hoc (poulies de renvoi, galets de guidage, gouttières de protection,...) seront utilisés afin de limiter les rayons de courbure des câbles et également afin de réduire le frottement sur des angles vifs.

#### 11.5.4 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.

#### 11.5.5 LES CONTRAINTES CLIMATIQUES

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

## 12.1 GÉNÉRALITÉS

Les missions d'exploitation et de maintenance des réseaux à haut débit sur fibre optique sont au cœur de l'organisation pour assister les différentes équipes qui interviennent sur le réseau (déploiement, commercialisation...). Le personnel d'exploitation et de maintenance est en relation directe avec les clients pour la prise en compte des évolutions, la gestion des modifications, des interventions en maintenance curative et préventive et pour la gestion des travaux programmés. La mise en place d'un système de gestion (Base de Données) favorise les échanges et limite les ressources internes. Le couplage avec un système de supervision (RFTS) permet de diminuer notamment le temps de diagnostic lors d'un dérangement et d'assurer une surveillance du réseau en comparant les valeurs mesurées aux valeurs de référence.

## 12.2 ORGANISATION

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 concessionnaire ou le gestionnaire du réseau, d'autres pourront être sous-traitées (maintenance de niveau 1).

La proximité entre l'exploitation et la maintenance peut amener à regrouper les deux activités au sein d'une même entité. Les principales fonctions sont énumérées ci-dessous :

### 12.2.1 EXPLOITATION

- étude des circuits et calcul des bilans optiques,
- étude des interconnexions,
- édition des ordres de travaux,
- suivi des mesures et contrôle des dossiers techniques,
- suivi des mises en service,
- élaboration ou contrôle des cahiers de recette fournis aux clients,
- élaboration des méthodes et procédures d'exploitation,
- planification des travaux programmés,
- édition et suivi de la documentation.

### 12.2.2 MAINTENANCE

- élaboration des méthodes et procédures de maintenance,
- réception des dérangements (centre d'appels),
- suivi des tickets d'incident,
- coordination des interventions avec les clients (centre d'appels ou coordinateur),
- édition ou suivi de la documentation.

### 12.2.3 BASE DE DONNÉES

- gestion de la base,
- mise à jour des données,
- évolution du logiciel.

## 12.3 EXPLOITATION

La mission d'exploitation concerne la mise à disposition, la modification et la suppression de liens optiques sur le réseau. Certaines tâches sont, en général, sous-traitées à des entreprises externes. Dans ce cas, le personnel d'exploitation doit piloter les entreprises, contrôler le travail réalisé, analyser les mesures et coordonner les actions avec le client.

Pour un bon déroulement du processus, il faut :

- étudier le routage et le bilan optique de la liaison,
- étudier les points d'interconnexion et les modalités de mise en œuvre,
- contrôler les mesures et établir le cahier de recette qui sera communiqué au client et aura une valeur contractuelle,
- suivre la mise en service du lien.

#### 12.3.1 CALCUL DU BILAN OPTIQUE

Le bilan optique est calculé aux deux longueurs d'onde (1310 nm et 1550 nm). Il doit tenir compte de l'affaiblissement linéaire de la fibre (typiquement 0,40 dB/km à 1310 nm et 0,25 dB/km à 1550 nm pour une fibre monomode G652), de la valeur moyenne des soudures par fusion (0,10 dB) et des valeurs des points de connexion (0,5 dB pour 2 fiches + 1 raccord).

#### 12.3.2 MESURES DU CIRCUIT OPTIQUE

Le personnel d'exploitation doit être formé pour vérifier les tableaux de mesures et analyser les courbes effectuées sur le terrain. Lors de la recette deux mesures sont préconisées :

- la mesure de rétrodiffusion réalisée au moyen d'un réflectomètre optique double longueur d'onde à 1310 nm et 1550 nm. Elle consiste à mesurer la puissance optique rétro diffusée vers l'origine de la fibre. Elle permet d'obtenir une cartographie détaillée du lien. Elle sera réalisée dans les deux sens de transmission.
- la mesure d'insertion qui 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 dBm avec un radiomètre calibré, à 1310 nm et 1550 nm. Chaque circuit sera testé dans les deux sens.

### 12.4 MAINTENANCE

#### 12.4.1 MAINTENANCE CURATIVE

Les dérangements sont émis par les clients sous la forme d'un appel téléphonique confirmé par l'envoi d'un fax ou d'un mail au centre d'appels accessible 24h/24 et 7j/7. Les appels sont réceptionnés en langue anglaise ou française. Le centre d'appels doit enregistrer les appels et assurer le suivi et la traçabilité des interventions.

Le concessionnaire ou gestionnaire du réseau s'engage à intervenir, à diagnostiquer et à rétablir le ou les circuits défectueux dans les délais convenus par contrat avec le client. Pendant toute la durée de l'incident, le centre d'appels est en relation avec le ou les clients. Il est en charge de transmettre le rapport de diagnostic, la durée prévisionnelle de l'interruption et la fiche de clôture de l'incident. L'intervention sur site est réalisée par des équipes d'astreinte munies du matériel de test et de réparation et d'un stock minimum de maintenance (câble, pigtail, connecteurs, jarretières optiques...). A la fin de l'intervention un cahier de recette est transmis au client.

L'efficacité des équipes en maintenance curative tient à l'élaboration de procédures simples et précises. Elle impose la présence de techniciens ayant une bonne connaissance de l'environnement et des procédures et ayant une bonne expertise technique. L'efficacité passe aussi par une formation des mainteneurs et des opérateurs du centre d'appels. Elle impose de donner accès en temps réel au système de gestion du réseau. Elle nécessite, aussi, de savoir tester les procédures en organisant des tests à blanc avec les clients. Les techniciens de maintenance sont munis de l'outillage fibre optique et des matériels de mesure (réflectomètre, bobine, ...)

#### 12.4.2 MAINTENANCE PRÉVENTIVE

La maintenance préventive est souvent réduite à un contrôle visuel des éléments passifs du réseau. L'échelonnement des visites peut varier en fonction de la situation et de la criticité. Elle peut être réalisée lors des interventions courantes d'exploitation et de maintenance.

Néanmoins, pour des installations étendues et denses, la mise en place d'un système de surveillance RFTS (Remote Fiber Test System), permet d'analyser périodiquement et de manière automatique le réseau, et informe en temps réel des modifications de caractéristiques sur les câbles en précisant la localisation.

#### 12.4.3 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.

### 12.5 PROCÉDURES

Le contrat conclu avec le client doit inclure, en annexe, différentes procédures :

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

### 12.6 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 et d'une base papier, nécessaire pour les interventions sur le terrain où il n'est pas possible d'accéder au système de gestion ou pour des données uniquement papier (plans).

