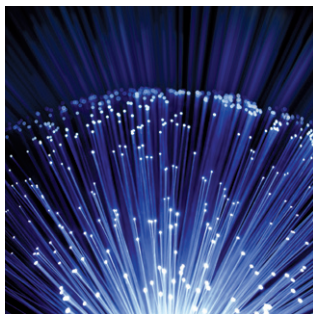


MONTÉE VERS LE TRÈS HAUT DÉBIT DES TERRITOIRES

Une étape transitoire vers le FTTH

PRÉFACE



Le Plan France Très Haut Débit adopté au printemps dernier par le Gouvernement, permettra d'équiper la France de nouvelles infrastructures de pointe en matière de télécommunications, pour apporter un accès à Internet très haut débit sur l'ensemble du territoire d'ici 2022. Le pilotage de ce Plan a été confié à la Mission Très Haut Débit, équipe dédiée, placée auprès de la Ministre déléguée à l'Economie numérique, Fleur Pellerin.

Ce plan industriel majeur représente un investissement d'environ 20 milliards d'euros nécessitant près de 7 milliards d'euros de subventions publiques dont la moitié est apportée aux collectivités territoriales pour le déploiement de réseaux publics par l'Etat (via le Fonds pour la Société Numérique géré par le Commissariat général à l'investissement). L'effort est également porté par les opérateurs privés qui se sont engagés à déployer des réseaux privés mutualisés de fibre optique jusqu'à l'abonné (FttH) dans certaines zones (les grandes et moyennes agglomérations).

Un plan qui repose sur la mobilisation générale d'une filière industrielle française à la pointe

La France a la chance de pouvoir compter sur un ensemble d'entreprises performantes en matière de déploiement des réseaux, depuis la fabrication des câbles de fibres optiques (plus de la moitié de la fibre optique déployée en Europe est fabriquée en France), l'ingénierie des architectures techniques, jusqu'à la pose des réseaux en passant par les travaux de génie civil et les systèmes d'information. Ce savoir-faire unique, dont la reconnaissance au-delà de nos frontières permet à de nombreuses PME françaises du secteur de remporter d'importants marchés à l'étranger, donne un avantage indéniable à notre pays pour le développement des infrastructures de télécommunications de nouvelle génération.

On ne peut que se féliciter des initiatives comme celles du CREDO, mais aussi celles de la Fédération française des Télécoms (FFT) et celles de la Fédération des industriels des réseaux d'initiative publique (FIRIP) qui soulignent comment nos entreprises et nos experts se sont organisés et mobilisés pour répondre au défi du Plan France Très Haut Débit initié par le Gouvernement.

Un plan national qui vise la cohérence et l'harmonisation d'initiatives décentralisées

Le caractère résolument décentralisé de la mise en œuvre du Plan, qui permet de s'appuyer sur les dynamiques existantes et sur des acteurs au plus près des réalités de terrain et des besoins, présente néanmoins des risques d'une hétérogénéité débridée de déploiements éparpillés aboutissant à une balkanisation de réseaux non cohérents.

Là encore, la mobilisation de l'écosystème industriel est essentielle. La mise en place de groupes de travail comme Objectif Fibre ou Interop'Fibre, les échanges au sein du Comité d'experts de l'ARCEP, ou encore les travaux du CREDO, permettent de définir, en commun et de manière transparente, des référentiels techniques et des systèmes d'information garantissant une harmonisation des déploiements sur l'ensemble du territoire national.

Si le Plan France Très Haut Débit envisage la mobilisation de l'ensemble des technologies pour apporter le très haut débit dans tous les territoires, il assume dans le même temps une certaine normalisation des solutions techniques mises en œuvre, normalisation qui implique des choix et donc des renoncements.

Un plan technologique au service des citoyens et des politiques publiques

Le Plan France Très Haut Débit ne se limite pas à des problématiques techniques réservées à une poignée d'ingénieurs initiés. Ces réseaux à très haut débit, aussi bien construits et bien exploités soient-ils, n'ont aucune utilité sans les contenus qu'ils véhiculent.

Ces nouveaux réseaux, qui seront les systèmes nerveux des cités et des économies de demain sont avant tout des vecteurs de compétitivité, d'innovation pour nos entreprises et d'amélioration de l'efficacité de nos services publics. A ce titre, ils doivent permettre d'être les supports de solutions qui répondront aux défis qui attendent les politiques publiques, tels que, par exemple, l'éducation dans un monde globalisé, le vieillissement de la population et le maintien des personnes dépendantes à domicile ou encore la maîtrise du développement durable de nos villes (smart cities).

Le Plan France Très Haut Débit n'est que le socle de base d'une politique du numérique plus globale qui soutient le développement d'usages innovants au service de l'ensemble des citoyens et des entreprises de notre pays.

M. Antoine DARODES

Directeur de la Mission Très Haut Débit

PRÉAMBULE

Le Gouvernement a présenté au printemps 2013 « France-Très haut débit », sa stratégie pour la couverture du territoire à dix ans et réaffirmé que, au-delà de ce délai, son objectif restait la fibre optique, à la fois enjeu industriel et investissement pérenne.

Il s'est fixé comme priorité l'accompagnement du déploiement de la fibre, tout en apportant rapidement à tous des solutions destinées à résorber la fracture numérique qui ne cesse de s'aggraver dans de nombreux territoires ruraux ou périurbains. Le premier objectif est que d'ici fin 2017, tous les français aient accès à un haut débit de qualité. Toutes les solutions technologiques pour y parvenir, qui prépareront la montée vers le très haut débit, seront aidées financièrement. A la même échéance, la moitié des français devront avoir accès au Très Haut Débit.

Chacun s'accorde sur le fait que la généralisation du très haut débit d'ici dix ans est un vecteur impératif et incontournable du dynamisme, de la prospérité et de la croissance économique nécessaires au maintien et à la création d'emplois. L'accès à des contenus et services identiques en tout point du territoire sera source d'équité et d'attractivité territoriale.

Pour le CREDO comme pour les acteurs du domaine, le réseau cible satisfaisant à tous les critères techniques de pérennité, de disponibilité, de qualité et de richesse des services offerts s'appuiera impérativement sur un réseau d'accès en fibre optique, FTTH pour les particuliers et les professionnels, FTTO pour les entreprises et les grands sites publics. La construction de ce réseau nécessitera des investissements élevés, estimés à ce jour à 30 Milliards d'euros, pour couvrir l'ensemble du territoire¹ national. Les intentions d'investissement des opérateurs de réseau annoncées en 2011, si elles se concrétisent, pourraient permettre de couvrir jusqu'à 60% de la population à l'horizon 2020.

Dans ces conditions, l'action publique sera déterminante pour assurer une couverture généralisée du territoire. Depuis plus de deux ans maintenant, les régions et les départements s'organisent de manière formelle en réalisant leurs schémas directeurs territoriaux d'aménagement numérique du territoire (SDTAN), auquel l'article L1425-2 du code général des collectivités territoriales (CGCT)² a donné un premier statut juridique. Fruit de la concertation avec tous les acteurs locaux et nationaux, le schéma directeur permet aux pouvoirs publics d'anticiper et d'organiser la mise en œuvre d'une desserte

numérique à très haut débit³ sur l'ensemble du territoire considéré : aires urbaines peu denses, zones périurbaines et rurales, favorisant l'accès de tous à l'internet à très haut débit, dans des conditions aussi proches que possible de ce que l'on peut trouver dans les zones densément peuplées.

Dans ce contexte, le CREDO considère qu'il est important d'inscrire les opérations de montée en débit, quelle que soit la technologie retenue, comme autant d'étapes transitoires avant la mise en œuvre de solutions à très haut débit. Toute autre approche, qui pourrait avoir un intérêt à court terme mais risquerait de freiner, voire de mettre un coup d'arrêt au caractère prioritaire du déploiement des réseaux d'accès fibre optique, est à proscrire. Cela nécessite que les collectivités fassent des choix éclairés que seule une bonne connaissance des solutions possibles peut leur permettre de faire.

Afin de préserver l'équilibre économique des projets FTTH réalisés sur fonds publics, il semble souhaitable qu'un déploiement FTTH planifié à moins de 3 ans ne soit pas concurrencé par la mise en œuvre de solutions alternatives.

En analysant dans le présent guide ces solutions technologiques de manière la plus exhaustive possible, en expliquant clairement sa vision et en étant force de propositions, le CREDO qui souhaite participer activement au développement des services numériques sur le territoire et à la généralisation du FTTH, entend donner à ses lecteurs décideurs les moyens de choisir en toute connaissance de cause.

Choisir une solution technologique nécessite d'analyser des critères d'appréciation objectifs et pertinents, qui permettent de répondre à des questions comme :

- est-elle apte à satisfaire les besoins des utilisateurs, résidentiels ou professionnels, dès aujourd'hui et pour les années qui viennent ?
- est-elle adaptée à l'environnement démographique et topographique du territoire ciblé ?
- est-elle économiquement acceptable ?
- prépare-t-elle convenablement l'arrivée de la fibre jusqu'à l'abonné ?

A ces questions et à quelques autres, le présent guide entend apporter, sinon des réponses définitives, au moins des éclairages utiles pour que les pouvoirs publics prennent les décisions qui contribueront à la réussite de cet enjeu national qu'est le très haut débit.

Le Comité Editorial

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

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

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

QUI SOMMES-NOUS ?

Le CREDO, **C**ercle de **R**éflexion et d'**E**tude pour le **D**éveloppement de l'**O**ptique est une association qui depuis 20 ans favorise l'utilisation de la technologie fibre optique dans les réseaux de communications électroniques et développe ses usages.

Le Cercle regroupe et fédère les principaux acteurs, métiers et expertises du monde des réseaux à très haut débit. Par la parution de nombreux guides de recommandations, douze en vingt ans, fruit de l'expertise et des retours d'expériences de ses membres, le CREDO poursuit sa vocation : **« développer, promouvoir et vulgariser la technologie fibre optique »**.

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

Les travaux du Cercle s'inscrivent dans une **logique d'infrastructures neutres et mutualisées**, essentielle pour assurer le développement de la concurrence entre les opérateurs de services et l'émergence de nouveaux usages et applications. Ils guident les élus et accompagnent les collectivités territoriales qui souhaitent déployer des réseaux d'intérêt public (RIP) sur leurs territoires. En proposant des règles techniques, des technologies innovantes et adaptées et en fournissant des éléments de comparaison et de décision, le CREDO leur permet **d'assurer pleinement leur mission d'aménagement numérique du territoire**.

Après plusieurs ouvrages sur les réseaux de collecte et d'accès et sur les métiers de la fibre optique, le CREDO a orienté ses travaux sur le déploiement des réseaux d'accès FTTH dans les zones moins denses, définies comme l'ensemble

du territoire français à l'exception des zones très denses. Ces travaux se sont concrétisés par la parution d'un guide de recommandations en juillet 2012. Cet ouvrage, salué par la profession lors de sa parution, constitue l'aboutissement d'un effort collectif et résulte de la vision, de l'engagement et de l'expertise de ses membres. Ils partagent leur savoir-faire et représentent un trait d'union entre les acteurs privés et publics du très haut débit. Le guide fait un point exhaustif sur la réglementation et présente l'état de l'art des différentes professions : Ingénierie de réseau, technologies, règles et techniques de mise en œuvre et d'exploitation. Il montre la capacité d'innovation de nos industriels Français et Européens et démontre l'urgence de se fédérer autour de référentiels communs pour industrialiser le déploiement de la fibre et réussir ce grand chantier d'infrastructure du 21^{ème} siècle.

Dans le cadre de ses travaux sur le déploiement des réseaux d'accès hors des zones très denses, le CREDO mène une réflexion depuis 2011 sur la montée en débit des territoires en recherchant toutes les solutions technico-économiques qui se positionnent dans une logique de réseau cible FTTH. Ce nouveau guide sur la **montée vers le très haut débit des territoires** s'inscrit totalement dans cette démarche.

En complément de ses guides, le CREDO anime périodiquement des cycles de conférences et des forums principalement en région sur ces différents domaines. Pour ces événements, le Cercle a développé un démonstrateur FTTH **« De l'infrastructure aux usages »** qui se positionne comme une plateforme de démonstration « dynamique » qui permet de structurer les technologies et les composants passifs et actifs en un véritable « Système optique innovant » et de présenter les futurs usages des réseaux à très haut débit : e-santé, aide à la personne, e-formation, télétravail, smart grid et smart city.

RECOMMANDATIONS DU CREDO

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

R1 : Il est impératif de ne pas limiter l'ambition du très haut débit aux zones les plus simples à traiter ou les plus rentables. Pour un territoire, le très haut débit déployé à l'ensemble de ses habitants et de ses entreprises ouvre l'opportunité d'un grand nombre de nouveaux services qui vont bien au-delà du simple « Triple Play ». Il modifiera considérablement nos modes de vie et d'organisation et sera essentiel pour l'économie des territoires et la qualité de vie de ses habitants. Les étapes intermédiaires de montée en débit doivent s'inscrire dans cette perspective et favoriser cette évolution.

R2 : Les organisations géographiques et techniques du déploiement du réseau téléphonique ont eu pour conséquence que certains territoires souffrent déjà d'une fracture numérique par rapport à ceux qui disposent d'un Haut Débit de qualité. Pour éviter que le déploiement du FTTH n'accroisse cette fracture numérique/géographique, dans ces mêmes territoires où l'investissement sera plus important, il est impératif d'étudier sans tarder les conditions de leur montée en débit.

R3 : Avant de choisir une solution de montée en débit pour un territoire et décider de la manière de la mettre en œuvre, le CREDO recommande de réaliser une étude d'ingénierie FTTH détaillée sur l'ensemble du territoire. Les choix technico-économiques des solutions alternatives éventuelles de montée en débit doivent ensuite être dictés par la capacité de réutiliser pour le FTTH un maximum des infrastructures déployées à cette occasion.

R4 : Lorsque les Collectivités Territoriales décident de déployer des technologies alternatives, il est indispensable que celles-ci soient constitutives d'une étape intermédiaire vers le FTTH pour tous et qu'elles ne constituent pas un frein à son déploiement et à son succès commercial futur.

R5 : Les technologies alternatives retenues pour la montée vers le Très Haut Débit doivent suivre les besoins et les degrés d'urgence exprimés par les élus vis-à-vis des différents types d'utilisateurs (particuliers, entreprises ou services publics) et des zones géographiques concernées.

R6 : Pour la montée vers le Très Haut Débit des territoires, la combinaison de plusieurs technologies alternatives en fonction des contraintes et des spécificités de chaque territoire (notion de mix technologique) est un gage de réussite. Il est rare qu'une seule technologie permette de répondre à l'ensemble des besoins d'un territoire, en particulier lorsque l'on raisonne à l'échelle d'un département ou d'une région.

R7 : Si un arbitrage est rendu nécessaire par des contraintes budgétaires entre plusieurs sites potentiels bénéficiaires d'une montée en débit sur cuivre, il convient de privilégier ceux qui correspondent à des habitats groupés autour du sous-répertoireur, seuls éligibles au VDSL2 à des débits permettant de qualifier de « très haut débit » la qualité de la liaison (> 30 Mbit/s).

R8 : Une attention particulière sera portée aux études préliminaires de dimensionnement des architectures radio choisies pour mettre en œuvre la montée en débit. En effet, contrairement aux réseaux filaires (cuivre ou fibre), pour lesquels les ingénieries sont fortement reproductibles d'un projet à l'autre, les infrastructures radio demandent une grande application dans les études d'avant projets pour garantir un service rendu conforme aux attentes.

SOMMAIRE

Préface	1
Préambule	2
Qui sommes-nous ?	3
Recommandations du CREDO	5
1 Introduction	9
1.1 Pourquoi le Très Haut Débit	10
1.2 Pourquoi la Fibre jusqu'à l'utilisateur ?	11
1.3 Comment mettre en œuvre le très haut débit ?	12
2 Quelles options technologiques ?	13
2.1 Généralités	14
2.2 Les réseaux filaires	15
2.2.1 FTTH / FTTO	15
2.2.2 Les Réseaux câblés	17
2.2.3 Le réseau téléphonique cuivre	21
2.3 Les réseaux radio terrestres	27
2.3.1 Spectre des fréquences utilisées	28
2.3.2 Evolution des technologies radio WiMAX et WiFi	30
2.3.3 Les réseaux de téléphonie mobile	31
2.4 Les solutions satellitaires	32
3 Quelles performances ?	33
3.1 Les réseaux filaires	34
3.1.1 FTTH / FTTO	34
3.1.2 Les Réseaux câblés	35
3.1.3 Le Réseau téléphonique cuivre	37
3.2 Les réseaux radio terrestres	38
3.2.1 L'évaluation des performances en technologie radio	38
3.2.2 WiFi et WiMAX	40
3.2.3 Réseaux de téléphonie mobile	42
3.3 Les solutions satellitaires	47
3.3.1 Partage de la ressource	47
3.3.2 La latence	48
3.3.3 Le Triple-play	48
4 Quelles règles et contraintes de mise en œuvre	49
4.1 Les réseaux filaires	50
4.1.1 FTTH / FTTO	50
4.1.2 Les Réseaux câblés	51
4.1.3 Le Réseau téléphonique cuivre	53
4.2 Les réseaux radio terrestres	57
4.2.1 WiFi et WiMAX	57
4.2.2 Réseaux de téléphonie mobile	61

5 Aspects économiques	63
5.1 Les réseaux filaires	64
5.1.1 Les réseaux fibre (FTTH / FTTO)	64
5.1.2 Les Réseaux câblés	65
5.1.3 Le réseau téléphonique cuivre	66
5.2 Les réseaux radio terrestres	67
5.2.1 WiFi et WiMAX	67
5.2.2 Réseaux de téléphonie mobile	69
5.3 Les solutions satellitaires	70
6 Impacts sur la vitesse de migration vers le FTTH	71
6.1 Les réseaux filaires	72
6.1.1 Réseaux fibre (FTTH / FTTO)	72
6.1.2 Les Réseaux câblés	72
6.1.3 Le réseau téléphonique cuivre	74
6.2 Les réseaux radio terrestres	74
6.2.1 WiFi et WiMAX	74
6.2.2 Réseaux de téléphonie mobile	75
6.3 Les solutions satellitaires	75
7 Impacts sur la capacité d'ouverture à la concurrence	77
7.1 Généralités	78
7.1.1 Ouverture des infrastructures	78
7.1.2 Ouverture des services	79
7.2 Les réseaux filaires	79
7.2.1 Réseaux fibre (FTTH / FTTO)	79
7.2.2 Les Réseaux câblés	79
7.2.3 Le réseau téléphonique cuivre	80
7.3 Les réseaux radio terrestres	80
7.3.1 WiFi et WiMAX	80
7.3.2 Réseaux de téléphonie mobile	81
7.4 Les solutions satellitaires	82
8 Comparaison des solutions	83
8.1 Définition des critères	84
8.2 Analyse comparative	86
8.2.1 FTTH/FTTO	86
8.2.2 Réseaux câblés	86
8.2.3 Technologies DSL	87
8.2.4 Radio fixe	87
8.2.5 Radio mobile	87
8.2.6 Satellite	88
8.2.7 Synthèse comparative	88

9 Allons plus loin	89
9.1 Les réseaux filaires	90
9.1.1 Réseaux fibre (FTTH / FTTO)	90
9.1.2 Les Réseaux câblés	90
9.1.3 Le réseau téléphonique cuivre	93
9.2 Les réseaux radio terrestres	94
9.2.1 WiFi et WiMAX	94
9.2.2 Réseaux de téléphonie mobile	96
9.2.3 Caractéristiques des liens FH utilisés en radio	98
10 Liste des figures et tableaux	100
10.1 Liste des Figures	100
10.2 Liste des Tableaux	101
11 Acronymes	102
12 Liste des adhérents au CREDO	107
13 Liste du Comité éditorial et des contributeurs	108
13.1 Comité éditorial	108
13.1.1 Ligne éditoriale	108
13.1.2 Comité éditorial et auteurs	108
13.2 Comité de relecture	108
13.3 Publication	108
14 Publications Antérieures du CREDO	109

1 INTRODUCTION

INTRODUCTION

1.1 POURQUOI LE TRÈS HAUT DÉBIT

Cette question peut sembler anodine et inutile dans la mesure où la Commission Européenne a défini que le débit minimum des services THD était de 30 Mbit/s (en voie descendante), ce qui ne semble pas suffisant puisque d'autres critères importants ne sont pas pris en compte, comme la symétrie des échanges, le temps de latence ou le confort d'usage pour l'utilisateur. Pour le haut-débit, cette question se posait de la même manière et la meilleure réponse était sans doute liée à l'accès permanent et au trafic illimité, qui ont fait le succès de l'ADSL.

On peut facilement imaginer que cette définition du THD évoluera sous la pression des services et des applications proposés par les opérateurs. Sans rechercher l'extraordinaire, on peut se référer à l'émergence de la Télévision à Ultra Haute Définition (UHDTV) sous l'impulsion de NHK au Japon, qui multiplie par un facteur 4 la définition de l'actuelle HDTV. Pour le codage et la transmission, on évoluera vers la future norme MPEG-H, basée sur le codec H. 265.

La performance réelle des différentes solutions techniques, notamment le débit effectivement disponible pour chaque usager, est souvent « contournée » par des affirmations ou des positionnements commerciaux (par exemple « jusqu'à 100 Mbit/s ») qui ne reflètent pas le vécu des utilisateurs, d'autant plus que ces performances ne sont pas garanties pour le grand public. Le chapitre 3 du présent guide met en évidence la relation entre la performance et l'éloignement du client par rapport au Nœud de Rattachement (pour l'ADSL) ou l'impact des paramètres d'ingénierie (taille de la poche et taux d'utilisation) dans le cas des architectures partagées (réseaux radio et réseaux câblés).

En fait, on peut penser que la question du débit accessible à l'abonné s'éliminera d'elle-même dès lors que le débit ne sera plus ressenti comme un frein à l'utilisation des services en ligne. Le service THD sera alors au même titre que d'autres services considérés comme essentiels : l'eau courante, l'électricité, le téléphone ou la télévision hertzienne.

La ressource disponible doit permettre à tout usager de bénéficier de tous les services qu'il souhaite :

- pour les services regroupés sous le vocable « triple-play » les plus répandus aujourd'hui (téléphone, internet, télévision), il est évident que la capacité de la voie retour ou le temps de latence (ping) ont une importance considérable pour un nombre de plus en plus grand d'utilisateurs qui veulent envoyer des photos ou des vidéos sur des sites en ligne ou jouer en réseau ;
- de même, la notion de triple-play est encore trop restrictive et contraignante dans la mesure où elle ne concerne actuellement qu'un package commercial de 3 types de services que l'utilisateur pourrait vouloir souscrire séparément auprès de plusieurs FAI en fonction de ses propres critères de choix, comme c'est le cas avec les services activés dits « open access » (voir le paragraphe 7.1.2) ;
- au-delà du triple-play, la présence d'un réseau fibre optique favorise le développement de nombreuses autres applications collectives comme la surveillance vidéo des lieux publics, le relevé et la régulation des consommations électriques et énergétiques (smart grids), les alarmes de sécurité (ascenseurs par exemple), le contrôle des feux de signalisation et de l'éclairage public, et bien d'autres encore. On parle alors de réseaux de capteurs interconnectés avec des équipements de traitement centralisés. Certaines de ces applications ne relèvent pas du très haut débit, mais la présence d'un réseau de communications électroniques ouvert est un élément extrêmement favorable à leur développement.

Enfin, il faut dès à présent anticiper l'éclosion certaine de nouveaux services, inconnus à ce jour, qui apparaîtront dans les années à venir et utiliseront à plein les capacités quasi-illimitées de la fibre optique.

1.2 POURQUOI LA FIBRE JUSQU'À L'USAGER ?

Le CREDO a déjà traité de cette question, notamment à travers son guide paru en Juin 2007 intitulé « Développement des Réseaux à Très Haut Débit : guide de mise en place des réseaux fibres optiques FTTH », et celui paru en Juillet 2012 intitulé « Guide de déploiement des réseaux FTTH sur le territoire à l'exception des zones très denses ».

L'intérêt d'une connexion en fibre optique n'est plus à démontrer. En effet, malgré les évolutions technologiques des transmissions sur cuivre (ADSL2+, VDSL2, Vectoring), ces supports atteignent leurs limites physiques, notamment en termes de portée. Ils ne supporteront pas les besoins en débit sans cesse croissants, la simultanéité et la symétrie des flux d'informations à transmettre et le niveau de qualité requis.

Aujourd'hui, les besoins des particuliers sont importants, en constante augmentation (« *vidéo on demand* », commerce électronique, stockage et partage en ligne) et requièrent de plus en plus de débit dans le sens montant (de l'utilisateur vers le réseau) : connexion à des réseaux sociaux, téléchargements de photos sur le réseau, ... Les besoins futurs amplifieront la demande dans des proportions considérables : TV en relief, TV Ultra HD, jeux en réseau, avatars comportementaux, réseaux sociaux locaux, stockage et services en ligne, etc.

Il en va de même pour les besoins des entreprises en communications symétriques qui sont en croissance régulière quelles que soient leur taille et leurs activités, poussés par des services prometteurs comme le « *cloud computing* », la télé-présence, etc. Pour elles, des services dédiés nécessitent de déployer une architecture de réseau différente du FTTH, le FTTO.

Tout le monde s'accorde à penser qu'un déploiement généralisé des réseaux d'accès FTTH demandera de nombreuses années, les technologies alternatives (WiFi, WiMAX, satellite) ne sont que des solutions d'attente sur des territoires ciblés. Dans ce contexte, les technologies alternatives pourront tirer bénéfice d'un réseau fédérateur constitué de fibres optiques irriguant le territoire au plus près des usagers ; c'est notamment le cas des technologies radio fixes qui vont requérir le raccordement en fibre optique des points hauts.

Quant aux réseaux radio mobiles, notamment la 4G qui devrait multiplier par 10 les débits actuellement offerts par la 3G, ils nécessiteront de disposer de liens de collecte en fibre optique, pour pouvoir répondre de manière satisfaisante à l'explosion du trafic de données qui s'annonce déjà (+70% pour les applications mobiles sur les 12 derniers mois).

Dès Juin 2011, le CREDO a édité un guide intermédiaire pour que la montée en débit **sur cuivre** s'inscrive dans une logique de réseau cible FTTH. Le présent guide a pour objectif d'étendre et de compléter cette analyse en examinant toutes les solutions alternatives. Les principales caractéristiques de ces technologies sont décrites au chapitre 2. Les éléments relatifs aux technologies FTTH sont repris comme référence, sans les détailler aussi finement que dans les guides précédents, notamment celui de juillet 2012.

La comparaison entre les différentes solutions possibles, qui s'appuie sur 8 critères technico-économiques objectifs et mesurables, fait l'objet du chapitre 8.

Pour le lecteur désireux de compléter son information sur des points spécifiques, le chapitre 9 regroupe des éléments descriptifs détaillés lui permettant d'aller « plus loin » dans la compréhension d'une technologie donnée.

1.3 COMMENT METTRE EN ŒUVRE LE TRÈS HAUT DÉBIT ?

Comme le guide CREDO de juillet 2012 l'a préconisé en détail, les Collectivités Territoriales mettent en place des Schémas Directeurs Territoriaux d'Aménagement Numérique (SDTAN) au niveau au moins départemental, ainsi que des Stratégies de Cohérence Régionale d'Aménagement Numérique (SCORAN).

Le SDTAN constitue un outil de cadrage stratégique (référentiel commun) à moyen/long terme décrivant une situation à atteindre pour la couverture numérique du territoire. Il décrit donc le scénario de montée en débit des territoires décidé par les élus et favorise la cohérence des actions à mener par les différents acteurs (publics et privés). Ces scénarios comprennent évidemment une forte composante économique et financière.

Comme le SDTAN ne vise pas nécessairement à décider de la réalisation ou non d'un réseau d'initiative publique à court terme, les Collectivités Territoriales doivent élaborer les éléments qui constitueront l'étape suivante. En particulier, les données technico-économiques du SDTAN devront être affinées et consolidées avec les données détaillées issues du terrain afin de pouvoir engager la recherche du Maître d'œuvre et le lancement des travaux de déploiement. Ces schémas d'ingénierie devront être menés avec précision afin de réduire au maximum les aléas lors des travaux proprement dits.

Le déroulement des opérations dépend du mode retenu (travaux et affermage, conception/réalisation, régie, DSP, contrat PPP) avec un certain nombre de variantes. Dans le cas d'une DSP d'affermage, on peut d'ailleurs rechercher prioritairement le futur fermier et l'associer à la définition du cahier des charges détaillé permettant de rechercher le futur maître d'œuvre. Cette approche permet de mieux s'assurer que le réseau ainsi créé sera conforme aux demandes exprimées par les différents opérateurs de services.

2 QUELLES OPTIONS TECHNOLOGIQUES ?

QUELLES OPTIONS TECHNOLOGIQUES ?

2.1 GÉNÉRALITÉS

Les technologies de transmission et de commutation se sont succédées jusqu'à l'accélération des technologies optiques, radio ou satellite, l'ouverture vers les mobiles et l'explosion d'Internet.

On peut distinguer plusieurs types de réseaux :

- les réseaux traditionnels de communications électroniques, orientés téléphonie, dont les infrastructures ont évolué vers le haut débit grâce aux technologies fixes xDSL mais, également mobiles, avec la 2G, la 3G et la 4G, qui doivent absorber l'explosion du trafic de données ;
- les réseaux informatiques, orientés données, comprenant les réseaux locaux d'entreprise (LAN), les réseaux de collecte dits métropolitains (MAN), sans oublier les réseaux étendus (WAN), et les réseaux longues distances ;
- les réseaux câblés de télédistribution, initialement destinés aux usagers résidentiels.

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

La figure 2.1 montre la répartition des différentes technologies pour les accès fixes, sur la base des données à fin 2012 publiées par l'ARCEP, en distinguant le haut débit (HD) du très haut débit (THD).

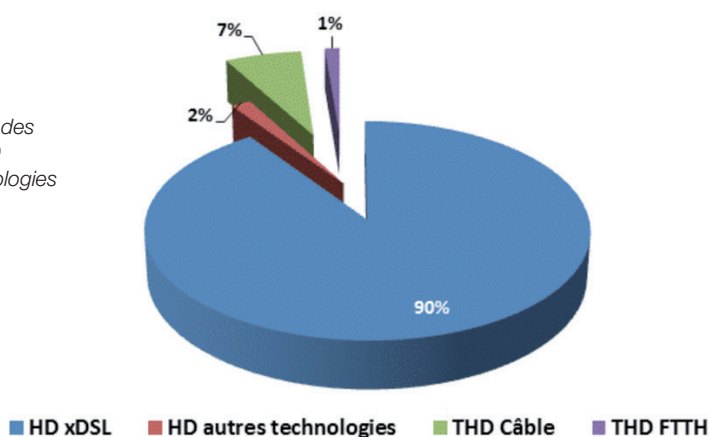
Le présent guide est consacré à la problématique de la boucle locale (le réseau d'accès) dans le cadre du très haut débit. Néanmoins, il convient de rappeler l'importance du réseau de collecte dans le déploiement des technologies disponibles pour le réseau d'accès. Ce sujet a été largement présenté par le CREDO dans le cadre du guide publié en 2004 intitulé « Territoires Numériques : guide de mise en place des réseaux fibre optique haut débit ».

Le coût du réseau de collecte s'ajoute à celui du réseau d'accès. Dans le cas de zones peu denses où une poche desservie par un même Point de Mutualisation (PM) correspond à un petit nombre de logements potentiels, le réseau de collecte prend un poids important dans le coût du réseau ramené à la prise.

Par ailleurs, à partir du futur PM, on peut mélanger les technologies. Par exemple, dans le cas des technologies radio, le transport vers le dernier nœud actif du réseau (le point haut et ses équipements actifs) peut être réalisé par des liens radio en point-à-point si les solutions optiques s'avèrent trop coûteuses.

De même, on peut tout autant être dans le cas où un réseau d'accès FTTH est provisoirement irrigué par un lien de transport radio. L'impact sur le débit effectivement disponible pour l'utilisateur devra alors tenir compte de cette situation. Il convient cependant de noter que le PM en question devra réunir un minimum de 1 000 lignes, l'offre de raccordement distant (si le PM avait une taille comprise entre 300 et 1 000 lignes) ne pouvant en aucun cas être proposée sur un lien de transport radio. De manière générale, les collectes sur liaison radio sont à éviter.

Figure 2.1 : répartition des accès fixes HD et THD en fonction des technologies à fin 2012



2.2 LES RÉSEAUX FILAIRES

2.2.1 FTTH / FTTO

Les réseaux optiques, initialement réservés aux réseaux longue distance et de collecte, tendent à se généraliser dans le réseau d'accès pour tous les services fixes et mobiles, publics et privés.

Ils se positionnent comme le support privilégié d'Ethernet à haut débit (Gigabit Ethernet). Ils peuvent être déployés sous la forme de liaisons spécialisées (point à point) ou à partir d'architectures partagées telles que les PON (Passive Optical Network).

2.2.1.1 FTTH

L'architecture FTTH mise en œuvre dans le réseau d'accès vers les usagers est présentée sur la figure 2.2.

Le niveau central de l'architecture du réseau d'accès est le nœud de raccordement optique (NRO). Le niveau le plus proche de l'abonné est défini sous le terme de dispositif de terminaison intérieure optique (DTIO). Entre ces deux points, il est nécessaire de définir des points de mutualisation, qui pourront contenir des équipements actifs et passifs.

Le réseau de desserte optique concerne la partie mutualisée du réseau, du PM au DTIO. La notion de point de mutualisation (PM) a été introduite par l'ARCEP pour obliger les acteurs privés et publics à mutualiser les infrastructures sur la partie aval (soit jusqu'au DTIO) dont les coûts de déploiement sont élevés et qui peuvent représenter jusqu'à 80% des coûts totaux de la nouvelle boucle locale optique.

Dans le réseau d'accès, les fibres optiques peuvent être déployées selon diverses topologies FTTx où la variable « x » décline le niveau plus ou moins profond de déploiement de la fibre vers l'utilisateur final : FTTN (Node) jusqu'à un nœud du réseau (équivalent à un sous-répartiteur cuivre), FTTC (Curb) / FTTLA (Last Amplifier) jusqu'à quelques dizaines de mètres de l'abonné, FTTB/O (Building/Office) en pied d'immeuble et FTTH (Home) jusqu'à l'abonné.

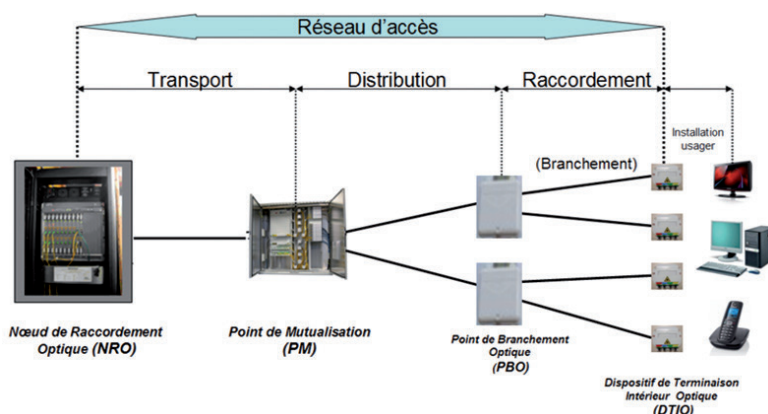


Figure 2.2 : architecture cible FTTH



Figure 2.3 : déclinaison des architectures FTTx

2.2.1.2 FTTO

L'appellation FTTO (Fibre to the Office) couvre les connexions Très Haut Débit par fibre optique pour les professionnels, que celles-ci soient jusqu'à l'entrée du bâtiment (FTTP - *Fibre to the Premises*) ou, par l'intermédiaire d'un réseau privé propre à l'entreprise, jusqu'au bureau.

Hormis pour les TPE dont la connexion peut s'apparenter à une connexion FTTH grand public, les connexions des entreprises sont réalisées à partir d'une gestion de réseau particulière, permettant de garantir une qualité de service (débits, temps de rétablissement).

Ces besoins de garantie de qualité de service amènent, en général, les opérateurs qui pourraient privilégier l'architecture PON sur le FTTH, à choisir une architecture point à point dédiée pour le FTTO.

Par rapport aux offres grand public, les débits symétriques sont toujours privilégiés pour les connexions des entreprises. Des services de réseaux privés virtuels sécurisés permettent par ailleurs à des entreprises localisées sur plusieurs sites de communiquer sans subir les phénomènes de contention des réseaux grand public.

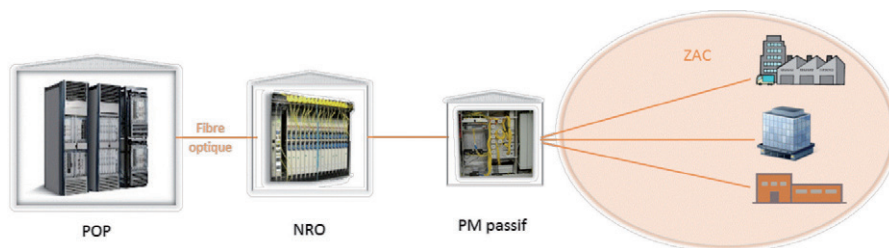


Figure 2.4 : architecture FTTO

2.2.1.3 FTTB

Comme on l'a vu au § 2.2.1.1, une des déclinaisons des architectures mettant en œuvre la fibre optique dans le réseau d'accès s'appelle FTTB (Fiber to the Building) où la terminaison optique est située en pied d'immeuble.

L'objectif général est de réutiliser l'infrastructure de câblage de l'immeuble, notamment le câblage vertical existant lié aux antennes collectives.

Grâce à la norme UIT-T G.9954 (issue de la spécification HPNA 3.1), on peut en effet utiliser la bande 12-44 MHz pour transmettre un flux Ethernet à un débit de l'ordre de 200 Mbit/s. Une telle solution est particulièrement économique puisque le raccordement ne nécessite plus de prise de rendez-vous et d'intervention chez le client final lui-même. Compatible avec le service antenne (distribution des canaux TV), cette technique de transmission de la famille EoC (Ethernet over Coaxial) permet de partager la bande passante entre 32 abonnés ce qui en fait une solution pratique mais peu évolutive et surtout moins performante que des solutions de

type FTTLA mettant en œuvre la norme DOCSIS 3.0 qui seront privilégiées sur les zones de chalandise des câblo-opérateurs.

Ces solutions FTTLA, avec un nœud optique en pied d'immeuble (voir § 2.2.2), ainsi que les solutions VDSL2 (voir § 2.2.3) en pied d'immeuble peuvent aussi être assimilées à la famille FTTB.

2.2.1.4 FTDP

Après les déploiements du tronçon de distribution d'un réseau FTTH, le raccordement d'abonné, entre le PBO et le Client Final, doit encore être réalisé. Afin de minimiser les contraintes pour effectuer ce raccordement et donc entrer chez les abonnés (prise de rendez-vous, pénétration dans les bâtiments, parcours à l'intérieur même des logements), tant pour l'habitat collectif qu'individuel, les opérateurs et fournisseurs d'accès à l'internet recherchent des solutions qui leur permettent d'offrir des services à très haut débit sans prolonger la fibre jusqu'à l'abonné.

Pour faciliter le raccordement d'abonné, les industriels proposent des solutions à des niveaux d'industrialisation inégaux mais qui ont deux points communs :

- la liaison à très haut débit en fibre optique est prolongée par la paire de cuivre téléphonique. Un boîtier convertit le signal optique en signal électrique au niveau de la paire cuivre : cette technologie est désignée par l'acronyme FTDP pour *Fiber To The Distribution Point*.
- la rétro-alimentation électrique, qui consiste à alimenter le boîtier au contact de la fibre optique via la paire de cuivre, au moyen d'une petite alimentation installée chez le client.

Lorsque la performance de cette solution hybride ne permettra plus de répondre aux besoins exprimés par les utilisateurs, il sera toujours possible d'effectuer le raccordement optique entre le PBO et le client final.

Au plan technique, si le réseau fibre optique doit être au standard GPON et l'activation de la paire de cuivre torsadée au standard VDSL2 (voire G-FAST lorsque ce standard sera finalisé), le raccordement d'abonné doit présenter une longueur de cuivre de quelques centaines de mètres maximum. Des débits de 100 Mbit/s à plusieurs centaines de Mbit/s en débit descendant seront disponibles : c'est pourquoi les offres commerciales des industriels font état d'un "débit agrégé" qui est la somme des débits des deux sens de communication, par exemple 250 Mbit/s.

Côté abonnés, les boxes DSL classiques des FAI, qui supportent le VDSL2, sont compatibles et connectables au boîtier FTDP.

Cette technique de déploiement, qui pourrait être une étape transitoire au déploiement de la fibre n'est pas encore un produit industriel. Des questions techniques et réglementaires n'ont pas trouvé leurs réponses. C'est pourquoi l'ARCEP a invité les acteurs du secteur à participer à un groupe de travail afin de fédérer les analyses et positions à ce sujet. L'ARCEP devrait alors décider si le FTDP est un sujet nouveau qui nécessite un traitement particulier et présente un intérêt. Pour le moment, d'un point de vue réglementaire, cette approche n'est pas autorisée en France.

2.2.2 LES RÉSEAUX CÂBLÉS

L'architecture des réseaux câblés, dits de vidéo-communications, est principalement guidée par le caractère « diffusé » des services initialement offerts sur ces réseaux, c'est-à-dire les programmes de télévision et de radiodiffusion. L'architecture, de type arborescente (« tree & branch »), consiste à diffuser l'ensemble des services (programmes) sous la forme d'un multiplex fréquentiel qui peut généralement couvrir l'ensemble de la gamme des fréquences VHF et UHF jusqu'à 862 MHz, comme c'est le cas pour la diffusion hertzienne (terrestre) des chaînes de télévision.