#### 12.6.1 SYSTÈME DE GESTION

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

#### 12.6.2 DOSSIER DE RECETTE

Le dossier comprend les éléments suivants :

- les valeurs d'affaiblissement mesurées par insertion dans les deux sens et aux deux longueurs d'onde (1310 nm et 1550 nm),
- les mesures de réflectométrie à 1310 nm et 1550 nm dans les deux sens de transmission.

Les paramètres minimum suivants seront notés :

- indice de propagation,
- origine de la mesure,
- extrémité de la mesure,
- sens de la mesure,
- longueur de la liaison,
- fenêtre de mesure,
- valeur du connecteur d'origine,
- valeur du ou des connecteur(s) intermédiaires(s) (éventuellement),
- valeur du connecteur d'extrémité,
- valeur de chaque épissure ainsi que sa distance par rapport au point de mesure,
- taux de réflexion des événements.

Les résultats sont fournis sur papier et disquettes.

#### 12.7 FORMATION

La formation doit être ciblée en fonction du profil et du rôle de chaque intervenant en exploitation et en maintenance : manager, superviseur, technicien, opérateur du centre d'appels, sous-traitants. En plus d'une information générale sur le réseau et une forte sensibilisation aux risques que génèrent toute intervention, il faut assurer des formations par métier et fournir les procédures d'intervention et les procédures d'accès aux informations du système de gestion.

##### **Procédure de Protection "Sécurité Laser"**

Les puissances lumineuses mises en œuvre par les Lasers à la sortie de certains équipements télécoms sont susceptibles d'endommager l'œil si les précautions opératoires ne sont pas correctement suivies. Le personnel intervenant sur les réseaux télécoms doit être averti des risques encourus et des procédures opératoires permettant de se prémunir contre ces risques.



Pour en savoir plus..... Voir annexe CD ROM :

**FICHE SÉCURITÉ LASER**

## 12.8 QUALITÉ

La qualité de service offerte au client, nécessite une forte réactivité des équipes dont l'efficience s'appuie sur un système d'information fédérateur (voir ci-dessus).

Elle impose d'intégrer dans l'étude et le déploiement du réseau les contraintes d'exploitation et de maintenance, par exemple en favorisant l'installation d'éléments vulnérables (points de brassage, boîtiers de raccordement...) dans des zones accessibles 24h/24 et 7 j/7 ou d'éviter de les placer dans des zones à risque, inondation par exemple. Il faut aussi dimensionner le réseau de manière à avoir une capacité de réserve permettant de rétablir provisoirement les circuits défectueux (reroutage).

### 12.8.1 INDICATEURS DE QUALITÉ

Une bonne gestion de réseau nécessite de produire périodiquement (trimestriellement ou semestriellement) des informations sur les performances. Les éléments sont regroupés dans deux chapitres : production et exploitation.

#### Production :

- nombre de circuits mis à disposition,
- respect de la date contractuelle de livraison (%),
- retards exprimés en jours,
- nombre de circuits modifiés,
- nombre de circuits supprimés.

#### Exploitation :

- nombre de dérangements signalés,
- nombre de dérangements concernés par le gestionnaire,
- durée moyenne de l'incident,
- temps de diagnostic,
- temps de réparation,
- taux de disponibilité du réseau exprimé en %.

### 12.8.2 COMMENT AMÉLIORER LES PERFORMANCES DE QUALITÉ ?

#### Quelques données sur les exigences contractuelles de GTI et GTR

GTI : Garantie de Temps d'Intervention,

GTR : Garantie de Temps de Rétablissement.

Les données fournies ci-après correspondent à des exigences moyennes constatées dans les contrats de location de fibres. Ils résultent du caractère stratégique et commercial des flux véhiculés sur ces fibres par les clients opérateurs.

En cas d'interruption d'un circuit unitaire (fibre ou paire), le fournisseur s'engage :

- à intervenir dans un délai de 2 heures ou à déterminer le défaut dans un délai de 4 heures,
- à rétablir le circuit en provisoire ou en définitif dans un délai de 8 heures. En cas d'incident majeur sans possibilité de reroutage, le délai de rétablissement peut atteindre 24 heures.

Pour les câbles dédiés, le fournisseur s'engage :

- à intervenir dans un délai de 2 heures ou à déterminer le défaut dans un délai de 8 heures,
- à réparer le câble dans un délai de 72 heures pour un câble 96 fibres et 96 heures pour un câble 144 fibres, en garantissant le rétablissement d'un minimum de 24 fibres pendant les 24 premières heures.

### Quelques données significatives

Sur 10 incidents (hors problème de génie civil) d'une durée moyenne de 7 heures, on s'aperçoit que le temps pour connaître le lieu et le type d'incident représente 2 heures. En assurant une surveillance permanente du réseau (RFTS), en plus d'anticiper les défaillances, on peut garantir une localisation précise du défaut et réduire le délai de diagnostic. On peut aussi déclencher directement l'astreinte par message SMS,

Sur ces 10 incidents on s'aperçoit que 20 % des dérangements sont des problèmes majeurs (câble sectionné, brûlé...), 30 % proviennent d'éléments défectueux du réseau (pigtail, connecteur, jarretière optique...) et 50 % sont consécutifs à des interventions humaines.

L'augmentation des performances de qualité passe par une qualification des entreprises sous-traitantes et une formation du personnel.

## 12.9 OUTILS D'AIDE À L'EXPLOITATION

### 12.9.1 INTRODUCTION

Des solutions complètes et intégrées dédiées à la supervision des réseaux optiques métropolitains sont à la disposition des gestionnaires de réseau. Ces outils automatisés et incontournables pour la maîtrise de ces réseaux (GTI et GTR) vont faciliter les opérations d'exploitation et de maintenance grâce notamment aux fonctionnalités suivantes :



*Figure 12.1 : Modules d'outils d'aide à l'exploitation*

- système complet pour l'exploitation et la maintenance curative et préventive (Qualité de Service) des réseaux de fibre optique,
- système de surveillance 24h/24 7j/7, et test à la demande à distance (localisation précise, recette),
- détection d'intrusion (supervision fibre active),
- documentation détaillée du réseau sur fond de plan cartographique avec :
  - informations détaillées sur les éléments du réseau, sur la connectique et les routes optiques,
  - mise à jour de la documentation automatique à partir des mesures terrain.
- interface utilisateur conviviale,
- gestion d'astreinte par SMS, GSM...,
- information accessible depuis un navigateur WEB.

#### 12.9.2 QUELS AVANTAGES ?

Les aspects économiques liés au déploiement de tels outils sont à prendre en compte et à bien évaluer. Les avantages liés à ces solutions sont de plusieurs ordres :

##### avantages économiques :

- diminution du temps de localisation du défaut,
- diminution du personnel d'exploitation,
- réduction des équipements portables,
- pénalités contractuelles (SLA),
- concept de maintenance automatisée,
- tests centralisés (recette),
- protection des revenus en fidélisant ses clients,
- sécurité des réseaux (documentation..).

##### avantages fonctionnels :

- meilleure efficacité des équipes de maintenance,
- meilleure documentation du réseau,
- management par domaines,
- qualité de service,
- amélioration MTTR (temps de réparation ),
- génération de rapports,
- amélioration de l'efficacité du planning et du déploiement,
- maintenance proactive.

##### avantages commerciaux :

- meilleure offre SLA,
- accès WEB pour les clients,
- génération de rapports,
- réglage d'une voie DWDM (si fourniture de bande passante),
- management des clients.

#### 12.9.3 DOCUMENTATION DU RÉSEAU

##### *Une documentation du réseau facile à utiliser et à maintenir*

Les opérateurs en charge des réseaux métropolitains ont à exploiter des réseaux denses où les modifications sont fréquentes.

Une documentation fidèle de leur réseau est pour eux un outil indispensable. La documentation papier ou sous forme de dessin, bien que très précise, n'est pas adaptée à de fréquentes mises à jour. Elle est souvent refaite aux différentes phases du réseau : conception, installation et exploitation.

Lors de l'exploitation elle devient rapidement décalée par rapport à la réalité car de nombreuses modifications ne sont pas reportées (application ou compétence non disponible).

La solution proposée, doit permettre de suivre avec la même base de documents, l'évolution du réseau du prototypage jusqu'à l'exploitation. Entièrement informatisées, les mises à jours sont faciles et rapides.

Cette documentation est composée d'éléments disparates (courbes réflectométriques, tracé des câbles, plan, cartes, schémas de dérivation et de baie de brassage, etc).

Une base de données relationnelle fondée sur un Système d'Information Géographique (SIG) permet de lier ces différents éléments hétérogènes tout en simplifiant l'accès. Directement à partir de la carte, l'utilisateur navigue entre les différents éléments de son réseau.

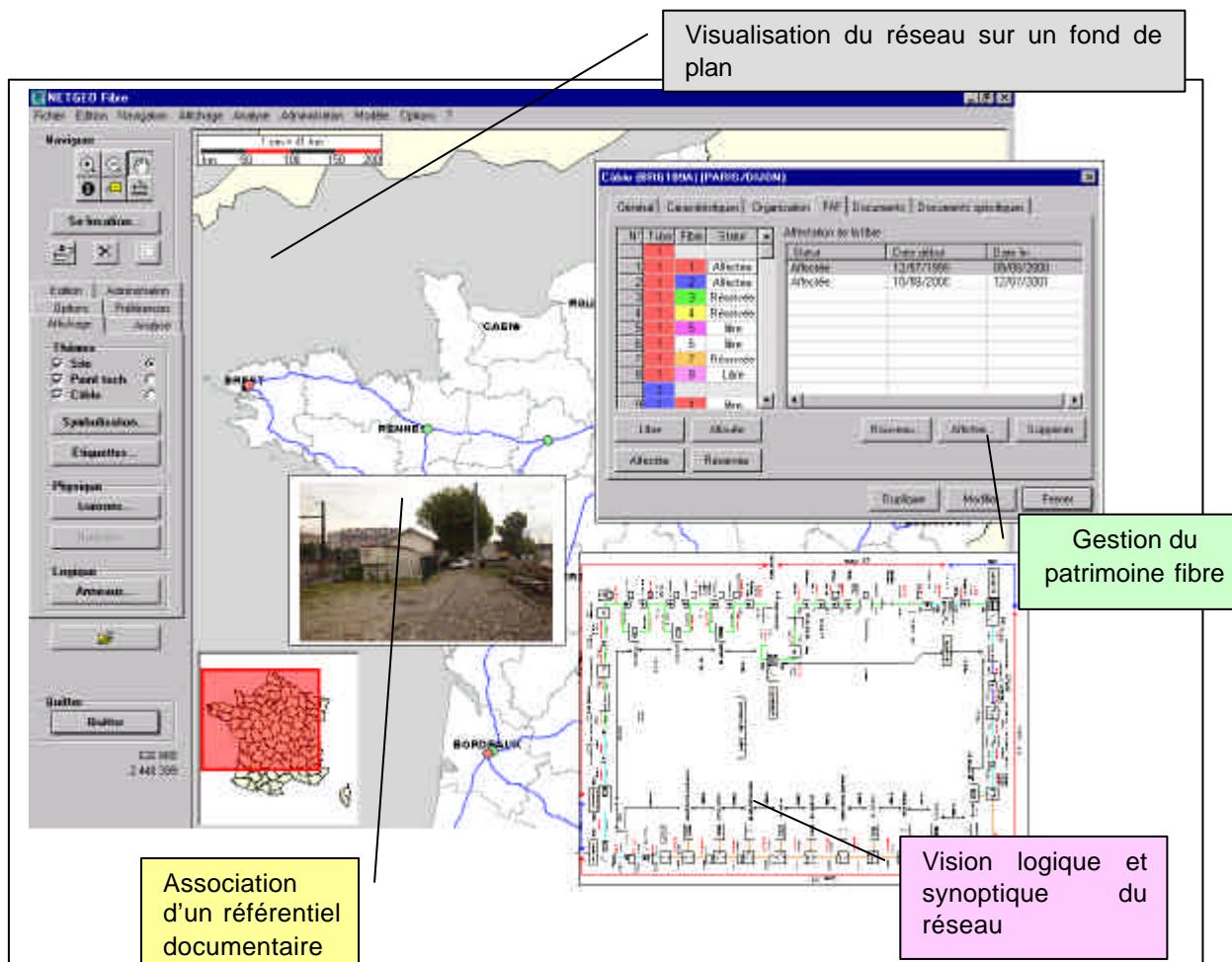


Figure 12.2 : Outils d'aide à la documentation des réseaux

#### 12.9.4 MAINTENANCE PRÉVENTIVE ET LOCALISATION RA PIDE DE DÉFAUTS

Le système de surveillance localise précisément 24h/24 et 7j/7 les dégradations des fibres optiques en quelques secondes. Sensibles à de très faibles variations, les dégradations sont détectées dès leur apparition. Les réparations peuvent ainsi être effectuées avant que l'utilisateur ne soit affecté.