Les signaux, véhiculés sur un câble coaxial partagé, sont régénérés régulièrement à l'aide d'amplificateurs large bande de façon à s'affranchir de l'atténuation du câble. Ceci présente l'inconvénient de dégrader la qualité du signal, donc de limiter la portée en fonction de la bande de fréquences utilisée.

Pour remédier aux inconvénients des réseaux coaxiaux, les opérateurs ont introduit les technologies optiques pour réaliser le niveau de transport primaire des signaux. On parle alors d'architectures FTF (« Fiber To the Feeder »).

A l'extrémité du réseau, au-delà du dernier amplificateur, le signal est distribué sur des points de branchement, desservant de 8 à 12 logements, qui constituent l'extrémité des installations initiales. C'est sur ces points de branchement (PB) que viendront se raccorder les câbles de branchement des usagers qui seront installés au fil de l'eau en fonction des demandes de raccordement. Par nature, le réseau de branchement est donc en étoile. On distingue :

- les logements raccordables, pour lesquels un point de branchement a été positionné ;
- les logements raccordés, qui correspondent à des clients pour lesquels le câble de branchement final a été raccordé au PB correspondant ; les câbles de branchement sont généralement laissés en l'état après résiliation de l'abonnement.

Si les immeubles collectifs disposent de leur propre installation coaxiale, l'interface avec le réseau est un point de distribution collectif (PDC). Toutes les prises de l'immeuble sont donc raccordées et disposent du « **service antenne** » ; les abonnés « payants » ont accès à des services complémentaires.

Le service antenne est défini comme l'ensemble des programmes de radio et de télévision reçus localement par voie hertzienne terrestre ; cela correspond donc aux programmes de la TNT et à la bande FM.

Le contrôle d'accès, permettant de n'autoriser l'accès aux chaînes payantes qu'aux abonnés ayant souscrit l'offre correspondante, était généralement réalisé par la mise en œuvre de filtres de fréquences installés au niveau des points de branchement. Avec la numérisation des services, cette solution tend à disparaître, remplacée par l'usage de codes d'accès au service.

On a ensuite introduit les premiers réseaux bidirectionnels, pour lesquels la voie retour véhiculait des débits très faibles liés notamment aux fonctions de contrôle d'accès. Ces réseaux présentent donc une grande dissymétrie entre la voie descendante et la voie retour.

Les réseaux modernes sont basés sur une architecture nettement plus adaptée à l'évolution de l'offre de services :

- l'introduction massive de la **télévision numérique** a notablement modifié la richesse de l'offre en mettant en valeur le caractère « large bande » de ces réseaux ;

- l'introduction de services mettant en jeu les **données** (accès à Internet à haut débit) et la **voix** (téléphonie à commutation de circuits ou téléphonie IP) conduit à revoir la capacité des réseaux, notamment leur caractère bidirectionnel ;
- les notions de **capacité** et de **disponibilité** impliquent des contraintes sur le dimensionnement de l'architecture.

On aboutit alors aux architectures **HFC** (*Hybrid Fiber Coax*) avec trois sous-ensembles :

- un réseau arborescent de **distribution coaxiale**, desservant les prises raccordées à un même nœud optique (NO) desservant de 500 à 2 000 prises raccordables ;
- un réseau de **transport optique**, basé sur une topologie point à multipoints reliant un nœud d'accès (NA) aux nœuds optiques qui lui sont rattachés ; ce même réseau peut d'ailleurs supporter les services destinés aux entreprises via des liaisons optiques spécifiques ;
- un réseau d'**interconnexion** de type MAN entre les différents NA et la tête de réseau principale et les passerelles d'accès avec les autres réseaux.

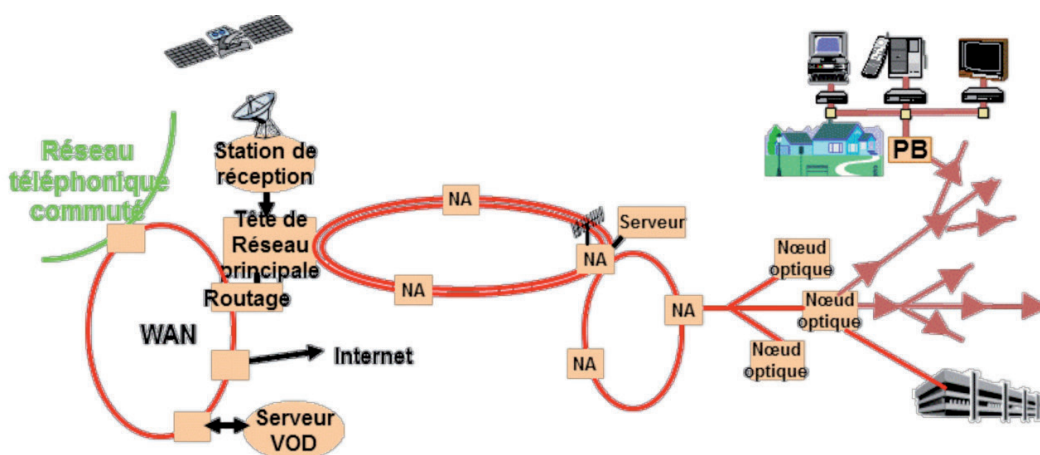


Figure 2.5 : architecture générale des réseaux câblés

La figure 2.6 présente les éléments clés de l'architecture d'un réseau câblé moderne :

- la station de réception (satellite et/ou terrestre) des programmes de télévision ;
- le back-bone longue distance pour les services IP, mais qui peut également transporter les signaux de télévision numérique ;
- la Tête de Réseau (TdR) qui réalise le traitement et la mise en forme du signal ;
- le réseau de transport, en fibre optique, qui va irriguer les différents secteurs géographiques ;
- les Centres de Distribution (CD), locaux techniques intermédiaires dont l'existence est généralement liée à l'histoire du réseau (notamment les CD des réseaux du Plan Câble) ;
- le réseau de distribution qui irrigue les différents nœuds optiques ;
- les nœuds optiques (NO) qui assurent la conversion optoélectronique du signal ;
- les amplificateurs large bande (sauf dans le cas du FTTLA) ;
- les points de branchement (PB), qui assurent une distribution radio-fréquence (RF) passive (1:n) bidirectionnelle ;
- le réseau de branchement (en étoile) ;
- l'installation d'utilisateur, qui peut comporter plusieurs prises coaxiales.

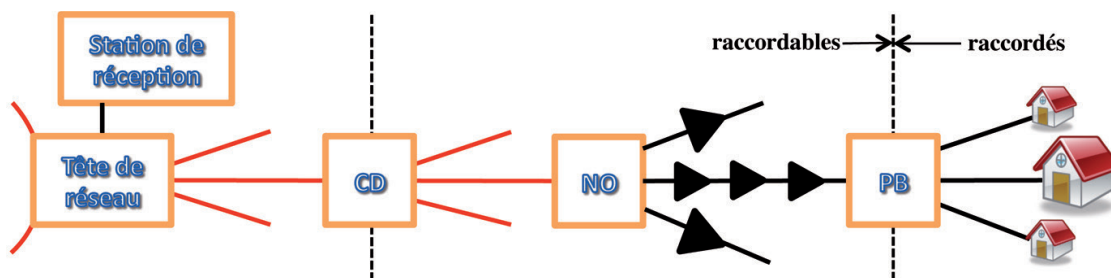


Figure 2.6 : architecture et terminologie

Le point de branchement assure l'interface entre le réseau desservant les prises raccordables et le réseau de branchement qui s'installe en fonction des demandes de raccordement des usagers (prises raccordées).

Cette architecture générale peut être déclinée en plusieurs catégories selon le niveau de pénétration de la fibre optique vers les usagers,

c'est-à-dire en fonction du nombre de prises desservies par un même nœud optique.

Dans le cas où les nœuds optiques desservent de 125 à 250 prises raccordables, on parle de « HFC optimisé ». La cascade d'amplificateurs coaxiaux derrière le nœud optique est alors réduite à 2 ou 3 éléments (figure 2.7).

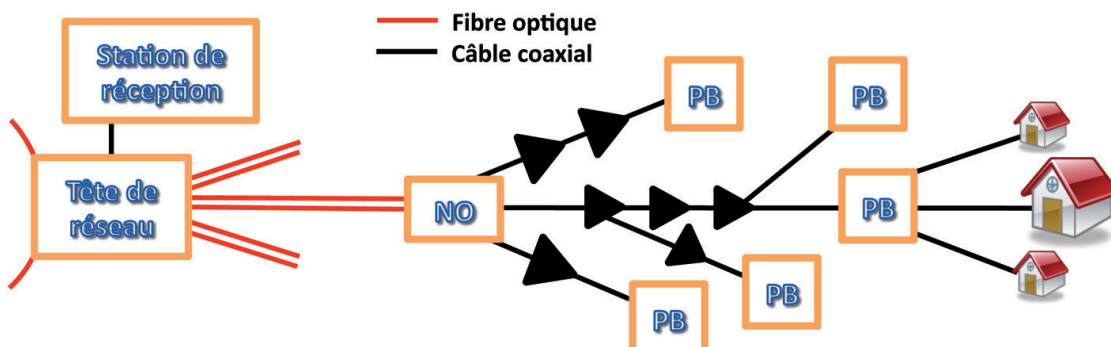


Figure 2.7 : terminaison coaxiale des réseaux HFC optimisés

Dans les architectures plus riches en fibres optiques (« deep fibre »), les nœuds optiques alimentent un réseau final coaxial « passif », c'est-à-dire ne comportant aucun rang d'amplificateur (figure 2.8). On parle alors d'architecture FTTLA (Fiber To The Last Amplifier).

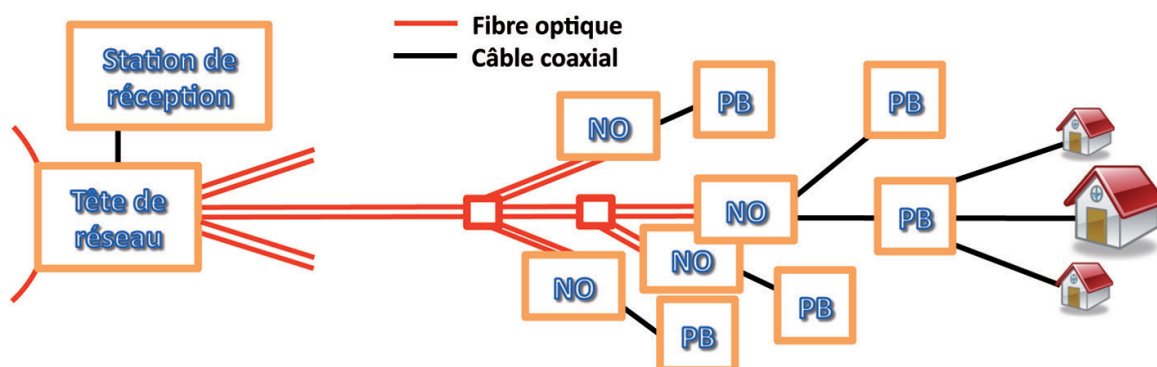


Figure 2.8 : terminaison des réseaux FTTLA

Ces architectures présentent les avantages suivants :

- la taille des poches est réduite à une vingtaine de logements, améliorant le débit moyen disponible pour chaque usager ;
- le caractère passif du réseau coaxial améliore la fiabilité du système et donc la disponibilité des services.

En ce qui concerne les services IP, l'architecture est complétée comme le montre la figure 2.9, avec l'introduction d'un CMTS (Cable Modem Termination System) et d'un routeur au niveau de la tête de réseau et du modem câble chez l'abonné.

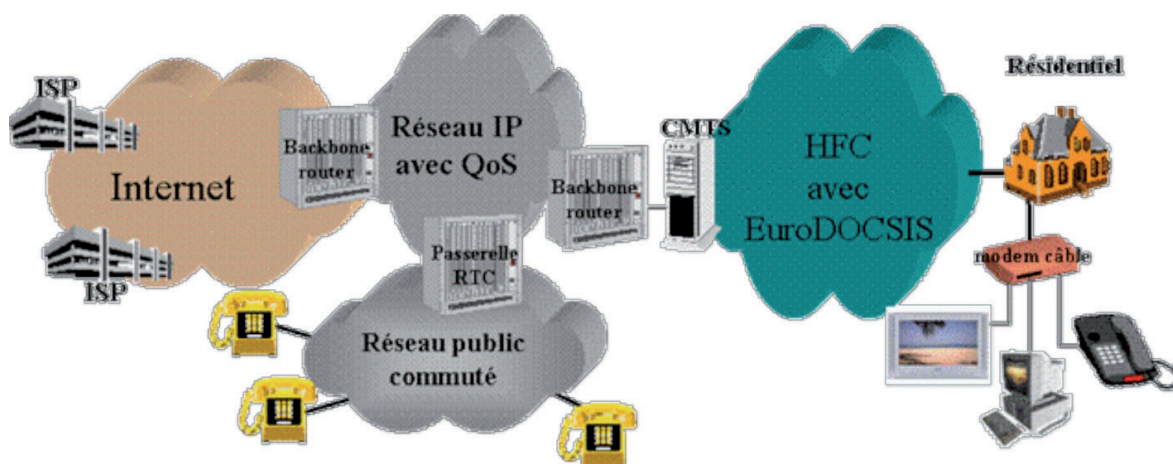


Figure 2.9 : architecture pour les services IP

2.2.2.2 CARACTÉRISATION DES RÉSEAUX CÂBLÉS

On peut identifier plusieurs critères permettant de qualifier et de caractériser les réseaux câblés :

- la bande passante effective de bout en bout :
 - la voie descendante (vers l'utilisateur) : elle monte souvent jusqu'à 862 MHz, mais sur de nombreux petits réseaux, elle est limitée à 600, 550, 450, voire 300 MHz ;
 - la voie retour, lorsqu'elle existe, couvre la bande 5-30 MHz ou 5-65 MHz ;
- l'architecture du réseau de distribution :
 - elle est toujours arborescente jusqu'au point de branchement, puis en étoile jusqu'aux logements ;
 - on caractérise l'architecture selon le niveau de pénétration de la fibre optique (FTF, HFC, FTTLA, RFoG présenté ci-après).

Les réseaux câblés se différencient également suivant leur niveau de service :

- les réseaux qui ne proposent que de la télévision analogique, certains programmes pouvant être payants grâce à la mise en place d'un contrôle d'accès ;
- les réseaux « TV only » qui proposent de la télévision analogique et numérique (dont les programmes de la TNT) ;
- ces réseaux peuvent comporter des tronçons fibre optique en transport primaire de façon à satisfaire le niveau requis de qualité de signal pour tous les usagers ;
- les réseaux « triple play » qui proposent de la télévision diffusée et des services bidirectionnels (Internet et téléphonie IP) ; les opérateurs distinguent généralement deux types selon l'offre commerciale (« *best effort* ») disponible pour Internet :
 - réseaux jusqu'à 30 Mbit/s ;
 - réseaux jusqu'à 100 ou 200 Mbit/s : dans ce cas, comme on le verra plus loin, l'architecture FTTLA est obligatoire.

De plus, il faut signaler l'existence du « service antenne » qui consiste à proposer l'ensemble des programmes reçus localement sous forme hertzienne (TNT) à tous les bénéficiaires.

Pour accompagner la pénétration de la fibre jusqu'à l'abonné, la SCTE (*Society of Cable*

Telecommunications Engineers) a établi les spécifications d'une solution de réseau câblé arrivant en fibre jusqu'à l'abonné. Baptisée RFoG (*Radio Frequencies over Glass*) cette solution connecte directement le réseau coaxial privatif de l'abonné à la fibre optique au travers d'un CPE particulier (figure 2.10), muni d'une prise coaxiale F en sortie ; Répondant à la spécification SCTE 174-2010, ces CPE reçoivent les flux descendants à une longueur d'onde de 1550nm, les flux remontants étant émis à la longueur d'onde de 1310 ou 1610 nm. Si l'architecture réseau, à proximité de l'abonné, peut-être assimilée à celle d'un réseau PON, elle rejoint en amont celle des réseaux FTTLA ou plus généralement HFC.



Figure 2.10 : exemple de CPE adapté à une solution RFoG (Département de l'Ain)

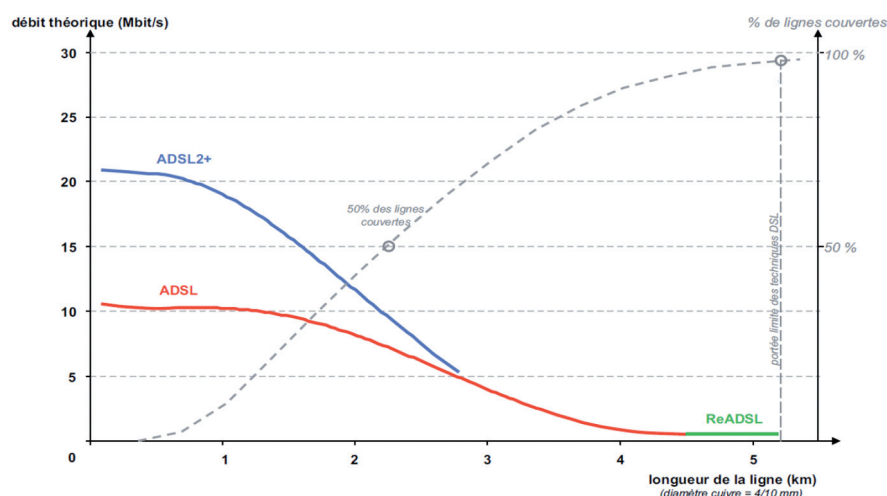
2.2.3 LE RÉSEAU TÉLÉPHONIQUE CUIVRE

2.2.3.1 LA TOPOLOGIE DU RÉSEAU CUIVRE DE FRANCE TELECOM

Il s'agit d'un réseau en étoile convergeant vers les NRA (Nœud de Raccordement d'Abonnés) et comprenant près de 100 millions de kilomètres de paires de cuivre.

La longueur moyenne nationale des lignes se situe aux alentours de 2,5 km (figure 2.11). Sur la totalité des lignes, une moitié seulement se caractérise par un affaiblissement inférieur à 30 dB et peut prétendre accéder à un débit de 10 Mbit/s, nécessaire pour un service Triple Play TVHD de bonne qualité.

Le seul service TVHD pourrait se satisfaire de 8 Mbit/s selon le mode de compression choisi.



Débits théoriques en fonction de la distance depuis le NRA en câbles 4/10^e

Figure 2.11 : impact de la distance sur les débits théoriques

Le réseau d'accès est segmenté en trois parties (figure 2.12) : transport (du Nœud de Raccordement d'Abonné au Sous répartiteur), distribution

(du sous-répartiteur au Point de Concentration), branchement (du point de Concentration à la prise téléphonique).

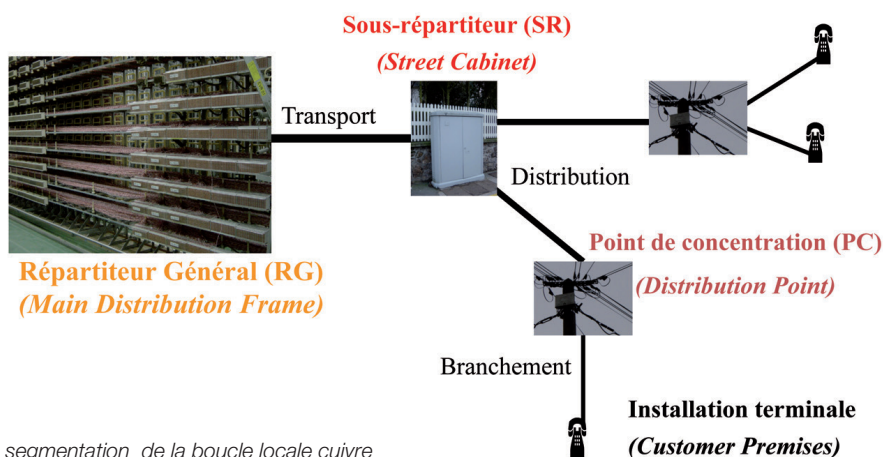


Figure 2.12 : segmentation de la boucle locale cuivre

Les nœuds d'accès, qualifiés de NRA (Nœuds de Raccordement d'Abonnés) dans le réseau cuivre de l'opérateur historique, matérialisent la frontière entre les réseaux de collecte et les réseaux d'accès. Les NRA ont pour fonction de raccorder les clients (particuliers et entreprises) au réseau dorsal de l'opérateur. Aujourd'hui, plus de 95 % de l'accès est assuré via le réseau de l'opérateur historique.

Il est à noter que les NRA de plus de 10 000 lignes représentent environ 4,4 % du nombre de NRA, soit 44 % des lignes.

Depuis début 2007, l'ensemble des NRA est équipé de la technologie DSL via des équipements appelés DSLAM. Cela permet à environ 99,3 % des lignes cuivre de la boucle locale d'accéder à des services haut débit sur DSL.

En outre, environ 88,6 % des lignes sont raccordées à un NRA dégroupé, c'est-à-dire présentant plus d'un opérateur présent avec ses équipements.

Capacité	Nombre de NRA	Nombre de lignes
Moins de 2000 lignes	80 %	25 %
Entre 2000 et 10000 lignes	15,6 %	30,6 %
De 10 000 à 30 000 lignes	3,8 %	33 %
Plus de 30 000 lignes	0,6 %	11,3 %

Tableau 2.1 : répartition des NRA de France Télécom par capacité (source Observatoire de l'ARCEP)

2.2.3.2 CARACTÉRISTIQUES DES PAIRES DE CUIVRE

Les services que l'on peut proposer sur une paire de cuivre sont conditionnés par le débit disponible. Ce débit est lui-même tributaire de la

ressource en fréquence exploitable sur le support et de la qualité de cette ressource qui s'exprime à travers le rapport signal sur bruit (S/B). La modélisation présentée sur la figure 2.13 permet de visualiser les relations d'interdépendance entre ces différentes grandeurs.

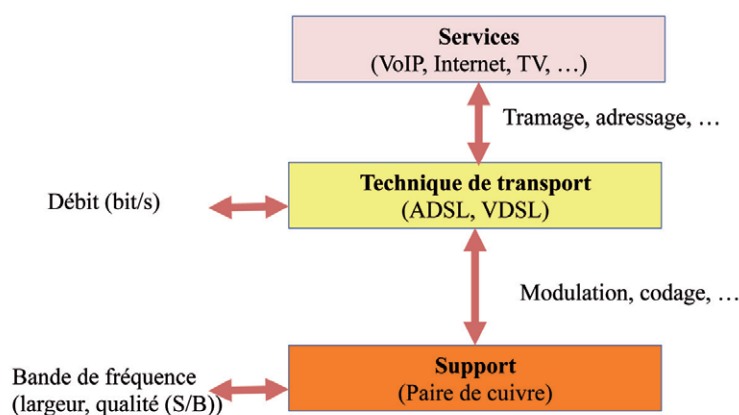
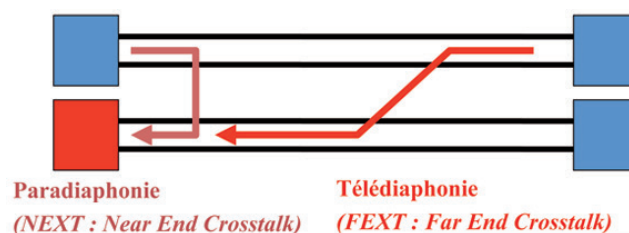


Figure 2.13 : relation fréquence / débit / service

Le rapport Signal sur Bruit (S/B) est le principal indicateur de la qualité d'une ligne. Il est d'autant plus élevé que le signal est fort et le bruit faible. La source principale de bruit est la diaphonie

(figure 2.14), perturbation générée par le caractère « multi-paires » des câbles de la boucle locale. La diaphonie augmente avec le nombre de paires, la distance ainsi que la fréquence.



Le bruit de diaphonie augmente avec :

- le nombre de paires
- la fréquence



Figure 2.14 : bruit de diaphonie
(source Telecom Sud Paris)

Le niveau du signal reçu dépend principalement de trois facteurs : la fréquence, la longueur et le calibre des paires (figure 2.15 et tableau 2.2). Une ligne téléphonique étant constituée de

l'aboutement de paires de cuivre de longueur et de sections variables, chaque ligne est un cas particulier.

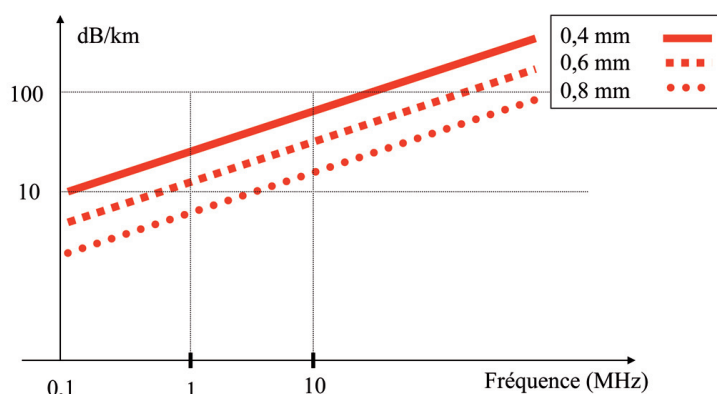


Figure 2.15 : affaiblissement du signal en fonction des caractéristiques des paires (source Telecom Sud Paris)

Calibre du câble	4/10	5/10	6/10	8/10
Fréquence				
0,8 kHz	1,61	1,26	1,06	0,81
3,4 kHz	3,25	2,50	2,06	1,5
28,8 kHz	7,6	5,45	4,3	2,79
64 kHz	9,7	6,9	5,5	3,9
128 kHz	11,8	8,7	7,3	5,4
256 kHz	14,5	11,2	9,8	7,6
300 kHz	15	12,4	10,3	7,9
512 kHz	20,6	17,9	14,1	12

Tableau 2.2 : affaiblissement du signal en fonction des caractéristiques des paires (source Telecom Sud Paris)

2.2.3.3 PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT DES TECHNIQUES ADSL / VDSL

Les technologies xDSL, notamment ADSL et VDSL, font appel à des techniques de traitement de signal très sophistiquées qui vont permettre d'exploiter au mieux la ressource spectrale limitée de la paire de cuivre.

Les technologies xDSL peuvent être organisées en deux sous-familles décrites sur la figure 2.16.

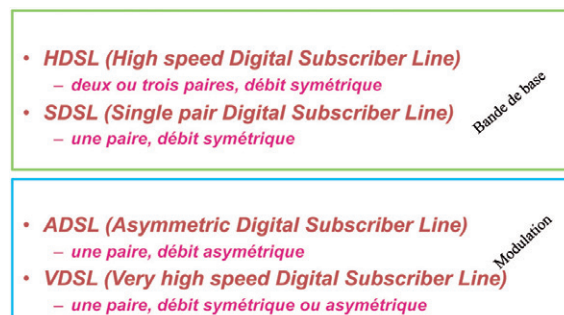


Figure 2.16 : la famille DSL

Ces technologies font l'objet d'une normalisation de la part de l'Union Internationale des Télécommunications (UIT) illustrée sur la figure 2.17.

- **G.991 : HDSL/SDSL**
- **G.992 : ADSL**
- **G.993 : VDSL**
- **G.994 : procédures d'initialisation**
- **G.996 : méthodes de test**
- **G.997 : gestion des systèmes ADSL**



Figure 2.17 : recommandations de l'UIT

Les techniques HDSL et SDSL fonctionnent en bande de base ce qui sous-entend qu'elles ne mettent en œuvre qu'un traitement de signal de type transcodage dont le but est d'augmenter l'efficacité spectrale. Plus le code est sophistiqué, plus la bande de fréquence utilisée est faible, ce qui par voie de conséquence va réduire l'atténuation et donc augmenter la portée. Les deux techniques (HDSL et SDSL) proposent un débit symétrique sur une ou plusieurs paires visant, a priori, une clientèle d'entreprise.

Le traitement de signal utilisé dans le cas des technologies ADSL/VDSL est une modulation de type OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Elle a pour nom DMT (*Dual MultiTone*). Le principe est le suivant : la bande de fréquence disponible sur le support est divisée en sous-bandes. Chaque sous-bande a une largeur de 4,3125 kHz définie selon la recommandation G.992. A chacun de ces canaux est affectée une porteuse modulée en technique QAM (Quadrature Amplitude Modulation). Le niveau de modulation et, par voie de conséquence, le débit affecté à chaque sous-bande est limité par la qualité de ce canal. Plus le niveau de qualité est élevé, plus on peut monter le niveau de modulation et donc le débit. A l'opposé, un canal de qualité médiocre recevra une modulation de bas niveau voire pourra même être éteint si la qualité est vraiment trop mauvaise ce qui peut arriver dans le cas de présence de bruit stationnaire dans la bande fréquences considérée. Le débit par canal est un multiple de 4 kbit/s (tableau 2.3).

QAM -2 ⁿ	n × 4 kbps
QAM -16	4 × 4 kbps = 16 kbps
QAM-64	6 × 4 kbps = 24 kbps

Tableau 2.3 : débit par canal

Le débit par canal dépend de la qualité du canal (S/B) comme le montre la figure 2.18. Le débit total disponible sur la paire de cuivre est la somme des débits de tous les canaux.

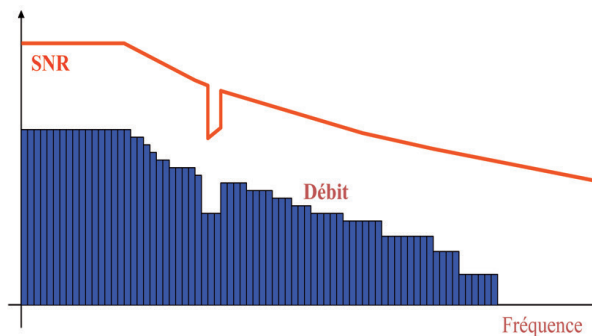


Figure 2.18 : relation entre débit et S/B en fonction de la fréquence (source Telecom Sud Paris)

Dans sa version de base, l'ADSL occupe une bande fréquence de 1,104 MHz correspondant à 256 canaux de largeur identique : 4,3125 kHz (figure 2.19) :

- le canal numéro 1 est réservé au téléphone analogique ;
- les canaux 2 à 6 sont laissés libres. Ils sont utilisés par le filtre placé sur la prise téléphonique qui permet de séparer la téléphonie classique de l'Internet ;
- les canaux 7 à 256, soit au total 250 canaux, sont utilisés pour le transport des flux Internet (téléphonie IP + TV + accès Internet).

La technologie ADSL privilégie, comme son nom l'indique, les flux descendants (Downstream) ; le flux montant (Upstream) n'utilise que 25 canaux. En mode duplex, le flux descendant peut couvrir l'ensemble des canaux en l'absence de flux montant, soit 250 canaux. En mode simplex, seuls 219 canaux sont réservés au flux descendant, le reste étant réservé au flux montant.

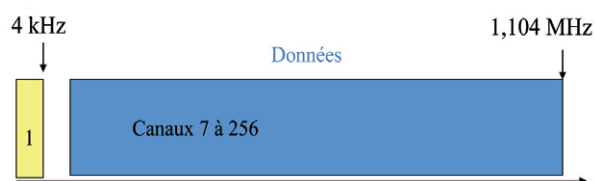


Figure 2.19 : plan de fréquences ADSL (source Telecom Sud Paris)

L'ADSL est proposé aussi en différentes versions destinées à des marchés plus spécifiques.

L'ADSL 2, normalisé à l'UIT dans la recommandation G.992.5 permet d'augmenter encore le débit disponible sur les liaisons courtes déjà favorisées. Le principe consiste à doubler la bande de fréquence en utilisant 512 canaux au lieu de 256.

Il existe aussi une version dite **Re-ADSL** (Reach Extended-ADSL). Normalisée dans la recommandation G.992-3, cette technologie vise le marché des liaisons longues. Dans ce cas, il s'agit plutôt de favoriser les canaux de fréquence basse (< 200 kHz). L'amélioration du rapport Signal sur Bruit de ces canaux entraîne une augmentation

du niveau de modulation et donc du débit. Le Re-ADSL permet de rendre éligibles des lignes qui ne l'étaient pas ou encore d'augmenter le débit de lignes longues à faible capacité.

La logique d'extension de la bande de fréquence validée en ADSL 2 peut être étendue encore, dès lors que la qualité de la ligne le permet. C'est sur ce principe que repose le VDSL (figure 2.20). Le nombre de canaux peut être porté à 4096 et les niveaux de modulation applicables permettent d'envisager dans le cas idéal (QAM-2048) un débit par canal de 44 kbit/s. La réalité est bien entendue très en deçà.

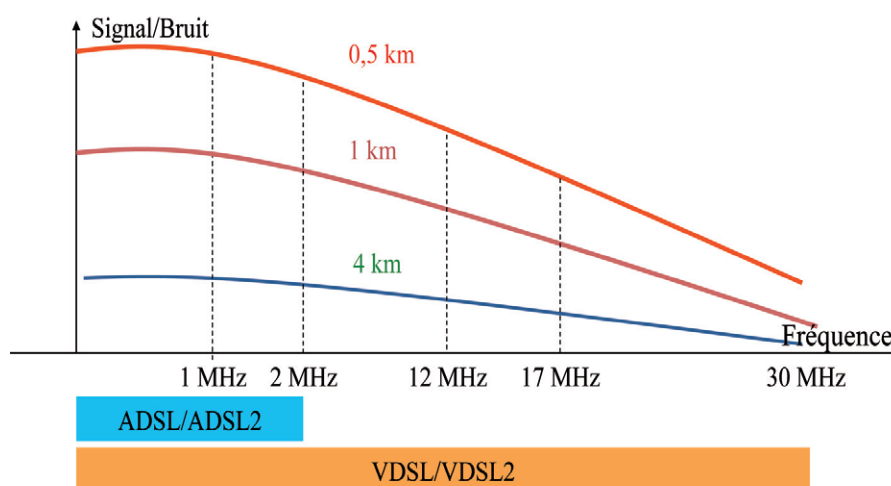


Figure 2.20 : signal/bruit et éligibilité (source Telecom Sud Paris)

Le **VDSL** existe en version symétrique ou asymétrique dont la description détaillée est donnée au § 9.1.3. Les modems VDSL fonctionnent uniquement en mode simplex, ce qui signifie qu'un canal donné fonctionne soit en flux montant (Upstream :

US) soit en flux descendant (Downstream : DS). L'UIT a défini huit profils utilisables dans sa recommandation G.993.2 (tableau 2.4). Il est à noter qu'en France, le plan à 30 MHz (30a) n'a pas été retenu par le Comité d'Experts.

Profil	8a	8b	8c	8d	12a	12b	17a	30a
Fréquence (MHz)	8,5	8,5	8,5	8,5	12	12	17	30
Puissance (dBm)	+ 17,5	+ 20,5	+ 11,5	+ 14,5	+ 14,5	+ 14,5	+ 14,5	+ 14,5
Débit (Mbit/s)	50	50	50	50	68	68	100	200

Tableau 2.4 : profils VDSL

La vectorisation (*vectoring*) est une technique de traitement de signal ayant pour but d'améliorer le rapport sur bruit de la paire de cuivre en diminuant fortement la diaphonie (FEXT : *Far End Crosstalk*) causée par les autres paires du câble. La technique a été définie dans la recommandation G.993.5 de l'Union Internationale des Télécommunications (UIT).

Le principe est le suivant : pour supprimer le bruit de diaphonie sur une paire, le DSLAM mesure le bruit de chacune des paires, et vient soustraire la somme de ces bruits à la paire faisant l'objet du *vectoring*.

Dans les rares cas où elle est envisageable, la technique de vectorisation permet d'augmenter significativement le rapport Signal sur Bruit et par conséquent, le débit sur la ligne mais sa mise en œuvre est très contraignante. C'est un processus complexe applicable à un nombre très limité de lignes. La technique exige en effet une coordination et une synchronisation en accord avec l'exigence, souvent rédhibitoire, que toutes les lignes soient accessibles par le même opérateur.

2.3 LES RÉSEAUX RADIO TERRESTRES

Pour les infrastructures radio terrestres, on trouve une large gamme de technologies comprenant :

- la diffusion de la télévision analogique puis numérique (TNT) vers les antennes individuelles ou collectives ;
- la boucle locale radio (BLR), notamment avec la norme IEEE 802.16, dont la version 802.16d correspond au label WiMAX d'interopérabilité des matériels ;
- la téléphonie mobile avec les versions successives du GSM de deuxième génération, GPRS et EDGE, l'UMTS et maintenant la 4G (LTE) ;
- les réseaux locaux radioélectriques (RLAN), avec les normes de la famille IEEE 802.11 (WiFi) ou la norme européenne Hiperlan 2.

Les normes et technologies « radio » issues des réseaux informatiques (filière IEEE) sont venues empiéter sur celles issues des télécommunications (filière ETSI, UIT) principalement sur l'axe couverture (figure 2.21). Ceci constitue une autre vision de la convergence entre ces deux univers permettant de réunir des services data, voix, et « médias » dans un même bouquet de services, sur une même desserte radio.

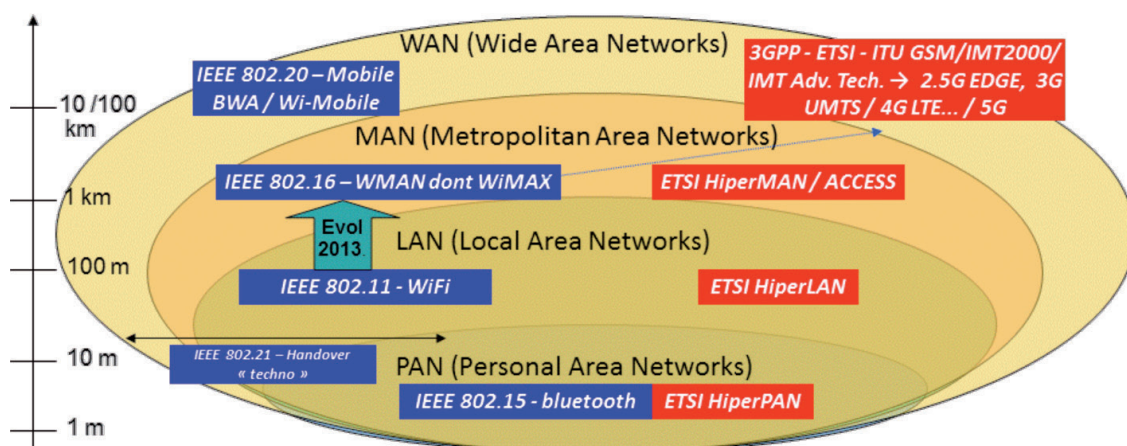


Figure 2.21: évolution et convergence des normes radio

2.3.1 SPECTRE DES FRÉQUENCES UTILISÉES

La « segmentation » en bandes de fréquences est définie par l'UIT au niveau mondial avec des déclinaisons par continents ; entre 3 Hz et 3 000 GHz, on retrouve successivement les bandes ELF, SLF, ULF, VLF, LF, MF, HF, VHF, UHF, SHF, EHF et Terahertz (se reporter au chapitre 11 consacré aux acronymes).

En France, l'ANFR (Agence Nationale des Fréquences) est en charge de la « gestion au terrain » des fréquences, plus précisément : « Les fréquences radioélectriques appartiennent au domaine public de l'État. Celui-ci a confié à l'Agence nationale des Fréquences des missions de planification, de gestion de l'implantation des émetteurs, de contrôle et enfin de délivrance de certaines autorisations et certificats radio ».

L'usage d'un certain nombre de bandes n'est pas soumis à licence, mais sa mise en œuvre est réglementée. Par exemple, pour le 802.11b, la bande de fréquences utilisable en France est située entre 2446,5 et 2483,5 MHz. La puissance rayonnée ne doit pas dépasser les valeurs suivantes :

- à l'intérieur des bâtiments : < 100 mW (canaux 10 à 13) ou < 10 mW (canaux 1 à 9) ;
- à l'extérieur des bâtiments : < 100 mW pour les canaux 10 à 13 ainsi que les canaux 1 à 9 dans certains départements.

La réglementation actuelle est la suivante :

- utilisation à l'intérieur des bâtiments : pas de demande d'autorisation ;
- à l'extérieur des bâtiments, on est en régime de déclaration auprès de l'ARCEP, qui coordonne les discussions engagées avec les Autorités Militaires.

Pour d'autres bandes, des licences sont octroyées par l'État, après avis délivré par les « affectataires », par exemple les licences du Mobile (2G, 3G, 4G). En France, les « affectataires » des fréquences sont l'ARCEP, le CSA et le Gouvernement (7 Ministères). Le site de l'ANFR (<http://www.anfr.fr/fr/planification-international/tnrbf/tableau-derive.html>) qui explique la notion de TNBRF (Tableau National de Répartition des Bandes de Fréquences) et de « tableau dérivé ».

Au-delà des fréquences utilisées dans le réseau d'accès qui fait l'objet du corps principal de ce présent guide, certaines fréquences sont allouées à la mise en œuvre de liens point-à-point, qu'il s'agisse de liens de collecte ou de ponts de transport, pour lesquels les technologies utilisées pour l'accès (WiFi ou WiMAX) peuvent être complétées par les faisceaux hertziens (FH).

La bande EHF (fréquences comprises entre 30 et 300 GHz) permet une évolution significative des solutions FH. A ces fréquences, la transmission présente l'avantage de disposer d'une ressource spectrale large (plusieurs centaines de MHz) permettant d'envisager des débits élevés mais les contraintes de propagation sont particulièrement limitatives et ne permettent d'envisager que des portées de quelques centaines de mètres, voire dans les meilleures conditions, un peu plus d'un kilomètre.

Suite à la consultation publique menée en 2012 en vue de l'utilisation de ces fréquences, l'ARCEP a publié en septembre 2013 la synthèse de ses décisions. Pour les applications de type point-à-point, dans la bande EHF, trois bandes de fréquences sont autorisées :

- la bande dite des 32 GHz (31,8 - 33,4 GHz) ;
- la bande dite des 38 GHz (37,2 - 38,2 GHz) et (38,5 - 39,4 GHz) ;
- la bande dite des 70-80 GHz (71 - 76 GHz) et (81 - 86 GHz).

Pour ce qui concerne les technologies radio utilisées dans le périmètre des architectures de communications, l'attribution des bandes de fréquences est résumée dans le tableau 2.5. Le lecteur pourra se reporter au site ARCEP pour consulter la « base de données des fréquences » dont l'ARCEP est affectataire, et en particulier accéder aux conditions techniques d'utilisation et aux décisions relatives (<https://www.espectre.arcep.fr/index.php>).

« Services » Wireless	Bande de Fréquence	Commentaire
Mobile Voix/Data 2,5G	900 MHz / 1800 MHz	GSM, GPRS, EDGE
Mobile 3G, 3G+, 3G 'DC' <i>DC : Dual Carrier</i>	2100 MHz / 900 MHz	UMTS ; HS(D,U)PA <i>Libération Choix 'Techno Radio' prévue pour mi 2016 suite décision UE</i>
Mobile 3,9 G 'LTE', 4G 'LTE Advanced'	2600 MHz / 1800 MHz / 800 MHz	LTE 1800 depuis le 1 ^{er} oct. 2013 <i>Extension → 700 MHz confère réflexion & consultation (en cours) de l'état.</i>
Fixe 4G	3,5 GHz	Sous réserve révision cadre WiMAX en 2016
Fixe WiMAX	3,5 & 26 GHz	11/2012 : obligation de déploiement / couverture sous surveillance ARCEP Eventualité d'une réaffectation bande 3,5 GHz par l'ARCEP en 2016.
WiFi, Wi-FiMAX	2,4 GHz / 5,4 GHz & 3,5 GHz	Régime d'Autorisation/Déclaration (Réseaux ouverts au public) Licence pour Bande 3,5 GHz
Pont « SuperWiFi »	« Interbande » TNT (canaux 8 MHz) dans la bande UHF (470 / 790 MHz)	Une autorisation a été accordée par l'ARCEP en 10/2012, renouvelée en 10/2013, à la société INFOSAT pour une expérimentation en Seine-Maritime (Bande 590-598 MHz, 2012-1184, 2013-1266)
FH WiFi utilisé comme « Pont de Transport »	5,4 GHz WiFi	Pas de Licence / Autorisation <i>Utilisation en Relais de Collecte de « zones de distribution WiFi » distantes</i>
FH Collecte	11 GHz, 26 GHz 70 / 80 GHz (ondes millimétriques)	Licence

Tableau 2.5 : les différentes fréquences radio

A l'intérieur de chacune des bandes, les flux de communication sont organisés en sous-bandes, celles-ci étant attribuées entre les différents opérateurs attributaires dans le cas des licences

octroyées par l'Etat. Le tableau 2.6 donne un premier niveau de précisions sur la canalisation dans ces différentes bandes, pour ce qui concerne les réseaux WiFi, WiMAX.

Services Wireless	Norme IEEE	Bande de Fréquence	Canalisation
WiFi (Wireless Fidelity : « label » délivré par la WiFi Alliance cf conformité norme IEEE)	802.11b	2,4 GHz	14 canaux (13 en Fr) espacés de 5 MHz (2446,5 ↔ 2483,5 MHz) ; signal de 22 MHz de largeur ; sur une zone, 3 porteuses Max (ex : 1, 7, 13) ; 11Mbit/s (6,25 utiles) par fréquence, partagés entre utilisateurs
	802.11g	2,4 GHz	Même canalisation que 802.11b ; l'amélioration du codage permet un meilleur débit : 54 Mbit/s (42 utiles) En usage extérieur, en France, la norme 802.11b/g doit être appliquée avec une PIRE < 100mW
	802.11a	5,4 GHz	52 porteuses 8 débits (6 à 54 Mbits/s)
	802.11n « MiMo »	2,4 GHz et/ou 5,4 GHz	Jusque 450 Mbits/s partagés ; Canaux de 20 ou 40 MHz
WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)	802.16, 802.16c	10-66 GHz, Norme de base et Options	Bande permettant des communications « LOS » (à vue directe) Normes 2002, 2003 - Obsolètes
	802.16a	2 – 11 GHz	Bande permettant des communications « NLOS » (Non à vue directe) Norme 2003 - Obsolète
	802.16d, « actualisation » en 2004, de 802.16, 16a, 16c → 'Système WiMAX'	40 GHz (en transmission) et 5,8 GHz, 26 GHz et 3,5 GHz en France	La bande retenue en France se situe à 3,5 GHz et à 26 GHz (25,5-26,5 pour la voie descendante et 24,5-25,5 GHz pour la voie remontante). La bande radio-fréquence est de 14 MHz par porteuse ; une porteuse supporte un nombre limité de terminaux.
	802.16e-2005, 802.16f 802.16m-2009	De 2 à 66 GHz service vers « mobiles » absent de l'accord « Licences WiMAX » en France	Support Antennes MiMo ; Introd. des spécif. de connexion vers les mobiles – augmentation des débits théoriques – 802.16m est une norme de convergence avec WiFi, 4G

Tableau 2.6 : canalisation des différentes bandes radio

Le Wi-FiMAX est, de fait, une appellation commerciale « constructeur » qui recouvre plusieurs déclinaisons faisant appel aux « normes » WiFi recensées plus loin, plus la spécification d'antennes

MIMO (Multiple In, Multiple Out). Ces antennes sont utilisées en WiFi, mais aussi en WiMAX et en 3G+ (HSPA, LTE) et 4G (LTE advanced).

2.3.2 ÉVOLUTION DES TECHNOLOGIES RADIO WIMAX ET WIFI

2.3.2.1 LES TECHNOLOGIES WIFI

Depuis quelques temps déjà, les technologies WiFi ont dépassé le domaine des réseaux locaux radio (W-LAN ou R-LAN) pour prendre pied sur le domaine public (outdoor) avec en particulier le développement des hotspots WiFi. Plus récemment (depuis 2004 environ), on a vu l'apparition des premiers déploiements en volume de réseaux WiFi basés sur des architectures maillées (Mesh) qui permettent de déployer rapidement et à moindre coût ces technologies. Sur ces bases, comme expliqué précédemment (figure 2.21), le WiFi (technologie "LAN" à l'origine) est venu empiéter, en terme de couverture, sur les réseaux "MAN", en sortant des villes et des maisons, comme un remède à la carence en ADSL performant sur certains territoires, voire à son absence.

Ces déploiements, souvent initiés par des associations constituées pour apporter une solution Haut-Débit sur leurs territoires « Zones Blanches », utilisaient le partage d'une ou plusieurs sources (Très) Haut-Débit (ADSL, SDSL, WiMAX, aujourd'hui FO) en collecte entre des abonnés (adhérents) reliés par maillage de proche en proche, ou en distribution directe, ou en « mix » des deux. Ces déploiements étaient alors effectués dans la bande 2,4 GHz en utilisant des matériels "grand-publics" équipés d'antennes à gain, et disposant de firmware "open-source".

Des Opérateurs Locaux se sont ensuite rapidement constitués pour pérenniser et professionnaliser l'intervention associative. Un phénomène de consolidation s'est produit depuis 3 ou 4 ans avec l'émergence de véritables Opérateurs Nationaux « alternatifs » WiFi. Néanmoins, certaines communes rurales sont aujourd'hui toujours desservies en Haut-Débit par des associations locales de « wifistes ».

Cette industrialisation des techniques de couverture radio débouche aujourd'hui sur une véritable « offre de transition » vers le Très Haut Débit, faisant largement appel à la bande 5,4 GHz. L'apport de la norme 802.11n, et bientôt celui de la norme 802.11ac, conjointement avec l'utilisation d'antennes MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) est un facteur important de cette industrialisation, en particulier pour l'organisation du « partage » du média air.

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

En conséquence, les débits disponibles à l'utilisateur final sont améliorés. Généralement, les opérateurs recommandent de ne pas dépasser 18 Mbit/s afin de tenir compte de la problématique de la collecte du trafic.

2.3.2.1 LA BOUCLE LOCALE RADIO ET LE WIMAX

L'ensemble des applications se retrouve sous le vocable anglo-saxon **BWA** ou **BFWA** (**B**roadband **F**ixed **W**ireless **A**ccess) ou encore **WLL** (**W**ireless **L**ocal **L**oop); on y trouve des techniques telles que les réseaux terrestres multipoints de type **MMDS** (**M**ultichannel **M**ultipoint **D**istribution **S**ystem), **MVDS** (**M**ultipoint **V**ideo **D**istribution **S**ystem) ou **LMDS** (**L**ocal **M**ultipoint **D**istribution **S**ervice).

Les technologies MMDS ont d'abord été développées, principalement aux Etats Unis, dans une version analogique fonctionnant dans la bande de 2,5 GHz ; pour des émetteurs de puissance comprise entre 1 et 100 W et avec des antennes de réception de 15 à 45 cm, la portée est comprise entre 5 et 50 km. Plus récemment, les technologies ont permis de fonctionner vers 27 et 40 GHz, ce qui permet de disposer d'une bande passante plus large mais en réduisant en même temps la zone de couverture.

Comme le montre la figure 2.21 dans l'introduction du § 2.3, on parle également pour ces réseaux de **WMAN** (**W**ireless **M**etropolitan **A**rea **N**etwork ou **W**ireless **M**AN).

Venant en prolongation des premières générations d'équipements liés à la boucle locale radio (BLR) à 3,5 GHz ou 28 GHz, les réseaux WMAN du « Système WiMAX » sont définis par la norme **802.16** (dont les principales caractéristiques et évolutions sont listées dans le tableau 2.6) qui encadre les différentes options de réalisation de ceux-ci.

Les technologies radio destinées aux liaisons fixes évoluent régulièrement tant du point de vue des débits véhiculés, de la qualité de service que

de celui de la sécurité des transmissions. L'offre des équipementiers a suivi l'évolution des normes et technologies d'une part, l'allocation du spectre radio dans le cadre des attributions de licences par l'ARCEP d'autre part.

En France, les réseaux WiMAX semblent vouloir connaître un sursaut. En particulier, l'utilisation de technologies OFDM (multiplexage jouant sur la dualité temps/fréquence pour transporter les signaux) pour le WiMAX et multi-antennes MIMO (à compter du niveau de spécification 802.16e) améliorent considérablement les débits des réseaux radio WiMAX. On assiste ainsi en 2013, à des opérations commerciales de « Montée en Débit » sur les réseaux WiMAX existants, après mise à niveau des infrastructures.

2.3.3 LES RÉSEAUX DE TÉLÉPHONIE MOBILE

Aujourd'hui trois technologies de réseaux mobiles coexistent : les réseaux 2G (GSM/EDGE), 3G (UMTS/HSPA) et 4G (LTE).

L'histoire des réseaux numériques modernes a commencé en 1983 avec la création du Groupe Spécial Mobile (GSM) par la Conférence Européenne des Postes et Télécommunications. Ce groupe a été chargé de la mise au point d'une norme pour un réseau radio mobile numérique de deuxième génération.

En France, à partir de 1986, les lancements se succèdent comme Radiocom 2000 par France Telecom Mobile. En 1988, les premières licences 2G sont attribuées à France Telecom et SFR. La première liaison téléphonique GSM est établie en 1991. La même année, France Telecom lance le Bi-Bop, premier téléphone portable qui permettait uniquement de lancer des appels téléphoniques à proximité de bornes publiques. En 1992, France Telecom ouvre son réseau GSM, suivi par SFR puis par Bouygues Telecom. En 1997, le réseau Bi-Bop est fermé face au succès du GSM. Radiocom 2000 fermera en 1999. En 2004, les réseaux 3G d'Orange et SFR sont commercialement ouverts. En 2010, Free Mobile lance son réseau 3G. Les réseaux 4G LTE de SFR, Orange et Bouygues Télécom sont ouverts progressivement en France en 2012 et 2013.

En 2013, plusieurs acteurs œuvrent dans le domaine de la téléphonie mobile : les instances internationales, les groupes de normalisation, les régulateurs, les opérateurs et les clients.

- L'Union Internationale des Télécommunications est l'institution spécialisée des Nations Unies pour les technologies de l'information et de la communication. L'UIT attribue dans le monde entier des fréquences radioélectriques qui assurent l'interconnexion des réseaux et des technologies.
- Le 3rd Generation Partnership Project est un groupe comprenant des organismes de standardisation régionaux. Il élabore les normes, et leurs évolutions, des réseaux GSM (GPRS – EDGE, Evolved EDGE), UMTS (DSPA, HSPA, HSPA+ DC) et LTE.
- L'Autorité de Régulation des Communications Electroniques et des Postes (ARCEP) est une Autorité Indépendante chargée de réguler le marché des télécommunications et postal. Elle attribue notamment les ressources rares (fréquence et numéros).
- L'Agence Nationale des Fréquences (ANFR) gère les fréquences radioélectriques, ces dernières appartenant au domaine public de l'Etat. Elle attribue pour différents services (téléphonie, PMR, satellite, radioastronomie, télécommande, ...) les bandes de fréquences. Elle gère les sites d'émissions radio et peut gérer pour le compte d'une autorité affectataire de service (ARCEP, CSA, ...) les fréquences radio.
- Les opérateurs assurent le service aux clients. Deux types d'opérateurs se partagent le marché, d'une part les opérateurs ayant leur infrastructure (MNO : Mobile Network Operator), et d'autre part les opérateurs n'ayant pas d'infrastructure propre et utilisant l'infrastructure d'un MNO : les MVNO (Mobile Virtual Network Operator). Les MVNO peuvent utiliser les services et les solutions techniques d'un MVNE (Mobile Virtual Network Enabler) et se fournir chez un MVNA (Mobile Virtual Network Aggregator) qui achète des minutes et volume de données en gros aux opérateurs d'infrastructure. En France, les MNO sont Orange France, SFR, Bouygues Telecom, Free Mobile.

Parallèlement, la technologie 4G pourrait être utilisée dans le cadre d'un déploiement d'infrastructure fixe de desserte numérique, par un opérateur ou un délégataire, sans utiliser le réseau mobile des opérateurs.

Cette possibilité, aujourd'hui incertaine en termes d'attribution du spectre, est conjointe à la diffusion de la technologie WiMAX sur ces segments du marché.

2.4 LES SOLUTIONS SATELLITAIRES

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

Concrètement, le système d'internet par satellite se compose d'une station de base terrestre reliée aux principaux points d'échanges de trafic internet (GIX). En France, la station terrestre d'Eutelsat est située à Rambouillet. Cette station transmet le signal vers le satellite qui lui-même peut le distribuer sur les zones les plus reculées du territoire. Cette architecture est présentée sur la figure.2.22.

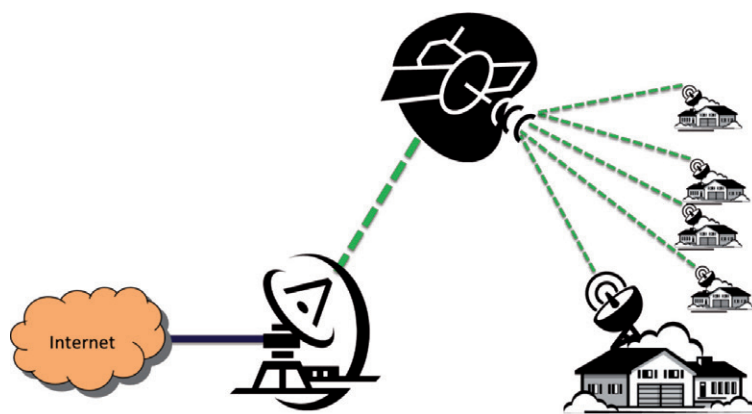
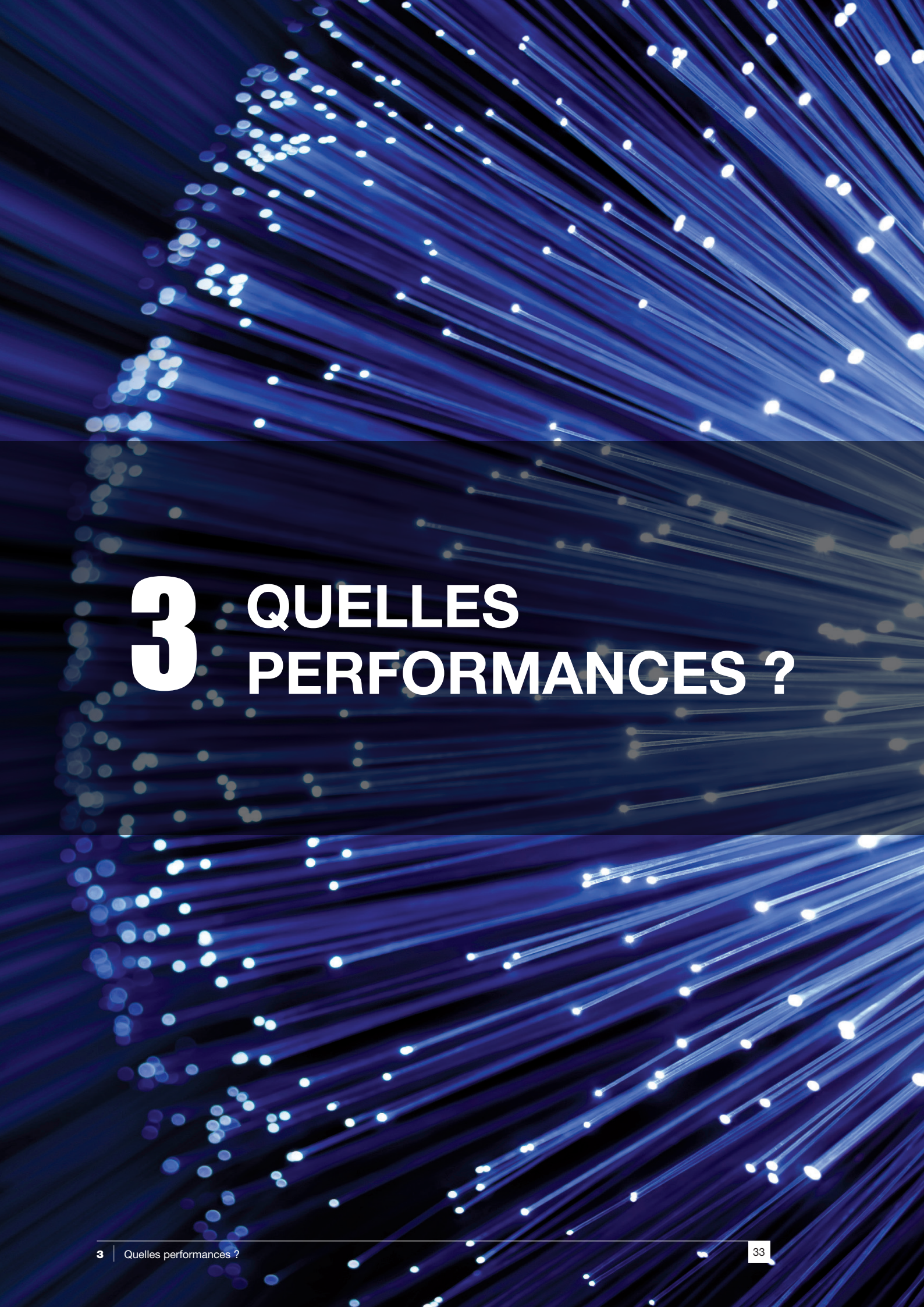


Figure 2.22 : schéma de fonctionnement des liaisons satellites bidirectionnelles

Les principaux problèmes de la technologie satellite sont d'abord liés au partage de la ressource, puisqu'un même transpondeur couvrirait, avant le lancement de KA-SAT fin 2010, un territoire important. La combinaison de ce paramètre avec les données commerciales (nombre d'abonnés sur ce même territoire) conduit à considérer que cette technologie ne peut pas être généralisée sur l'ensemble du territoire, sauf à disposer d'un très grand nombre de satellites dédiés à ce service.

Ensuite, la position géostationnaire du satellite à 36 000 km de la terre introduit une latence importante qui dégrade ou rend inutilisable des applications temps réel comme le téléphone, des services informatiques pour les entreprises ou les jeux en réseau dont le grand public est friand (20% de la population selon la dernière étude du CREDOC).

Pour remédier au problème de la rareté de la bande passante, une nouvelle génération de transpondeurs a vu le jour début 2011. Le satellite **KA-SAT**, lancé par Eutelsat, est spécialement conçu pour les services haut débit bidirectionnels par satellite en bande Ka. KA-SAT permet ainsi de s'affranchir des contraintes liées à l'utilisation de la bande Ku et de pouvoir proposer des services nécessitant des débits élevés. KA-SAT peut fournir un débit total supérieur à 70 Gbit/s avec 82 faisceaux sur toute l'Europe, permettant de desservir plus d'un million de foyers, à des vitesses comparables à celles proposées par l'ADSL 2 (théoriquement 10 Mbit/s par utilisateur en réception, 4 en émission n'importe où sur le territoire français).



3 QUELLES PERFORMANCES ?

QUELLES PERFORMANCES ?

3.1 LES RÉSEAUX FILAIRES

3.1.1 FTTH / FTTO

3.1.1.1 FTTH

3.1.1.1.1 Performances actuelles

En l'état actuel des technologies, les performances du réseau fibre optique n'ont pas encore été atteintes. Ce sont les équipements qui limitent et non pas le support physique. Pour mémoire, les équipements PON couramment utilisés par les opérateurs nationaux permettent des débits de 2,5 Gbit/s (Download) et 1,25 Gbit/s (Upload) à partager entre utilisateurs (8, 32, 64 voire 128). C'est pourquoi les opérateurs « brident » les débits, afin de ne pas multiplier les équipements de connexion onéreux. Concernant les équipements P2P, le débit maximum constaté atteint plusieurs dizaines de Gbit/s, toutefois il est directement fonction de la puissance et donc du coût des équipements utilisés.

En conséquence, les offres « grand public » sont sans engagement de qualité de service. Les opérateurs proposent du 100 Mbit/s dans le sens descendant et du 10 Mbit/s dans le sens montant ou des liaisons symétriques à 100 Mbit/s. Il existe des offres pour les professionnels (artisans, professions libérales, TPE) qui incluent un niveau de qualité supérieur par rapport aux offres grand public, sans toutefois s'engager sur un débit ou un temps de rétablissement garanti.

Les technologies « fibre » présentent notamment les avantages suivants :

- il y a égalité de traitement des usagers, c'est-à-dire que les performances ne dépendent pas de la distance et que la qualité de service est équivalente pour tous les usagers dans un rayon aujourd'hui limité à environ 10 km du NRO ;
- le service est dit « symétrique », puisqu'il propose un débit égal dans les 2 sens de communication entre l'utilisateur et le réseau (émission et réception).

Pour plus de détail, on se reportera au guide CREDO paru en juillet 2012.

3.1.1.1.2 Evolutivité

Pour les réseaux FTTH, outre les différents nœuds de réseau, l'architecture est définie à partir de la longueur de ligne maximum autorisée.

Cette longueur de ligne permet de regrouper les lignes sur des PM et les PM sur des NRO. Elle découle directement du bilan optique, calculé à partir des atténuations successives introduites par les éléments passifs du réseau et des performances des équipements actifs déployés par les opérateurs, principalement les lasers qui éclairent la fibre optique.

Une fois le réseau construit, la longueur de ligne ne peut plus évoluer ; le budget optique, et donc la capacité de la ligne à fournir du débit, dépend des évolutions :

- du vieillissement de la ligne (déjà intégré dans le budget optique) ;
- des matériels passifs (coupleurs, connecteurs) ;
- des matériels actifs (lasers émetteur / récepteur).

Dès aujourd'hui, des offres à 1 Gbit/s sont proposées au grand public.

3.1.1.2 FTTO

3.1.1.2.1 Performances actuelles

A l'instar des réseaux FTTH, les réseaux FTTO abolissent la notion de distance. Les connexions sont réalisées en grande majorité sur des supports Fast Ethernet (100 Mbit/s), les offres, à débits symétriques en général, étant segmentées pour l'instant en débits garantis, toujours symétriques, de quelques Mbit/s (sans doute pour assurer une continuité avec les offres SDSL sur cuivre) à 100 Mbit/s.

3.1.1.2.2 Evolutivité

La structure même de ces réseaux FTTO n'évoluera probablement pas dans sa partie accès (liaison PM abonné), le support fibre étant pérenne. L'évolution se fera selon deux axes :

- montée en débit de la liaison d'accès : du Fast Ethernet vers le Gigabit Ethernet, voire le 10GbE pour les plus gros sites ;
- pénétration de la fibre à l'intérieur de bâtiments, pour rapprocher le réseau fibre optique de l'utilisateur, au fur et à mesure de l'augmentation des débits.

3.1.2 LES RÉSEAUX CÂBLÉS

3.1.2.1 GÉNÉRALITÉS

La Qualité de Service vue par le client est principalement basée sur 3 caractéristiques :

- la qualité du signal à la prise :
 - elle découle du cumul des dégradations du signal au fur et à mesure des équipements traversés (bruit, distorsions, désadaptations d'impédance, gigue) ;
 - elle dépend également des perturbations extérieures, notamment les brouilleurs d'origine domestique et la diaphonie dans les câbles cuivre ;
- la disponibilité de service vue par l'utilisateur, celle-ci étant liée à différents paramètres :
 - la fiabilité des équipements qui concourent au transport ou au traitement du signal à travers la chaîne de transmission ;
 - la performance de la maintenance, éventuellement masquée par les techniques de redondance et de sécurisation ;
- la capacité du réseau à délivrer les services à l'utilisateur final :
 - à partir du dernier nœud optique, la capacité du réseau (en voie descendante comme en voie montante) est partagée entre tous les usagers raccordés à ce nœud optique ;
 - les usagers utilisent individuellement plus ou moins de débit instantané selon les usages (navigation, téléchargement, envoi des fichiers, VOD en streaming...) ;
 - en vue de dimensionner le réseau pour satisfaire au mieux les besoins des clients (« best effort »), on est conduit à définir un débit moyen par prise ;
 - ce débit cible combine trois paramètres :
 - > le taux de pénétration commercial du service considéré ;
 - > le taux de connexion à l'heure chargée, qui est représentatif des abonnés en connexion effective sur le réseau ;
 - > le taux d'occupation des lignes, qui est représentatif du trafic effectif généré par les applications. Il est relativement faible pour la navigation et la consultation de sites web

alors qu'il est nettement plus fort pour le téléchargement ou l'envoi de fichiers ; enfin, tous les services de communication interpersonnels (téléphonie, visiophonie) produisent un trafic bidirectionnel constant ;

- il est à noter que ce débit moyen n'affecte pas les services de télévision diffusés puisqu'ils sont transmis séparément sur des porteuses différentes.

Dans l'architecture arborescente des réseaux câblés, la capacité disponible à partir du nœud optique (NO), en voie descendante (VD) comme en voie remontante (VR) est partagée entre tous les usagers raccordés à ce NO. L'impact de l'architecture du réseau sur la qualité de service sera significatif puisque le poids de ces trois composantes dépend fortement de la taille des poches. La figure 3.1 schématise l'influence de ces éléments sur les limitations de la qualité de service, sans oublier la conséquence sur les coûts de construction.

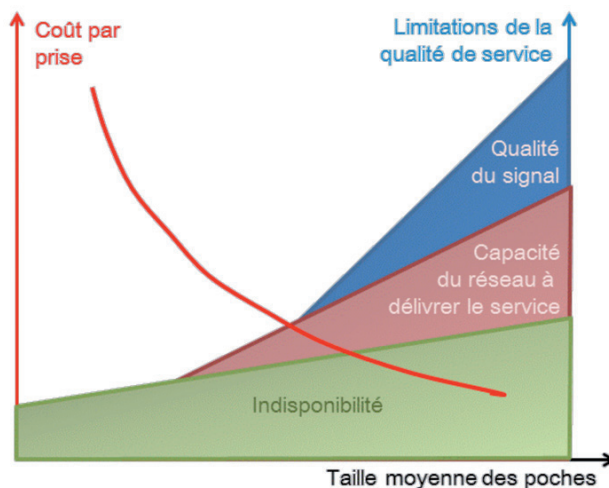


Figure 3.1 : influence des différents paramètres sur la qualité de service

La qualité de service est impactée par la taille des poches de la manière suivante :

- la qualité du signal dépend de la cascade d'amplificateurs situés derrière le nœud optique ; à mesure que l'on réduit la taille des poches, l'impact de cette composante disparaît ;
- la capacité du réseau à délivrer les services à l'utilisateur final est fortement liée à la taille des poches (partage des ressources) ; l'impact

de cette composante sur la qualité de service se réduit progressivement lorsque la taille des poches se réduit ;

- l'indisponibilité des services vue par l'utilisateur, liée notamment aux conditions d'exploitation et de maintenance, reste un élément important peu sensible à la taille des poches.

Les normes des équipements utilisés sur le réseau conduisent également à des limitations sur le débit théorique maximum. C'est en particulier le cas d'EuroDOCSIS 2.0 limité à 38 Mbit/s.

Enfin, il faut souligner que contrairement à d'autres technologies alternatives, le débit effectif chez les usagers ne dépend pas de la distance entre le logement considéré et son centre de rattachement où sont installés les équipements CMTS.

3.1.2.2 INFLUENCE DE L'ARCHITECTURE SUR LES PERFORMANCES DU RÉSEAU

La capacité du réseau à délivrer les services à l'utilisateur final dépend directement du nombre d'usagers desservis par un nœud donné. Le dimensionnement du réseau est donc l'optimisation technico-économique entre le coût des équipements et le coût du réseau support (infrastructure, génie civil, pylônes...) d'une part et la qualité de services garantie aux utilisateurs d'autre part ; cela concerne à la fois la voie descendante (VD) du réseau vers l'utilisateur et la voie remontante (VR) de l'utilisateur vers le réseau. Le coût de l'installation ramené à l'utilisateur varie proportionnellement à la satisfaction des objectifs de qualité de services. Il y a donc lieu de trouver le meilleur compromis entre ces différents éléments.

La capacité du réseau à supporter l'ensemble du trafic généré par les utilisateurs d'Internet est directement proportionnelle à la bande passante disponible. Si l'on cherche à répercuter ces éléments sur la taille du nœud optique, qui est

liée au nombre de prises raccordables, on fera intervenir le taux de pénétration lié au service. La figure 3.2 présente, pour un réseau HFC avec EuroDOCSIS 2.0, une série de courbes montrant, pour différentes tailles de nœud optique (de 50 à 1 000 prises raccordables), le taux de pénétration que l'on peut atteindre en fonction des hypothèses de débit moyen par prise, tel que défini au § 3.1.2.1 ; évidemment cette valeur est beaucoup plus faible que l'offre commerciale proposée par les opérateurs.

Pour un débit moyen de 300 kbit/s sur la voie retour, ce qui est « acceptable » pour un usage « moyen », on voit que l'architecture HFC ne permet pas de dépasser un taux de pénétration commercial de 10%. En effet, les 30 Mbit/s disponibles sont partagés entre 100 abonnés, ce qui correspond à 10% des prises pour un NO desservant 1 000 logements.

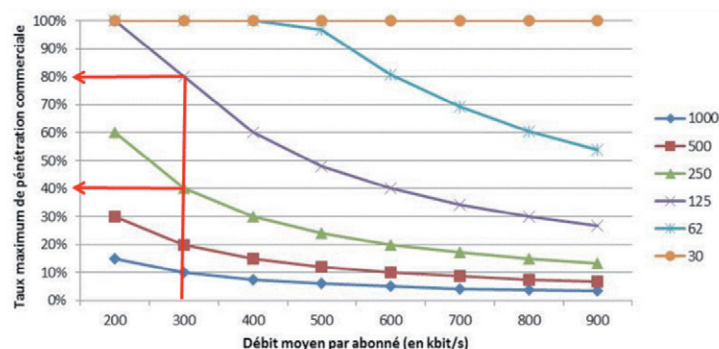
Par contre, une architecture HFC « optimisée » permet d'améliorer la performance :

- pour 250 prises par NO, le taux de pénétration commercial de 40% permet de disposer d'une valeur moyenne de 300 kbit/s par abonné, ce qui est confortable ;
- pour 125 prises par NO, on peut atteindre un taux de pénétration commercial de 80%, ce qui dépasse largement la situation habituelle sur les réseaux câblés ;
- enfin, pour un taux de pénétration s'approchant de 50 %, ce qui dépasse les situations habituelles, le débit moyen est de l'ordre de 500 kbit/s, ce qui est particulièrement confortable.

Si le débit moyen recherché est plus important (par exemple de l'ordre de 1 Mbit/s en VD) l'architecture FTTLA permet de dépasser un taux de pénétration commerciale de 50%.

Evidemment, les hypothèses de débit moyen doivent être cohérentes avec les offres commerciales exprimées en « best effort » (jusqu'à xx Mbit/s).

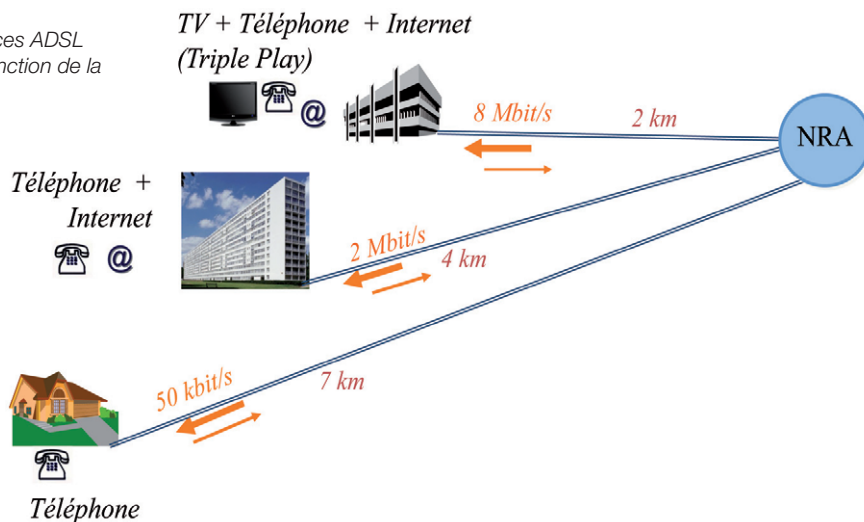
Figure 3.2 : taux de pénétration maximum en fonction du débit moyen pour différentes tailles de poches



3.1.3 LE RÉSEAU TÉLÉPHONIQUE CUIVRE

Les performances des paires de cuivre sont fortement dépendantes de la distance : les débits diminuent avec la longueur et restreignent l'éligibilité aux services, comme le montre la figure 3.3, pour des câbles de 4/10.

Figure 3.3 : services ADSL disponibles en fonction de la distance au NRA



Pratiquement, on considère que l'affaiblissement d'une ligne, mesuré à 300 kHz, donne une bonne appréciation des performances. L'affaiblissement total est la somme de chaque segment du réseau

(transport, distribution, branchement). Chaque ligne est un cas particulier. Le tableau 3.1 donne un premier exemple, pour une ligne moyenne.

	Calibre	Longueur	Affaiblissement
Transport	8/10	2000 m	15,8 dB
Distribution	6/10	700 m	7,2 dB
Branchement	4/10	100 m	1,5 dB

Tableau 3.1 : relation calibre/longueur/affaiblissement (exemple 1)

L'affaiblissement total de cette ligne d'une longueur totale de 2800 m sera donc de 24,5 dB.

Le tableau 3.2 donne un second exemple pour une ligne plus longue.

	Calibre	Longueur	Affaiblissement
Transport	6/10	4000 m	41,2 dB
Distribution	5/10	1200 m	14,9 dB
Branchement	4/10	200 m	3 dB

Tableau 3.2 : relation calibre/longueur/affaiblissement (exemple 2)

Dans ce deuxième exemple, l'affaiblissement de cette ligne d'une longueur totale de 5400 m sera de 59,1 dB.

Dans ces deux exemples, la partie transport (entre NRA et SR) représente la part prépondérante de l'affaiblissement.

L'opticalisation de ce segment de réseau ramènerait par exemple, dans le deuxième cas, l'affaiblissement global à 15,2 dB. C'est sur ce principe que reposent les techniques de montée en débit, notamment à travers l'offre PRM (Point de Raccordement Mutualisé).

La figure 3.4 illustre l'intérêt potentiel des technologies VDSL. Il apparaît que celles-ci sont réservées à des liaisons très courtes. L'apport n'est vraiment significatif que pour des liaisons de quelques centaines de mètres.

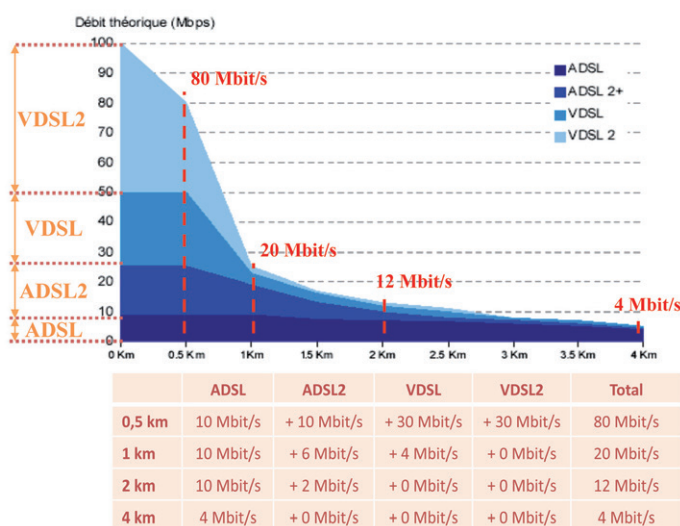


Figure 3.4 : performances comparées ADSL / VDSL (source Telecom Sud Paris)

Le graphique de la figure 3.5 compare les performances des différents systèmes xDSL avec les réseaux PON. Il apparaît clairement qu'au-delà de quelques centaines de mètres l'intérêt des technologies DSL faiblit considérablement.

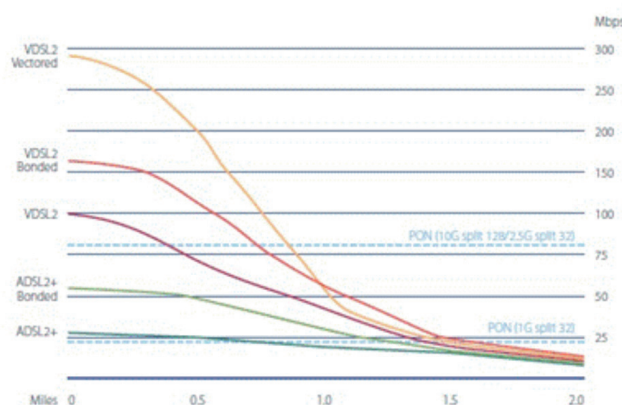


Figure 3.5 : performances comparées xDSL / PON

3.2 LES RÉSEAUX RADIO TERRESTRES

Les technologies radio comme les autres moyens de télécommunications ne cessent de voir leur débit augmenter et leurs coûts diminuer. Avec des durées de vie et des taux de pénétration du marché différents, elles coexistent et cohabitent avec plus ou moins de difficultés. Il est important de distinguer trois types de technologies :

- les technologies de classe opérateurs qui sont déployées et opérées au niveau national par des opérateurs (GSM / UMTS / LTE) ;
- les technologies dites sans licence (WiFi, HiperLan...) ;
- les technologies avec licences régionales (BLR, WiMAX...).

Les technologies opérateurs seront traitées dans le chapitre 3.2.3, et nous avons regroupé dans le paragraphe 3.2.2 le WiFi et le WiMAX car les performances et les usages sont assez proches.

3.2.1 L'ÉVALUATION DES PERFORMANCES EN TECHNOLOGIE RADIO

Il existe des différences significatives entre débit théorique radio et débit utile dans la pratique. En effet, n'étant pas un milieu guidé, contrairement à la fibre ou au cuivre, la propagation radio entraîne forcément des pertes d'informations. Pour compenser cela, les différentes technologies utilisent souvent un système de répétition ou de redondance : les données utiles sont envoyées plusieurs fois au niveau radio. Cela explique en grande partie les écarts existants entre débit radio théorique et débit utile (entre 20% et 40%).

Ainsi, les performances obtenues en laboratoire sont supérieures à celles obtenues sur le terrain, en termes de propagation ou en termes de couverture.

Des logiciels de simulation permettent, grâce à des modèles de propagation, de prédire une couverture ou un lien radio, mais des contraintes terrain peuvent en impacter fortement les performances :

- précipitations (pluie, neige, brouillard...) ;
- environnement (réflexion du signal sur un bâtiment...) ;

- réseaux existants utilisant la même bande de fréquence utilisée (pour les technologies non soumises à licences).

Enfin, toutes les technologies radio offrent un débit partagé entre les utilisateurs.

Le partage du média air, et les règles de codage, modulation, transmission associées sont un élément déterminant de la performance des réseaux radio.

Pour ce partage entre N émetteurs et P récepteurs, on cherchera, tout en respectant les contraintes imposées, la meilleure (optimale) mise en œuvre possible :

- des normes et standards, des dispositifs de codage et modulation associés ;
- de la canalisation possible dans les bandes spectrales autorisées ;
- des règles de mise en œuvre édictées par l'ARCEP, notamment en termes de Puissance (compatibilité électromagnétique) ;
- des recommandations relatives à la santé publique : PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente), Densité Surfactive de Puissance et Champ Electrique (ces 3 paramètres étant liés), qui peuvent conduire à limiter la portée effective.

En résumé, si un seul client est connecté, il lui est théoriquement possible d'exploiter la totalité du débit disponible. Par contre, si dix clients sont simultanément connectés, le débit global disponible est partagé entre eux. Cela implique des différences de service offert assez fortes en fonction de la charge du réseau ; c'est le même mécanisme que celui décrit au § 3.1.2 pour les réseaux câblés.