En cas de coupure du câble optique, l'endroit exact du problème sera donné en quelques secondes. Il est ainsi possible de prendre immédiatement les mesures adéquates pour minimiser les conséquences chez l'utilisateur final (Avertissement des utilisateurs, re-routage, etc).

Fondée sur des mesures réflectométriques, la performance du système est donnée par les réflectomètres utilisés. Pour un réseau métropolitain, la précision en distance est très critique. Une erreur de quelques dizaines de mètres peut avoir des conséquences dramatiques sur le temps d'intervention ou sur l'évaluation des conséquences.

### Un système complet

Le système doit offrir dans une même solution la documentation de réseau et le système de surveillance car ils se complètent mutuellement. Si elle n'est pas attachée à des mesures terrain, la documentation du réseau est déconnectée de la réalité. Les mauvaises surprises ne manquent pas alors d'arriver lors des mises en service.

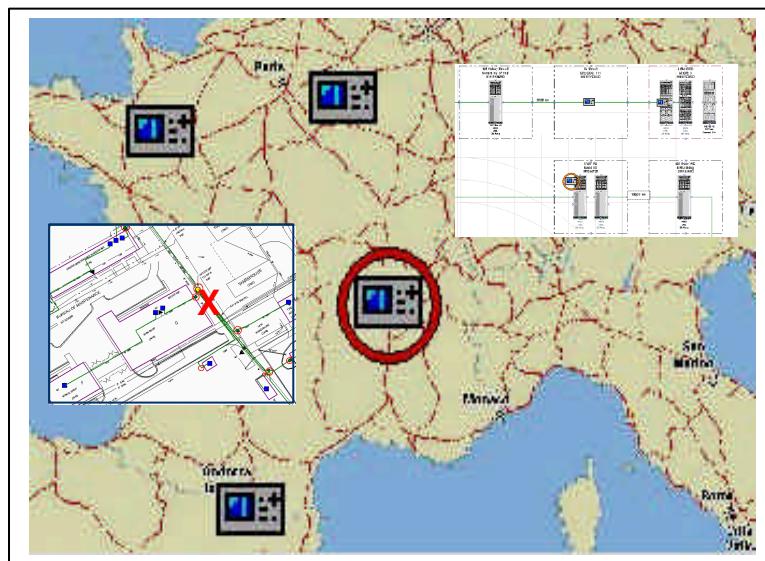


Figure 12.3 : Outils d'aide à la localisation des défauts

De même la localisation de dégradation est pauvre si ne sont pas associées sa position géographique exacte et ses conséquences en termes d'exploitation (clients et services affectés, solutions de secours possibles, etc.).

Seule l'intégration des deux solutions apporte un réel bénéfice pour l'exploitation et la maintenance du réseau.

### Une information accessible à tous les intervenants

Les clients des fournisseurs de fibre noire souhaitent être informés en temps réel de la performance des fibres louées. Ils peuvent ainsi déterminer si les problèmes potentiels proviennent de leurs équipements ou de la fibre. Pour cette raison le système doit offrir la possibilité de connaître l'état courant des fibres louées à partir d'un navigateur WEB. L'utilisateur final est ainsi renseigné en temps réel.

### Un système évolutif

La solution pour réseau métropolitain doit pouvoir facilement évoluer vers un système de plus grande envergure ou vers de nouvelles technologies comme le DWDM.

### Caractéristiques

- documentation complète du réseau physique,
- système d'information géographique,
- alerte des utilisateurs avec calendrier d'astreinte,
- accès à partir d'un navigateur WEB,
- rapports de performance,
- large gamme de réflectomètres,
- évolutivité vers la surveillance DWDM.



Pour en savoir plus..... Voir annexe CD ROM :

### FICHE OUTILS D'AIDE À L'EXPLOITATION

# 13 – ACRONYMES

Acronyme	Terminologie	Définition
<b>A</b>		
ADM	Add and Drop Multiplex	Équipement de transmission permettant d'extraire et d'insérer des trames secondaires dans un train numérique à haut débit (brasseur)
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
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)
ART	Autorité de Régulation des Télécommunications	Organisme français chargé de réguler le marché et les services de télécommunications; il donne en particulier les autorisations d'exploitation sur les différents types de réseaux
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
<b>B</b>		
BER	Bit Error Rate	Taux d'erreur
BLR	Boucle Locale Radio	Terme regroupant l'ensemble des techniques "sans fil" mises en œuvre dans les installations fixes de la boucle locale, en opposition avec les solutions câblées (RTC et CATV)
<b>C</b>		
CAA	Centre à Autonomie d'Acheminement	Central de commutation du réseau téléphonique commuté
CATV	Community Antenna Television	Réseaux d'Antennes Communautaires
CCITT	Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique	Ancien terme utilisé pour désigner l'UIT-T. Organisme international chargé d'établir les normes et standards en matière de télécommunications
CD	Chromatic Dispersion	Dispersion chromatique : paramètre physique traduisant, dans les fibres monomodes, la différence de vitesse de propagation d'une onde lumineuse en fonction de la longueur d'onde. Le phénomène est dû à la dépendance de l'indice de réfraction en fonction de la longueur d'onde
CEI	Commission Électrotechnique Internationale	(voir IEC)
CIADT	Comité Interministériel d'Aménagement et de Développement du Territoire	
CPL	Courant Porteur en Ligne	Technique de transmission de données permettant d'utiliser le câblage "courants forts" à l'intérieur du logement (indoor) ou au niveau final du réseau de distribution BT de l'EDF (outdoor)
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplexing	Technique de multiplexage en longueurs d'ondes. Les longueurs d'ondes sont ici relativement espacées.