Pour limiter ce phénomène, les constructeurs d'équipements ont implémenté la gestion de qualité de service qui définit un débit maximum (notion de débit « Burst ») et minimum (dimensionnement) par client.

Pour ce faire, l'Opérateur :

- définit un niveau maximum en Débit Descendant et Débit Montant, par exemple 20 Mbit/s DL et 5 Mbit/s UL ;
- limite le nombre d'utilisateurs par émetteur, par exemple 30 ;
- dimensionne la capacité utile du réseau en définissant un débit réservé par utilisateur,

pour être certain que le partage de la bande passante permette une utilisation convenable, par exemple, 512 kbit/s ou 2 Mbit/s par utilisateur.

La notion de performance sera donc caractérisée par les éléments suivants :

- pour un système point à multipoint (1 émetteur – N récepteurs) :
 - le débit maximum exprimé en Mbit/s entre 1 émetteur et 1 parmi N récepteurs, fonction de la distance entre les 2 équipements ;

pour un débit montant et descendant donné, le nombre maximum N de récepteurs (de couples émetteur/récepteur) envisageables sur un territoire, une superficie, (cellule ou ensemble de cellules) ;

- pour un système point-à-point (1 émetteur – 1 récepteur) :

la distance maximale envisageable pour l'établissement d'un "lien FH" délivrant un débit « plancher » constant.

La figure 3.6 résume le positionnement respectif des principales technologies radio, en termes de débit et de portée. Comme indiqué précédemment, il s'agit ici des débits théoriques maximum qu'il convient de pondérer et de partager entre les usagers, en fonction de la situation du moment.

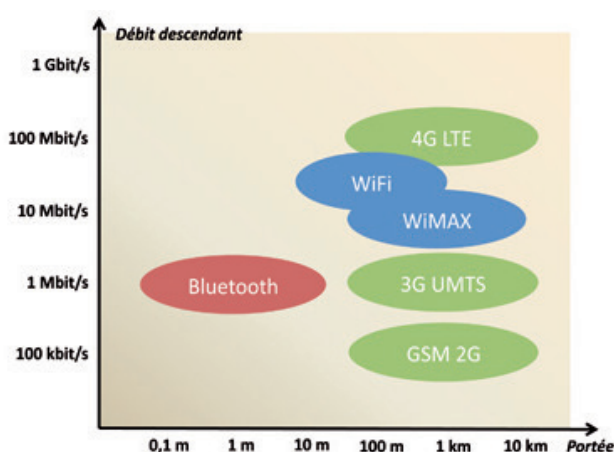


Figure 3.6 : positionnement respectif des réseaux radio

Par ailleurs, ces différentes technologies se comportent différemment vis-à-vis des caractéristiques de déplacement des terminaux des utilisateurs. On peut distinguer les notions de client fixe, nomade ou mobile.

3.2.2 WIFI ET WIMAX

3.2.2.1 INTRODUCTION

Le WiFi et le WiMAX ont des performances et des usages assez proches, mais le WiMAX est en France une technologie opérée dans la bande de 3,5 GHz qui permet des couvertures plus larges que le WiFi. Ces technologies ont un débit théorique de plusieurs dizaines de Mbit/s voire supérieur à 100 Mbit/s. Dans la pratique toutefois, les réseaux étendus (hameau, village, quartier...) dans une configuration standard de plusieurs clients par points d'émission, offrent difficilement plus de quelques Mbit/s à 20 Mbit/s utiles aux usagers.

Ceci fait l'objet des études d'ingénierie radio qui doivent précéder les déploiements effectifs, pour passer des « débits théoriques » aux « débits effectifs proposés », fonction des caractéristiques telles que la topologie terrain, le type habitat (dense à diffus), ou la dispersion des sites « abonnés ».

Pour des couvertures radio en distribution autour d'un Point Haut de desserte équipé d'antennes sectorielles à gain, la zone couverte peut atteindre un rayon de 6 km (en ligne de vue ou Line of Sight – L.O.S.).

En règle générale, on ne fait pas varier le rayon en fonction de l'offre à obtenir / nombre d'utilisateurs, mais plutôt le nombre d'utilisateurs selon l'offre proposée aux abonnés.

Le débit global en E/S de la station de base assurant la desserte sera fonction :

- du nombre de récepteurs (et de leur densité sous un même secteur d'antenne) identifiés sur la zone, du nombre de canaux mobilisables pour établissement de liens avec ceux-ci (sans recouvrement mutuel) ;
- du bilan en termes de DSP (densité spectrale) généré par cumul sur un même secteur, lui-même fonction des réglages en termes de Puissance Emission, de Gain d'Antenne en réception ou de couple d'antenne ;
- de la capacité globale en termes de "puissance de commutation" de l'équipement informatique (carte processeur, interfaces) intégré dans la station de base (BS) pilotant le système d'antennes.

Le tableau 3.3 donne les performances théoriques maximum en termes de débits pour les différentes normes WiFi et WiMAX.

Norme	Technologie	Débit Maximum		Portée
		Descendant	Montant	
802.11a	WiFi	débit partagé : 54 Mbit/s par canal (20 MHz)		3 à 4 km
802.11b		débit partagé : 11 Mbit/s par canal (20 MHz)		3 à 4 km
802.11g		débit partagé : 54 Mbit/s par canal (20 MHz)		3 à 4 km
802.11n		débit partagé : 72 Mbit/s en MIMO 4X4 et 20 MHz de bande passante		3 à 4 km
802.11ac		débit partagé : 88 Mbit/s en MIMO 8X8 et 20 MHz de bande passante		3 à 4 km
802.16d	WiMAX	75 Mbit/s (20 MHz TDD)	75 Mbit/s (20 MHz TDD)	6 à 8 km
802.16e		75 Mbit/s (MIMO 2x2 20 MHz TDD)	25 Mbit/s (MIMO 2x2 20 MHz TDD)	7 à 8 km
802.16j		83 Mbit/s (MIMO 2x2 20 MHz TDD)	46 Mbit/s (MIMO 2x2 20 MHz TDD)	7 à 8 km
802.16m		219 Mbit/s (MIMO 4x4 20 MHz TDD)	140 Mbit/s (MIMO 4x4 20 MHz TDD)	7 à 8 km

Tableau 3.3 : performances théoriques WiFi et WiMAX

De même, pour les liens en « transport » ou de « déport de collecte », comme le montre le bilan radio du tableau 3.4 (extrait d'une étude sur le thème « Ondes Electromagnétiques et Santé »), il est par exemple possible d'établir un lien FH sur 10 km, en mettant en œuvre 2 canaux de 40 kHz

de largeur pour un débit de 80 Mbit/s en utilisant des antennes à gain de 28 dB et une puissance en sortie de l'émetteur de seulement 4 dBm, ceci malgré un "affaiblissement en espace libre sur les 10 km" évalué à -127 dB.

Emission	Puissance de sortie de l'émetteur :	4 dBm
	Perte dans le cable (valeur négative !) :	-2 dB
	Gain de l'antenne :	28 dBi
Propagation	Affaiblissement en espace libre sans obstacles (valeur négative !) :	-127 dB
Réception	Gain de l'antenne :	28 dBi
	Perte dans le cable (valeur négative !) :	-2 dB
	Sensibilité du récepteur (valeur généralement négative) :	-80 dBm
Total	Marge restante:	9 dB
Commentaire	La liaison devrait fonctionner bien si l'on est en vue directe.	
Légalité	L'installation est conforme aux normes	

Tableau 3.4 : étude « ondes et santé » (source Nomotech)

Au-delà de « visualiser » la conformité en termes de règles associées à la notion de PIRE, ce tableau exprime bien le fait qu'en utilisant des antennes à fort gain en réception, on réussit

à obtenir une marge Signal/Bruit compatible avec l'établissement d'un lien en ligne directe opérationnel et performant.

3.2.2.2 WIFI

Le WiFi est une technologie créée à l'origine pour développer les réseaux locaux sans fil. Par sa forte pénétration du marché (aujourd'hui 100% des objets numériques de communication) et son évolution au cours du temps, elle est aujourd'hui la technologie de communication radio la plus présente dans notre environnement. Plusieurs normes coexistent aujourd'hui en fonction de la génération du composant WiFi utilisé dans les terminaux, mais c'est la norme 802.11n qui offre aujourd'hui la meilleure performance : 300 Mbit/s de débit radio dans la bande 2,4 GHz et 600 Mbit/s si l'on combine la bande 5,4 GHz. Il s'agit encore de débits théoriques maximum par émetteur.

Toujours en cours de développement, la norme 802.11ac fait aujourd'hui son apparition annonçant des débits beaucoup plus importants, s'appuyant sur les bandes de fréquences plus hautes (5,4 GHz) qui offrent un peu plus de bande passante. La performance de cette technologie

atteindrait un débit radio supérieur au Gbit/s, mais uniquement sur des distances courtes.

Deux types d'utilisation sont à considérer :

- une utilisation de type hotspot/Freespot, où l'utilisateur se connecte à une cellule à proche distance type Box ;
- une utilisation de type accès Fixe que l'on retrouve dans les réseaux d'accès ruraux.

Des solutions de couverture de type « nomade » plus étendues ont été développées.

En commençant par une couverture type "hotspot" plus ou moins étendue (boutiques, restaurants), certains équipements sont capables de gérer une couverture maillée avec de nombreux points d'émission pouvant ainsi couvrir des zones très étendues (centre commerciaux, aéroport, villages, quartier). Ces réseaux "intelligents" et redondants permettent la continuité de la couverture même en cas de défaillance d'un ou plusieurs points d'accès.

Par contre, vu la chute de performance avec la distance, l'accès nomade est souvent réservé à des réseaux intérieurs ou des réseaux assez restreints dans le cas d'une couverture extérieure – même si ces derniers sont gérés de manière centralisées (cas de couverture WiFi urbaine). Cependant, certaines applications professionnelles utilisent des réseaux WiFi, comme par exemple le relevé de capteurs sur des sites industriels ou les communications Aéroport / Avions au sol. Enfin, l'omniprésence du WiFi en utilisation « domestique » dans la bande 2,4 GHz pose le problème de l'engorgement de sa bande passante porteuse notamment dans les zones urbaines denses. Dans ce milieu, il est souvent possible de capter depuis la rue plus d'une dizaine de réseaux WiFi émis par les box des abonnés ADSL.

Les opérateurs fixes en tirent parti en proposant la possibilité de connecter leurs clients à toute autre « box » de leur réseau. Cela peut être pratique pour l'utilisateur, mais la saturation de la principale bande WiFi (2,4 GHz) reste un obstacle au déploiement d'un réseau de grande envergure en ville. L'évolution future du WiFi « domestique » passe par le développement des applications sur la bande haute (5,4 GHz) plus large.

3.2.2.3 WIMAX

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) comprend une famille de normes (IEEE 802.16d/e et aujourd'hui m) qui définissent les transmissions de données à haut débit, par voie hertzienne. Le WiMAX Forum regroupe tous les acteurs (industriels, opérateurs, exploitants, diffuseurs...) impliqués dans cette série de normes. Cette technologie (figure 3.7) est dédiée à la réalisation de réseaux radio plus étendus (ville voire département dans certains cas) permettant aux utilisateurs d'obtenir une connexion de plusieurs Mbit/s (jusqu'à 15 Mbit/s).

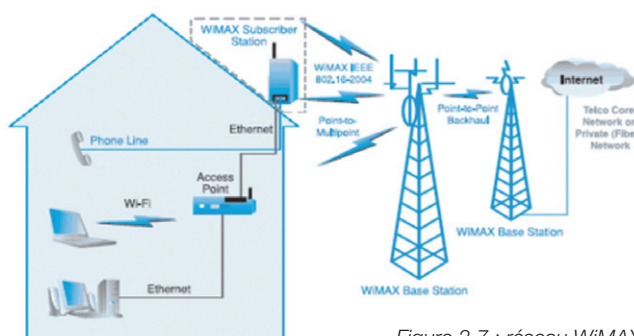


Figure 3.7 : réseau WiMAX

Les débits peuvent être relativement importants en fonction du nombre de secteurs déployés sur la zone couverte et du nombre de clients connectés. Chaque secteur dispose d'un débit théorique partagé de plusieurs dizaines jusqu'à une centaine de Mbit/s, soit 5 à 15 Mbit/s et par client dans les réseaux déployés aujourd'hui.

En utilisant la modulation radio OFDM, le WiMAX permet une connexion sans ligne de vue directe sur plusieurs kilomètres, contrairement à d'autres technologies (faisceaux hertziens...). Les performances sont évidemment amoindries et difficiles à prédire lors d'un lien sans ligne de vue directe (NLOS = Non line of Sight).

En France, seule la version fixe du WiMAX a été autorisée afin de couvrir les zones blanches ADSL ; la mobilité, bien que rendue possible par le standard, y est interdite. Plusieurs réseaux ont été déployés surtout dans le cadre de Réseaux d'Initiative Publique et plusieurs milliers d'utilisateurs sont encore aujourd'hui connectés.

Plusieurs technologies proches du WiMAX et du WiFi se sont développées en France dans des bandes de fréquences libres permettant un déploiement plus rapide (par exemple Hiperlan). Plusieurs réseaux de grande ampleur (communes ou départements) ont été créés sur la base de ces technologies.

Cependant, la gestion de la qualité de service reste tout de même plus optimisée sur la technologie WiMAX. Quelle que soit la technologie utilisée, les débits utiles délivrés aux abonnés sont limités à 10 à 15 de Mbit/s au maximum.

3.2.3 RÉSEAUX DE TÉLÉPHONIE MOBILE

Le spectre hertzien est limité et doit permettre un maximum d'applications qui vont de la télécommande radio à la radioastronomie en passant par la CB (Citizen Band), les liaisons point à point ou la téléphonie mobile. Pour assurer la communication entre un émetteur et un récepteur, une partie du spectre hertzien est réservé, c'est le canal radio. Dans un réseau mobile, les communications sont bidirectionnelles (entre le relais radio et le mobile) : deux canaux sont nécessaires pour avoir une communication où les deux liaisons sont actives en même temps (« full duplex »). On définit le lien montant (uplink) entre le mobile et le relais et le lien descendant

(downlink) entre le relais et le mobile. Les canaux des sens montant et descendant sont séparés en fréquence par l'écart-duplex pour éviter les interférences. Dans un réseau radio, deux sous-bandes séparées par un écart duplex sont définies : une sous-bande pour les canaux montants et une sous-bande pour les canaux descendants. La modulation permet d'adapter les données à transmettre aux canaux radio en faisant varier les paramètres (amplitude, fréquence, phase) d'une oscillation sinusoïdale appelée porteuse.

Les modulations les plus utilisées pour la téléphonie mobile sont la GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*), la BPSK (*Binary Phase Shift Keying*), la QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*), qui sont des modulations de phase, et les modulations QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) qui sont des modulations d'amplitude et de phase. Suivant la qualité de la liaison, on va utiliser des modulations plus ou moins robustes. Les moins robustes pourront transmettre plus de bits et les plus robustes pourront utiliser des canaux très bruités. Les symboles, éléments d'information transmis par une modulation, contiennent 8 bits en 256QAM, 6 en 64QAM, 2 en QPSK et 1 en BPSK.

Actuellement, 580 MHz sont réservés pour la téléphonie mobile, et les réseaux doivent permettre la connexion de plusieurs millions de connexions. Les solutions mises en œuvre dans ces réseaux sont le partage de ressources (le multiplexage) et la réutilisation de ces dernières par un grand nombre d'émetteurs couvrant une surface réduite (le principe cellulaire).

Compte tenu des performances des différentes générations, le présent guide s'est attaché à décrire les solutions 4G dans la mesure où elles sont les plus proches des objectifs du THD. Néanmoins, on a prévu quelques rappels sur les technologies 2G et 3G.

3.2.3.1 LES RÉSEAUX 2G (GSM, GPRS, EDGE)

Premiers réseaux de téléphonie mobile grand public ouverts au début des années 90, les réseaux 2G offraient des services de Téléphonie, de Fax Groupe 4, de Message court (SMS : Short Message Service) et de Data (9,6 kbit/s) en mode circuit. Ils ont évolué avec, dans un premier temps, l'ajout de mode paquet (GPRS : General Packet Radio Service) qui offrait un débit maximum de 171,2 kbit/s. Dans un deuxième temps, des modulations plus rapides sont apparues avec l'EDGE (*Enhanced Data Rate for GSM Evolution*) qui permet un débit maximum de 384 kbit/s et l'Evolved EDGE qui permet des débits maximum de 1 Mbit/s.

En France, deux bandes de fréquences « *full duplex* » sont dédiées au réseau 2G. Elles ont une largeur de 25 MHz dans la bande des 900 MHz (figure 3.8), et 75 MHz dans la bande des 1800 MHz (figure 3.9). Les deux sous-bandes descendantes (downlink) et montantes (uplink) sont séparées par 45 MHz en 900 MHz et 96 MHz en 1800 MHz.

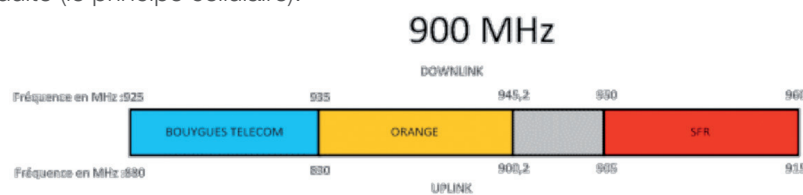


Figure 3.8 : bande des 900 MHz

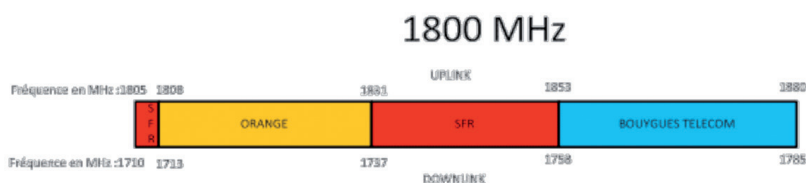


Figure 3.9 : bande des 1800 MHz

Le multiplexage est réalisé en fréquences et en temps. Les bandes de fréquences sont découpées en canaux de 200 kHz et chaque canal est découpé en huit intervalles de temps.

La modulation utilisée est une modulation de phase (GMSK : *Gaussian Minimum Shift Keying*). Chaque canal de 200 kHz est divisé en 8 intervalles de temps.

3.2.3.2 LES RÉSEAUX 3G

Malgré l'ajout du GPRS et de l'EDGE, les réseaux 2G conservent en leur cœur leurs origines orientées circuit et voix. L'objectif des réseaux 3G avec la norme UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) est de rendre les télécommunications universelles en transportant efficacement voix et données, passant de l'ère de la téléphonie mobile à l'ère des télécommunications mobiles. Le déploiement de ces réseaux s'est déroulé en deux phases. La première fut le déploiement du réseau d'accès en conservant les cœurs de réseau GSM ; la deuxième (HSPA)

concernait le déploiement d'un cœur de réseau plus performant. Les réseaux 3G offrent des services voix, visiophonie, fax et données de 144 kbit/s à 2 Mbit/s.

En France, deux bandes de fréquences « *full duplex* » sont dédiées au réseau 3G. La bande des 900 MHz utilisée pour le GSM (figure 3.10) et une bande de 50 MHz dans la bande des 2100 MHz (figure 3.11). Chaque bande est découpée en canaux de 5 MHz. Dans la bande des 2100 MHz, Orange et SFR possèdent 4 canaux, Bouygues Telecom, 3 canaux et, Free Mobile, 1 canal.

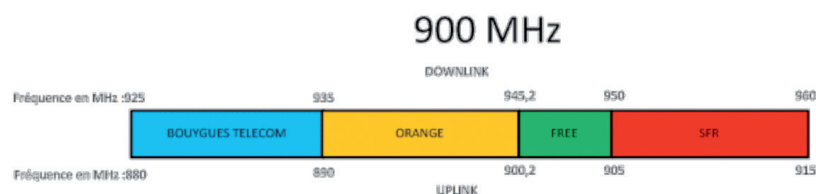


Figure 3.10 : bande des 900 MHz

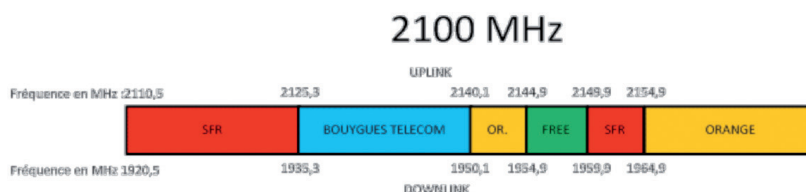


Figure 3.11 : bande des 2100 MHz

Les interfaces radio des réseaux 2G et 3G sont totalement différentes. Les réseaux 3G sont basés sur le CDMA (Code Division Multiple Access) : les mobiles se partagent le même canal radio de 5 MHz. Le multiplexage est réalisé grâce à l'« étalement » de codes différents. La modulation utilisée est une modulation QPSK.

Un code permet d'avoir une connexion de 384 kbit/s. Plusieurs codes peuvent être alloués à un utilisateur permettant d'obtenir des communications à 2 Mbit/s.

L'interface radio a évolué avec le HSPA, un seul canal unique partagé par tous les utilisateurs de la cellule allant jusqu'à 21 Mbit/s est mis en œuvre. Dans l'évolution de HSPA : HSPA+, plusieurs canaux de 5 MHz peuvent être utilisés simultanément (on parle de dual-carrier pour deux canaux), des modulations plus efficaces (16QAM, 64 QAM transportant plus d'informations mais plus sensibles aux dégradations dues à l'environnement), l'utilisation du MIMO (le relais et le mobile utilisent plusieurs antennes pour multiplier les débits). L'ensemble de ces techniques permet d'obtenir des débits de 42, 84 et 168 Mbit/s.

3.2.3.3 LES RÉSEAUX 4G

L'objectif de la 4 G est le très haut débit mobile avec des débits à terme de 1 Gbit/s. A l'instar du passage entre la 2G et la 3G, l'interface radio de la 4G est différente de celle de la 3G pour permettre d'améliorer son efficacité.

LTE est un réseau exclusivement orienté données. Une description système est donnée au § 9.2.2.

En France, deux bandes de fréquences sont allouées à la 4G pour les opérateurs mobiles : 30 MHz dans la bande des 800 MHz (figure 3.12) et 70 MHz dans la bande des 2600 MHz (figure 3.13). De plus, l'ARCEP a autorisé Bouygues Telecom à utiliser sa bande de fréquence 1800 MHz initialement attribuée à la 2G pour la 4G avec à terme 20 MHz exploitables. Dans la même décision, l'ARCEP a précisé que SFR et Orange pourront formuler la même demande si ces deux sociétés le souhaitent.

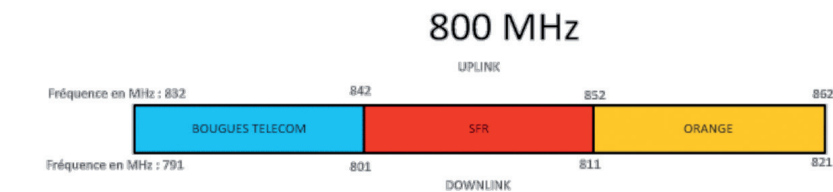


Figure 3.12 : bande des 800 MHz

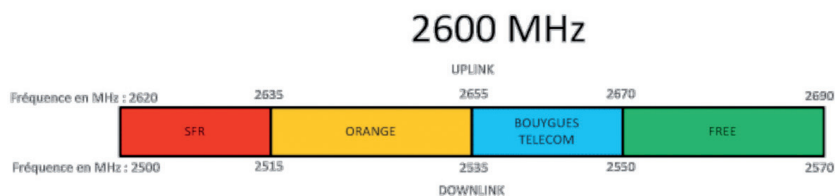


Figure 3.13 : bande des 2600 MHz

L'interface radio des réseaux 4G est totalement différente des réseaux 2G et 3G. Contrairement aux réseaux 3G dont la largeur de canal est fixée à 5 MHz, les canaux attribués pour un réseau 4G peuvent avoir une largeur de 1, 4, 3, 5, 10, 15 et 20 MHz. La largeur de bande détermine le débit maximal (maximum 1Gbit/s avec 20 MHz de largeur de canal).

L'interface est basée sur l'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Le principe est de découper le canal en une multitude de sous-porteuses de 15 kHz. Les sous-porteuses

sont groupées par paquet de 12 : les blocs de ressources (*resource-block*). Un ou plusieurs blocs de ressources vont être attribués à une communication entre le relais et le mobile dont les informations, les symboles, vont être réparties entre les différentes sous-porteuses. Les interférences entre les sous-porteuses sont annulées grâce à une transformée de Fourier : les sous-porteuses sont rendues orthogonales. Suivant la qualité de la liaison, les symboles transmis peuvent être de 2,4 et 6 bits en utilisant respectivement les modulations QPSK, 16QAM et 64QAM.

3.2.3.4 LES CHIFFRES CLÉS DES RÉSEAUX RADIO MOBILES

Les principales performances des différentes technologies mobiles sont résumées sur le tableau 3.5. Comme indiqué précédemment, il s'agit de débits maximum qui doivent être partagés entre tous les usagers raccordés à une même station.

Technologie	Génération	Débit Maximum		Latence (ms)
		Descendant	Montant	
GSM Circuit	2G	9,6 kbit/s	9,6 kbit/s	300
GPRS	2,5G	171,2 kbit/s	171,2 kbit/s	300
EDGE	2,75G	384 kbit/s	384 kbit/s	300
UMTS	3G	2048 kbit/s	384 kbit/s	250
HSPA	3,5G	14 Mbit/s	5,76 Mbit/s	70
HSPA+ DC MIMO 2x2	3,9 G	84 Mbit/s	11 Mbit/s	30
LTE (20 MHz)	4G	150 Mbit/s	50 Mbit/s	6,2
LTE-A (20 MHz MIMO)	4G	1 Gbit/s		

Tableau 3.5 : les performances des technologies mobiles

La portée théorique à laquelle peut s'établir une liaison à 1 Mbit/s vers un mobile est donnée par la figure 3.14 (réseau en 800 MHz) en fonction de la largeur de bande utile.

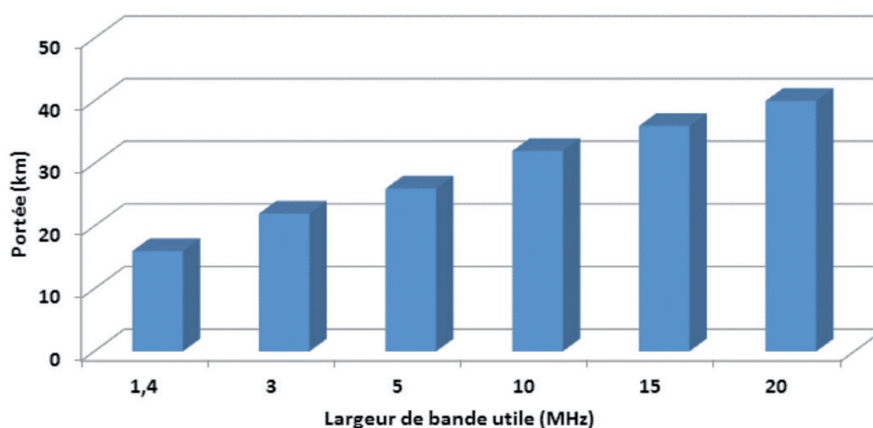


Figure 3.14 : portée en fonction de la largeur de bande utile

Bien entendu, comme expliqué au début de ce chapitre, ces données théoriques doivent être corrigées des variables (pertes) liées à l'environnement.

3.3 LES SOLUTIONS SATELLITAIRES

3.3.1 PARTAGE DE LA RESSOURCE

Le satellite reste une technologie dont les ressources sont rares et partagées entre les utilisateurs. Ainsi dans le cas du satellite KA-SAT, qui offre les meilleures performances actuellement, le débit annoncé de 70 Gbit/s est partagé entre les utilisateurs d'Europe, d'Afrique du Nord, et du Moyen-Orient (figure 3.15). Eutelsat estime à un million le potentiel d'abonnés de son satellite. Cela signifie que le débit moyen par abonné est de 70 kbit/s. Afin de partager au mieux les ressources, les FAI « satellite » doivent donc prévoir des restrictions d'utilisation (quota de téléchargement notamment).

Les performances réelles des solutions satellite sont donc très dépendantes des offres commerciales mises en place par les opérateurs et notamment des restrictions de service qui s'y appliquent. En pratique, les services satellites de KA-SAT sont fournis par un opérateur de gros, Tooway, filiale d'Eutelsat. Ils sont ensuite distribués par des FAI spécialisés, généralement des opérateurs multi-locaux, spécialisés à l'origine dans les réseaux hertziens, comme par exemple NordNet,

Ozone, Alsatis ou des purs acteurs de l'internet par satellite comme Sat2Way.

Les offres commerciales de ces FAI sont généralement basées sur le prix de marché de 30 €/mois pratiqué par les opérateurs ADSL. Le débit descendant est de 20 Mbit/s et le débit remontant de 6 Mbit/s. Néanmoins un quota de téléchargement de 10 Go par mois est appliqué sur ces offres. Les offres à des tarifs plus élevés permettent d'augmenter ces quotas, de passer en illimité la nuit (40-45 €/mois) ou en illimité permanent (75 €/mois).

Certains opérateurs proposent également des solutions spécifiques à destination des professionnels comprenant une partie de débit garanti (entre 128 kbit/s descendant et 32 kbit/s montant et pouvant aller jusqu'à 320 kbit/s descendant et 192 kbit/s remontant). Des offres spécifiques pour de la sauvegarde à distance ou de l'évènementiel peuvent également être proposées.

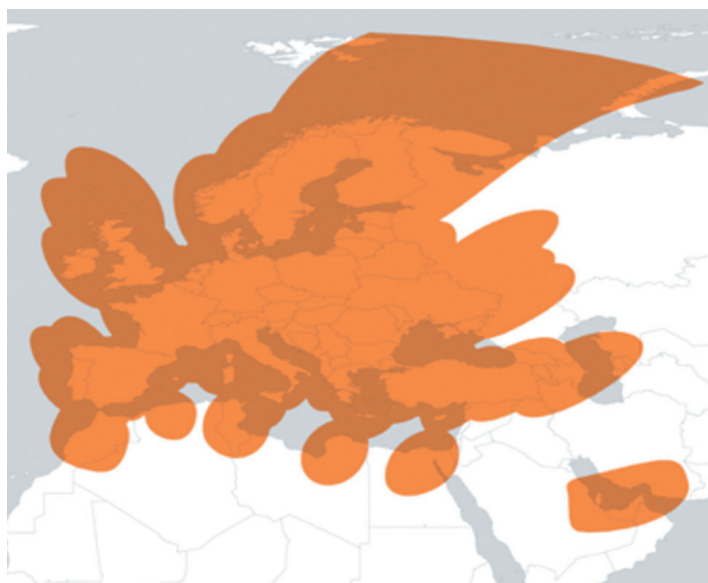


Figure 3.15 : couverture géographique du satellite KA-SAT

3.3.2 LA LATENCE

La plus grande contrainte des offres satellite reste la latence. En effet, le satellite est situé à plus de 36 000 km de la terre et le signal doit parcourir 4 fois cette distance entre l'envoi de la requête et la réception de la réponse (figure 3.16). Cela signifie que le signal parcourra 144 000 km, ce qui nécessite environ 480 ms (presqu'une demi-seconde).

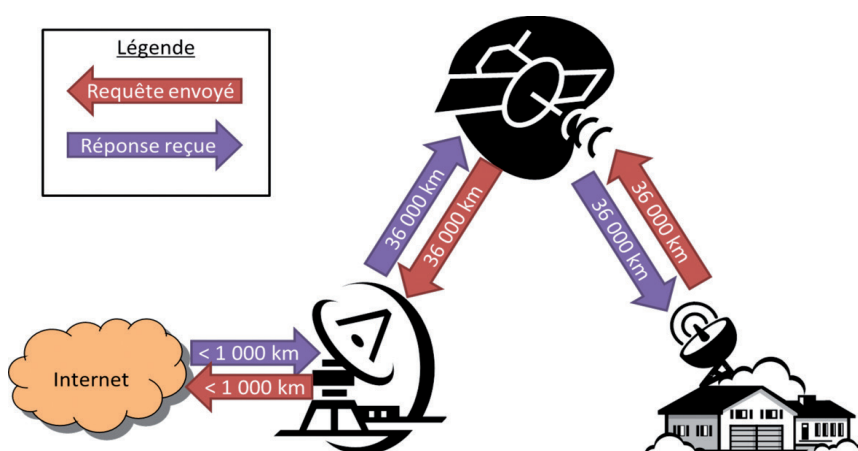


Figure 3.16 : temps de propagation

Lorsqu'on y ajoute le temps de traitement par les différents équipements, on comprend pourquoi le ping (mesure de la latence) observé sur les réseaux satellite est en moyenne aux alentours de 800 ms. Or, on estime qu'au-delà d'une centaine de ms de ping, il est difficile de jouer aux jeux en ligne en temps réel et qu'au-delà de plusieurs centaines de ms de ping, le décalage est perceptible dans une conversation téléphonique.

3.3.3 LE TRIPLE-PLAY

Les paraboles peuvent être équipées d'une deuxième tête de réception satellite pour permettre la réception de la télévision numérique. Par ailleurs, les opérateurs proposent généralement des services optionnels de téléphonie par satellite. On peut ainsi avoir une offre triple-play via satellite.



4 QUELLES RÈGLES ET CONTRAINTES DE MISE EN ŒUVRE

QUELLES RÈGLES ET CONTRAINTES DE MISE EN ŒUVRE

4.1 LES RÉSEAUX FILAIRES

4.1.1 FTTH / FTTO

4.1.1.1 FTTH

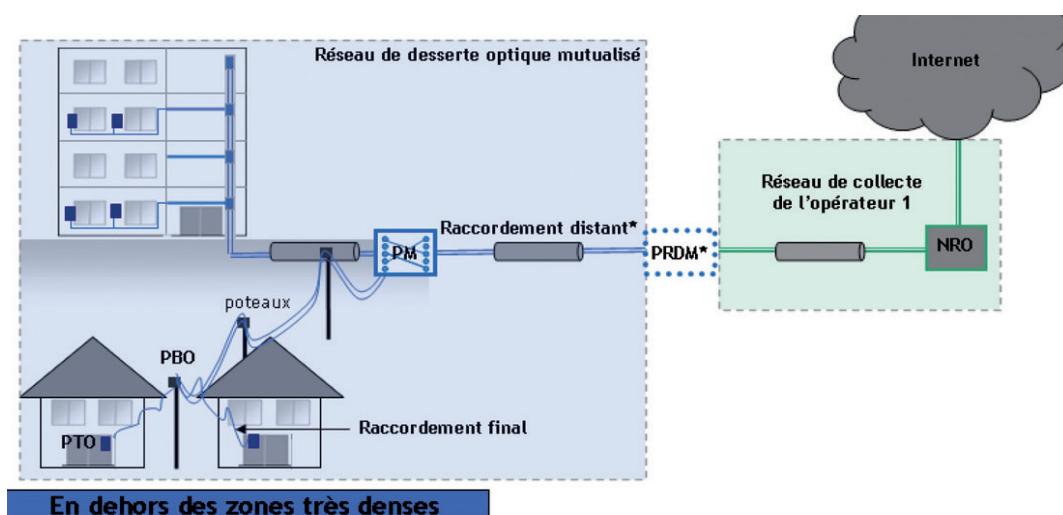
Au moment d'écrire ce guide, les zones très denses, à de rares exceptions près, ont d'ores et déjà fait l'objet des déploiements par les opérateurs, elles ne sont donc plus à déployer. C'est pourquoi nous présenterons uniquement les contraintes réglementaires propres aux zones moins denses.

En juin 2011, l'ARCEP a complété la réglementation en Zone très dense (148 communes sélectionnées en fonction de plusieurs critères liés à l'importance de l'habitat collectif) par une recommandation intitulée « Modalités de l'accès aux lignes à très haut débit en fibre optique pour certains immeubles des zones très denses, notamment ceux de moins de 12 logements ». En novembre 2013, à la suite d'une consultation publique, l'ARCEP a décidé de renforcer la mutualisation sur 42 de ces communes, réduisant ainsi la liste des communes des zones très denses à 106 communes.

Dans ces 106 communes, l'ARCEP a ensuite, en dialoguant avec les opérateurs qui déploient des réseaux d'accès FTTH, caractérisé comme poches de basse densité des quartiers découpés sur la base des IRIS de l'INSEE, pour lesquels l'ARCEP a proposé aux opérateurs un certain nombre de recommandations. Celles-ci, exception faite de l'obligation de complétude⁴ des zones arrières de PM propre à la réglementation du FTTH en dehors de la zone très dense, rapprochent ces poches de basse densité du reste du territoire hors ZTD.

Les réglementations définies par l'ARCEP et les contraintes associées en matière de FTTH, sont décrites de manière approfondie et détaillée dans le **Guide de mise en place des réseaux d'accès FTTH**, publié par le CREDO en juillet 2012. On reprend ci-après les points principaux.

Le principe de neutralité technologique est respecté, les différents choix technologiques des acteurs du marché étant pris en compte dans le dimensionnement et la localisation du point de mutualisation (PM).



***Note : dans le cas où le PM regroupe plus de 1 000 logements ou locaux à usage professionnel, l'offre de raccordement distant n'est plus obligatoire.**

Figure 4.1 : position du point de mutualisation (source ARCEP)

⁴ L'ARCEP recommande néanmoins que l'opérateur qui déploie "anticipe" le raccordement ultérieur de tout immeuble de la zone arrière de ce point de mutualisation, afin que les immeubles puissent tous être raccordés à son réseau horizontal irriguant ladite zone et, ainsi, que l'ensemble des lignes soient regroupées au sein du même point de mutualisation.

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

- la taille du PM : au moins 1 000 lignes existantes au jour d'installation du PM, lorsque l'opérateur d'immeuble ne propose pas d'offre de « raccordement distant » (collecte), au moins 300 lignes sinon ; ce dimensionnement doit permettre de raccorder l'ensemble des prises de la zone arrière du PM par la mise en place d'un réseau horizontal dans un « délai raisonnable » (2 à 5 ans) et « à proximité immédiate » de ces logements ;
- la localisation du PM : en dehors de la propriété privée et facilement « raccordable » (qui a vocation à être raccordable) par plusieurs opérateurs ;
- l'accessibilité aux lignes « dans des conditions raisonnables et non discriminatoires » sous forme passive « à proximité immédiate » d'une infrastructure de génie civil de réseaux de communications électroniques et la zone arrière du point de mutualisation
- les principes des offres d'accès et de co-investissement initial (ab initio) et a posteriori de l'opérateur désigné par convention comme opérateur d'immeuble pour partager avec d'autres opérateurs les fibres posées, voire leur attribuer des fibres dédiées, et pour héberger des équipements passifs et actifs au PM ; ces offres, publiées antérieurement à l'installation du PM, sont complétées par une offre de gros de location permettant un accès passif à la ligne, afin que les petits opérateurs disposant de capacités d'investissement moindres puissent entrer sur ce marché du THD en zones moins denses ;
- la publication par l'opérateur d'immeuble des informations relatives à la zone arrière d'un PM, données fournies dans un format exploitable dans un SIG, et des offres d'accès et de raccordement s'y rapportant.

Sont également décrits les mécanismes potentiels de cohérence des déploiements sur une maille géographique plus large (et sa partition en différentes zones arrières de points de mutualisation) définie comme pertinente par l'ensemble des acteurs concernés, consultés par l'opérateur

d'immeuble : les opérateurs présents sur la zone, les collectivités territoriales impactées par la définition de la zone arrière du PM et notamment celles portant un SDTAN.

Cette volonté d'articuler les zones arrières entre elles, en évitant les recouvrements ainsi que les trous de couverture, doit « permettre la cohérence des déploiements et une couverture totale et homogène du territoire ».

4.1.1.2 FTTO

Concernant les réseaux mutualisés en fibre optique jusqu'à l'abonné, les contraintes réglementaires sont les mêmes quelle que soit la nature du client final (entreprise ou particulier). En revanche, certaines modalités techniques devront certainement être spécifiques aux entreprises.

Plusieurs types d'offres d'accès passif aux réseaux à très haut débit, disponibles actuellement ou potentiellement sur le marché français, peuvent être distingués. Les offres d'accès passif aux lignes des réseaux mutualisés à très haut débit en fibre optique jusqu'à l'abonné sont proposées par les opérateurs d'immeubles. La notion d'opérateur d'immeuble est définie par la décision ARCEP n° 2010-1312. Cependant, il convient de noter qu'est exclu de cette définition d'opérateur d'immeuble tout opérateur « *procédant, dans le cadre d'un déploiement dédié, exclusivement au raccordement ponctuel de clients d'affaires au moyen d'une boucle locale en fibre optique dédiée et adaptée, en vue de fournir à ces clients des services de capacités* ». Le sigle FTTO devrait plutôt qualifier de « boucles locales optiques dédiées » (BLOD) par opposition aux « boucles locales optiques mutualisées » (BLOM) qui englobent notamment le FTTH. Les opérateurs procédant à ce type de déploiements ne sont donc pas soumis aux décisions de l'ARCEP, même si ces déploiements sont susceptibles d'entrer dans le champ d'application de l'article L. 34-8-3 du CPCE, lorsque le réseau est déployé jusqu'à l'utilisateur final.