D		
DBS	Direct Broadcast Satellite	Système de diffusion directe de signaux de télévision par satellite
DCF	Dispersion Compensation Fiber	Fibre à dispersion chromatique négative. Cette fibre entre dans la composition des modules de compensation de dispersion.
DCM	Dispersion Compensation Module	Module de compensation de dispersion. Ces modules permettent de réaliser une compensation de dispersion chromatique sur un tronçon de fibre
DDE	Direction Départementale de l'Equipement	
DECT	Digital Enhanced (ou European) Cordless Telecommunications	Système développé en même temps que le GSM. Principalement dédié aux liaisons sans fil (cordless) sur courte distance
DivX		Format de compression vidéo propriétaire
DLC	Digital Loop Carrier	Architecture déportant les fonctions d'accès du commutateur téléphonique dans le réseau de distribution
DOCSIS	Data Over Cable System Interoperability Specifications	Spécification de communication entre les modems câbles et les équipements de terminaison; elle a été approuvée sous forme de norme par l'IUT
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
DVD	Digital Versatile Disk	Disque optique permettant de lire (et d'enregistrer) des programmes vidéo
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing	Technique de multiplexage (optique) en longueur d'ondes permettant de véhiculer plusieurs signaux sur la même fibre optique, par la mise en œuvre de plusieurs (jusqu'à 100 canaux) dans la même fenêtre de transmission (1550 nm)
E		
EDGE	Enhanced Data rate for GSM Evolution	Norme compatible avec le GSM (2 <sup>e</sup> génération) permettant d'augmenter les débits
ETSI	European Telecommunication Standardization Institute	Organisme Européen chargé de la normalisation pour l'ensemble du domaine des télécommunications
F		
FC	Fiber Connector	Technologie de connecteur optique
FC/APC	Fiber Connector / Angled Physical Contact	Connecteur FC de type APC
FDDI	Fiber Distributed Data Interface	Standard de transmission de données à 100 Mb/s sur un réseau local en fibres optiques
FDM	Frequency Division Multiplexing	Multiplexage en fréquences
FH	Faisceau Hertzien	
FITL	Fiber In The Loop (Fibre dans la boucle locale)	Regroupe l'ensemble des architectures de réseaux de distribution (d'accès) mettant en œuvre les technologies optiques
FRP	Fiber Reinforced Polymer	Matière polymère résistante utilisée dans la protection des câbles
FSAN	Full Service Access Network	Terme générique regroupant les normes de réseaux d'accès optiques, notamment la recommandation G.982 d'IUT-T.
FSO	Free Space Optic	Technologie de liaison point à point mettant en œuvre la transmission des signaux par un faisceau optique en transmission libre (non guidée) dans l'atmosphère

FTTB	Fiber To The Building	Architecture de réseau de distribution sur fibres optiques où la terminaison optique est située en pied d'immeuble et dessert les logements situés dans l'immeuble (10 à 50)
FTTC	Fiber To The Curb	Architecture de réseau de distribution sur fibres optiques où la terminaison optique est située sur le trottoir et dessert un faible nombre de logements (10 à 20)
FTTH	Fiber To The Home	Architecture de réseau de distribution sur fibres optiques où la terminaison optique est située dans le logement des usagers
FTTN	Fiber To The Node	Architecture de réseau de distribution sur fibres optiques où la terminaison optique dessert un nombre important de logements (250 à 1000)
FTTU	Fiber To The User	Architecture de réseau de distribution où la terminaison optique est située chez chaque usager
FWM	Four Wave Mixing	Mélange 4 ondes : phénomène non linéaire indésirable impactant les transmissions optiques

## G

GFU	Groupe Fermé d'Utilisateurs	
GMPLS	Generalized Multi Protocol Label Switching	Evolution du protocole MPLS permettant son utilisation avec n'importe quel type de brasseurs
GPRS	Global Packet Radio Service	Evolution de la norme GSM de deuxième génération permettant, par l'introduction de techniques de transmission par paquets, d'augmenter les débits
GRT	Gestionnaire de Réseau de Transport	Terme adapté au marché du Transport d'électricité
GSM	Global System for Mobile Communication	Norme européenne de téléphonie cellulaire très répandue dans le monde, en concurrence avec la norme CDMA
GTI	Garantie de Temps d'Intervention	Règle imposée aux sous traitants en charge de la maintenance des réseaux
GTR	Garantie de Temps de Rétablissement	Règle imposée aux sous traitants en charge de la maintenance des réseaux

## H

HDLC	High level Data Link Control	Protocole de communication de type "liaison de données" (couche 2 de l'ISO)
HFC	Hybrid Fiber Coax	Architecture de réseau large bande basée sur l'introduction de technologies optique sur le transport, tout en assurant la distribution finale vers les abonnés par des technologies coaxiales arborescentes

## I

IEC	International Electrotechnical Commission	Comité de normalisation international
IP	Internet Protocol (Protocole Internet)	Mis au point par Vinton Cerf et Robert Kahn au début des années 70, ce protocole de communications attribue à chaque machine une adresse qui permettra l'échange d'informations, transmises de manière discontinue (par paquets).
ISO	International Standard Organisation	Organisme international de normalisation
IUT	International Union Télécommunications	(voir UIT)
ITU-R	International Telecommunication Union – Radiocommunications Standardisation Section	Organisme international chargé d'établir les normes et standards en matière de radiocommunications (voir CCIR)

ITU-T	International Telecommunication Union – Telecommunications Standardisation Section	Organisme international chargé d'établir les normes et standards en matière de télécommunications (voir CCITT)
<b>J</b>		
JPEG	Joint Photographic Expert Group	Norme de compression des images fixes
<b>L</b>		
LAN	Local Area Network	Réseau local – Réseau d'entreprise
LC		Technologie de connecteur optique
LMDS	Local Multipoint Distribution Service	Version particulière du MMDS
LS	Liaison Spécialisée	
LSOH	Low Smoke 0 (Zero) Halogen	Matériau de gainage des câbles optiques permettant de garantir, en cas d'incendie, la faible diffusion de fumées et le non dégagement de substances halogénées
LTA	Loose Tubes Assemblés	Technique d'assemblage de câbles optiques
<b>M</b>		
MAC	Medium Access Control	Décrit les couches 1 et 2 (physique et données) liées à la signalisation des services interactifs
MAN	Metropolitan Area Network	Réseau métropolitain de télécommunications
MGCP	Media Gateway Control Protocol	
MJPEG	Motion JPEG	Norme de compression dérivée de JPEG et appliquée aux images animées
MMDS	Multichannel Multipoint Distribution System	Système de distribution large bande utilisant la diffusion terrestre sur des fréquences allant de 1 à plusieurs dizaines de GHz
MPEG	Motion Picture Expert Group	Groupe ayant défini les standards de compression d'images animées dits MPEG et notamment MPEG-2 mis en œuvre dans les normes DVB
MPLS	Multi Protocol Label Switching	Standard permettant l'optimisation du routage des paquets IP dans un réseau d'opérateur ; il est indépendant des protocoles des couches 2 et 3 de l'ISO
MT		Technologie de connecteur optique
MTTR	Mean Time To Repair	Temps moyen de réparation d'un défaut
MU		Technologie de connecteur optique
MVDS	Multipoint Video Distribution System	Autre terminologie utilisée pour le MMDS
<b>N</b>		
NA	Nœud d'Accès	Nœud de l'architecture du réseau d'accès
NF	Nœud de Flexibilité	Nœud de l'architecture du réseau d'accès
NRA	Nœud de Raccordement d'Abonné	Terme utilisé dans le contexte du dégroupage pour désigner le local de raccordement associé au CAA
NRZ	Non Return to Zero	Technique de codage des signaux numériques
NTSC	National Television Systems Committee	Système de télévision analogique utilisé principalement en Amérique du Nord
NZDSF	Non Zero Dispersion Shift Fiber	Fibre à dispersion chromatique décalée non nulle
<b>O</b>		
OFA	Optical Fiber Amplifier	Amplificateur optique
OLA	Optical Line Amplifier	Amplificateur optique
OLT	Optical Line Termination	Terminaison optique du réseau d'accès située dans le central de rattachement
ONT	Optical Network Termination	Terminaison optique du réseau
ONU	Optical Network Unit	Terminaison optique du réseau d'accès située du côté abonné
ORL	Optical Return Loss	Réflectance : affaiblissement de réflexion d'onde en retour

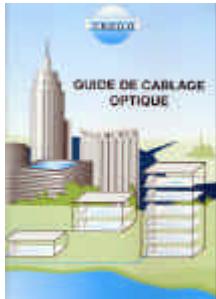
OSI	Open System Intercommunication	Modèle défini par l'ISO pour décrire les différents protocoles de communications
OSNR	Optical Signal Noise Ratio	Rapport signal à bruit optique
OTDR	Optical Time Domain Reflectometer	Réflectomètre optique : appareil de mesure destiné à analyser et qualifier une liaison fibre optique
OXC	Optical Cross Connect	Equipement de commutation et brassage de canaux optiques
<b>P</b>		
PAL	Phase Alternating Line	Système de télévision en couleur adopté dans un grand nombre de pays, notamment en Europe ; il se décline en plusieurs variantes
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
PDA	Personal Digital Assistant	Terminal "numérique" personnel
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy	Hiérarchie numérique mise en œuvre dans les réseaux de télécommunications (2, 34, 140 Mb/s...). Cette norme est définie par l'UIT-T
PeHD	Polyéthylène Haute Densité	Matériau de gainage des câbles optiques et de composition des fourreaux
PeMD	Polyéthylène Moyenne Densité	Matériau de gainage des câbles optiques
PMD	Polarization Mode Dispersion	Dispersion des Modes de Polarisation : phénomène de dispersion dû à la différence de temps de propagation entre deux modes orthogonaux sur une liaison monomode longue distance.
PON	Passive Optical Network	Réseau Optique Passif - Terme générique regroupant les architectures de réseau d'accès de type partagé et fondé sur les technologies fibres optiques. Elles se déclinent généralement en PON-RF (radiofréquence), E-PON (PON Ethernet) et A-PON (PON ATM)
POP	Point de Présence Opérateur	Local dans lequel sont hébergés les équipements d'un opérateur et à partir duquel il peut délivrer des services.
PR	Point de Raccordement d'usagers	Noeud de l'architecture du réseau d'accès à partir duquel sont branchés les clients
PVC	PolyVinyl Chloride	Matériau de gainage des câbles optiques et de composition des fourreaux
<b>Q</b>		
QDMA	Quadratic Division Multiple Access	
<b>R</b>		
RFTS	Remote Fiber Test System	Système de surveillance et test de câbles optiques à distance
RPR	Resilient Packet Ring	Norme (IEEE 802.17) présentée comme le successeur de SDH, orientée paquets et adapté au mode sans connexion
RTC	Réseau Téléphonique Commuté	Réseau téléphonique général
RTU	Remote Test Unit	Equipement de test distant
RVB	Rouge / Vert / Bleu	
<b>S</b>		
SC	Subscriber Connector	Technologie de connecteur optique
SC/APC	SC - Angled Physical Contact	Connecteur SC de type APC
SDH	Synchronous Digital Hierarchy	Hiérarchie de transmission numérique synchrone définie par l'UIT-T ; ex : 155 Mb/s
SDI	Serial Digital Interface	Interface numérique série. Normalisation de l'échange de vidéo numérique par câble. Utilisée en vidéo professionnelle.
SDV	Switched Digital Video	Vidéo numérique commutée

SECAM	Sequential coding Color Amplitude Modulation	Système de télévision en couleur adopté en France et dans un certain nombre de pays d'Europe
SIF	Source Intermediate Format	Format utilisé pour MPEG-1
SIG	Système d'Information Géographique	Système d'Information permettant de gérer à partir d'une cartographie, les emplacements des équipements d'un réseau
SIP	Session Initiation Protocol	Protocole défini par l'IETF pour la transmission de la voix sur IP; concurrent de la norme H.323
SLA	Service Level Agreement	Contrat décrivant le niveau de service entre un fournisseur et son client
SMPTE	Society of Motion Picture and Television Engineers	Organisme de normalisation
SMS	Short Message Service	Technique d'échange de messages courts sur le GSM
SOHO	Small Office Home Office	Petits abonnés professionnels
ST		Technologie de connecteur optique
STMx	Synchronous Transfert Modex	Désigne la classe de transmission dans la hiérarchie SDH - STM1, STM4, STM16, STM64, STM256. Cette norme est définie par l'UIT-T
<b>T</b>		
TCP	Transmission Control Protocol	Protocole de communication de la couche transport de l'OSI (mode avec connexion)
TDM	Time Domain Multiplexing	Technique de multiplexage temporel
TIC	Technologie de l'Information et de la Communication	
TNT	Télévision Numérique Terrestre	
TVHD	Télévision Haute Définition	
<b>U</b>		
UIT-T	Union Internationale des Télécommunications	Nouveau nom du CCITT
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System	Norme GSM dite de troisième génération
URAD	Unité de Raccordements d'abonnés Déportés	Version autonome de l'URA destinée à être implantée au-delà du CAA pour se rapprocher les usagers les plus lointains
UTE	Union Technique de l'Electricité	Organisme de normalisation
<b>V</b>		
VC	Virtual Channel	Canal virtuel
VHS	Video Home System	Format d'enregistrement et de lecture de cassettes magnétiques pour magnétoscopes grand public
VLAN	Virtual LAN	Réseau Local virtuel
VP	Virtual Path	Chemin virtuel
VPC	Virtual Path Connection	Circuit virtuel défini par l'association d'un VC et d'un VP
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)
VPN IP	Virtual Private Network Internet Protocol	Technique de VPN basée sur le protocole IP
VSAT	Very Small Aperture Terminal	Les réseaux VSAT supportent tous types de communication (Internet, données, vidéo, LAN, voix) à travers des communications satellites mono ou bidirectionnelles.