4.1.2 LES RESEAUX CABLES

4.1.2.1 CONTRAINTES DE MISE A NIVEAU

Le coût des opérations de mise à niveau nécessaires à la satisfaction des besoins des usagers variera en fonction de l'état des lieux :

- en ce qui concerne la bande passante, seuls les réseaux les plus modernes montent à 862 MHz :
 - ils représentent les réseaux les plus importants qui concernent la grande majorité des prises raccordables ;
 - il est à noter que certains réseaux anciens (< 450 MHz) ne disposent même pas de la capacité de transmettre la TNT sous forme « transparente » puisque les fréquences hertziennes de la TNT se situent dans la bande UHF ;
- en ce qui concerne l'architecture, certains réseaux sont encore totalement coaxiaux ; les autres réseaux présentent des configurations très diverses (FTF, HFC, FTTLA) ;
- en ce qui concerne la mise en œuvre des services bidirectionnels sur des réseaux existants, deux remarques s'imposent :
 - le dimensionnement du réseau (nombre de logements raccordables desservis par un même NO) découlera des objectifs commerciaux, avec des conséquences immédiates sur le coût de mise à niveau par prise raccordable ;
- les technologies déjà installées doivent être examinées au cas par cas :
 - la présence de câbles coaxiaux « aluminium » est à éviter en raison d'une plus grande sensibilité aux risques de pollution de la voie retour que pour les câbles coaxiaux « cuivre » ; on aura alors tendance à cibler une architecture FTTLA de façon à s'affranchir de ce problème, la partie terminale étant souvent basée sur du câble coaxial cuivre ;
 - il faudra également s'assurer que les différents équipements radiofréquences (amplificateurs, dérivateurs, coupleurs) qui resteront en place sont conformes aux caractéristiques demandées (transmission VR, bande passante VD/VR).

4.1.2.2 CONTRAINTES DE MUTUALISATION

L'objectif de la mutualisation est de permettre la cohabitation de plusieurs opérateurs de services et de plusieurs systèmes « réseau » sur l'infrastructure déployée. Les architectures des réseaux

câblés traditionnels sont de type « point à multipoints ». Seule la portion terminale du réseau (le réseau de branchement) est toujours fondée sur une topologie en étoile donc point à point. Un point fondamental de la problématique de mutualisation des réseaux est celui du point où est réalisée la mutualisation des réseaux.

La loi du 5 mars 2007 relative à la modernisation de la diffusion audiovisuelle et à la télévision du futur a précisé le processus permettant d'aboutir à la mise en conformité effective des conventions signées entre les opérateurs « câble » et les collectivités. La mise en conformité des conventions vise notamment le principe de partage et de mutualisation des infrastructures publiques et la suppression de la clause d'exclusivité. Ces directives n'ont eu que peu d'effet sur les documents contractuels.

La mise en œuvre des principes de mutualisation des réseaux peut s'appliquer à chacune des trois couches considérées : le génie civil, les câbles optiques de transport et le partage de bande passante.

4.1.2.2.1 Mutualisation du génie civil

Pour le moment, les opérateurs « câble » ne prévoient pas d'ouvrir leur génie civil à des opérateurs alternatifs, lorsque celui-ci leur appartient. L'ARCEP n'impose aucune obligation dans la mesure où ils ne sont pas considérés comme bénéficiant d'une position dominante.

4.1.2.2.2 Mutualisation des câbles optiques

Les câbles optiques peuvent être mutualisés entre plusieurs opérateurs, ceux-ci louant de la fibre noire entre la station de tête (équivalent du NRO ou du PM) et le nœud optique terminal (NO). On soulignera les contraintes opérationnelles de cette mutualisation ainsi que les limites dues au dimensionnement du réseau (nombre de fibres notamment) ; en effet, compte tenu du faible nombre de fibres optiques disponibles dans les câbles installés à ce niveau, on peut penser qu'un opérateur alternatif ne pourrait être intéressé que dans l'hypothèse où il retient les systèmes PON, le coupleur optique étant alors situé au niveau de l'armoire du NO. Au cas par cas, Numéricâble propose ce type d'offres. Néanmoins, dans le cas d'une mise en œuvre de type FTTH, la conformité aux règles de l'ARCEP (taille du PM) est obligatoire, ce qui implique une augmentation du nombre de fibres disponibles.

4.1.2.2.3 Mutualisation des supports de transmission (fibre et coaxial)

L'objectif est de définir les conditions à remplir pour introduire un opérateur alternatif sur le réseau. Sur un réseau câblé de type HFC, basé sur le multiplexage fréquentiel (FDM = Frequency Division Multiplexing), le principe de mutualisation du média (fibre ou coaxial) est facile à mettre en œuvre puisque l'on peut allouer des plages de fréquences aux différents services, donc à des opérateurs différents, tant en voie descendante qu'en voie remontante.

Le point d'injection des opérateurs alternatifs ne peut pas être situé au niveau du nœud optique ou du pied d'immeuble, puisque leur taille ne satisfait pas les critères de l'ARCEP. La mutualisation ne peut pas être limitée à la terminaison coaxiale.

La nature même du multiplex fréquentiel utilisé dans les réseaux câblés permet de mélanger simplement des signaux véhiculant des services différents fournis par des FAI différents (voir le § 9.1.2.2.3).

Dans ce cas, les opérateurs mettent en place leurs propres équipements CMTS et modem. Cette situation s'apparente au dégroupage que l'on connaît sur le réseau ADSL. Il n'existe pas à ce jour d'exemple opérationnel en France.

La mise en œuvre de ces principes peut présenter des variantes :

- cette approche s'applique évidemment aux services IP (Internet et téléphonie) : ceci a d'ailleurs été appliqué il y a une dizaine d'années par NC-Numéricâble qui proposait 2 offres d'accès Internet (l'offre AOL et l'offre NC) ;
- de la même façon, on pourrait isoler une plage de fréquence pour l'ensemble du service antenne, ce qui permet à la collectivité de transmettre les programmes de la TNT dans leur format original (OFDM) avec éventuellement transposition, offrant ainsi une parfaite transparence pour l'utilisateur ;
- en ce qui concerne la télévision, il paraît assez irréaliste de multiplier les fournisseurs de bouquets, même si l'on pourrait envisager un bouquet VOD isolé.

4.1.2.2.4 Mutualisation des débits

Enfin, la mutualisation peut s'opérer au niveau des débits, ce qui correspond au bitstream. Les

opérateurs alternatifs utilisent alors les CMTS de l'opérateur du réseau et gèrent leurs propres offres commerciales. C'est le cas des offres Bouygues sur les réseaux Numéricâble.

4.1.3 LE RÉSEAU TÉLÉPHONIQUE CUIVRE

La boucle locale cuivre préexistante qui est déjà financée, a été une formidable opportunité pour développer le haut débit. Toutefois, ces technologies DSL voient les signaux et les débits s'atténuer avec la distance. Cela a deux conséquences : d'une part, au-delà de 78 dB (de 7 à 15 dB du km selon les câbles utilisés), le signal ADSL ne permet plus d'assurer une liaison de qualité et entraîne l'inéligibilité au haut débit de la ligne. D'autre part, même en-deçà de ce seuil de 78 dB les lignes ont des débits descendants (proches de 512 kbit/s) et remontants (moins de 128 kbit/s) réduits.

En outre, les besoins en services et en débits correspondants croissent rapidement. Si du 2 Mbit/s était jugé satisfaisant en 2009, du 10 Mbit/s semble dès à présent nécessaire notamment avec l'explosion des média audiovisuels en TVHD, qu'ils soient en diffusion ou interactifs. La croissance des débits remontants (du client vers le réseau) est aussi une tendance forte que ce soit pour échanger des fichiers ou utiliser ses données stockées dans le réseau (cloud computing).

Or actuellement seule une moitié des lignes est à moins de 30 dB et permettent théoriquement des débits descendants supérieurs à 10 Mbit/s (et débits remontants proches de 1 Mbit/s).

4.1.3.1 PRINCIPES DE LA MONTÉE EN DÉBIT SUR CUIVRE (MED)

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

Néanmoins, même si un cadre favorable au déploiement du FTTH se précise, pour des raisons opérationnelles et financières, le Très Haut Débit mettra à minima 10 ans à se déployer

sur tout le territoire national, alors même qu'avec la société numérique les besoins sont partout aussi importants, voire encore plus prioritaires dans les zones les plus défavorisées du territoire.

Ne pas anticiper cette évolution tendancielle et inéluctable des usages et des débits associés conduirait à aggraver considérablement la fracture numérique sur le territoire déjà constatée avec le haut débit. Une partie de la population restant longtemps en ~500 kbit/s descendant et 100 kbit/s remontant, alors qu'une autre serait déjà à plus de 100 Mbit/s symétriques.

Avec un facteur de 200 à 1 000, entre les débits offerts aux uns et aux autres, la fracture numérique se transformerait en gouffre numérique. Par exemple, ce qui nécessiterait seulement 1 min 30 en FTTH pour envoyer ses données vers le réseau prendrait alors 24 heures en haut débit DSL sur une ligne longue.

Ces solutions de montée en débit (MeD) sur cuivre, en modifiant les réseaux existants, permettront de limiter cette fracture en apportant rapidement de meilleurs débits et services, et ainsi d'attendre le déploiement du FTTH qui reste le réseau cible, même s'il ne doit pas trop tarder pour répondre au confort en débit des usagers.

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

Les critères techniques d'éligibilité, tels qu'ils apparaissent dans l'offre PRM (Point de Raccordement Mutualisé) d'Orange, sont les suivants :

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

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

Si la commande concerne un sous-répartiteur dont la zone arrière ne fait l'objet d'aucun projet de déploiement de réseaux très haut débit en fibre optique planifié, la commande sera acceptée, dans le respect des critères précisés ci-dessus.

Si la commande concerne un sous-répartiteur dont la zone arrière fait l'objet d'un projet de déploiement de réseaux très haut débit en fibre optique dont le démarrage effectif aura lieu moins de 36 mois après la clôture de la procédure consultative, Orange rejettera la commande.

Si la commande concerne un sous-répartiteur dont la zone arrière fait l'objet d'un projet de déploiement de réseaux très haut débit en fibre optique dont le démarrage effectif aura lieu plus de 36 mois après la clôture de la procédure consultative, la commande ne sera acceptée, dans le respect des critères techniques d'éligibilité, que lorsque :

- le sous-répartiteur se trouve dans une commune rurale au sens de l'INSEE ;
- ou le sous-répartiteur se trouve dans une commune urbaine au sens de l'INSEE et regroupe plus de 50 % de lignes dont l'atténuation est supérieure à 53 dB à 300 kHz.

4.1.3.2 LE CAS DES LIAISONS MULTIPLEXÉES

La technologie ADSL ne peut s'appliquer qu'à une ligne dédiée à l'utilisateur final. Elle ne peut être mise en œuvre que dans le cas où la paire de cuivre n'est pas partagée entre plusieurs utilisateurs. Cette exigence tient au fait que la bande de fréquences utilisée pour le service ADSL ne peut être partagée.

Si la grande majorité des lignes répondent à cette exigence, il existe néanmoins quelques cas particuliers qui dérogent à cette règle. En décembre 2010, environ 0,3 % des lignes étaient équipées de multiplexeurs, permettant de regrouper plusieurs lignes d'abonnés sur une même paire de cuivre ; ce chiffre est une moyenne nationale masquant des réalités locales beaucoup plus contraignantes. Ainsi, le taux ramené aux seules lignes situées en zone rurale s'établit à 3 % en moyenne. Il peut atteindre les 6 % dans certains départements. Ces lignes multiplexées ne permettent donc pas le service ADSL.

Selon les cas, le multiplexeur est placé sur la partie transport (entre NRA et SR) ou distribution (entre SR et PC) de la boucle locale (figure 4.2). On qualifie de « gros multiplexeurs » les équipements placés sur le segment transport. Ce sont des équipements de type UMC1000 ou CTR 160 qui réalisent la concentration de 60 clients par paire. Les « petits multiplexeurs » sont placés sur la partie distribution. Ils multiplexent 2 (cas des PCM2) ou jusqu'à 11 (cas des PCM 11) clients par paire.



Figure 4.2 : exemple de multiplexage par GMUX

L'opérateur historique s'est engagé auprès de l'ARCEP à réduire le nombre de ces lignes multiplexées.

4.1.3.3 LES SOLUTIONS TECHNIQUES DE LA MONTÉE EN DÉBIT SUR CUIVRE

4.1.3.3.1 Généralités

Les techniques de montée en débit (MeD) consistent à opticaliser la partie transport (entre le NRA et la SR) de la boucle locale afin de réduire la longueur du trajet sur les paires de cuivre (figure 4.3). Sachant que les lignes traitées ont une longueur moyenne d'environ 5 km dont 4 km en transport. Le parcours restant en cuivre est de l'ordre de 1 km. 95 % des lignes peuvent alors bénéficier d'un débit supérieur à 10 Mbit/s. (97 % à 8 Mbit/s).



Figure 4.3 : la boucle locale cuivre

Un SR traité en MeD sur cuivre a donc in fine des caractéristiques de lignes bien plus favorables que la moyenne nationale. Pour pouvoir en tirer pleinement parti et apporter un vrai impact au niveau services pour les usagers, il faut que les opérateurs, Orange notamment, amènent du Triple Play dans ces sites.

Il est rappelé que le FTTH est la cible et que la MeD n'est pertinente que là où le FTTH ne peut pas arriver dans un horizon de quelques années. Les lignes directrices de la Commission Européenne relatives au régime des aides d'Etat prévoient que les financements publics ne peuvent être versés que dans des conditions restrictives, sauf dans les zones où aucun opérateur ne prévoit de déployer à l'horizon de trois ans. La MeD sur cuivre entre dans ce cadre : pas de MeD si du FTTH doit arriver dans les trois ans. Le « faire tout de même » crée une moindre appétence des clients pour le FTTH ce qui diminue la rentabilité du FTTH et donc l'intérêt à le déployer.

Dans son avis n°09-A-57 de décembre 2009, l'Autorité de la Concurrence concluait que, dans l'attente des réseaux FTTH, les projets de montée en débit au travers des solutions d'accès à la sous-boucle locale d'Orange doivent être réservés à des situations exceptionnelles, et en priorité aux zones non-dégrouables.

Toutes les solutions de Montée en Débit sur la boucle locale cuivre partagent des briques communes, décrites sur la figure 4.4 :

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

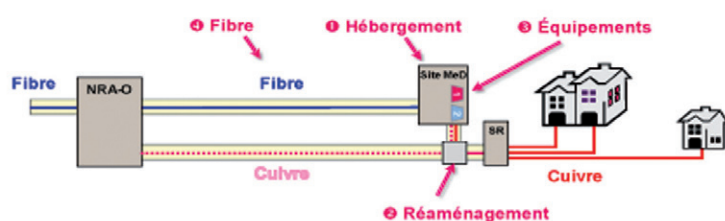


Figure 4.4 : les briques de la montée en débit

Les solutions techniques de MeD sur cuivre nécessitent de construire une liaison optique pour le segment de transport entre NRA et SR de la boucle locale. Les parties aval comprenant la distribution (segment SR – Point de Concentration) et branchement (segment PC - abonné) ne sont pas modifiées.

Dans la situation initiale, les équipements DSL sont des DSLAM localisés au NRA Origine (appelé NRA-O) qui injectent leurs signaux DSL sur les paires cuivre de la boucle locale, uniquement depuis ce NRA.

Différentes configurations de montée en débit sont envisageables :

- le scénario dit de « **bi-injection** » qui autorise une injection à la fois au NRA-O ou à la SR selon les opérateurs. Ce scénario, décrit au chapitre 9, n'est en service que sur un seul site, avec l'offre PRP d'Orange ;
- le scénario dit de « **mono-injection** » mis en place dans le cadre de l'offre PRM où les DSLAM sont déplacés au niveau de la SR dans un nouveau NRA qualifié de NRA-MeD ;
- la technologie dite de « **déport optique** » où les DSLAM peuvent rester au niveau du NRA-O avec transport optique entre NRA-O et SR. Dans ce cas, les flux DSL des lignes d'abonnés sont transportés sur fibre optique jusqu'au NRA-O. A ce stade, cette technologie, décrite au chapitre 9, n'a pas été validée par le Comité d'Experts.

4.1.3.3.2 La mono-injection

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

Les opérateurs installent leurs équipements au niveau du sous répartiteur.

Dans l'exemple de la figure 4.5, les opérateurs 1 et 2 sont installés au site MeD



Figure 4.5 : exemple de mono-injection

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

L'offre NRA-ZO, créée il y a quelques années, pour permettre le traitement des zones blanches de l'ADSL utilisait une approche en mono-injection, et permettait même si ce n'était pas le but premier d'apporter une montée en débit très significative à toutes les lignes cuivre en aval du nouveau site. Pour autant, la solution NRA-MeD se distingue aujourd'hui par une collecte systématiquement optique entre le NRA et la SR.

4.1.3.3.3 Mise en œuvre du VDSL2

Les scénarios de montée en débit conduisant à une réduction du segment cuivre peuvent permettre la mise en œuvre de la technologie VDSL2. L'ARCEP a donné son accord à ce scénario sous conditions. Il faut tout d'abord souligner que le gain en débit apporté par cette technologie n'est vraiment probant que pour des liaisons très courtes (< 1 km). Le VDSL2 n'est d'aucun apport au-delà de cette distance comme nous l'avons vu au chapitre 3.

L'ARCEP a limité le VDSL2 aux liaisons à distribution directe ou aux lignes situées derrière un NRA réaménagé dans le cadre de la montée en débit. Il est néanmoins possible que l'on obtienne des débits inférieurs à ceux envisagés si l'on considère l'extrême sensibilité des technologies VDSL2 aux perturbations induites sur le réseau par l'environnement extérieur et notamment le parasitage à caractère aléatoire d'origine domestique (ascenseurs, néons, appareils électroménagers...).

Dans son rapport du 26 avril 2013, le « comité d'experts cuivre » mandaté par l'ARCEP conclut au périmètre réduit du déploiement du VDSL2. Le comité souligne la configuration inédite en Europe du réseau français où la situation du dégroupage entraîne la cohabitation dans un même câble de nombreuses technologies xDSL (ADSL, ADSL2+, SDSL, ...) qui rendent la mise en œuvre du VDSL2 très aléatoire.

L'étude montre que cette technologie ne concernera que les lignes très courtes (inférieures à 1 km). Le déploiement de cette technologie ne sera applicable qu'aux NRA créés suite à un réaménagement de réseau (via une offre PRM par exemple) ou dans le cas de NRA installés avant 2005, à des clients disposant d'une distribution directe, c'est-à-dire sans traversée de sous-répartiteur. Au total, 16 % du parc seulement serait concerné. Parmi ces lignes théoriquement éligibles, une partie seulement pourrait se voir proposer du très haut débit. Au final, en raison des performances comparées avec l'ADSL2 (voir figure 3.4) montrant que l'augmentation de débit ne sera significative que sur les lignes les plus courtes, c'est seulement 6 % des clients, soit un peu plus de 2 millions de lignes, qui pourraient grâce au VDSL2 bénéficier d'un « vrai très haut débit » avec un débit supérieur à 30 Mbit/s. Plus précisément, 0,6 % de lignes en zones très denses, 1, 4 % en zone AMII et 4 % pour le reste du territoire. L'intérêt à long terme du VDSL2 apparaît donc faible. Le parc éligible au « THD sur cuivre » sera donc inférieur aux 6 % envisagés.

Même si dans de rares cas le VDSL2 offrira un débit proche de 50 Mbit/s, cette solution provisoire sera rapidement dépassée par l'offre de la fibre optique.

4.2 LES RÉSEAUX RADIO TERRESTRES

4.2.1 WIFI ET WIMAX

Les réseaux WiFi et WiMAX nécessitent des infrastructures d'accueil et un réseau de transmission plus ou moins important en fonction des technologies.

4.2.1.1 LES TECHNOLOGIES WIFI

Un réseau WiFi, historiquement contraint à la couverture d'une salle, d'un bâtiment voire d'un campus, peut présenter plusieurs architectures selon son étendue et sa capacité en trafic. Les liens de transmission entre les points d'accès WiFi et le réseau en constituent la difficulté principale.

Dans ce cadre « contraint », en terme de configuration de mise en œuvre, on peut combiner les approches suivantes :

- configuration cellulaire permettant de couvrir des surfaces importantes : il y a un point d'accès par cellule, chaque cellule fonctionnant sur un canal spécifique (figure 4.6)

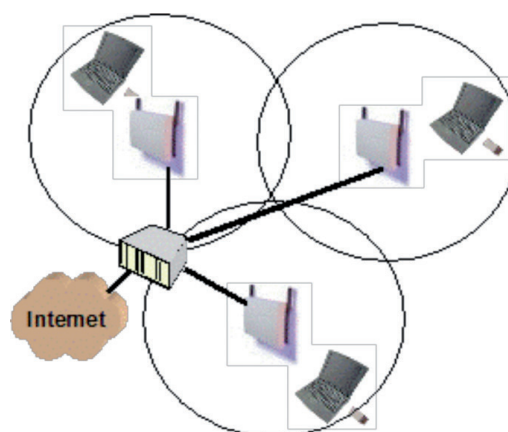


Figure 4.6 : configuration cellulaire simple

- partage de charge sur une même cellule en utilisant jusqu'à 3 canaux, chacun d'entre eux étant traité par un point d'accès spécifique (figure 4.7) ;

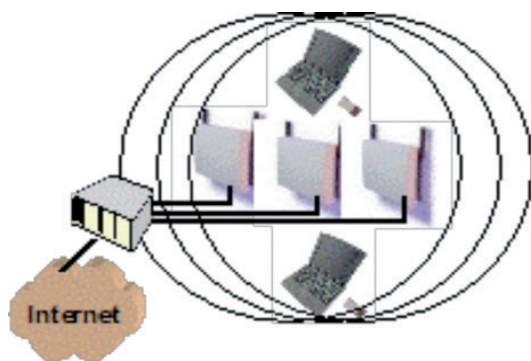


Figure 4.7 : configuration cellulaire multiple

- déport de communication vers une cellule distante à partir d'un point d'accès de base ; celui-ci fonctionne alors en répéteur (figure 4.8) ; cette configuration est à la base de l'architecture maillée (« mesh » en anglais).

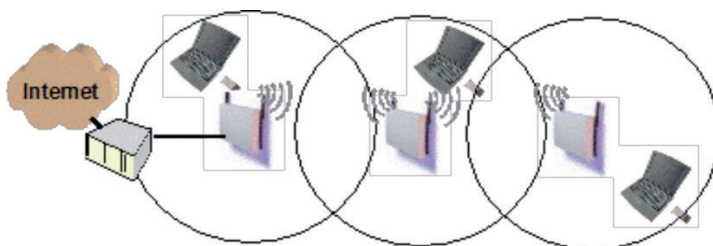


Figure 4.8 : configuration en répéteur

Le principe des architectures WiFi mesh est basé sur un maillage réalisé de manière autonome dans une zone donnée, le signal se propageant par bonds successifs à travers un réseau de mini-routeurs ; la connexion est alors de type « peer-to-peer ». Ces mini-routeurs agissent en répéteurs et n'ont pas besoin d'être reliés au centre de la zone par des liaisons fixes. Ils doivent uniquement être alimentés en énergie. De plus, les postes utilisateurs des mobiles peuvent eux-mêmes assurer le rôle de routeur.

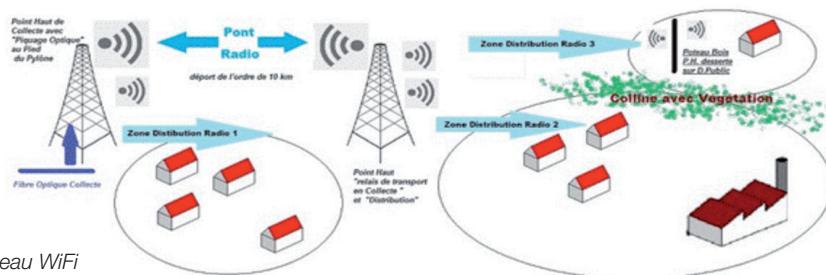


Figure 4.9 : synoptique d'un réseau WiFi

Ces architectures présentent les principales caractéristiques suivantes :

- le système peut être rapidement déployé et sa zone de couverture peut évoluer au gré des besoins ;
- il assure la continuité des services en mobilité ;
- pour couvrir une zone géographique donnée, le nombre de points d'accès raccordés à Internet, par exemple par fibre optique, est beaucoup plus faible que dans le cas de l'architecture de base :
 - le coût du réseau de collecte associé est donc fortement réduit ;
 - par contre, la capacité offerte par le réseau à chaque usager se réduit, puisque la capacité intrinsèque doit être partagée entre tous les postes terminaux situés dans l'ensemble de la zone ;
 - le logiciel spécifique de re-routage est auto adaptatif, c'est-à-dire qu'il reconfigure automatiquement le réseau dans le cas où un des éléments tombe en panne ; on parle alors souvent d'un réseau « auto cicatrisant ».

Ces modes de déploiement pourront être utilisés pour des couvertures « outdoor » de type hotspot (salons, ports, lieux publics,...), et le cas échéant, en complément de couvertures territoriales de type « zones blanches/grises » pour une desserte mutualisée de zones d'habitat ou de Points de Service Public denses.

Dans le cadre de « couvertures territoriales » en extérieur à finalité « résorption de zones blanches », de niveau communal ou plus (par exemple l'ensemble de poches en carence de Haut-Débit Communales dans une même Communauté de Communes), le modèle de mise en œuvre correspond au schéma de la figure 4.9, associant des déports de collecte vers les « poches » (équivalent de liens de transport de l'architecture de la boucle locale cuivre), et des zones de distribution radio (équivalent des zones de sous répartition du cuivre).

4.2.1.2 LES TECHNOLOGIES WiMAX

Les technologies WiMAX et assimilées, par leur zone de couverture plus étendue, exigent la mise en place d'une infrastructure complexe. Avec des contraintes de déploiement proches de celles des réseaux mobiles 2G/3G/4G, ces réseaux nécessitent en priorité des points hauts judicieusement placés aux abords des zones à couvrir.

En zone urbaine, les points hauts sont nombreux (toits, clocher, candélabre...), mais la demande en réseau de type WiMAX est souvent nécessaire en milieu rural, là où les points hauts sont plus rares (figure 4.10 ; source <http://bounatelecom.files.wordpress.com>). En effet, en dehors des pylônes de téléphonie mobiles, les sites sont rares, car même si des points hauts naturels existent, les contraintes d'accès, d'énergie et de liens de transmission possibles viennent réduire les possibilités.

Malgré ces difficultés, quelques départements ont aujourd'hui une couverture WiMAX totale délivrant un service haut-débit à plusieurs milliers de clients. Pour cela, un réseau de collecte (backbone) en boucle doit être mis en place pour sécuriser les transmissions des différents points hauts vers le cœur de réseau. Le backbone peut être réalisé en fibre optique ou en liens hertziens et peut être mutualisé pour d'autres applications (par exemple dégroupage de NRA, réseau fibre noire).

Le tableau 4, issu du site de l'ARCEP, montre le nombre de sites WiMAX déployés par les opérateurs, notamment dans le cadre des Réseaux d'Initiative Publique pour couvrir les zones blanches. On voit ainsi que ce nombre varie, par département, entre une vingtaine (Calvados, Haut-Rhin, Côte d'Or, Seine-Maritime, Creuse) et 80-90 pour les mieux couverts (Lot-et-Garonne et Pyrénées-Atlantiques). A noter que ces chiffres issus d'une étude réalisée par l'ARCEP en 2011 dans le cadre de l'analyse des déploiements réalisés par les titulaires d'autorisation de boucle locale radio, ont probablement évolué depuis.

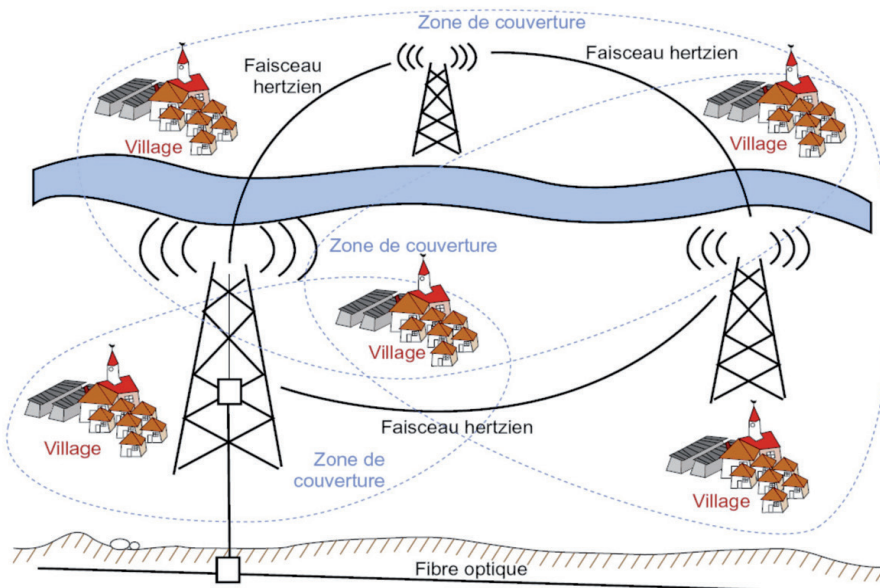


Figure 4.10 : synoptique d'un réseau WiMAX

Régions	Départements	Titulaire 30/12/2010	Nombre de sites installés 31/12/2010	Total au 31/12/2010	Obligations au 31/12/10	% sites/obligati ons	Offre commerciale disponible (Offre de détail) 31/12/10	RIP	Titulaire 30/12/2010
Alsace	Bas-Rhin	Déprt Bas Rhin	71	71	28	100%	Oui	Oui	Bolloré Télécom
	Haut-Rhin	Déprt Haut Rhin	20	20	19	100%	Oui	Oui	
Aquitaine	Dordogne	Déprt Dordogne	0	-	20	0%	Non	-	Bolloré Télécom
	Gironde	-	-	-	-	-	-	-	
	Landes	-	-	-	-	-	-	-	
	Lot-et-Garonne	Déprt Lot-et-Garonne	88	88	12	100%	Oui	Oui	
Auvergne	Pyrénées-Atlantiques	Déprt Pyrénées-Atlantiques	84	84	20	100%	Oui	Oui	Bolloré Télécom
	Allier	Altitude Wireless	0	0	132	0%	Non	-	
	Cantal	-	0	-	-	-	Non	-	
	Haute-Loire	-	0	-	-	-	Non	-	
Basse-Normandie	Puy-de-Dôme	-	0	-	-	-	Non	-	Bolloré Télécom
	Calvados	Altitude Wireless	18	52	118	44%	Oui	Oui	
	Manche	-	1	-	-	-	Oui	Oui	
	Orne	-	33	-	-	-	Oui	Oui	
Bourgogne	Nièvre	NiverLAN	51	51	32	100%	oui	Oui	Bolloré Télécom
	Côte d'Or	Région Bourgogne	17	63	60	100%	oui	Oui	
	Saône-et-Loire	Région Bourgogne	25	-	-	-	oui	Oui	
	Yonne	Région Bourgogne	21	-	-	-	oui	Oui	
Bretagne	Côtes d'Armor	Déprt Côtes d'Armor	32	32	33	97%	oui	Oui	Bolloré Télécom
	Finistère	Déprt Finistère	40	40	28	100%	oui	Oui	
	Ille-et-Vilaine	Altitude infrastructure	37	37	32	100%	oui	Oui	
	Morbihan	Nomotech SAS	5	5	28	18%	oui	-	
Centre	Cher	Altitude Wireless	0	0	160	0%	Non	-	Bolloré Télécom
	Eure-et-Loir	-	0	-	-	-	Non	-	
	Indre	-	0	-	-	-	Non	-	
	Indre-et-Loire	-	0	-	-	-	Non	-	
	Loir-et-Cher	-	0	-	-	-	Non	-	
	Loiret	-	0	-	-	-	Non	-	
Champagne-Ardenne	Ardennes	Altitude Wireless	0	0	135	0%	Non	-	Bolloré Télécom
	Aube	-	0	-	-	-	Non	-	
	Marne	-	0	-	-	-	Non	-	
	Haute-Marne	-	0	-	-	-	Non	-	
Corse	Corse-du-Sud	CT Corse	0	0	22	0%	Non	-	Bolloré Télécom
	Haute-Corse	-	0	-	-	-	Non	-	
Franche-Comté	Doubs	Altitude Wireless	0	45	108	42%	Non	Oui	Bolloré Télécom
	Jura	-	45	-	-	-	Oui	-	
	Haute-Saône	-	0	-	-	-	Non	-	
	Territoire-de-Belfort	-	0	-	-	-	Non	-	
Haute-Normandie	Eure	Altitude Wireless	30	50	125	40%	Oui	Oui	Bolloré Télécom
	Seine-Maritime	-	20	-	-	-	Oui	Oui	
Ile-de-France	Paris	SHD	3	48	210	23%	oui	-	Bolloré Télécom
	Seine-et-Marne	-	16	-	-	-	oui	-	
	Yvelines	-	8	-	-	-	oui	-	
	Essonne	-	7	-	-	-	oui	-	
	Hauts-de-Seine	-	4	-	-	-	oui	-	
	Seine-Saint-Denis	-	1	-	-	-	oui	-	
	Val-de-Marne	-	1	-	-	-	oui	-	
Languedoc-Roussillon	Val-d'Oise	-	8	-	-	-	oui	-	Bolloré Télécom
	Aude	-	-	-	-	-	-	-	
	Gard	-	-	-	-	-	-	-	
	Hérault	-	-	-	-	-	-	-	
Limousin	Lozère	-	-	-	-	-	-	-	Bolloré Télécom
	Pyrénées-Orientales	-	-	-	-	-	-	-	
	Corrèze	Axione	32	73	79	92%	Oui	Oui	
Lorraine	Creuse	-	19	-	-	-	Oui	Oui	Bolloré Télécom
	Haute-Vienne	-	22	-	-	-	Oui	Oui	
	Meurthe-et-Moselle	Altitude Wireless	0	71	247	29%	Non	-	
	Meuse	-	71	-	-	-	Oui	Oui	
Moselle	-	-	0	-	-	-	Non	-	Bolloré Télécom
	Vosges	-	0	-	-	-	Non	-	

Tableau 4 : synthèse ARCEP des sites WiMAX

Une fois sélectionnés, les sites doivent être aménagés pour recevoir les équipements WiMAX : antennes sectorielles, câbles coaxiaux ou optiques, équipements actifs WiMAX et transmission (optiques ou hertziens), atelier d'énergie secourue (figure 4.11).

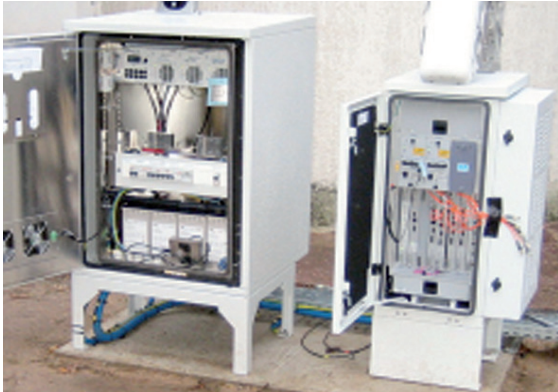


Figure 4.11 : équipements d'un réseau WiMAX

4.2.2 RÉSEAUX DE TÉLÉPHONIE MOBILE

Le présent paragraphe présente la problématique de déploiement par les opérateurs avec pour perspective leur éventuelle contribution à la couverture des habitations pour qu'elles puissent bénéficier d'une certaine forme de montée en débit. On ne décrit pas ici l'éventualité d'un déploiement spécifique qui devrait d'ailleurs s'inscrire dans le cadre réglementaire ou son évolution.

Le territoire à couvrir est maillé par un grand nombre d'émetteurs qui couvrent une surface réduite appelée cellule (figure 4.12). Cela permet de réutiliser le canal radio dans plusieurs cellules en même temps. En réduisant la taille des cellules, on peut augmenter la réutilisation des canaux et donc le nombre d'utilisateurs dans le réseau. Lors du déplacement d'un mobile d'une cellule à une autre, le mobile doit se connecter sur le relais de la nouvelle cellule. Cette procédure est appelée Hand-Over ou transfert intercellulaire.

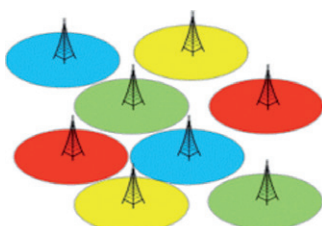


Figure 4.12 : Le principe cellulaire

Les cellules ont différentes tailles suivant leurs objectifs de couverture. On distingue (figure 4.13) :

- la cellule parapluie : cellule d'un relais placé sur un point très haut couvrant une surface très importante ;
- la macro cellule : cellule standard de la téléphonie mobile dont le relais est installé sur un point haut (pylône ou immeuble) ;
- la micro cellule : cellule de taille réduite assurant la couverture de lieux très fréquentés (place publique, rue piétonne, centres commerciaux ...) ;
- la cellule Indoor : cellule assurant la couverture intérieure de bâtiments (centres commerciaux, aéroports, stades, bureaux ...) ;
- la pico cellule : cellule de taille très réduite pour la couverture de lieux fréquentés (centre commerciaux, bureaux, avions, bateau ...) ;
- la Femto cellule : cellule de taille très réduite pour la couverture résidentielle ou de petits bureaux.

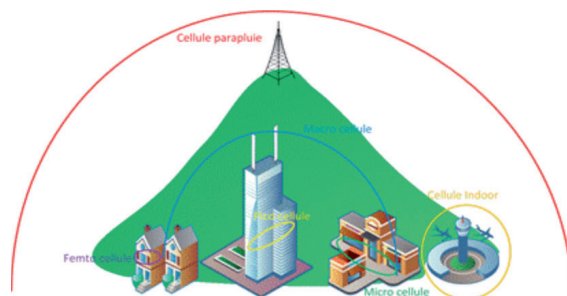


Figure 4.13 : les différents types de cellules

Le déploiement d'un réseau de mobilité est principalement contraint par celui des relais. En effet, ces derniers doivent allier efficacité, en termes de couverture radio et d'utilisateurs, et coût d'étude et de réalisation. La mise en œuvre d'un relais radio doit aussi respecter des règles administratives, d'urbanisme et réglementaires avec l'ARCEP sans éveiller l'hostilité des riverains.

Pour déterminer l'emplacement du relais, l'opérateur va s'appuyer sur ses équipes d'ingénierie radio. Ces dernières vont à l'aide de logiciels de simulations radio calculer la couverture théorique de cet emplacement pour la valider. Cet emplacement idéal dépend de l'objectif de couverture à atteindre : zone de couverture, point de concentration d'utilisateur (hotspot) et des relais se trouvant autour, car il faut aussi limiter le plus possible les interférences entre relais, pour assurer la réutilisation des fréquences.

De plus, le relais doit être raccordé au réseau existant de l'opérateur. Ce dernier dispose de plusieurs options. La première met en œuvre des Faisceaux Hertiens pour établir un lien radio avec un autre site de l'opérateur. Cela demande que les deux sites soit à vue, de faire une étude pour cette liaison FH et d'avoir les autorisations de l'ARCEP pour la mise en œuvre de ce lien FH. Une deuxième option est l'utilisation d'une liaison filaire cuivre ou optique. La liaison cuivre peut être une ou plusieurs liaisons louées ou un raccordement SDSL. Les débits des nouvelles évolutions de la 3G (H+ DC) et de la 4G imposent plutôt aux opérateurs de raccorder leurs relais par des liaisons filaires optiques.

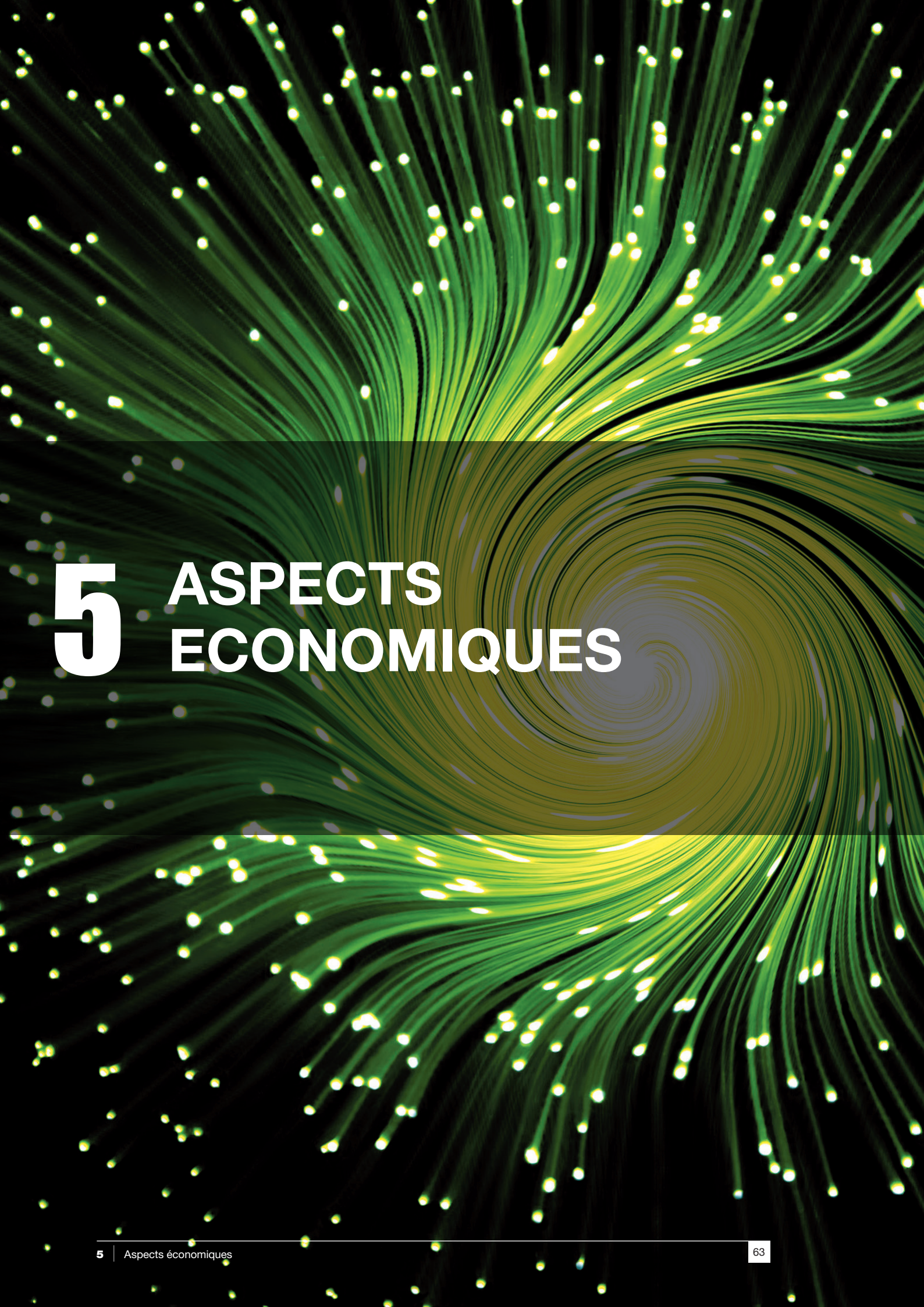
L'emplacement étant défini, il faut trouver un support pouvant accueillir le relais, ses antennes et ses baies techniques. Celui-ci est généralement un point haut : immeuble, château-d'eau ou un autre type de construction. Si l'emplacement est un terrain nu, l'opérateur érigera un pylône. Pour installer son relais, l'opérateur devra négocier avec le propriétaire du support. Pour un terrain nu, il pourra procéder à l'achat d'une parcelle ou louer l'emplacement du pylône. Pour un support existant il louera ce dernier (terrasse, château-d'eau, cheminée) pour y installer ses antennes et ses baies techniques.