W		
WADSL	Wireless ADSL	Combinaison des technologies MMDS pour la diffusion de flux de données par voie radio et des technologies filaires sur cuivre pour la voie retour
WAN	Wide Aera 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)
WAP	Wireless Access Protocol	Protocole adapté à la norme GSM actuelle, permettant de convertir une page Internet dans un format qui peut être lu sur l'écran d'un téléphone portable
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 délivré aux matériels conformes aux normes IEEE 802.11
X		
xDSL	X Digital Subscriber Line	Terme générique regroupant l'ensemble des technologies permettant la transmission de services haut débit sur les supports à paires torsadées cuivre traditionnels
Z		
ZAC	Zone d'Aménagement Concerté	
ZH	Zéro Halogène	Matériau de gainage des câbles optiques permettant de garantir, en cas d'incendie, le non dégagement de substances halogénées

## Guide de câblage optique

Réf. 04/96-001FR



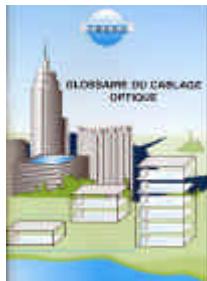
Ce guide, publié en 1996, fait le point sur l'usage des technologies fibre optique dans les infrastructures de câblage d'entreprise - bâtiments, campus, etc. - dans les réseaux fédérateurs et jusqu'à la prise terminale de bureau. Il s'adresse à tous les acteurs intervenant dans les infrastructures et applications de télécommunications et réseaux.

Cet ouvrage de 46 pages décrit l'architecture générale, les concepts d'ingénierie et produits associés, les caractéristiques des composants mis en œuvre, les règles de mise en œuvre, les règles de contrôle, l'exploitation et les applications ainsi que la normalisation.

Cette brochure est devenue depuis sa publication, l'ouvrage de référence en matière de câblage optique

## Glossaire du câblage optique

Réf. 06/97-002FR



Près de 400 définitions du vocabulaire propre à la technologie de la fibre optique sont recensés dans ce glossaire du câblage optique. Cet ouvrage de 72 pages est organisé par thèmes et comprend 11 rubriques : lois optiques, fibres, câbles, contenants et accessoires, mesures et appareils, composants passifs et actifs, raccordement, systèmes de transmission, pose, outillage... Ce classement en rubriques permet, outre la recherche alphabétique, d'élargir la connaissance à d'autres termes proches, relevant du même domaine.

## Mesure et recette d'un câblage optique

Réf. 03/98-003FR

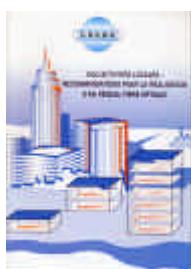


Cet ouvrage présente, dans le cadre de l'état de l'art actuel, les principes et la méthodologie de contrôle des installations à fibres optiques. Véritable référentiel du contrôle, cet ouvrage répond à l'attente du marché en matière de clarification des prestations des professionnels.

Pour chaque stade de réalisation, il précise les contrôles et mesures à effectuer et délimite les responsabilités de chaque intervenant. Outre une méthodologie de mesures et précautions opératoires, le guide propose un cahier de recette pour suivre l'évolution du réseau et en faciliter la maintenance. Il comporte un glossaire spécifique des mesures et recette.

## Collectivités Locales : recommandations pour la réalisation d'un réseau fibre optique

Réf. 10/98-004FR



Ce premier ouvrage de recommandations, publié en 1998 est entièrement dédié aux réseaux métropolitains fibre optique. Il répond à un double objectif : guider les élus locaux désireux de construire des GFUs dans leurs choix technologiques et financiers et fournir aux services techniques un référentiel sur les règles d'architecture, le choix des technologies, les règles de mise en œuvre et de contrôle.

Ce guide de 44 pages est divisé en deux parties. Une première partie destinée à éclairer les maîtres d'ouvrage sur l'apport du MAN (Metropolitan Area Network) à la Collectivité Locale et à ses administrés, son environnement réglementaire, ses modalités de réalisation et de gestion et les coûts afférents. La deuxième partie, à l'intention des services techniques, traite de l'ingénierie de câblage, du choix des composants, des règles d'installation, de mise en œuvre et des étapes de contrôle..

## Optique : les acteurs, connaissances et compétences

Réf. 09/99-005FR



A lire, pour une conduite efficace de votre projet câblage optique ! Le savoir-faire des intervenants est un élément décisif aussi stratégique que la qualité des technologies pour la réalisation d'un câblage optique. La lecture de ce guide fournit les éléments indispensables pour l'appréciation et le choix du prestataire le mieux adapté aux besoins et objectifs d'un projet. Cet ouvrage s'adresse aux entreprises qui envisagent de se doter d'un câblage optique : de la PME, pour sa communication d'entreprise, à l'opérateur de télécommunication grande distance. La mise en place d'un réseau de communication se décompose en différentes étapes, de la phase d'étude à l'exploitation, en passant par la réalisation. Le guide reprend cette décomposition en décrivant à chaque étape, les missions correspondantes et les métiers associés : concepteur, acheteur, installateur, intégrateur, expert, ..... Après avoir défini précisément en quoi consiste chaque métier, l'ouvrage détermine les connaissances et compétences que l'on est en droit d'attendre de chaque intervenant.

## Réseau fibre optique étendu MAN-WAN : guide de réalisation

Réf. 02/01-006FR



Ce ouvrage porte sur la réalisation d'un Réseau Fibre Optique Etendu. Il s'adresse aux spécialistes du domaine et leur apporte des réponses aux questions d'actualité, ainsi que des recommandations sur les réseaux MAN-WAN.

Le guide dresse en premier lieu un état des applications mises en œuvre sur les réseaux longues distances - SDH et DWDM, ainsi que les applications métropolitaines plus spécifiques. Il fait le point sur les différents types de fibres monomodes mis en œuvre sur ces réseaux et les critères de choix associés. Avec de nombreuses photographies et illustrations, il décrit l'état de l'art des différents composants mis en œuvre sur ces infrastructures : câbles, connectique, accessoires de raccordement et répartiteurs, ainsi que les règles de mise en œuvre, de contrôle et d'exploitation. Il est publié sous forme d'une brochure et d'un CD Rom.

## La fibre optique dans les réseaux d'entreprise

Réf. 05/2002-007FR



Quelle fibre optique choisir pour votre infrastructure de réseau ? Quelle distance déployer ? Quelle connectique mettre en œuvre ? Comment évoluent les normes et standards ? Votre infrastructure supporte telle les nouveaux réseaux Gigabit Ethernet ou 10 Gigabit Ethernet ? Dans un environnement en forte évolution, le dernier ouvrage du cercle C.R.E.D.O actualise les données sur l'usage des technologies fibre optique dans les infrastructures de réseau d'entreprise - bâtiments, campus, etc. Ouvrage de référence, ce guide s'adresse à tous les acteurs intervenant dans la réalisation ou l'exploitation d'infrastructures de réseaux de télécommunications.

Il introduit de manière didactique les principes fondamentaux de la transmission optique. Il traite des standards de câblage et des applications de réseaux d'entreprise et de leurs évolutions. Avec de nombreuses photographies et illustrations, il décrit l'état de l'art des différents composants mis en œuvre : fibres, câbles, connectique, répartiteurs et propose, pour chacun de ces composants un guide de choix. Il décrit enfin les règles de mise en œuvre, de contrôle et d'exploitation des infrastructures. Il est publié sous forme d'un ouvrage de 128 pages et d'un CD Rom.

# 15 – LISTE DES MEMBRES ET CONTRIBUTEURS

---

Cet ouvrage est le fruit d'un travail commun mené entre avril 2002 et avril 2004. Il a mobilisé de nombreuses ressources et expertises à l'intérieur comme à l'extérieur du Cercle C.R.E.D.O. Nous tenons à adresser nos vifs remerciements à tous ceux qui par leur contribution et soutien ont permis d'achever cette parution.

## 15.1 LISTE DES CONTRIBUTEURS

Nous tenons à remercier tout particulièrement les sociétés suivantes et leurs représentants, pour leurs avis, contributions, apports et soutien dans la réalisation de cet ouvrage :

ANCENAY François	FORTEL	LAGRUÉ François	RTE
BESSON Sébastien	ORLEANS Technopole	LE DEVEHAT Michael	ETDE
BEZADA Juan	3M	LEFEVRE Franck	INEO
BILLET Gilles	IFOTEC	LÉPINE Paul	CEVAM
BOHBOT Nicolas	ETDE	MAMALET Noël	LYCEE LE DANTEC
BOUREAU Bernard	TELCITE	MARTIN Pierre	RATP
BURTIN Michel	LEGRAUD	MERCIER Bruno	SOCOTEC
BUSSINGER Jean	CIRCET	OBERDORF Pierre	TYCO
CANEPA Christophe	ACOME	OUVRARD Philippe	GRANIOU
CHARPENTIER Pierre	3M	PARIZET Arnaud	ACOME
CHOVIN Jacques	TYCO	POLENI Jacques	ACTERNA
CONTADINI Cyril	AUBAY	POTEC Marie Laure	GINGER Télécom
DAGNAULT Jean Yves	INEO	POULAIN Michel	COMPAGNIE DEUTSCH
DAMBLIN Armelle	CETICE	RICHARD Claude	ALTEIS
DANTHINE Olivier	GNS	ROPERS Patrick	GRANIOU
DE PALOL Georges	APAVE	RUER Stephen	ACTERNA
DESPORTES Bernard	SNCF	SALAUN Jacques	3M
DUSCH Alain	ACOME	SARTORI Philippe	RATP
FAUVE Daniel	COMOPTIC	SMRKOLJ André	COMPAGNIE DEUTSCH
FILLOLEAU Bernard	ERECA	TACHE Jean Paul	SERCOM
FINET Bastien	IFOTEC	THAT Benjamin	AUBAY
FINET Jean Marc	XPM	TARDIF Éric	MAIRIE DE NEUILLY
FOUGERE Philippe	GINGER Télécom	THEVENOT Alain	COREL
GEERSTMAN Pascal	EXERA / RATP	TRIBOULET Michel	CEISAM - Groupe GINGER
HELIE Thierry	ACOME	TROUILLOUD Charlotte	APAVE
HUGON Jacques	3M	UGOLINI Alain	
JACQUOT Patrick	RTE	WATEL Dominique	TELCITE
JAILLET Jacques	ACOME	WATELET David	IRISE
JULIENNE Christian	ECOTER	WILLEMANN Pierre	APAVE
LACHKAR Jonathan	CIRCET	ZAHND Éric	AUBAY
LACZNY Richard	GINGER Télécom		

## 15.2 COMITÉ ÉDITORIAL

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

<u>MAÎTRISE D'ŒUVRE ÉDITORIALE</u>	ZAHND	Éric	AUBAY
<u>AUTEURS</u>	ANCENAY	François	FORTEL
	BILLET	Gilles	ARUFOG, IFOTEC
	CANEPA	Christophe	ACOME
	CONTADINI	Cyril	AUBAY
	DANTHINE	Olivier	GNS
	DESPORTES	Bernard	SNCF
	FILLOLEAU	Bernard	ERECA
	GEERSTMAN	Pascal	RATP
	JACQUOT	Patrick	RTE
	POLENI	Jacques	ACTERNA
	RICHARD	Claude	ALTEIS
	RUER	Stephen	ACTERNA
	SALAUN	Jacques	3M
	TRIBOULET	Michel	CEISAM - Groupe Ginger
	UGOLINI	Alain	
	WATEL	Dominique	TELCITE
	WILLEMANN	Pierre	APAVE
	ZAHND	Éric	AUBAY
<u>COMITÉ DE RELECTURE</u>	BEZADA	Juan	3M
	BILLET	Gilles	IFOTEC
	CANEPA	Christophe	ACOME
	CHOVIN	Jacques	TYCO
	DAMBLIN	Armelle	CETICE
	DANTHINE	Olivier	GNS
	DUSCH	Alain	ACOME
	GEERSTMAN	Pascal	RATP
	HELIE	Thierry	ACOME
	HUGON	Jacques	3M
	LÉPINE	Paul	CEVAM
	MERCIER	Bruno	SOCOTEC
	POLENI	Jacques	ACTERNA
	RICHARD	Claude	ALTEIS
	RUER	Stephen	ACTERNA
	TARDIF	Éric	MAIRIE DE NEUILLY
	TRIBOULET	Michel	CEISAM - Groupe Ginger
	UGOLINI	Alain	
	WATEL	Dominique	TELCITE
	WILLEMANN	Pierre	APAVE
	ZAHND	Éric	AUBAY

### 15.3 LISTE DES ADHÉRENTS\* AU CERCLE C.R.E.D.O

3M  
ACOME  
ACTERNA  
AEROPORTS DE PARIS  
ADP Télécoms  
ALTEIS  
APAVE  
ARUFOG  
AUBAY  
CETICE  
CIRCET  
COMOPTIC  
COMPAGNIE DEUTSCH ORLEANS  
EDF  
ERECA  
ERI  
ESIGELEC  
EXERA  
FICOME  
FORTEL  
FRANCE TELECOM  
GINGER Télécom  
GITEP  
GNS  
GRANIOU  
HEC  
HSC – High Speed Cable  
IFOTEC  
INEO  
IRISEE  
LEGRAND  
LYCEE LE DANTEC  
RATP  
RTE  
SERCOM  
SNCF  
SOCOTEC  
TELCITE  
TYCO

\* Liste établie en date du 31 décembre 2003.