L'implantation d'un relais modifiant l'aspect extérieur d'une construction est soumise à des règles d'urbanisme telles que la dépose d'un permis de construire ou d'une déclaration préalable. Leur instruction par les services en charge d'urbanisme peut durer 3 mois et demander des modifications du relais (couleur, hauteur de l'équipement, emplacement, ...). Si l'implantation se situe dans une zone protégée ou sauvegardée, d'autres intervenants peuvent imposer des préconisations (Architecte des Bâtiments de France, DIREN, ...).

Les travaux de réalisation peuvent aussi apporter des contraintes. Pour l'implantation en zone urbaine sur toiture, on peut avoir recours à des grutages avec coupures de voiries. Pour un pylône, un hélitreuillage peut être nécessaire si le terrain est difficile d'accès pour une grue. Les adductions d'énergies et télécom (fibre optique ou ligne cuivre) peuvent ainsi induire d'important travaux si le site se trouve dans une zone reculée.

Enfin, les relais de téléphonie mobile ont une mauvaise image dans l'opinion à cause de supposés effets sanitaires des ondes électromagnétiques. Bien qu'ayant reçu toutes les autorisations, plusieurs relais n'ont pas pu être construits et au moins deux décisions de justice ont demandées le démontage de relais. Compte tenu des délais d'études, de demande d'autorisation et de réalisation, la durée entre la décision d'implanter un relais et sa mise en service est d'environ 24 mois.

Jusqu'à présent les opérateurs s'étaient concentrés sur la couche macro et la couverture extérieure. Depuis quelques années les usages ont évolué et la majeure partie des communications se font à l'intérieur de bâtiments. Les opérateurs déploient ainsi des sites indoor dont la complexité de mise en œuvre technique du système antenne est plus importante qu'un site macro classique. Ces derniers peuvent être mutualisables entre plusieurs opérateurs.



5 ASPECTS ECONOMIQUES

5.1 LES RÉSEAUX FILAIRES

5.1.1 LES RÉSEAUX FIBRE (FTTH / FTTO)

5.1.1.1 FTTH

Les coûts de construction d'un réseau FTTH peuvent être scindés en 3 grands postes :

- construction et aménagement du NRO ;
- déploiement du réseau horizontal (NRO – vers PBO, y compris PM) ;
- raccordement abonnés (PBO-DTIO).

Les coûts de construction et d'aménagement d'un local sont relativement fixes. En effet, ceux-ci dépendent principalement du nombre de prises regroupées au sein du local.

Tous ces coûts s'entendent uniquement pour la partie infrastructure, c'est-à-dire sans les matériels actifs. En effet, selon le choix de l'opérateur, les matériels actifs ou des coupleurs peuvent être au NRO et/ou au PM.

Les coûts doivent donc intégrer la construction et l'aménagement des sites correspondants.

Il peut s'agir du simple aménagement d'un local existant, de la fourniture et de la pose, sur dalle existante, d'un shelter, ou encore de la fourniture et de la pose d'une armoire de rue.

Les coûts correspondants varient selon la taille du site considéré, c'est-à-dire le nombre de prises desservies.

Concernant le réseau horizontal, les coûts (fourniture, pose, raccordement et qualification) varient selon le mode de pose :

- dans des fourreaux existants :
entre 6 et 10 €/ml, selon la capacité des câbles ;
- sur des poteaux existants :
entre 20 et 30 €/ml, selon la capacité des câbles ;
- pour un génie civil à créer :
entre 40 et 120 € / ml, selon les techniques.
(GC traditionnel ou allégé, hors ou en agglomération).

En conséquence, le coût de déploiement du réseau horizontal raccordable (NRO-PBO), peut être estimé de 250 € à plus de 2 500 € par prise.

Cette forte disparité de coûts s'explique par la géographie même des territoires. En effet, le déploiement d'un PM de 1 000 prises, regroupant des petits immeubles avec des réseaux souterrains (cas d'un centre bourg) est nettement moins onéreux que le déploiement d'un PM de 300 prises, regroupant des pavillons avec des réseaux aériens ou enfouis en pleine terre (cas d'un hameau rural).

De manière générale, à l'échelle d'un territoire départemental, le coût moyen de déploiement des solutions FTTH, en dehors des zones ciblées par les opérateurs peut être estimé entre 600 et 4 000 € par prise⁵. C'est pourquoi, dans certains cas, les prises les plus onéreuses (> 4 000 €) peuvent être considérées comme des « prises isolées », au regard de leur coût de construction trop important.

Enfin, les coûts de construction pour le raccordement final varient énormément selon l'habitat (pavillonnaire ou collectif) et selon le mode de pose : dans des goulottes ou fourreaux existants, en aérien ou en façade.

La fourchette de coûts est très importante, car tel que précisé précédemment, ce coût dépend de la configuration rencontrée sur le terrain. Ce coût peut ainsi varier entre une centaine d'euros (raccordement dans un immeuble avec goulotte existante) à plus de 1 500 € (raccordement d'un pavillon depuis le domaine public sans fourreau et sans poteau réutilisable).

Un autre poste de coûts concerne le rapatriement des données depuis une tête de captation des signaux télé vers les NRO.

Les coûts d'activation d'un réseau FTTH, à partir d'une solution PON, peuvent être scindés en 3 grands postes :

- matériel de cœur de réseau (OLT) :
13 à 18 € / prise ;
- coupleurs (au NRO ou au PM) :
de 20 à 30 € / prise ;
- ONT chez l'utilisateur final :
100 € / prise.

⁵ Source : SDTANs des collectivités, disponibles sur le site de l'AVICCA

5.1.1.2 FTTO

Les aspects économiques du FTTO sont liés à son mode de déploiement qui peut être soit concomitant avec celui du FTTH, soit dédié ou associé au déploiement d'un réseau de collecte.

Le premier cas rejoint celui du FTTH et présente des coûts comparables, les opérateurs utilisant la même infrastructure. Une distinction devra néanmoins être effectuée entre les grandes entreprises, qui disposeront de liens dédiés à débit garanti, et les petites, raccordées sur le même réseau que les particuliers avec une offre spécifique "pro", à peine plus chère (moins de 100 €).

Dans le second cas, l'opérateur d'infrastructure du réseau a investi sur un réseau de collecte souvent avec le double but de relier les NRA pour améliorer les services et favoriser le dégroupage, et de relier les zones d'activités.

Ce réseau, comme son nom l'indique, est avant tout destiné à collecter de multiples accès (quelques centaines à quelques milliers sur un NRA/O). Conçu pour relier des points d'accès mutualisés entre un grand nombre d'abonnés, il est beaucoup moins adapté pour offrir à coût attractif des accès individuels aux entreprises.

Nombre de collectivités, conscientes du problème, ont mis en place des systèmes de péréquation des coûts ; cependant les prix d'accès pour les entreprises restent souvent prohibitifs (près de 1 000 € par mois). Pour dépasser cet obstacle lié à la structure économique même des projets, une possibilité peut consister à mettre en place des "opérateurs de ZAC" permettant de mutualiser un accès collecte de la ZAC entre plusieurs entreprises et d'en partager ainsi le coût (objectif : moins de 200 € par mois par entreprise).

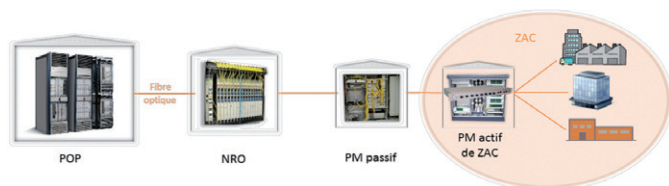


Figure 5.1 : exemple de déploiement FTTO avec mutualisation des accès

5.1.2 LES RÉSEAUX CÂBLÉS

Les données économiques ci-après sont relatives aux coûts de mise à niveau des réseaux câblés selon les objectifs et cibles qui découlent de l'optimisation architecturale présentée dans les chapitres précédents. Elles prennent l'hypothèse (simplificatrice) que le génie civil existant (locaux techniques, armoires, fourreaux, appuis aériens) peut être réutilisé intégralement. Seul un audit détaillé de chaque installation permettra de valider ou de modifier cette hypothèse.

Le premier élément considéré concerne l'infrastructure proprement dite, y compris le remplacement des équipements lorsque cela est nécessaire. Le coût varie en fonction du réseau de départ et de l'architecture cible :

- à partir d'un réseau purement coaxial, le coût par prise raccordable est de :
 - 80 à 100 € pour une architecture HFC optimisé ;
 - 330 à 430 € pour une architecture FTTLA ;
- à partir d'un réseau disposant déjà de fibres de transport :
 - 50 à 60 € pour une architecture HFC optimisé ;
 - 300 à 400 € pour une architecture FTTLA.

Le second élément économique est relatif à la mise en place des équipements destinés aux services Internet :

- le dimensionnement des CMTS (nombre de ports) est directement lié aux hypothèses de trafic ;
- une carte CMTS typique présente 2 ports VD et 8 ports VR ;
- le coût moyen par port VD (débit global de 38 Mbit/s) est de l'ordre de 15 000 € qu'il convient de ramener à la prise en fonction des hypothèses commerciales.

Evidemment, il faut ajouter le coût des modems d'abonnés qui sont devenus des boxes.

Ces éléments ne concernent que le réseau desservant les logements raccordables, c'est-à-dire sans prendre en compte les coûts de raccordement. Comme la terminaison coaxiale existe déjà, il n'y a pas de surcoût, contrairement au déploiement d'un réseau FTTH.

Un autre centre de coûts concerne celui de la plate-forme de gestion des services Internet et le coût du réseau de connectivité permettant de relier la tête de réseau aux réseaux longue distance. Ces deux éléments ont un impact d'autant plus fort, ramenés à la prise raccordable, que le réseau est de petite taille. C'est un élément fondamental dans la décision d'introduire ou pas les services Internet sur un réseau câblé :

- dans le cas des régies câble, le problème du coût de la plateforme de services Internet peut être traité par l'intervention d'un partenaire extérieur dans le cadre d'un contrat en marque blanche ;
- le second point est facilement réglé dès lors qu'un réseau départemental de collecte est déployé sur le territoire.

5.1.3 LE RÉSEAU TÉLÉPHONIQUE CUIVRE

5.1.3.1 GÉNÉRALITÉS

Le réseau téléphonique cuivre a été construit au cours des dernières décennies du XX^e siècle, principalement dans les années 70. Le programme « Delta Lp », initié en 1975, a permis en sept ans le triplement du parc de lignes téléphoniques qui est passé de 7 à 21 millions de lignes principales. Ce réseau est aujourd'hui amorti.

Les coûts d'investissement concernent donc le réaménagement de ce réseau avec notamment la création de nouveaux NRA et le remplacement par de la fibre optique de la partie transport de la boucle locale, à savoir le segment compris entre le NRA et les SR.

5.1.3.2 L'OFFRE PRM (POINT DE RACCORDEMENT MUTUALISÉ)

L'offre de référence d'Orange pour la création de Points de Raccordement Mutualisés (PRM) a été publiée, dans sa première version, le 29 juillet 2011 à destination des opérateurs exploitant des réseaux ouverts au public, en application de la décision de l'ARCEP n° 2011-0668 du 14 juin 2011, relative à l'accès

aux infrastructures physiques constitutives de la boucle locale filaire et dans le cadre de la recommandation de l'ARCEP de juin 2011 relative à la montée en débit. Le texte fait référence à l'opérateur-aménageur (OA). L'architecture est conforme avec la description de la figure 4.5.

L'offre comprend notamment :

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

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

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

La tarification des prestations d'Orange dépend de la taille du SR et intègre des coûts additionnels à la charge de l'OA. Ils comprennent en particulier la redevance annuelle versée au propriétaire des infrastructures (défini par l'ARCEP) et les prestations de création d'un PRM. L'OA doit assurer l'exploitation et la maintenance des infrastructures qu'il a créées (câble FO de collecte). Les éléments économiques actuellement en vigueur (octobre 2013) sont les suivants :

- site PRM :
 - coût moyen de 10 000 € pour la partie infrastructure (dalle, alimentation électrique et fourreaux pour la dérivation de la boucle cuivre) ;
 - coût fixe de 2 850 € (en indoor) ou de 1 800 € (en outdoor) pour le prolongement du câble optique dans le NRA de raccordement, auquel s'ajoute un abonnement annuel de 75 € ;
 - coût variable en fonction de la taille de la SR (tableau 5.1) :

Nombre de lignes	< 100	100-200	200-300	300-450	450-600	600-750	> 750
Coût	30 426 €	35 249 €	41 877 €	55 250 €	68 301 €	77 207 €	sur devis

Tableau 5.1 : coûts du site PRM en fonction de la taille de la SR

- plafond de la redevance annuelle (défini par l'ARCEP) versée au propriétaire des infrastructures, variable en fonction de la taille de la SR (tableau 5.2) :

Nombre de lignes	< 100	100-200	200-300	300-450	> 450
Redevance	500 €	850 €	1 050 €	1 150 €	1 200 €

Tableau 5.2 : montant de la redevance annuelle en fonction de la taille de la SR

- lien de collecte (6 paires de fibres) : de 30 000 € à 200 000 € selon la configuration.

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

L'offre PRM remplace l'offre NRA-ZO précédemment proposée par Orange à toute Collectivité Territoriale, en proposant un périmètre plus étendu.

5.2 LES RÉSEAUX RADIO TERRESTRES

5.2.1 WIFI ET WIMAX

5.2.1.1 LES TECHNOLOGIES WIFI

Le WiFi, en tant que technologie de réseau local (LAN) a un coût de déploiement relativement faible. Tous les clients potentiels sont déjà équipés de terminaux compatibles, reste à assurer le réseau de diffusion. Dans le cas d'un hotspot simple, le coût du routeur WiFi est très faible (quelques centaines d'euros), les contraintes d'identification des clients sur les réseaux ouverts au public nécessitent tout de même un portail captif et un serveur d'identification. Le déploiement et l'exploitation de la solution peut demander quelques milliers d'euros.

Dans le cas d'un réseau plus complexe, pour la couverture d'un bâtiment ou d'un campus, les équipements doivent pouvoir réaliser un réseau maillé et fournir toutes les garanties de trafic, de sécurité, d'identification et éventuellement de cryptage. Ces réseaux de plusieurs dizaines de points d'accès sont réalisés avec des équipements plus performants et forcément plus coûteux. Dans ce cadre, le déploiement nécessitant une étude de couverture approfondie ainsi qu'un déploiement et une mise en service soignés, les budgets de tels systèmes peuvent atteindre plusieurs dizaines de milliers d'euros.

Dans le cadre de réseaux de « couverture territoriale », on distinguera les coûts d'infrastructure passive et ceux des matériels actifs, sur les deux niveaux de desserte abonné (transport FH, distribution radio), sans oublier les coûts liés aux dispositifs de collecte (raccordement Fibre Optique ou liens SDSL locaux ou « distants » via des FH « licenciés » entre 11 GHz et 70 GHz).

L'infrastructure passive comprend notamment :

- l'ensemble des dossiers, déclarations (ARCEP) et études préalables, ainsi que la documentation finale ;
- les poteaux, avec contraintes d'installation différentes selon la taille ;
- les dalles et les shelters ainsi que les coffrets techniques incluant alimentation et secours ;
- les adductions d'énergie ;
- les conduites pour l'arrivée des liens de collecte optique.

Cette infrastructure passive pèse **de l'ordre de 7 à 11 k € par site de distribution**, mise en œuvre incluse.

Les matériels actifs comprennent :

- les antennes (directionnelles, sectorielles ou omnidirectionnelles) à gain, MIMO ou pas ;
- les stations de base « radio » associées ;
- les switches et routeurs dédiés au dispositif de collecte et à l'exploitation/supervision du service ;
- les CPE d'abonnés (installés en extérieur), avec ou sans antenne intégrée ;
- les « Box » abonné.

Cette infrastructure active pèse **de l'ordre de 8 à 12 k € par site de distribution**, mise en œuvre incluse.



Figure 5.2 : antenne sectorielle MIMO

Ces éléments de coûts d'investissement sont purement indicatifs, étant entendu que chaque territoire (*ensemble formé d'un site de collecte et de N sites de distribution, le cas le plus simple étant un site unique « collecte/distribution »*) est à étudier au « cas par cas », compte tenu par ailleurs des contributions locales des Collectivités concernées (mise à disposition de points hauts, parcelles, adduction énergie partagée, sous convention et donc valorisés dans les coûts d'exploitation).

De façon plus globale, on peut estimer qu'un site de **caractéristiques moyennes** (topologie, nombre et dispersion des abonnés) coûte environ **de 25 à 35 k€** et valorise la **prise raccordable dans une fourchette de 150 à 250 €**.

Les différents modèles d'intervention privé/public sur les territoires concernés rendent par ailleurs tout à fait « relatifs » les éléments de budget présentés ci-avant, l'équilibre budgétaire de ces opérations de résorption Zones Grises en radio étant déterminé par l'adhésion des abonnés potentiels au service proposé, celui-ci étant lui-même déterminé par le rapport Qualité/Prix.

5.2.1.2 LES TECHNOLOGIES WIMAX

Le déploiement d'un réseau WiMAX peut être très coûteux en fonction des infrastructures existantes. D'autre part le choix du WiMAX ou des autres technologies assimilées a un impact non négligeable sur le budget du projet.

Le coût d'un déploiement de réseau radio à l'échelle d'une agglomération ou d'un département comprend :

- l'étude de couverture (50 k€ à 200 k€) ;
- la négociation de sites (3 k€ à 7 k€ par site en fonction de leur typologie) ;
- l'aménagement de site (5 k€ à 50 k€ en fonction des travaux) ;

- les équipements actifs (5 k€ à 50 k€ par site en fonction de la technologie et du dimensionnement) ;
- l'installation et la mise en service (2 k€ à 10 k€ par site en fonction des équipements à déployer) ;
- la gestion de projet et le pilotage (10% à 20% du budget global).

Les procédures de tests et de réception de chaque site et du réseau global sont à définir le plus en amont possible. Sur le terrain, elles sont très chronophages et sont toujours sujettes à discorde. Pour éviter toute discussion, des campagnes de mesures contradictoires doivent être budgétées en début de projet.

5.2.2 RÉSEAUX DE TÉLÉPHONIE MOBILE

Déployer l'infrastructure d'un réseau mobile demande beaucoup d'investissements. En premier lieu, l'opérateur doit s'acquitter d'une licence auprès de l'Etat ; la licence 3G s'élevait à 619 M€.

Les opérateurs doivent disposer d'environ 20 000 sites pour couvrir leur objectif radio actuel (hors 4G en cours de déploiement), le coût d'étude, d'acquisition et de construction d'un site se chiffrent à environ 200 000 €. Le raccordement du site coûte de 25 000 € pour un faisceau hertzien Ethernet, 4 000 € pour un lien Ethernet ou DSL et 2 000 € pour une liaison louée TDM.

Les fréquences des réseaux influent aussi sur leur coût. Plus les fréquences sont élevées, plus les débits sont importants (car on dispose de plus de bande passante), mais plus les couvertures des relais se réduisent. Il faut par conséquent multiplier le nombre de relais pour couvrir le territoire. Par contre, la réutilisation des fréquences est facilitée car les interférences sont réduites.

Dans le réseau cœur, le coût d'un MSC avoisine les 2 M€, un HLR, 3,6 M€, un routeur (SGSN ou GGSN) 700 000 € et le bâtiment abritant tous ces équipements, 4,7 M€.

Exploiter le réseau demande aussi des ressources. L'exploitation et la maintenance d'une BTS ou d'un Node B représentent environ 15 000 € / an. Leurs coûts se montent à 50 000 € pour un BSC ou un RNC et 600 000 € pour un MSC.

Afin de réduire les délais et coûts de déploiement, les opérateurs peuvent partager leur réseau. Le partage peut concerner les infrastructures passives (terrasse, pylône, château d'eau...). Le système antenne peut également être partagé : chaque opérateur conserve ses baies « radio » (BTS, Node B), mais elles sont connectées au même système antenne. On retrouve cette configuration sur les sites indoor (stade, tunnels, centre commerciaux, aéroport...) dont le déploiement demande beaucoup d'antennes. Les équipements actifs se partagent aussi : on parle de RAN-Sharing. Les BTS, Node B et RNC sont déployés par un opérateur, le deuxième reliant son réseau cœur au RNC partagé. La BTS (ou le Node B) émet les cellules des deux opérateurs. Une mutualisation des fréquences peut être envisagée, les opérateurs mettent en commun leur fréquence, les clients pouvant utiliser tout le spectre des deux opérateurs.

Enfin, un accord d'itinérance peut être conclu entre deux opérateurs, ce n'est pas un partage à proprement parler car les clients du premier vont passer des communications sur les relais du deuxième (comme la situation où le client est en roaming à l'étranger). En France, en 2003, le programme gouvernemental « zone blanche » qui a consisté à couvrir les communes non couvertes par aucun des trois opérateurs de l'époque, a débouché pour la 2G sur des accords d'itinérances entre ces trois opérateurs. Un opérateur assure la couverture d'une commune, les clients des deux autres peuvent l'utiliser pour leurs communications. 3300 communes ont été couvertes avec 2200 relais. Pour la 3G, la couverture de ces zones blanches est assurée par un accord de RAN Sharing entre les opérateurs. Un autre accord d'itinérance a été conclu entre Free Mobile et Orange pour que les clients de Free Mobile puissent accéder au réseau Orange dans les zones où Free mobile n'est pas présent, son réseau étant encore en cours de déploiement. Enfin, selon les clauses de la licence de SFR pour le LTE 800 MHz, Free pourra demander à cette dernière un accord d'itinérance dans les zones les moins denses.

5.3 LES SOLUTIONS SATELLITAIRES

Les services satellite sont disponibles partout sans nécessité d'infrastructures supplémentaires, en dehors des antennes de réception. Celles-ci sont généralement facturées 400 € par les FAI et leur installation coûte environ 200 € si elle n'est pas réalisée par l'utilisateur lui-même.

Certaines collectivités ont alors décidé de mettre en place une subvention à l'équipement ou à l'installation du kit satellite. A noter que l'Etat, dans le cadre du plan « France Très Haut Débit » et du Fonds pour la Société Numérique (FSN), peut participer jusqu'à hauteur de 150 €. La seule contrainte de mise en œuvre de ce mécanisme de subvention, comme pour toute subvention, est d'ordre juridique. Il s'agit de s'assurer que la subvention est accordée aux particuliers et ne favorise pas une entreprise.

Pour une collectivité, du fait de la présence de satellites couvrant d'ores-et-déjà l'ensemble du territoire, le coût de déploiement d'une telle infrastructure reste marginal. La mise en place d'une subvention à l'installation peut éventuellement permettre à la collectivité de favoriser l'adoption du très haut débit pour les populations dont la couverture par une autre technologie est beaucoup trop coûteuse.

6

IMPACTS SUR LA VITESSE DE MIGRATION VERS LE FTTH

IMPACTS SUR LA VITESSE DE MIGRATION VERS LE FTTH

6.1 LES RÉSEAUX FILAIRES

6.1.1 RÉSEAUX FIBRE (FTTH / FTTO)

6.1.1.1 FTTH

Actuellement, le FTTH est encore dans une phase de « reconnaissance » : le grand public ne voit pas encore l'intérêt de cette technologie et les opérateurs ne disposent pas encore d'une masse critique de prises adressables pour des offres optimisées.

Plus que la migration technique vers le FTTH, le déploiement FTTH va donc contribuer à accélérer l'adoption du FTTH par tous. Le déploiement du FTTH va donc être le mécanisme d'entraînement du déploiement du FTTH.

La figure 6.1 montre la progression du FTTH en France à mi-2013.

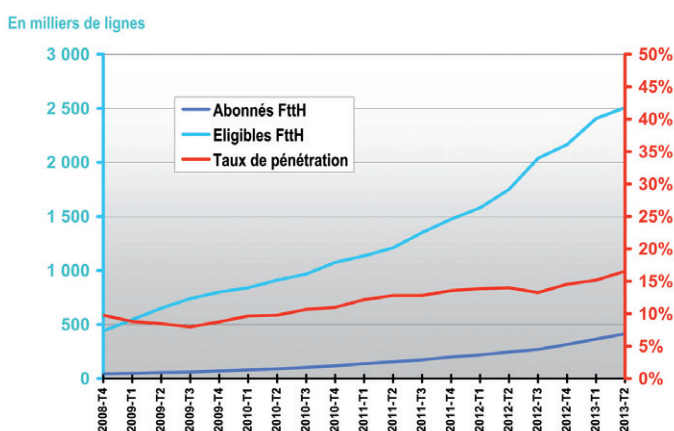


Figure 6.1 : progression du FTTH en France (source ARCEP)

6.1.1.2 FTTO

Le raccordement au très haut débit des entreprises est clairement vu comme une priorité par rapport à la compétitivité économique de la nation, le gouvernement a même avancé la date de 2020 pour le raccordement de toutes les entreprises au très haut débit. Dès lors, le raccordement des zones d'activité sera certainement un élément moteur pour la migration vers le très haut débit FTTH.

6.1.2 LES RÉSEAUX CÂBLÉS

6.1.2.1 EVOLUTIVITÉ DES SERVICES

Comme on l'a vu précédemment, les opérateurs ont coutume de parler de trois types de réseaux : mono-service, Internet 30 Mbit/s et Internet 100 Mbit/s (et même 200 Mbit/s dans certaines villes). Compte tenu des définitions de la Commission Européenne, les réseaux « Internet 30 Mbit/s » entrent dans la catégorie Très Haut Débit. Cela est d'autant plus vrai que le débit considéré est entièrement utilisé pour l'accès à l'internet, la bande passante pour transmettre la télévision diffusée utilisant d'autres porteuses.

On a également montré au chapitre 3 que la fourniture d'une offre commerciale 30 Mbit/s peut être très correctement satisfaite avec une architecture « HFC optimisé ».

Par contre, la fourniture d'une offre commerciale 100 Mbit/s implique la satisfaction de deux conditions :

- la norme EuroDOCSIS 3.0 doit être mise en œuvre sur les équipements, puisqu'en voie descendante une seule porteuse EuroDOCSIS 2.0 ne peut pas véhiculer plus que 38 Mbit/s, qu'il faut d'ailleurs partager entre plusieurs clients ;
- l'architecture FTTLA est indispensable pour assurer une bonne qualité de service.

Lorsque l'on examine comment les réseaux câblés pourront à terme proposer des débits encore plus élevés, on peut faire les constats suivants :

- les débits descendants pourraient atteindre et même dépasser 1 Gbit/s à condition de dédier plus de porteuses 8 MHz à Internet, au détriment des canaux de télévision numérique diffusée ;
- l'élément le plus bloquant concerne le débit remontant, puisque la largeur de bande sur la VR est limitée par construction (30 Mbit/s partagés).

En résumé, vis-à-vis de l'évolutivité à long terme, le caractère fortement **asymétrique** des réseaux câblés est l'élément le plus rédhibitoire mais rien n'interdit de modifier l'allocation des fréquences pour augmenter la bande passante en voie montante et en faire une solution THD qui satisfasse les besoins des usagers pour les années à venir.

6.1.2.2 RÈGLES ET CONTRAINTES D'ÉVOLUTION VERS LE FTTH

Il est possible de faire pénétrer la fibre jusqu'à l'abonné sans rien changer aux principes généraux des réseaux câblés. On aboutit alors au concept RFoG (RF over Glass) ou RFoF (RF over Fiber), décrit au § 2.2.2.3. Le nœud optique (NO) étant dédié à un abonné particulier, cela peut s'avérer un peu onéreux lorsque la fourniture du « service antenne » dans l'habitat collectif imposerait la mise en place d'un raccordement à 100%. Cette solution permet d'ailleurs aux opérateurs câble de proposer leurs services sur des infrastructures FTTH, sans pour autant modifier leurs plateformes de services.

Parmi les schémas possibles de migration du réseau câblé au FTTH/PON, on peut décrire le scénario suivant, basé sur une cohabitation (en **overlay**) de deux systèmes sur la même infrastructure fibre optique :

- le premier système correspond au système HFC/FTTLA :
 - sa capacité sera largement suffisante pour les besoins de la majorité des usagers, toujours dans un cadre d'ouverture à la concurrence ;
 - les clients raccordés uniquement au service antenne seraient desservis à partir de l'architecture en place ;
- le second système, de type FTTH, est destiné à fournir les services triple-play aux clients « fort consommateurs » :
 - ils pourront disposer d'un débit descendant d'au moins 100 Mbit/s ;
 - ce système pourra également être mutualisé entre plusieurs opérateurs FAI ;
 - l'augmentation du nombre d'abonnés raccordés à ce système se fera au fil des années en fonction de l'évolution de leurs besoins.

Cette situation intermédiaire, schématisée sur la figure 6.2, implique la co-localisation des nœuds optiques du réseau câblé et des SRO du réseau FTTH dans les mêmes armoires. Par voie de conséquence, les tracés des réseaux de transport sont superposés, même si les deux systèmes utilisent des fibres différentes.

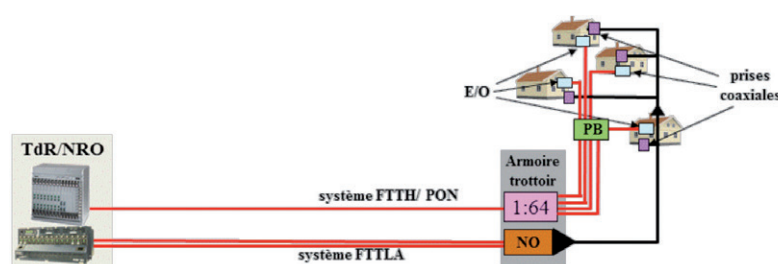


Figure 6.2 : convergence réseau câblé / FTTH/PON

La transition des abonnés « câble » vers le FTTH peut donc être progressive et s'effectuer au fil de l'eau, par simple installation du câble optique de branchement de l'abonné considéré.

Le dimensionnement du nombre de fibres arrivant sur chaque armoire est basé sur le calcul suivant :

- pour le réseau câblé, 2 fibres sont nécessaires, une pour la voie descendante $TdR > NO$, l'autre pour la voie retour $NO > TdR$;
- les fibres « entrantes » des coupleurs optiques installés dans le SRO : comme il faut une fibre pour 64 logements (coupleur optique 1:64), il faut entre 1 et 5 fibres supplémentaires selon qu'il s'agit d'un système FTTLA ou d'un HFC optimisé.

Néanmoins, la satisfaction des règles de mutualisation définies par l'ARCEP conduira à disposer en amont d'autant de fibres que de logements raccordables en amont à partir de la Tête de Réseau (TdR) ou d'un Centre de Distribution (CD) qui serviraient alors de Point de Mutualisation (PM). La pose de nouveaux câbles optiques induira des surcoûts non négligeables.

Le surcoût correspondant à cette évolution est composé de trois éléments principaux :

- le coût de création des points de branchement optiques (PBO) ;
- le coût de tirage des fibres supplémentaires, qui n'est pas très élevé à condition que le génie civil existant puisse être réutilisé ;
- le coût des équipements optoélectroniques du NRO/PM, les équipements d'abonnés faisant partie du raccordement proprement dit.

On peut évaluer le surcoût correspondant à un montant de l'ordre de 200 € par prise raccordable.

6.1.3 LE RÉSEAU TÉLÉPHONIQUE CUIVRE

Les performances des technologies ADSL/VDSL étant très sensibles à la distance, tous les réaménagements de la boucle locale cuivre mis en œuvre ces dernières années visent à réduire la longueur du lien cuivre.

Ces évolutions englobent essentiellement deux aspects structurants :

- « l'opticalisation » de la partie transport (entre NRA d'origine et SR) ;
- le réaménagement de la SR en NRA-xy. (NRA-ZO, NRA-HD, NRA-MeD).

Ces réaménagements peuvent apparaître, au premier abord, comme une étape vers la cible FTTH puisqu'il ne restera ensuite qu'à « opticaliser » la partie terminale pour disposer d'un lien optique de bout en bout. Néanmoins, des précautions seront à prendre afin de ne pas pénaliser la migration vers le FTTH tout en assurant la pérennité de l'investissement.

En ce qui concerne « l'opticalisation » de la partie transport, la préoccupation essentielle est que le nombre de fibres disponibles soit suffisant à la cible afin d'éviter d'avoir à reconsidérer le dimensionnement dans la deuxième phase. Le ratio minimum retenu sera de 1 : 10 soit une fibre pour dix clients avec un minimum de 36 fibres ce qui correspond à la taille minimale d'un point de mutualisation (PM) préconisé par l'ARCEP. Il est fortement conseillé d'aller au-delà de ce ratio sachant que des besoins spécifiques devront être satisfaits à l'avenir (fibres abimées, applications particulières).

Dans le cas de génie civil souterrain, à défaut de poser des fibres surnuméraires, il est nécessaire de prévoir des fourreaux additionnels. Dans le cas d'un réseau aérien, il sera pertinent de dimensionner à la cible dès la phase de réaménagement.

Concernant le réaménagement de la SR en NRA-MeD, deux scénarios d'évolution seront à considérer selon la taille du NRA-MeD. Si la taille est supérieure au seuil de 300 lignes, le NRA-MeD pourrait devenir point de mutualisation (PM) et donc conserver son caractère de nœud de réseau. Si sa taille est inférieure à 300, le NRA-MeD perdrait son caractère de nœud de réseau pour devenir un simple point d'épissurage. Il est à noter qu'en zone rurale, plus de la moitié des SR ont une capacité inférieure à 150 lignes.

6.2 LES RÉSEAUX RADIO TERRESTRES

6.2.1 WIFI ET WIMAX

6.2.1.1 LES TECHNOLOGIES WIFI

Les technologies WiFi sont en très grande partie utilisées pour connecter les terminaux numériques (PC, tablettes, téléphones, appareil photos). Leur "omniprésence" dans tous les terminaux numériques en fait LA technologie d'accès numérique local à un réseau haut débit ou très haut débit (domicile, hôtels, café, restaurants...).

Dernier maillon de la chaîne entre Internet et l'utilisateur final, le tronçon WiFi n'handicape pas la migration vers le FTTH. Mais, il diffusera certainement une partie du très haut débit dans les foyers connectés à la fibre même si dans ce cas il sera le tronçon le moins rapide du réseau.

Pour ce faire, des précautions doivent être prises, notamment par la mutualisation des tracés optiques permettant d'aller « collecter » les points hauts radio (prise en compte de cette problématique dans les schémas d'ingénierie).

De façon marginale, les solutions radio WiFi peuvent aussi être déployées en complément/ secours de solution de Montée en Débit « cuivre » pour proposer de meilleurs débits montant aux abonnés tout en sécurisant leur connexion (PRO et TPE), avec des latences bien plus acceptables que celles proposées dans les solutions satellitaires.

6.2.1.2 LES TECHNOLOGIES WiMAX

Les technologies WiMAX ou les technologies dérivées sont en France des alternatives mises en place pour remplacer la technologie xDSL dans les zones blanches ou grises. Ces technologies impactent le basculement vers le FTTH de la même façon que l'xDSL. Cependant les réseaux WiMAX ou assimilés, ont eu souvent des difficultés dans leurs déploiements et les clients finals ont souvent attendus pour obtenir une connexion haut débit. Il se peut qu'il y ait une certaine réticence de la part des utilisateurs pour abandonner un accès Internet fonctionnant correctement.

Ces technologies sont limitées en termes de débit délivré aux utilisateurs puisqu'une dizaine de Mbit/s au maximum sont disponibles sur ces réseaux. Le FTTH représente donc un vrai bond en avant par rapport au WiMAX pour ces utilisateurs qui peuvent multiplier au moins par 10 leurs débits descendant et montant.

Enfin, l'arrivée du FTTH dans les zones couvertes en WiMAX annonce également la possibilité d'amener la fibre sur les sites d'émission WiMAX, et augmenter ainsi leur débit utile afin de proposer aux foyers non éligibles au FTTH des débits plus importants. Le WiMAX n'est donc pas une menace au basculement vers le FTTH et peut même représenter une "prolongation" du réseau FTTH vers les foyers les plus isolés.

6.2.2 RÉSEAUX DE TÉLÉPHONIE MOBILE

L'utilisation des réseaux mobiles pour compléter temporairement la montée en débit peut accélérer notablement ce processus. Néanmoins, il ne sera pas applicable à toutes les situations. Il est à noter que cette montée en débit intéresse les opérateurs car, à terme, ils utiliseront le réseau FTTH déployé en mettant à disposition de leurs clients Internet des « box » équipées de femtocell qui compléteront le réseau de l'opérateur. La démarche est donc à deux niveaux ; les intérêts convergent dans le temps.

En première analyse, les usages des utilisateurs entre le FTTH et les télécommunications mobiles sont différents : le premier serait destiné à des usages domestiques et le second à des usages en situation de mobilité et notamment à l'extérieur. Toutefois, le succès des smartphones a modifié les usages, ces derniers sont devenus, avec leurs

grandes sœurs les tablettes, la porte d'entrée des usagers au monde numérique que ce soit en usage domestique ou en mobilité. Cependant, l'arrivée de la méthode d'authentification sur le réseau WiFi des « boxes » basées sur l'EAP-SIM, rendant l'usage et la connexion aussi faciles que pour un réseau mobile ; le fait qu'il n'existe pas encore de forfait mobile véritablement illimité en data, rendent la téléphonie mobile moins compétitive que la fibre ou le xDSL à la maison.

Un mix technologique pourrait être réalisé avec du FTTH dans les zones très et moyennement denses et de la télécommunication mobile en zone moins dense. Cependant, il faudra garder à l'esprit que le débit d'une cellule de relais de télécommunication mobile est partagé entre tous les utilisateurs et que les débits dépendent de la distance entre le relais et l'utilisateur. Des CPE radio, tels qu'utilisés en WiMAX, pourraient être installés sur le toit des habitations pour garantir un bon débit. Cela existe actuellement en 3G et 4G mais reste assez confidentiel.

Deux éléments vont entraîner le développement de la fibre optique avec celui de la 4G. Le premier est que, compte tenu des débits devant être assurés par les relais avec 300 Mbit/s par cellule, ces relais devront être fibrés. De plus, avec les difficultés de couverture indoor et de déploiement de leurs réseaux à cause des réticences des riverains près des relais, les opérateurs pourraient miser sur les femtocell, et notamment les femtocell adossées à des « boxes », demandant alors plus de débits, lesquels seraient garantis par un raccordement par fibre optique.

Enfin, il convient de rappeler que cette hypothèse est soumise à la volonté des opérateurs, qui pour le moment, envisagent principalement d'offrir des services 4G pour des Usages mobiles. Les offres pour des usages fixes se veulent confidentielles et surtout limitées : au-delà de xx Go, le débit est bridé.

6.3 LES SOLUTIONS SATELLITAIRES

Les solutions satellitaires n'ont aucun impact sur la migration du FTTH, puisque d'une part, elles ne nécessitent pas la mise en œuvre d'infrastructures et que d'autre part, les limitations de performance sont telles que ces offres ne découragent pas la migration commerciale vers le FTTH.



7 IMPACTS SUR LA CAPACITÉ D'OUVERTURE À LA CONCURRENCE

7 IMPACTS SUR LA CAPACITÉ D'OUVERTURE À LA CONCURRENCE

7.1 GENERALITÉS

L'ouverture à la concurrence peut découler de deux approches :

- l'ouverture des infrastructures ;
- l'ouverture des services.

Les règles d'ouverture à la concurrence sont gouvernées par les textes réglementaires.

7.1.1 OUVERTURE DES INFRASTRUCTURES

Pour le réseau téléphonique cuivre, le principe de base du dégroupage consiste à distinguer entre deux services initialement traités par l'opérateur historique : la connexion des appels (commutation) et l'acheminement des communications. L'objectif est de permettre à de nouveaux opérateurs de s'insérer directement dans la boucle locale (réseau d'accès).

Les principes retenus par l'ARCEP pour le dégroupage mettent en œuvre quelques scénarios simples (figure 7.1) parmi lesquels :

- le dégroupage de la paire cuivre :
 - l'opérateur historique met une ligne à la disposition du nouvel entrant ;
 - le nouvel entrant propose tous les services ;
 - c'est ce qu'on appelle le dégroupage passif ;
- l'accès au débit (offre dite de bitstream) :
 - l'opérateur historique installe les équipements d'interface (DSLAM) ;
 - le nouvel entrant assure la concentration et l'acheminement (SDH, ATM...) ;
 - on distingue l'ADSL classique de l'ADSL nu selon que le service téléphonique est inclus ou non.

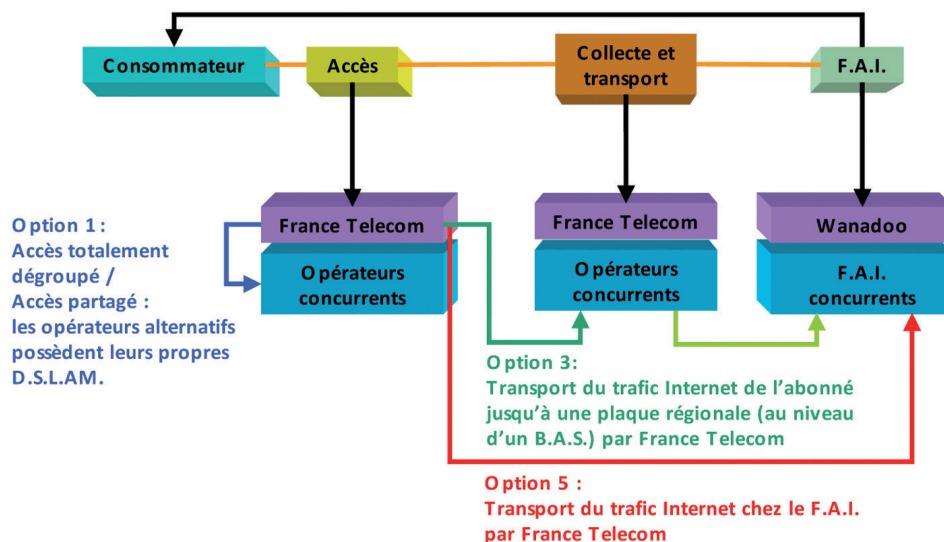


Figure 7.1 : Les options de dégroupage

Ces principes s'appliquent également aux autres technologies.

7.1.2 OUVERTURE DES SERVICES

En règle générale, l'ensemble des services est fourni par le même opérateur FAI, dans le cadre d'une offre commerciale dite « packagée », couramment connue sous le vocable « triple-play ».

On parle maintenant des réseaux à accès ouvert (« open access »), approche applicables aux technologies fibre (FTTH/O), ADSL et radio fixe (WiFi/WiMAX). Dans ce cas, l'infrastructure appartient à une première entité, alors que l'exploitation du réseau et la mise en œuvre des services sont sous la responsabilité d'une seconde entité. Ce modèle permet à chaque usager de s'adresser à plusieurs fournisseurs de services. Par exemple, l'utilisateur peut souscrire ses accès Internet auprès d'un opérateur, alors qu'il pourra avoir souscrit d'autres services (par exemple la VOD) auprès d'un autre opérateur.

7.2 LES RÉSEAUX FILAIRES

7.2.1 RÉSEAUX FIBRE (FTTH / FTTO)

7.2.1.1 FTTH

Tel qu'indiqué précédemment, les réseaux FTTH construits en France, doivent respecter un principe d'ouverture et de mutualisation. Par essence, ces réseaux ont donc vocation à être ouverts et vecteurs de concurrence.

Toutefois, ces principes se heurtent à la réalité du paysage télécom français. Que ce soit pour l'ADSL ou les réseaux mobiles (3G/4G), les centres urbains les plus denses et donc avec les centraux les plus rentables, ont été privilégiés par les opérateurs. Cette stratégie est également valable pour les réseaux FTTH, sur lesquels la possibilité technique d'ouvrir à la concurrence, ne garantit pas que les opérateurs la mettent en œuvre.

Cette stratégie pourrait donc se traduire par un basculement vers le FTTH des opérateurs nationaux moins rapide que prévu, en dehors des zones où ils auront investi en propre. Pour les réseaux déployés par les collectivités, cela induirait un manque à gagner sur les premières années d'exploitation, les opérateurs FTTH préférant amortir leurs réseaux avant d'utiliser un réseau FTTH d'un opérateur tiers.

7.2.1.2 FTTO

Les réseaux réalisés par les Collectivités Territoriales se doivent d'être, par nature, neutres et ouverts.

Pour ce qui concerne les entreprises, celles-ci sont bien souvent contraintes de négocier avec un opérateur l'accès à la fibre, rarement disponible à la porte du bâtiment. Dès lors, l'opérateur bénéficiant d'un accès fibre à proximité bénéficiera d'un avantage concurrentiel certain.

La concurrence peut par contre être créée sur les services si le réseau d'accès fibre est, lui, public et géré par la collectivité.

7.2.2 LES RÉSEAUX CÂBLÉS

Comme il n'y a plus d'exclusivité sur les réseaux câblés (voir § 4.1.2.2) l'ouverture à la concurrence est théoriquement obligatoire (surtout pour les services IP).

Même si le dégroupage du câble est théoriquement possible comme on l'a vu au § 4.1.2.2, la gestion du plan de fréquences implique une concertation étroite entre les FAI de façon à garantir une répartition équitable des débits entre l'opérateur « câble » d'origine et le FAI, notamment pour le sens descendant. En effet, si deux opérateurs souhaitent offrir des débits « jusqu'à 200 Mbit/s », il conviendra de libérer au minimum deux plages de $6 \times 8 = 48$ MHz de largeur, tout en laissant la place pour les programmes TV diffusés en numérique.

L'appétence des opérateurs de détail à proposer leurs services sur les réseaux câblés peut également être mise en question. En effet, les opérateurs nationaux impliqués dans les projets triple-play FTTH recherchent une synergie avec leurs positions ADSL et ne souhaitent pas s'impliquer à long terme sur une troisième plateforme technologique (HFC, EuroDOCSIS) qu'ils ne maîtrisent pas. Par contre, des opérateurs locaux pourraient être plus ouverts à ce type d'opportunité.

Cependant, la multitude des régimes juridiques des réseaux câblés pose des questions complexes sur les contraintes d'ouverture des infrastructures et du réseau.

7.2.3 LE RÉSEAU TÉLÉPHONIQUE CUIVRE

Rappelons que l'infrastructure de la boucle locale cuivre est propriété de l'opérateur historique.

La loi française n° 96-659 de réglementation des télécommunications, suivie du règlement n° 2887/2000 du Parlement Européen et du Conseil du 18 décembre 2000, ont imposé l'ouverture de la boucle locale de l'opérateur historique à la concurrence offrant ainsi la possibilité de mutualisation des infrastructures existantes.

Le dégroupage constitue au niveau physique une des possibilités de mutualisation. Il consiste en la mise à disposition au niveau du NRA de la paire de cuivre à l'opérateur alternatif. Le dégroupage implique donc que l'opérateur alternatif déploie ses propres équipements (DSLAM) au niveau du NRA.

Le dégroupage de la paire de cuivre peut prendre deux formes : dégroupage total ou partiel.

Dans le cadre d'un dégroupage total, l'opérateur alternatif dispose de l'ensemble des services disponibles sur la paire de cuivre. En dégroupage partiel, l'opérateur historique filtre le service téléphonique en sortie du répartiteur général et ne délivre à l'opérateur alternatif que la partie haute du spectre.

L'offre dite de « bitstream » constitue une autre possibilité de partage de la boucle locale. Il s'agit dans ce cas d'une offre de gros qui permet à un opérateur alternatif de proposer une offre de détail sans être présent au NRA. L'opérateur historique lui délivre le service plus loin dans le réseau en un point de présence (POP) situé au niveau régional, voire national, dans les premières versions de bitstream. Cette deuxième possibilité n'est plus proposée aujourd'hui. L'offre bitstream se décline en deux versions : on distingue l'« ADSL classique », qui inclut le service téléphonique, de l'« ADSL nu » ou « ADSL-Entreprise » qui l'excluent.

L'activation de services est techniquement tout à fait envisageable sur un réseau cuivre. Certes, l'ensemble des Fournisseurs d'Accès Internet (FAI) présents sur le marché hexagonal propose aujourd'hui des offres dites packagées de type « triple play » mais rien n'interdirait d'offrir des services différenciés d'opérateurs différents. Au niveau de la couche active des équipements, il est simplement nécessaire d'activer des VLAN (Virtual Local Area Networks) dédiés à chaque service ce qui ne pose aucune difficulté au plan technique.

7.3 LES RÉSEAUX RADIO TERRESTRES

7.3.1 WIFI ET WIMAX

7.3.1.1 LES TECHNOLOGIES WIFI

Les technologies WiFi, par leur positionnement dans une offre réseau globale (en relation avec le modèle économique d'intervention (privé/public), ne sont quasiment pas mutualisables au sens de proposer plusieurs opérateurs différents et donc concurrents, même si cette mutualisation est techniquement possible. Dans la majorité des cas actuels, le réseau est propriétaire et il fournit un accès internet gratuit.

Dans les cas de hotspots opérés (aéroports, chaîne hôtelière), l'offre est généralement limitée à un opérateur d'accès Internet. Le réseau WiFi alors est utilisé comme un réseau privé d'échange de données pour des applications industrielles. Le réseau WiFi peut être maillé pour diffuser plusieurs services (accès SI + vidéos, ou télé-relevés + alertes capteurs) sur plusieurs SSID (nom du réseau WiFi) différents.

7.3.1.2 LES TECHNOLOGIES WIMAX

Les technologies WiMAX et assimilées sont le plus souvent déployées via un réseau d'initiative publique (RIP). Elles sont de fait mutualisables et ouvertes à la concurrence.

Toutefois, en pratique, les grands opérateurs nationaux concessionnaires habitués à opérer des réseaux fixes (cuivre et optiques) ont une difficulté à intégrer les petits réseaux radio dont la technologie n'est pas leur cœur de métier. En effet, ces types de réseaux ont des contraintes ou conditions d'étude, de déploiement et d'exploitation différentes des réseaux fixes.

Aujourd'hui, ces réseaux sont exploités par un petit nombre d'opérateurs spécialisés en radio qui les gèrent et les maintiennent pour les grands opérateurs concessionnaires de RIP multi-technologies.

Il y a donc peu de concurrence sur ce type de réseau, essentiellement en raison de leurs spécificités techniques qui découragent les opérateurs nationaux, et handicapent les opérateurs de services locaux qui pourraient proposer des services innovants comme sur l'xDSL ou le FTTH moins soumis à des débits fluctuants.

7.3.2 RÉSEAUX DE TÉLÉPHONIE MOBILE

Pour pouvoir gérer un réseau de téléphonie mobile, l'opérateur doit acquérir une licence. Outre leurs coûts très onéreux, les licences sont en nombre limité. De plus, les opérateurs sont souvent reconduits d'une technologie à la suivante : tous les opérateurs 2G ont eu une licence 3G et tous les opérateurs 3G ont reçu une licence 4G. Le marché était assez fermé jusqu'à l'arrivée de Free Mobile.

Le marché des MVNO est plus ouvert. On retrouve une quarantaine de MVNO qui se partagent 7% du marché des télécommunications mobiles soit environ 4 000 000 de clients. On distingue les licences de marques, les MVNO minimalistes ou light MVNO et les MVNO étendus ou Full MVNO :

- Les licences de marques sont des accords entre une marque et un MNO. Toute la gestion est faite par le MNO qui reverse une partie des revenus à la marque.
- Le MVNO minimaliste possède ses propres cartes SIM et gère ses clients (relation, facturation, marketing). Il achète en gros à un MNO ou un MVNA des minutes de communication, des SMS et des volumes de données. L'opérateur réalise pour le MVNO toute la gestion des appels émission, réception mais aussi acheminement et terminaison. Le MNVO ne possédant pas d'équipement réseau tel qu'un HLR, il doit partager ses informations clientèle avec le MNO.
- Le MNVO étendu possède de surcroît des équipements de cœur de réseau tels que des routeurs, commutateurs et notamment un HLR, ce dernier lui permet de gérer seul sa base client. Les cartes SIM sont indépendantes du MNO : le MVNO possède son propre NCC. Il se sert seulement du réseau d'accès du MNO pour l'accès au mobile mais se charge de l'acheminement et de la terminaison des appels.

Les MVNO n'ont pas d'accès au hotspot WiFi et femtocellule des MNO. Ils ne peuvent pas faire de multiroaming c'est-à-dire pouvoir contracter chez plusieurs MNO et passer dynamiquement ou manuellement de l'un à l'autre au gré des conditions techniques (de réception) ou tarifaires.

Les MNVO se portent sur des marchés de niche, le « low-cost », les cartes prépayées, les Très Petites Entreprises, les jeunes avec des services associés (musique), les groupes ethniques, les frontaliers et l'international. Ils ont été innovants avec la commercialisation des premiers forfaits avec SMS illimités ou les forfaits voix-data-SMS illimités.

Cependant, ils sont de plus en plus ébranlés par les « low-cost » des 3 opérateurs mobiles « historiques » créés en réaction à l'arrivée de Free Mobile.

7.4 LES SOLUTIONS SATELLITAIRES

Le système mis en place par Eutelsat, avec un opérateur de gros en charge de la commercialisation vers des FAI variés garantit aux utilisateurs un choix dans les abonnements envisageables. Il est à noter que NordNet est une filiale d'Orange et qu'Ozone est une filiale de SFR.



8 COMPARAISON DES SOLUTIONS

8.1 DEFINITION DES CRITÈRES

La comparaison des différentes solutions ne peut être réalisée sur un seul critère. Nous avons donc retenu huit critères représentatifs des préoccupations des différents acteurs, notamment les usagers et les investisseurs :

- **le débit « marketing » de la voie descendante** est toujours mis en avant en priorité :
 - il s'agit d'un débit non garanti (best effort) qui s'exprime dans les offres commerciales des opérateurs par la formulation « jusqu'à xx Mbit/s » ;
- **le débit « marketing » de la voie retour (ou remontante)** a une très grande importance pour certains usages qui ont tendance à se développer :
 - comme dans le cas précédent, il s'agit d'un débit non garanti accessible aux usagers, que les fournisseurs d'accès ont tendance à passer sous silence ;
- **l'évolutivité vers des débits plus élevés** correspond aux éléments présentés au chapitre 3 :
 - la notation retenue est basée sur une valeur du débit descendant 10 fois supérieure à celle du premier critère ;
 - cela permet de prendre en considération l'évolution possible des besoins, par exemple vers des accès à 10 Gbit/s dans 10 ou 15 ans ;
- **le temps de latence** (également connu sous le nom de « ping ») revêt une grande importance pour les applications de type « jeux en ligne » :
 - il dépend de la qualité de la connexion à l'internet et du temps de latence introduit par les équipements traversés (serveurs, routeurs, terminaux) ;
- **la possibilité d'ouverture à la concurrence** correspond aux éléments présentés au chapitre 7 :
 - on a qualifié le type de dégroupage rendu possible par la technologie considérée en regroupant les différentes options décrites au § 7.1 pour l'ouverture des infrastructures (bitstream, dégroupage passif) et l'ouverture des services ;
 - pour ce dernier point (open access), on a considéré que la technologie FTTH était la plus appropriée à cette évolution, déjà opérationnelle dans plusieurs pays européens ;
- **le coût de couverture territoriale** rend compte du coût moyen pour le raccordement de l'ensemble des logements (voir chapitre 5) :
 - ce coût doit évidemment intégrer le surcoût correspondant au réseau de collecte et de transport desservant le secteur considéré ;
 - il intègre également, le cas échéant, le coût de raccordement de l'abonné ;
- **la rapidité de mise en œuvre du déploiement initial** :
 - on intègre les délais techniques et administratifs, mais pas ceux liés à la passation des marchés ;
 - on considère ici qu'il s'agit d'une plaque non couverte par les technologies considérées pour le très haut débit ;
- **la valorisation de l'investissement intermédiaire** réalisé pour mettre en œuvre une technologie « transitoire » permet de qualifier sa pérennité ; elle correspond aux éléments présentés au chapitre 5, puisqu'elle reflète le niveau plus ou moins élevé de l'investissement réutilisable :
 - cela peut concerner les câbles optiques (tracé et nombre de fibres) et les fourreaux dans lesquels ils sont déployés ainsi que les armoires ou locaux techniques pouvant héberger des équipements.

Même s'il correspond à un objectif fondamental en raison de l'évolution des usages, le caractère de symétrie des échanges n'a pas été mis en évidence puisqu'il correspond à la combinaison des deux premiers critères.

D'autres critères auraient pu être retenus, mais ils auraient alourdi la comparaison sans apporter de bouleversements notables dans les résultats de cette comparaison. On peut néanmoins souligner que le dernier critère de pérennité des investissements intermédiaires pourrait être complété par celui lié à la pérennité de la technologie considérée, mais cette dernière est difficile à quantifier. Au-delà des éléments liés à la durée de vie des matériels associés à chaque technologie, on ne peut pas ignorer les réflexions en cours sur l'avenir du réseau cuivre et les hypothèses temporelles qui seront retenues pour son extinction.

Le tableau 8.1 résume, pour chacun des critères retenus, la performance requise pour atteindre une note donnée, sur une échelle de 0 à 5 :

- pour les deux premiers critères, la grille de notation s'étend de 10 kbit/s à plus d'un Gbit/s, avec une échelle arithmétique :
 - on s'est attaché ici à qualifier le débit réel moyen accessible aux usagers, en prenant en compte les paramètres qui concourent à la performance, décrits au chapitre 3 ;
- pour l'évolutivité vers des débits plus élevés, la grille est décalée d'un ordre de grandeur par rapport aux valeurs des paramètres précédents ;

- pour le temps de latence, il doit être idéalement inférieur à 10 ms :
 - pour le FTTH/O, les techniques de traitement du signal sont particulièrement simples et n'impactent pas le temps de latence ;
 - pour les autres technologies, la recherche d'une efficacité spectrale optimale impacte le temps de latence ;
 - dans le cas du satellite (voir § 3.3), l'aller-retour d'une requête implique le parcours de 4 fois 36 000 km (altitude d'un satellite géostationnaire), ce qui correspond à la contribution minimum de 480 ms ;
- pour la possibilité d'ouverture à la concurrence, les 3 options possibles décrites précédemment sont respectivement notées 1, 3 et 5 ;
- le paramètre de coût de la couverture totale du territoire est ramené à la prise ;
- le délai de mise en œuvre prend en compte tous les sous-ensembles (techniques, administratifs et réglementaires) qui concourent à l'achèvement complet du déploiement initial ;
- pour la valorisation de l'investissement intermédiaire, le critère retenu, exprimé en %, correspond à la part réutilisable dans la migration vers le FTTH.

Grille de notation	0	1	2	3	4	5
Voie descendante	≥ 10 kbit/s	≥ 100 kbit/s	≥ 1 Mbit/s	≥ 10 Mbit/s	≥ 100 Mbit/s	≥ 1 Gbit/s
Voie retour	≥ 10 kbit/s	≥ 100 kbit/s	≥ 1 Mbit/s	≥ 10 Mbit/s	≥ 100 Mbit/s	≥ 1 Gbit/s
Evolutivité vers débits plus élevés	≥ 100 kbit/s	≥ 1 Mbit/s	≥ 10 Mbit/s	≥ 100 Mbit/s	≥ 1 Gbit/s	≥ 10 Gbit/s
Temps de latence (ping)	> 1 s	400 ms à 1 s	200 à 400 ms	100 à 200 ms	50 à 100 ms	< 50 ms
Possibilité d'ouverture à la concurrence		bitstream		dégr. passif		accès ouv.
Coût de la couverture totale du territoire	> 10 k€	5 à 10 k€	2 à 5 k€	1 à 2 k€	100 € à 1 k€	< 100 €
Rapidité de mise en œuvre	> 2 ans	19 à 24 mois	13 à 18 mois	7 à 12 mois	≤ 6 mois	immédiat
Valorisation de l'investissement intermédiaire	0%	20%	40%	60%	80%	100%

Tableau 8.1 : grille de notation des différents critères

8.2 ANALYSE COMPARATIVE

Le tableau 8.2 résume les notes obtenues par chaque technologie pour chacun des critères considérés. Evidemment, pour chaque famille technologique, la notation a été réalisée sur le

sous-ensemble le plus représentatif de la famille, soit parce qu'il est le plus largement répandu à l'heure actuelle (ADSL2+ par exemple), soit parce qu'il est le plus proche des objectifs de THD (LTE/4G dans la famille de la radio mobile).

Note attribuée	FTTH/O	Câble	ADSL	Radio fixe (WiFi, WiMAX)	Radio mobile (4G)	Satellite
Voie descendante	5	5	3	3	2,5	3,5
Voie retour	5	3,5	2,5	2,5	2	2,5
Evolutivité vers débits plus élevés	5	3,5	3	3	2,5	2
Temps de latence (ping)	5	4	4	4	4	1
Possibilité d'ouverture à la concurrence	5	2	3	1	1	1
Coût de la couverture totale du territoire	3	3	4	4,5	3,5	5
Rapidité de mise en œuvre	2	2	2	4	3	5
Valorisation de l'investissement intermédiaire	5	3	2	2	2	0

Tableau 8.2 : synthèse des notes attribuées aux différentes solutions techniques

En ce qui concerne la possibilité de symétrie des échanges, elle n'est effective que pour 2 technologies : FTTH/O et radio fixe.

Les figures 8.1 à 8.6 donnent une représentation graphique des valeurs du tableau précédent.

8.2.1 FTTH/FTTO

La technologie cible FTTH/FTTO correspond évidemment à la plus grande surface :

- la note de 5/5 est obtenue pour tous les critères, sauf pour le coût de la couverture totale du territoire, puisque la desserte FTTH des zones peu denses est très coûteuse, ainsi que pour la rapidité de mise en œuvre.

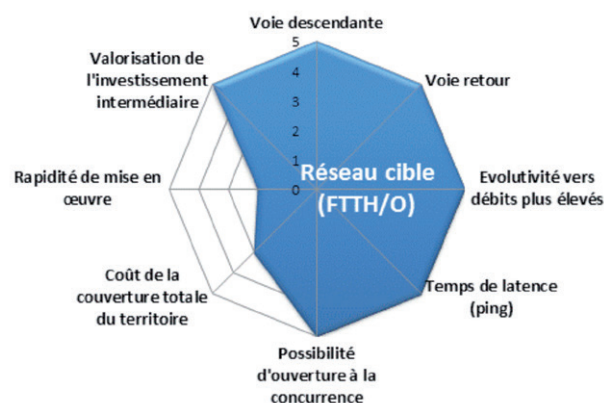


Figure 8.1 : qualification des technologies FTTH / FTTO

8.2.2 RÉSEAUX CÂBLÉS

Pour la technologie « câble », le débit de la voie descendante et la pérennité de l'investissement sont des points forts. La voie retour et l'asymétrie constituent à terme un point de blocage important. Le critère économique du coût de la couverture totale du territoire ne favorise pas le câble car il n'est généralement présent que dans les zones urbaines, où les coûts de mise à niveau sont faibles ; là où il n'est pas présent, il serait déraisonnable de mettre en œuvre cette technologie. Enfin, il faut noter que l'ouverture à la concurrence, quoique techniquement possible (voir § 7.2.2), reste actuellement limitée.

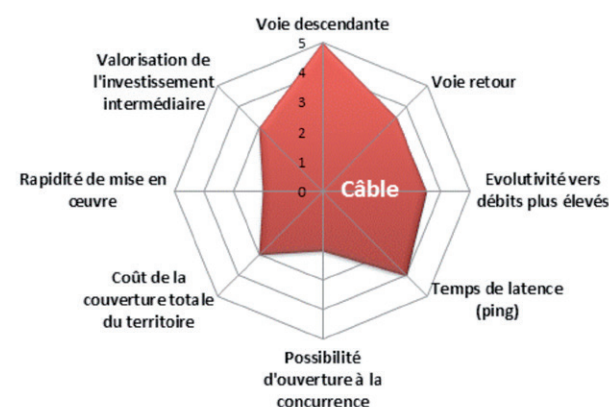


Figure 8.2 : qualification des technologies « câble »

8.2.3 TECHNOLOGIES DSL

En ce qui concerne la famille xDSL, même dans l'hypothèse de l'introduction des technologies VDSL2, les limitations actuelles sur le débit descendant ne peuvent être dépassées que pour un faible pourcentage de logements, c'est-à-dire ceux situés le plus près du DSLAM et qui disposent déjà d'un bon débit. L'élargissement de la couverture territoriale par le VDSL2 à travers les opérations de montée en débit sur le réseau cuivre peut avoir un impact financier non négligeable pour les petits SR (voir § 5.1.3) et la charge financière correspondante est supportée par les Collectivités Territoriales.

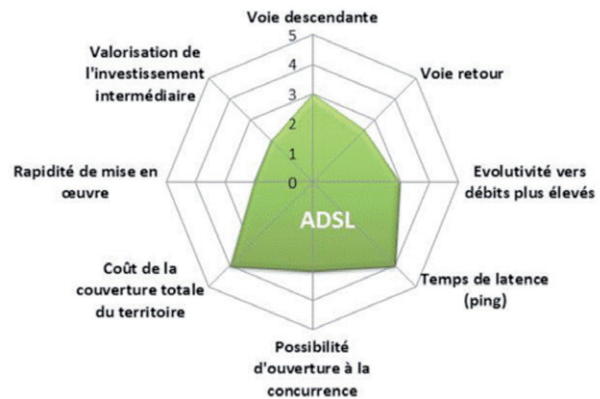


Figure 8.3 : qualification des technologies xDSL

8.2.4 RADIO FIXE

Pour les technologies radio fixes (WiFi et WiMAX), la facilité de complétion d'une couverture territoriale totale peut représenter un point fort, mais cela implique la mise en œuvre d'un réseau de collecte complet et efficace. S'il est conçu en cohérence avec une étude d'ingénierie FTTH détaillée, une partie de l'investissement pourra être préservée lors de la migration vers le FTTH. Les débits descendants et remontants accessibles à l'utilisateur sont dans la fourchette basse des performances de l'ADSL, notamment en raison de l'architecture retenue. De plus, ces technologies ont une mauvaise image auprès du public, en raison des risques supposés sur la santé et de la pollution visuelle engendrée par les pylônes et les antennes.

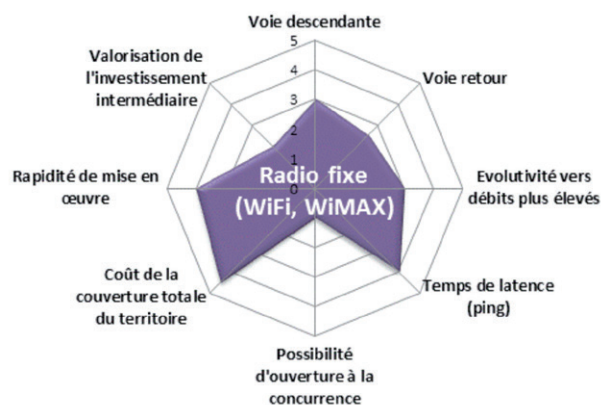


Figure 8.4 : qualification des technologies radio fixes (WiFi, WiMAX)

8.2.5 RADIO MOBILE

Par rapport aux objectifs et aux critères du THD, les technologies de téléphonie mobile (LTE/4G) ne semblent pas représenter une forte opportunité malgré les récentes annonces des opérateurs 4G qui pourraient, après expérimentation, proposer des kits d'accès à leur réseau mobile en utilisation fixe. Les débits descendants et remontants accessibles à l'utilisateur restent bien en dessous des raccordements fixes à très haut débit.

La question de la couverture du territoire reste totalement ouverte puisque les annonces des opérateurs concentrent pour le moment leurs déploiements sur les zones à forte densité. Dans les zones moins denses, la réglementation pourrait évoluer pour permettre à des opérateurs alternatifs d'utiliser des fréquences disponibles et d'irriguer les stations avec un réseau de collecte en fibre optique ; si ce dernier est conçu et dimensionné en cohérence avec une étude d'ingénierie FTTH détaillée, une partie de l'investissement pourra être préservée lors de la migration vers le FTTH.

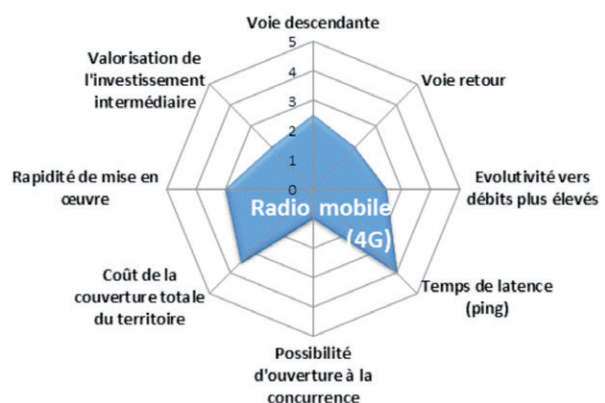


Figure 8.5 : qualification des technologies de téléphonie mobile (LTE/4G)

Comme pour WiFi et WiMAX, ces technologies ont une mauvaise image auprès du public, en raison des risques supposés sur la santé et de la pollution visuelle engendrée par les infrastructures.

8.2.6 SATELLITE

Enfin, les technologies satellitaires présentent de nombreux points faibles, notamment sur la pérennité de l'investissement et le temps de réponse, même si la complétion de la couverture géographique est déjà réalisée.

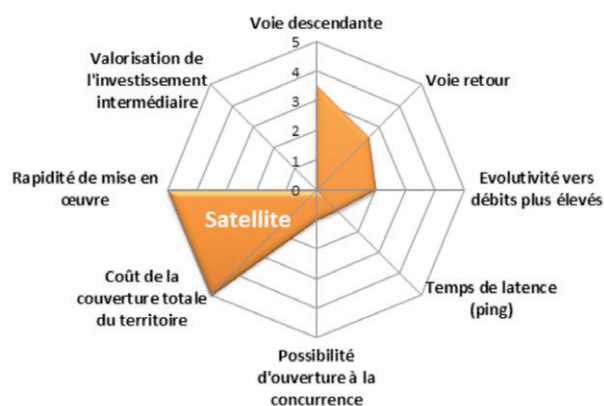


Figure 8.6 : qualification des technologies satellitaires

8.2.7 SYNTHÈSE COMPARATIVE

La superposition des graphiques (figure 8.7) montre bien que le FTTH est indéniablement la technologie cible qui offre les meilleures performances et répond à tous les objectifs de pérennité, de disponibilité et d'évolutivité.

Compte tenu des coûts de déploiement des technologies FTTH, notamment dans les zones moins denses, des solutions transitoires peuvent plus ou moins bien satisfaire les objectifs illustrés par les différents critères de comparaison envisagés. Bien sûr, la combinaison de plusieurs technologies intermédiaires peut permettre d'optimiser la satisfaction de ces objectifs.

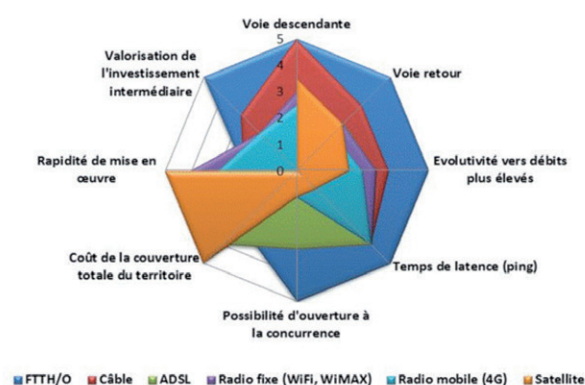


Figure 8.7 : comparaison synthétique

9 ALLONS PLUS LOIN

9.1 LES RÉSEAUX FILAIRES

9.1.1 RÉSEAUX FIBRE (FTTH / FTTO)

Le CREDO a publié son Guide de mise en place des réseaux d'accès FTTH, le 30/08/2012.

Ce guide traite des déploiements des réseaux « fibre optique » sur l'ensemble du territoire à l'exception des zones très denses.

Cet ouvrage de 230 pages, constitue l'aboutissement d'un effort collectif et résulte de la vision, de l'engagement et de l'expertise des membres du CREDO, tous acteurs majeurs et reconnus de la filière des infrastructures de télécommunications.

Ils partagent leur savoir-faire depuis 20 ans et représentent un trait d'union entre les acteurs du très haut débit.

Ce guide fait un point exhaustif sur la réglementation et présente l'état de l'art des différentes professions : ingénierie de réseau, technologies, règles et techniques de mise en œuvre et d'exploitation. Il démontre l'urgence de se fédérer autour de référentiels communs pour industrialiser le déploiement de la fibre et réussir ce grand chantier d'infrastructure du 21^{ème} siècle.

9.1.2 LES RÉSEAUX CÂBLÉS

9.1.2.1 GÉNÉRALITÉS

La télédistribution, également connue sous le vocable CATV (Community Antenna TeleVision) ou Réseaux d'Antennes Communautaires dans la terminologie réglementaire française (en complément de la notion d'Antenne Collective), est née en 1948 aux Etats Unis dans un contexte initial de couverture de zones d'ombres. Parmi les étapes clés du développement, on peut citer l'introduction des programmes payants dès 1970 et que le champ d'actions des câblo-opérateurs s'est élargi au multimédia ce qui s'est tout d'abord traduit par des actions très volontaristes pour les services d'accès à Internet à haut débit (initiative DOCSIS) puis par l'introduction de la téléphonie sur les réseaux HFC qui a été plus ou moins effective selon l'évolution des régulations pour les différents pays concernés.

L'architecture des réseaux câblés de vidéocommunications a été principalement guidée par le caractère « diffusé » des services initialement offerts sur ces réseaux, c'est-à-dire les programmes de télévision et de radiodiffusion. L'architecture, de type arborescente, consiste à diffuser l'ensemble des services (programmes) sous la forme d'un multiplex fréquentiel qui peut couvrir l'ensemble de la gamme des fréquences VHF et UHF jusqu'à 862 MHz, comme c'est le cas pour la diffusion hertzienne (terrestre) des chaînes de télévision.

Les signaux, véhiculés sur un câble coaxial partagé, sont régénérés régulièrement à l'aide d'amplificateurs large bande de façon à s'affranchir de l'atténuation du câble. Ceci présente l'inconvénient de dégrader la qualité du signal, donc de limiter la portée en fonction de la bande de fréquences utilisée. Pour remédier à ces inconvénients, les opérateurs ont introduit les technologies optiques pour réaliser le niveau de transport primaire des signaux. En parallèle, on a introduit les premiers réseaux bidirectionnels, pour lesquels la voie retour véhiculait des débits très faibles liés notamment aux fonctions de contrôle d'accès. Ces réseaux présentent donc une grande dissymétrie entre la voie descendante et la voie retour.

9.1.2.2 LES NORMES

9.1.2.2.1 *Le codage et la modulation des signaux de télévision*

Pour la vidéo, le signal natif est analogique, qu'il soit simplement basé sur les composantes R,V,B (Rouge/Vert/Bleu) ou codé sous forme composite, avec des normes variées comme PAL, SECAM/NICAM ou NTSC.

Les techniques de codage/compression de la vidéo ont subi de nombreuses évolutions, notamment celles définies par le Motion Picture Expert Group (MPEG) telles que MPEG-2 ou MPEG-4 AVC (Advanced Video Coding) et bientôt MPEG-H.

Sur un réseau HFC ou FTTLA, les signaux sont modulés de manière adéquate pour trouver la meilleure efficacité tout en garantissant une bonne qualité de transmission :

- pour la télévision analogique, la modulation est de type MA/BLR ;
- pour la télévision numérique, la modulation est de type QAM64 ou OFDM :
 - la modulation QAM impose l'utilisation d'un boîtier d'interface (« box ») ;
 - la modulation OFDM présente l'avantage d'être compatible avec les décodeurs TNT du commerce ou les téléviseurs récents munis d'un décodeur intégré ; il convient néanmoins de s'assurer que les bandes de fréquences sont compatibles avec le plan de transmission du réseau câblé ;
 - dans les deux cas, le contrôle d'accès peut être associé à un ou plusieurs programmes.

9.1.2.2.2 Le codage et la modulation des données

Dès 1997, le Consortium MCNS a établi la norme DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification) pour le marché Nord-Américain, sur la base d'un pas de 6 MHz en voie descendante et d'une voie retour entre 5 et 42 MHz. L'organisme chargé de certifier les matériels en termes de conformité à la norme ainsi qu'en termes d'interopérabilité est CableLabs. Pour l'Europe, pour laquelle les caractéristiques de la couche physique sont différentes (88-862 MHz au pas de 8 MHz et 5-65 MHz pour la voie retour), une variante EuroDOCSIS a vu le jour ; la certification correspondante est assurée par t-ComLabs.

Les différentes normes qui se sont succédé peuvent être résumées comme suit :

- DOCSIS 1.0 et EuroDOCSIS 1.0 :
 - le multiplexage des services est purement statistique, conduisant à une stratégie du « best effort » ;
 - le flux upstream est contrôlé par un mécanisme de contention avec des délais variables selon le trafic, ce qui rend la norme peu appropriée aux services liés à la « voix » ;

- DOCSIS 1.1 et EuroDOCSIS 1.1 :

- par rapport à la version 1.0, la version 1.1 présente une couche physique (PHY) identique, alors que la couche MAC (*Media Access Control*) est différente ; l'évolution peut donc être traitée par un upgrade logiciel ;
- la capacité des voies upstream passe de 2,5 Mbit/s à 10 Mbit/s par canal, la largeur de canal passant de 1,6 à 3,2 MHz ; la robustesse théorique des mécanismes de correction s'est avérée décevante dans les déploiements en vraie grandeur, notamment pour le 16QAM ;
- la bande peut être partitionnée de façon à en réserver une partie pour des services particuliers, tels que la voix sur IP à débit constant (CBR) ;

- DOCSIS 2.0 et EuroDOCSIS 2.0 :

- par rapport à la version 1.1, la version 2.0 présente une couche MAC identique alors que la couche physique est complètement modifiée ; en plus du protocole d'accès A-TDMA, la norme introduit le S-CDMA (version synchrone du DSSS = Direct Sequence Spread Spectrum) ;
- en conséquence la migration à partir de la version 1.1 impose des modifications matérielles coûteuses ; on peut opérer en mode mixte A-TDMA / S-CDMA ;
- la capacité de la voie upstream passe à 30 Mbits par canal de 6,4 MHz grâce à une meilleure efficacité des mécanismes de correction d'erreurs ;

- DOCSIS 3.0 et EuroDOCSIS 3.0 :

- amélioration de la capacité sur la voie descendante, notamment pour faciliter l'introduction des services de VOD au format IP ;
- possibilité ultérieure d'utiliser l'ensemble de la bande (VHF-UHF) en combinant jusqu'à 16 porteuses afin de véhiculer des flux de l'ordre de 600 Mbit/s (channel bonding).

9.1.2.2.3 Le multiplexage des signaux

Le multiplexage des différents signaux sur le support de transmission partagé (coaxial ou fibre optique) est de type fréquentiel (FDM = *Frequency Division Multiplexing*) où les signaux modulés sont placés sur des porteuses espacées de 8 MHz. Sur le câble coaxial, la transmission bidirectionnelle est réalisée à des fréquences différentes, le canal descendant et le canal remontant étant séparés par un filtre fréquentiel.

La nature même du multiplex fréquentiel utilisé dans les réseaux câblés permet de mélanger simplement des signaux véhiculant des services différents. La figure 9.1 donne un exemple d'allocation des fréquences entre les services, ceux-ci pouvant être délivrés par des FAI différents :

- pour la télévision, on peut ainsi noter la différence de niveau (environ 10 dB) entre les signaux analogiques et les signaux numériques ;
- pour l'accès à Internet, on a représenté deux FAI totalement indépendants puisqu'ils utilisent des bandes fréquences bien distinctes.

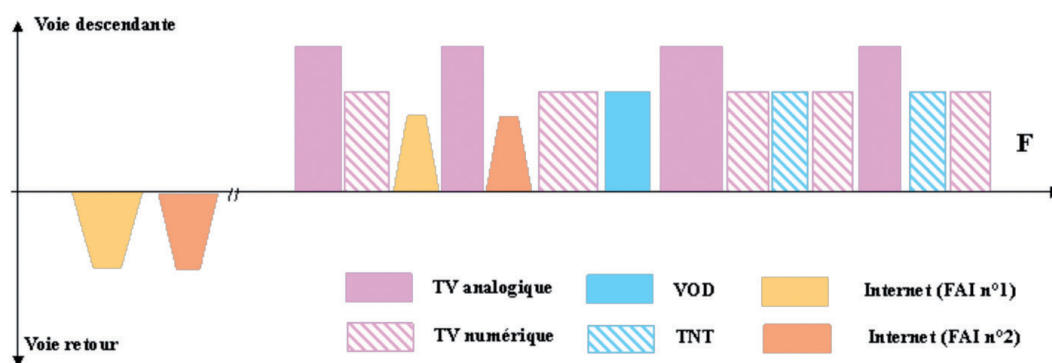


Figure 9.1 : exemple de multiplexage fréquentiel de plusieurs services

9.1.2.2.4 Les équipements associés

Aux extrémités du réseau câblé, les équipements dépendent du type de service considéré :

- au niveau de la tête de réseau :
 - les programmes de télévision analogique et numérique sont adaptés au réseau à l'aide de modulateurs, à raison d'un modulateur par porteuse ;
 - les services IP s'interfaçent avec le monde extérieur à l'aide d'un CMTS (Cable Modem Termination System) à la norme EuroDOCSIS ;
- au niveau de l'installation de l'utilisateur :
 - la télévision analogique s'interface directement avec le téléviseur sur la prise RF, les éventuels programmes payants étant filtrés dans le réseau proprement dit ;
 - la télévision numérique requiert un adaptateur/décodeur (la « box ») qui contient des mécanismes de contrôle d'accès propres à l'opérateur de services ;
 - les services IP (@ et VoIP) requièrent un modem câble (EuroDOCSIS).

9.1.3 LE RÉSEAU TÉLÉPHONIQUE CUIVRE

9.1.3.1 LA BI-INJECTION

La bi-injection consiste à permettre « l'injection » de signaux DSL indifféremment à la boucle (situation actuelle) et à la sous-boucle. Cela suppose que les signaux DSL injectés au niveau du sous répartiteur soient techniquement modifiés et atténués pour ne pas perturber les signaux DSL injectés au NRA. Cela conduit à limiter techniquement les débits maximaux disponibles depuis la sous-boucle, comparativement à une technologie DSL distribuée sans contrainte. Dès lors, en bi-injection les opérateurs peuvent maintenir ou continuer de déployer des accès DSL au niveau du NRA d'origine en dégroupage pour les abonnés concernés, sans toutefois bénéficier de la montée en débit. Dans l'exemple présenté sur la figure 9.2, l'opérateur 1 est venu au site MeD alors que l'opérateur 2 propose uniquement ses services DSL depuis le NRA-O.



Figure 9.2 : exemple de bi-injection

Cette indépendance dans la venue ou non des opérateurs sur le nouveau site MeD implique en pratique qu'une boucle locale courte (depuis le site MeD) doit coexister avec une boucle locale longue (depuis le NRA-O). Cette option est opérationnelle sur un seul site (Saint Martin).

9.1.3.2 LE DEPORT OPTIQUE

Le déport optique est une variante de la mono-injection traitée par l'offre PRM d'Orange. La figure 9.3 montre la cohabitation d'un déport optique mutualisant les DSLAM de deux opérateurs et d'un DSLAM d'un opérateur autonome ici dans une configuration de DSLAM chaînés (déport d'un DSLAM esclave sur un DSLAM maître).

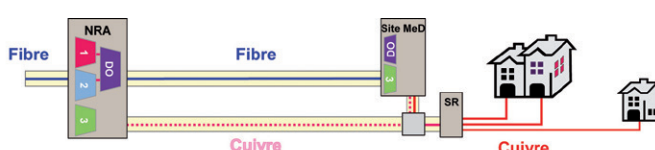


Figure 9.3: exemple de cohabitation en mono-injection d'un déport optique et d'un DSLAM

Le multiplexage sur un support fibre permet de limiter fortement l'atténuation des signaux DSL fonction de la distance sur les lignes cuivre et ainsi d'accroître les débits comme si les signaux xDSL étaient injectés directement depuis le nouveau site MeD par des DSLAM classiques. Les DSLAM restent eux localisés plus en amont dans le réseau, au NRA-O ou sur un autre NRA plus central.

Par rapport aux solutions de réaménagement déployées, le déport optique est une solution plus légère, qui évite aux opérateurs de transférer leurs équipements vers le sous-répartiteur.

Intervenant au niveau de la paire téléphonique de l'abonné, le déport optique transmet la bande passante totale (2,2 MHz pour l'ADSL2+). Il est donc parfaitement neutre par rapport à l'opérateur et au DSLAM utilisé et prolonge ainsi naturellement le dégroupage, chaque paire déportée pouvant être, à partir d'un même équipement de déport, raccordée indifféremment à un opérateur ou un autre. Conçu pour les petits sites (moins de 200 lignes), le déport optique peut être télé-alimenté depuis le NRA de rattachement ; le SR ainsi équipé ne nécessite pas de raccordement électrique propre. Cette solution de déport relève en fait plus d'une architecture SR-MeD que NRA-MeD, puisqu'elle se contente "d'effacer" l'atténuation entre le NRA et le SR en remplaçant le cuivre par de la fibre optique.

A la date de publication du présent guide, le Comité d'Experts n'a pas validé son utilisation.

9.1.3.3 LE VDSL2

Le VDSL existe en version symétrique (plan 997) (figure 9.4) ou asymétrique (Plan 998) (figure 9.5). Les valeurs maximales de fréquences peuvent être portées à 8, 12, 17 (VDSL2) voire 30 MHz (VDSL2+). Les plans de fréquence sont détaillés dans la recommandation G.993.1 et notamment dans son annexe B.

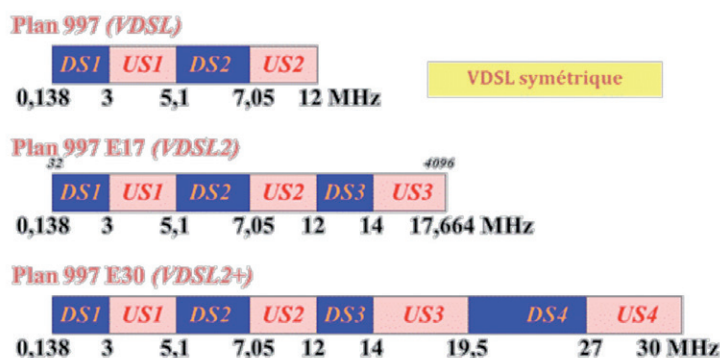


Figure 9.4 : plan 997

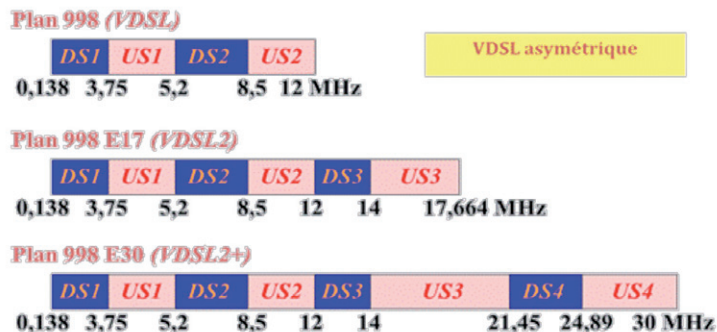


Figure 9.5: plan 998

9.2 LES RÉSEAUX RADIO TERRESTRES

9.2.1 WIFI ET WIMAX

9.2.1.1 LA RÉGLEMENTATION SUR LES FRÉQUENCES

En 2000, l'Autorité de Régulation des Télécommunications (ART, prédécesseur de l'ARCEP) avait lancé les appels à candidature et attribué les licences :

- au niveau national, les deux licences (l'une à 3,5 GHz, l'autre à 26 GHz) ont été attribuées à FirstMark Communications France et à Fortel (UPC, Marine Wendel / Alpha, NRJ / Towercast) ;

- au niveau régional, les licences (2 par région pour 22 régions, toutes à 26 GHz) ont été attribuées à Broadnet France (14), BLR Services (8), Landtel France (7), Belgacom France (7) et Altitude (2) ;
- pour l'outre-mer, les 8 licences (à 3,5 GHz) ont été attribuées à Cegetel, XTS Network et Informatique Télématique Guyane.

Depuis cette phase d'euphorie, le paysage s'est réduit à une peau de chagrin. Force est de constater que les business plans d'origine se sont avérés complètement erronés et que les déploiements ont subi de nombreux retards. Les seuls opérateurs « survivants » sont d'une part **SFR** (qui a racheté LD Com), qui à travers Squadran (ex Fortel) et BLR Services et ses rachats de FirstMark et Belgacom France, et d'autre part **AltitudeTelecom** qui a racheté Broadnet.

L'ART a ensuite relancé les consultations pour l'attribution des fréquences disponibles dans le cadre de WiMAX à **3,5 GHz**.

Le site de l'ARCEP permet d'accéder à 2 « dossiers » sur l'historique des licences 3G et 4G :

- « le processus d'attribution des licences 3G » (<http://arcep.fr/index.php?id=9905>) ;
- « 4G - Très haut débit mobile » (<http://arcep.fr/index.php?id=8649>).

La bande 800 MHz est constituée de ce qui s'appelait, les « fréquences en or » de la TV analogique (fréquences UHF), sous-ensemble du « dividende numérique ». Un dossier spécifique à ce dernier, y est consacré par l'ARCEP (<http://arcep.fr/index.php?id=8653>).

On trouvera de même, sur le site du CSA, un tableau descriptif de la canalisation des bandes UHF utilisées par la TNT Hertzienne, avec l'affectation, région par région, émetteur par émetteur, des canaux UHF aux multiplex R1 à R7 de la TNT. Ce tableau permet de pointer les risques de brouillage entre TNT hertzienne et Téléphonie Mobile LTE-800, en raison d'une « bande de garde » insuffisante (<http://www.csa.fr/Media/Files/Television/La-reception/Liste-des-canaux-affectes-aux-multiplex-de-la-TNT-en-metropole-et-outre-mer-pour-le-plan-de-passage-le-plan-ajuste-et-le-plan-cible-au-tout-numerique>).

La bande 700 MHz est du même type ; son éventuelle réaffectation en 2016 fait débat à ce jour. Ceci illustre le « besoin de spectre » en transmission de données des opérateurs du mobile.

9.2.1.2 LES NORMES

Le label WiFi (Wireless Fidelity) délivré par la WiFi Alliance correspond aux critères d'interopérabilité des matériels répondant aux normes regroupées sous la référence IEEE 802.11. Plusieurs versions constituent une famille complète de transmission d'Ethernet sans fil, parmi lesquelles il faut citer :

- la première version de **802.11** a vu le jour en 1997, sous le nom OpenAir ; fonctionnant à 2,4 GHz, elle permet de délivrer 2 Mbit/s ;
- la version dont on parle le plus actuellement, **802.11b**, date de 1999 ; elle fonctionne à 2,4 GHz et permet de délivrer 11 Mbit/s (dont 6,25 utiles) ;

- toujours dans la même bande de fréquences, on trouve **802.11g** qui délivre 54 Mb/s (dont 42 utiles) ;
- de plus, la version **802.11a**, également appelée WiFi5, non compatible avec les précédentes, fonctionne dans la bande des 5 GHz et délivre 54 Mbit/s (42 utiles) ;
- on notera également que la norme **802.11e** gère le problème de coexistence avec Hiperlan2 (projet européen au sein de l'ETSI) ;
- la version **802.11n** pourrait atteindre un débit théorique d'au moins 100 Mbit/s ; les produits seront compatibles avec 802.11a/g.

Le tableau 9.1 donne les principales caractéristiques des technologies radio en termes de codage, modulation et multiplexage.

Norme IEEE	Modulation	Interface radio
802.11b/g	BPSK, DQPSK, CCK, BPCC	Freq. Hopping Spread Spectrum, Direct Seq. SS pour le b / OFDM pour 802.11g
802.11a	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	OFDM
802.11n	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	OFDM + MIMO
802.16a-d "Système WiMAX"	4QAM, 16QAM, 64QAM	OFDM / OFDMA pour le d
802.16e-m "Système WiMAX mobile"	BPSK, 4QAM, 16QAM, 64QAM	OFDMA / SOFDMA + MIMO

Tableau 9.1 : les normes IEEE 802.11 et 802.16

802.16 est un groupe de normes contenant des spécifications pour la mise en œuvre de réseaux métropolitains à liaison sans fil. C'est aussi un groupe de travail chargé avec le WiMAX Forum de faire la promotion de ce standard et de développer la technologie WiMAX qui s'appuie sur ces spécifications.

La norme IEEE 802.16d utilise une modulation des signaux numériques par répartition en fréquences orthogonales (OFDM) et permet une transmission point à point ou point à multipoint en ligne de vue (LOS) ou hors ligne de vue (NLOS)

en accès fixe ou nomade stationnaire (à ne pas confondre avec la mobilité).

Ce standard intègre pour les États-Unis la bande de fréquences sous licence de 3,5 GHz et celle hors licence de 5,8 GHz. En outre, il permet d'opérer dans les deux duplex ou le duplexage FDD (*Frequency Division Duplex*) et TDD (*Time Division Duplex*). En France, la bande de fréquences de 3,5 GHz sous licence autorise le déploiement de la technologie WiMAX pour les liaisons fixes et nomades stationnaires.

La norme IEEE 802.16e a été publiée le 28 février 2006. Celle-ci prévoit, à partir d'une station de base vers des clients mobiles se déplaçant à moins de 120 km/h, la transmission de données à des débits jusqu'à 30 Mbit/s sur une bande de fréquences comprises entre 2 et 6 GHz (zone de couverture d'un rayon inférieur à 3,5 km).

Ce standard permet de mixer les zones de couverture par interopérabilité entre liaisons fixes et liaisons mobiles. De même, celui-ci donne la possibilité au client mobile de passer automatiquement d'une station à une autre sans perte de connexion (roaming).

Pour l'interface physique, la norme 802.16e utilise la modulation OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) qui permet d'adopter les canaux de manière dynamique qui étend donc les possibilités du WiMAX fixe.

9.2.2 RÉSEAUX DE TÉLÉPHONIE MOBILE

Avec l'avènement de la 3G, le monde de la téléphonie mobile est devenu celui des télécommunications mobiles, les données supplantant la voix. Le mobile est devenu bien plus qu'un terminal, une véritable extension corporelle dans le monde numérique permettant d'être connecté en permanence, d'interagir en temps réel sur les réseaux sociaux, de mettre à jour et consulter ses données dans le « cloud » via l'utilisation d'« apps » dédiées. L'utilisation de ces dernières va supplanter la consultation du web avec un navigateur. Les communications vers internet sont moins asymétriques, on consulte et on « uploade », des photos, des vidéos, des parcours de course à pied.

Le mobile est aussi un outil multifonctions que l'on a toujours sur soi : montre, réveil, agenda, coach sportif, télécommande de télévision, télévision de poche, baladeur avec ses milliers de chansons, livre, téléphone, outil de lien social, porte sur le web.

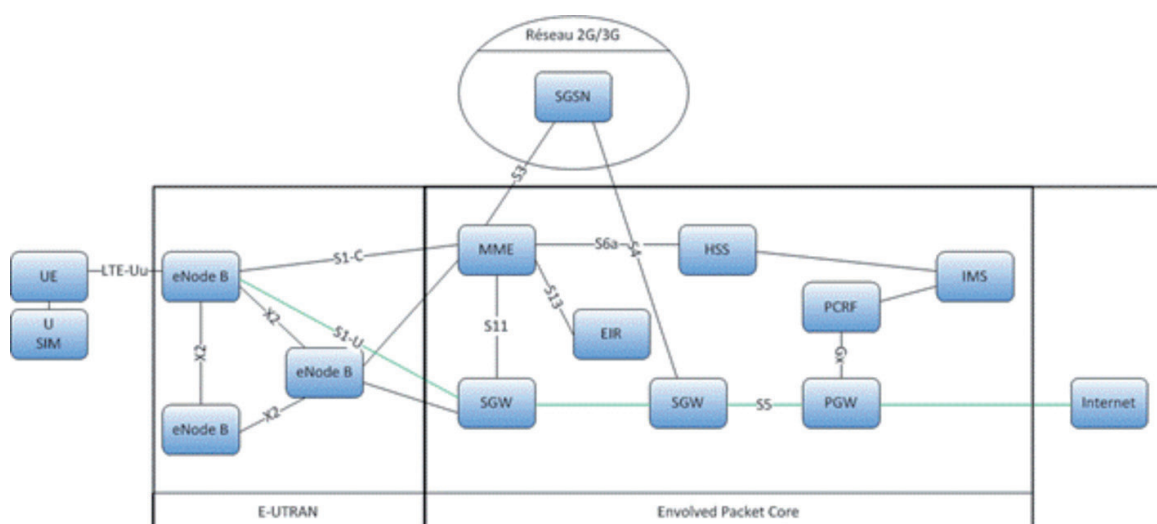


Figure 9.5 : architecture d'un réseau 4G

Le défi des réseaux de mobilité sera de pouvoir absorber le trafic et le nombre d'utilisateurs toujours croissant. En plus des hommes et de leurs téléphones et tablettes, les machines deviennent connectées : la route devient intelligente et les voitures sont connectées, la maison se contrôle depuis son portable. La 4G entame à peine son déploiement que l'on annonce son évolution avec le LTE Advanced avec 1 Gbit/s de débit et que la 5G est déjà en réflexion dans les centres de recherche et développement.

LTE est un réseau exclusivement orienté données (figure 9.5). Pour les appels voix, on utilise soit du VoLTE (Voice Over LTE basé sur la Voix sur IP : VoIP), soit le CS-Fallback : le temps de l'appel, le mobile resélectionne un réseau 2G ou 3G pour que ce dernier puisse traiter cet appel voix.

Les réseaux cœur et d'accès sont totalement IP.

Le réseau d'accès eUTRAN (evolved UTRAN), est constitué d'eNodeB (Evolved NodeB), reprenant les fonctions de NodeB et de RNC des réseaux 3G.

Le réseau cœur ePC (evolved Packed Core) est constitué des éléments suivants :

- MME (Mobility Management Entity) assure la gestion et le contrôle de la mobilité, notamment la signalisation, la localisation, l'authentification des UE ainsi que l'assignation des SGW (*Serving Gateway*) et de PGW (*Packet Data Network Gateway*) ;
- SGW (*Serving GateWay*) est un routeur qui assure le lien avec le réseau d'accès. Il sert de point d'ancrage avec l'eUTRAN lors d'un handover entre eNodeB. Il est aussi lié aux routeurs (SGSN des réseaux 2G/3G) pour assurer la mobilité entre les deux réseaux ;
- PGW (*Packet Data Network Gateway*) est une passerelle entre l'ePC et d'autres réseaux IP ;
- PCRF (*Policy and Charging Rules Function*) assure la gestion et le contrôle de la taxation ;
- HSS reprend les mêmes fonctions que celui d'un réseau HSPA ;
- IMS reprend aussi les mêmes fonctions que dans un réseau HSPA avec la nouvelle fonction d'émuler le mode circuit en VoLTE (Voix, Visiophonie) et SMS.

9.2.3 CARACTÉRISTIQUES DES LIENS FH UTILISÉS EN RADIO

Comme indiqué aux § 2.3.1, des liens FH peuvent être mis en œuvre en collecte ou en pont de transport. Les principales caractéristiques sont données ci-après.

Bande des 11 GHz

Un seul plan a été défini dans cette bande. Il est constitué de 12 canaux d'une largeur de 40 MHz.

Bande des 13 GHz

La bande d'une largeur de 500 MHz < 12 750 - 13 250 MHz > est utilisable en cinq plans de fréquences.

Plans 13 GHz	Nombre et type de canaux
13A	128 canaux de 1,75 MHz
13B	64 canaux de 3,5 MHz
13C	32 canaux de 7 MHz
13D	16 canaux de 14 MHz
13E	8 canaux de 28 MHz

Bande des 18 GHz

La bande des 18 GHz va de 17,7 à 19,7 GHz soit 2 GHz disponibles. Les plans applicables en métropole sont au nombre de 3 (plans 18A, 18B, 18C). Un plan supplémentaire (plan 18D) a été défini pour l'outremer.

Plans 18 GHz	Nombre et type de canaux
18A	70 canaux de 13,75 MHz
18B	35 canaux de 27,5 MHz
18C	17 canaux de 55 MHz
18D	12 canaux de 40 MHz

Bande des 23 GHz

Cette bande qui couvre globalement les fréquences comprises entre 22 et 23,6 GHz est en fait décomposée en trois catégories de plans de fréquences (23, 23 bis, 23 Ter) selon le schéma ci-dessous :

Plan 23 GHz	Plan 23 GHz Bis	Plan 23 GHz Ter	Plan 23 GHz Bis	Plan 23 GHz
F1	F2	F3	F4	F5
				F6

F1 = 22,00275 GHz

F2 = 22,59075 GHz

F3 = 22,75875 GHz

F4 = 22,84275 GHz

F5 = 23,01075 GHz

F6 = 23,59875 GHz

Plans 23 GHz	Nombre et type de canaux
23A	168 canaux de 3,5 MHz
23B	84 canaux de 7 MHz
23C	42 canaux de 14 MHz
23D	21 canaux de 28 MHz
23E	10 canaux de 56 MHz

Plans 23 GHz Bis	Nombre et type de canaux
23 Bis A	48 canaux de 3,5 MHz
23 Bis B	24 canaux de 7 MHz
23 Bis C	12 canaux de 14 MHz
23 Bis D	6 canaux de 28 MHz

Plans 23 GHz Ter	Nombre et type de canaux
23 Ter A	24 canaux de 3,5 MHz
23 Ter B	12 canaux de 7 MHz
23 Ter C	6 canaux de 14 MHz
23 Ter D	3 canaux de 28 MHz

Bande des 26 GHz

Cette bande propose trois plans utilisant les bandes de fréquence <25,053-25,431 GHz> et <26,061-26,439 GHz>

Plans 26 GHz	Nombre et type de canaux
26A	28 canaux de 14 MHz
26B	14 canaux de 28 MHz
26C	7 canaux de 56 MHz

Dans les bandes 32 et 38 GHz, la largeur maximale autorisée des canaux est fixée à 56 ou 112 MHz ce qui autoriserait, en fonction des formats de modulation applicables, des débits par canal de plusieurs centaines de Mbit/s.

Bande des 32 GHz

Plans 32 GHz	Nombre et type de canaux
32A	12 canaux de 56 MHz
32B	6 canaux de 112 MHz

Bande des 38 GHz

Plans 38 GHz	Nombre et type de canaux
38A	272 canaux de 3,5 MHz
38B	136 canaux de 7 MHz
38C	68 canaux de 14 MHz
38D	34 canaux de 28 MHz
38E	16 canaux de 56 MHz
38F	8 canaux de 112 MHz

Dans la bande 70-80 GHz, la largeur maximale autorisée des canaux, fixée à 1250 MHz, permettrait théoriquement un débit supérieur au Gbit/s en modulation QPSK mais la portée ne devrait pas excéder quelques centaines de mètres ce qui restreint considérablement les applications potentielles.

Bande des 70-80 GHz

Plans 70-80 GHz	Nombre et type de canaux
70-80A	19 canaux de 250 MHz
70-80B	9 canaux de 500 MHz
70-80C	6 canaux de 750 MHz
70-80D	4 canaux de 1000 MHz
70-80E	3 canaux de 1250 MHz

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

10.1 LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 :	répartition des accès fixes HD et THD en fonction des technologies à fin 2012	14
Figure 2.2 :	architecture cible FTTH	15
Figure 2.3 :	déclinaison des architectures FTTx	15
Figure 2.4 :	architecture FTTO	16
Figure 2.5 :	architecture générale des réseaux câblés	18
Figure 2.6 :	architecture et terminologie	19
Figure 2.7 :	terminaison coaxiale des réseaux HFC optimisés	19
Figure 2.8 :	terminaison des réseaux FTTLA	20
Figure 2.9 :	architecture pour les services IP	20
Figure 2.10 :	exemple de CPE adapté à une solution RFoG (Département de l'Ain)	21
Figure 2.11 :	impact de la distance sur les débits théoriques	22
Figure 2.12 :	segmentation de la boucle locale cuivre	22
Figure 2.13 :	relation fréquence / débit / service	23
Figure 2.14 :	bruit de diaphonie (source Telecom Sud Paris)	23
Figure 2.15 :	affaiblissement du signal en fonction des caractéristiques des paires (source Telecom Sud Paris)	24
Figure 2.16 :	la famille DSL	24
Figure 2.17 :	recommandations de l'UIT	25
Figure 2.18 :	relation entre débit et S/B en fonction de la fréquence (source Telecom Sud Paris)	25
Figure 2.19 :	plan de fréquences ADSL (source Telecom Sud Paris)	25
Figure 2.20 :	signal/bruit et éligibilité (source Telecom Sud Paris)	26
Figure 2.21 :	évolution et convergence des normes radio	27
Figure 2.22 :	schéma de fonctionnement des liaisons satellites bidirectionnelles	32
Figure 3.1 :	influence des différents paramètres sur la qualité de service	35
Figure 3.2 :	taux de pénétration maximum en fonction du débit moyen pour différentes tailles de poches	36
Figure 3.3 :	services ADSL disponibles en fonction de la distance au NRA	37
Figure 3.4 :	performances comparées ADSL / VDSL (source Telecom Sud Paris)	38
Figure 3.5 :	performances comparées xDSL / PON	38
Figure 3.6 :	positionnement respectif des réseaux radio	39
Figure 3.7 :	réseau WiMAX	42
Figure 3.8 :	bande des 900 MHz	43
Figure 3.9 :	bande des 1800 MHz	43
Figure 3.10 :	bande des 900 MHz	44
Figure 3.11 :	bande des 2100 MHz	44
Figure 3.12 :	bande des 800 MHz	45
Figure 3.13 :	bande des 2600 MHz	45
Figure 3.14 :	portée en fonction de la largeur de bande utile	46
Figure 3.15 :	couverture géographique du satellite KA-SAT	47
Figure 3.16 :	temps de propagation	48
Figure 4.1 :	position du point de mutualisation (source ARCEP)	50
Figure 4.2 :	exemple de multiplexage par GMUX	55
Figure 4.3 :	la boucle locale cuivre	55
Figure 4.4 :	les briques de la montée en débit	56
Figure 4.5 :	exemple de mono-injection	56
Figure 4.6 :	configuration cellulaire simple	57
Figure 4.7 :	configuration cellulaire multiple	58

Figure 4.8 : configuration en répéteur	58
Figure 4.9 : synoptique d'un réseau WiFi	58
Figure 4.10 : synoptique d'un réseau WiMAX	59
Figure 4.11 : équipements d'un réseau WiMAX	61
Figure 4.12 : Le principe cellulaire	61
Figure 4.13 : les différents types de cellules	61
Figure 5.1 : exemple de déploiement FTTO avec mutualisation des accès	65
Figure 5.2 : antenne sectorielle MIMO	68
Figure 6.1 : progression du FTTH en France (source ARCEP)	72
Figure 6.2 : convergence réseau câblé / FTTH/PON	73
Figure 7.1 : Les options de dégroupage	78
Figure 8.1 : qualification des technologies FTTH / FTTO	86
Figure 8.2 : qualification des technologies « câble »	86
Figure 8.3 : qualification des technologies xDSL	87
Figure 8.4 : qualification des technologies radio fixes (WiFi, WiMAX)	87
Figure 8.5 : qualification des technologies de téléphonie mobile (LTE/4G)	87
Figure 8.6 : qualification des technologies satellitaires	88
Figure 8.7 : comparaison synthétique	88
Figure 9.1 : exemple de multiplexage fréquentiel de plusieurs services	92
Figure 9.2 : exemple de bi-injection	93
Figure 9.3 : exemple de cohabitation en mono-injection d'un déport optique et d'un DSLAM	93
Figure 9.4 : plan 997	94
Figure 9.5 : plan 998	94
Figure 9.5 : architecture d'un réseau 4G	96

10.2 LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 : répartition des NRA de France Télécom par capacité (source Observatoire de l'ARCEP)	23
Tableau 2.2 : affaiblissement du signal en fonction des caractéristiques des paires (source Telecom Sud Paris)	24
Tableau 2.3 : débit par canal	25
Tableau 2.4 : profils VDSL	26
Tableau 2.5 : les différentes fréquences radio	29
Tableau 2.6 : canalisation des différentes bandes radio	29
Tableau 3.1 : relation calibre/longueur/affaiblissement (exemple 1)	37
Tableau 3.2 : relation calibre/longueur/affaiblissement (exemple 2)	37
Tableau 3.3 : performances théoriques WiFi et WiMAX	40
Tableau 3.4 : étude « ondes et santé » (source Nomotech)	41
Tableau 3.5 : les performances des technologies mobiles	46
Tableau 4 : synthèse ARCEP des sites WiMAX	60
Tableau 5.1 : coûts du site PRM en fonction de la taille de la SR	67
Tableau 5.2 : montant de la redevance annuelle en fonction de la taille de la SR	67
Tableau 8.1 : grille de notation des différents critères	85
Tableau 8.2 : synthèse des notes attribuées aux différentes solutions techniques	86
Tableau 9.1 : les normes IEEE 802.11 et 802.16	95

ACRONYMES

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line	Technologie de transmission de signaux numériques sur les paires cuivre utilisées dans le réseau de distribution du RTC.
ADSL nu		Version du bitstream ADSL pour laquelle le service téléphonique n'est pas inclus
ANFR	Agence Nationale des Fréquences	
ANT	Aménagement numérique du territoire	L'aménagement numérique du territoire est le processus par lequel les acteurs publics améliorent les conditions d'accès aux ressources de la société de l'information, pour la population (particuliers et entreprises) de leur territoire.
ARCEP	Autorité de Régulation des Communications Electroniques et des Postes	Autorité administrative indépendante française chargée, entre autre de réguler le marché et les services de communications électroniques.
BLOD	Boucle Locale Optique Dédinée	
BLOM	Boucle Locale Optique Mutualisée	
B-PON	Broadband Passive Optical Network	Technologie de réseau PON standardisée par l'ITU-T et fondée sur le protocole ATM.
BTS	Base Transceiver Station	Élément de base du système cellulaire de téléphonie mobile, appelé plus communément antenne relais
CAPEX	Capital Expenditure	Coûts d'investissement
CD	Centre de distribution	Nœud intermédiaire de certains réseaux câblés hébergeant des équipements actifs
CPE	Customer premises equipment	Le CPE est un équipement qui se trouve dans le site d'un client (d'une entreprise) et qui est raccordé à l'infrastructure d'un opérateur via la boucle locale.
CGCT	Code Général des Collectivités Territoriales	Ensemble des articles de loi régissant le fonctionnement des Collectivités Territoriales.
CMTS	Cable Modem Termination System	Équipement centralisé dialoguant avec les modems d'abonnés à travers le protocole EuroDOCSIS (réseaux câblés)
CSA	Conseil Supérieur de l'Audiovisuel	
DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specification	Norme spécifique permettant le transfert de données à vitesse élevée (internet) sur un système de télévision par câble existant. La norme actuelle de référence est DOCSIS 3.0
DS	Downstream	Flux descendant (vers l'abonné)
DSL	Digital Subscriber Line	Voir ADSL
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer	Équipement d'interface permettant de concentrer les accès ADSL au niveau du répartiteur cuivre du NRA.
DSP	Délégation de Service Public	Moyen réglementaire permettant aux collectivités de gérer les services fournis aux administrés au travers d'un délégataire. Cette solution est beaucoup employée pour mettre en œuvre les infrastructures territoriales de communication.
DTIO	Dispositif de Terminaison d'Intérieur Optique	Équipement de la couche optique passive décrivant la prise terminale d'abonné.
EDGE	Enhanced Data rate for GSM Evolution	Norme compatible avec le GSM (2 ^{ème} génération) permettant d'augmenter les débits et dite aussi 2.75G (voir GPRS).
EHF	Extremely High Frequency (Extrêmement Haute Fréquence)	30 GHz à 300 GHz
ELF (EBF)	Extremely Low Frequency (Extrêmement Basse Fréquence)	3 Hz à 30 Hz
EoC	Ethernet over Coaxial	Technique de transmission de flux Ethernet sur un support coaxial

E PON	Ethernet Passive Optical Networks	Technologie de réseau PON standardisée par l'IEEE (IEEE 802.3ah) et fondée sur la norme Ethernet.
EPCI	Etablissement public de coopération intercommunale	L'EPCI est une structure administrative regroupant des communes ayant choisi de développer des compétences en commun.
ETSI	European Telecommunication Standardization Institute	Organisme Européen chargé de la normalisation pour l'ensemble du domaine des télécommunications.
EuroDOCSIS		Version européenne de la norme DOCSIS
FAI	Fournisseur d'Accès à Internet	Fournisseur de services d'accès à l'internet.
FDM	Frequency Division Multiplexing	Multiplexage fréquentiel
Femto cell		Cellule de taille très faible, également appelée HNB (Home Node B)
FH	Faisceau Hertzien	Liaison radioélectrique point à point, bilatérale et permanente (full duplex)
FSAN	Full Service Access Network	Terme générique regroupant les normes des réseaux d'accès optiques issus des acteurs majeurs des télécoms (opérateurs et équipementiers) des années 1990.
FSN	Fonds National pour la Société Numérique	Le FSN accompagne le développement de l'économie numérique par la mobilisation de moyens à destination des entreprises et des structures de recherche et développement
FTF	Fiber To the Feeder	Architecture de réseau de télédistribution où les Centres de Distribution (irrigués en fibre optique) opèrent une transition vers un réseau de distribution coaxial
FTTH	Fiber to the Home	Architecture de réseau de distribution sur fibres optiques où la terminaison optique est située dans le logement des usagers
FTTLA	Fiber To The Last Amplifier	Architecture de réseau de télédistribution où la technologie fibre optique pénètre au plus près des prises terminales en s'arrêtant au niveau du dernier nœud actif (l'amplificateur terminal)
FTTN	Fiber To The Node	Architecture de réseau de télédistribution où la technologie fibre optique va jusqu'à un nœud proche de la zone à desservir
FTTO	Fiber To The Office	Fibre à l'Entreprise
FTTDP	Fiber To The Distribution Point	Fibre jusqu'au point de distribution (terminaison sur la paire téléphonique cuivre)
FTTP	Fiber To The Premises	Fibre jusqu'à l'entrée des locaux
FTTx	Fiber to the x	Terme générique décrivant les différentes architectures de réseau de distribution optique (FTTC, FTTLA, FTTN, FTTB, FTTH)
G-FAST		Nouvelle norme (G 9700) introduite par l'UIT pour succéder au VDSL2
GIX	Global Internet Exchange	Point d'échange Internet permettant d'échanger du trafic local et d'assurer l'interface avec le réseau mondial
GPON	Gigabit-capable Passive Optical Network	Technologie de réseau PON standardisée par l'UIT-T
GPRS	Global Packet Radio service	Evolution de la norme GSM (2 ^{ème} génération) permettant d'augmenter les débits par l'introduction de techniques de transmission par paquets et dite aussi 2.5G.
GSM	Global System for Mobile Communication	Norme européenne de téléphonie cellulaire très répandue dans le monde, en concurrence avec la norme CDMA
HD	Haut Débit	Débit inférieur aux critères définis pour le très haut débit et au minimum supérieur ou égal à 512Kbit/s.
HF	High Frequency (Haute Fréquence)	3 MHz à 30 MHz
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
HLR	Home Location Register	Enregistreur de localisation géographique des abonnés
HPNA	Home Phoneline Network Alliance	Consortium d'industriels
HSPA	High Speed Packet Access	Evolution de la technologie 3G → 3G+
IEC	International Electrotechnical Commission	Comité de normalisation international



IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	Société scientifique basée aux Etats Unis active dans l'établissement de standards dans le domaine des réseaux et télécommunications.
IMT-2000	International Mobile Telecommunications-2000	IMT-2000 désigne les technologies d'accès radio des systèmes cellulaires de la troisième génération qui sont retenues par l'UIT.
INSEE	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques	
IP	Internet Protocol	Protocole de communications qui attribue à chaque machine une adresse qui permettra l'échange d'informations, transmises de manière discontinue (par paquets).
IPTV	Internet Protocol Television	L'IPTV utilise la même infrastructure que l'accès Internet, mais avec une bande passante réservée.
ISO	Organisation internationale de normalisation	L'ISO est le plus grand organisme de normalisation au monde.
LAN	Local Area Network	Réseau Local –Réseau d'entreprise.
LF (BF)	Low Frequency (Basse Fréquence)	30 kHz à 300 kHz
LFO	Liaison Fibre Optique	Offre d'Orange permettant le raccordement optique de NRA
LMDS	Local Multipoint Distribution Service	Version particulière du MMDS.
LME	Loi de Modernisation de l'Économie	La loi de modernisation de l'économie (LME) est une loi du 4 août 2008, constituée de quatre grands volets : encourager les entrepreneurs, relancer la concurrence, renforcer l'attractivité du territoire et améliorer le financement de l'économie
LOS	Line of sight	Ligne de vue
LTE	Long Term Evolution	Evolution de la norme 3G de téléphonie mobile vers la 4 ^{ème} génération.
MA-BLR	Modulation d'amplitude – Bande latérale résiduelle	Modulation utilisée pour la diffusion de la télévision analogique
MAN	Metropolitan Area Network	Réseau métropolitain de télécommunications.
MeD	Montée en Débit	Réaménagement de la boucle locale cuivre de France Télécom pour apporter de meilleurs débits et services.
MF	Medium Frequency (Moyenne Fréquence)	300 kHz à 3 MHz
MiMo	Multiple Input Multiple Output	Technique utilisée dans les réseaux sans fil permettant des transferts de données à plus longue portée et à plus grande vitesse qu'avec des antennes utilisant la technique SISO (Single-Input Single-Output).
MMDS	Multi Channel 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	Organisme ayant normalisé le codage et la compression de signaux vidéo numériques (notamment MPEG-2 et MPEG4-AVC)
MPLS	Multi-Protocol Label Switching	Standard permettant l'optimisation du routage des paquets IP dans un réseau d'opérateur ; il est indépendant des protocoles des couches 2 et 3 de l'ISO.
MVDS	Multipoint Video Distribution System	Autre terminologie utilisée pour le MMDS.
MVNO	Mobile Virtual Network Operator	
NA	Nœud d'Accès	
NO	Nœud Optique	Point d'interface entre le réseau de transport fibre et le réseau de distribution coaxial d'un réseau câblé HFC
NRA	Nœud de Raccordement d'Abonné	Le NRA est le siège du répartiteur général dans le réseau de boucle locale de France Télécom. C'est au niveau du NRA que les opérateurs alternatifs disposent de l'accès à la boucle locale et peuvent dégroupier les lignes de leurs abonnés
NRA-MeD	Nœud de Raccordement d'Abonné	Nœud de Raccordement d'Abonné spécifiquement créé pour la montée en débit sur cuivre, sur le site d'une armoire de sous-répartition
NRA-ZO	Nœud de Raccordement d'Abonné en Zone d'Ombre	NRA créés afin de réduire la distance de ligne des abonnés pour certains sites, d'augmenter le débit des services DSL sur ces lignes et de supprimer les lignes inéligibles.

NRO	Nœud de Raccordement Optique	Point de concentration du réseau en fibre optique d'un opérateur ou où sont installés les équipements actifs. Dans certains cas, le NRO peut assurer la fonction de PM.
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	
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
OPEX	Operations Expenditure	Coûts d'exploitation
P2P	Point à Point	Terme utilisé pour décrire une architecture de réseau Point à Point
PBO	Point de Branchement Optique	Nœud de l'architecture du réseau d'accès à partir duquel sont branchés les clients
PDC	Point de Distribution Collectif	Interface physique entre un réseau câblé et une installation coaxiale collective
PIRE	Puissance Isotrope Rayonnée Équivalente	
PNTHD	Programme National Très Haut Débit	Programme national en faveur du très haut débit défini par le gouvernement en juin 2010 avec un objectif de couverture de 100% de la population en 2025.
PM	Point de Mutualisation	Point d'extrémité où l'opérateur d'immeuble donne accès aux lignes à d'autres opérateurs. A partir de ce « point » dans l'architecture réseau des opérateurs, le réseau très haut débit en fibre optique est mutualisé entre les opérateurs (en desserte vers les abonnés).
PON	Passive Optical Network	Réseau Optique Passif - Terme générique regroupant les architectures de réseau d'accès de type partagé et fondé sur les technologies fibres optiques. Elles se déclinent généralement en PON, E-PON et G-PON.
PPP	(Contrat de) Partenariat Public Privé	
PRM	Points de Raccordements Mutualisés	Offre de référence France Télécom pour l'accès à la sous-boucle filaire, en mono injection, selon les recommandations de l'ARCEP de juin 2011.
QAM	Quadrature amplitude modulation	
QDMA	Quadruple Division Multiple Access	Protocole pour les réseaux radio.
QPSK	Quadrature phase shift keying	
ReADSL	Reach Extended ADSL	Technique d'accès permettant d'accroître la portée de l'ADSL (annexe L de la recommandation G.992.3 de l'UIT)
RF	Radio Fréquence	
RFoG (RFoF)	Radio Frequency over Glass (Radio Frequency over Fiber)	
RIP	Réseau d'Initiative Publique	Infrastructures de réseaux de communications électroniques établies sur son territoire par une collectivité en maîtrise d'ouvrage directe ou en délégation.
R-LAN	Radio Local Area Network	Réseau local radio
SCORAN	Stratégie de Cohérence Régionale sur l'Aménagement Numérique	La SCORAN est une instance de concertation Etat-Collectivités pour fixer des ambitions et garantir une cohérence d'aménagement numérique du territoire.
SCTE	Society of Cable Telecommunications Engineers	
SDTAN	Schémas Directeurs Territoriaux d'Aménagement Numérique du Territoire	Créé par la loi PINTAT du 17/12/2009
SHF	Super High Frequency (Super Haute Fréquence)	3 GHz à 30 GHz
SLF (SBF)	Super Low Frequency (Super Basse Fréquence)	30 Hz à 300 Hz
SR	Sous Répartiteur	Point de raccordement des abonnés sur la boucle locale cuivre de France Télécom
TDM	Time Division Multiplexing	Le multiplexage temporel permet à un émetteur de transmettre plusieurs canaux numériques élémentaires (voix, données, vidéo) sur un même support de communication à plus haut débit en entrelaçant dans le temps des échantillons de chacun de ces canaux.

TDMA	Time Division Multiple Access	Norme de multiplexage temporel appliquée à la téléphonie mobile.
TdR	Tête de réseau	
Terahertz		Bande de fréquences allant de 300 GHz à 3.000 GHz
THD	Très Haut Débit	Accès à internet avec un débit supérieur à celui d'un accès à haut débit de type ADSL (critères européens : supérieur à 30 Mbit/s dans le sens descendant)
TNT	Télévision Numérique Terrestre	
TPE	Très Petite Entreprise	
TVHD	Télévision Haute Définition	
UHD TV	Ultra High Definition Television	Successeur de la HDTV, conduisant à la norme MPEG-H basée sur le codec H. 265
UHF	Ultra High Frequency (Ultra Haute Fréquence)	300 MHz à 3 GHz
UIT-T	Union Internationale des Télécommunications	Organisation intergouvernementale technique de coordination
ULF (UBF)	Ultra Low Frequency (Ultra Basse Fréquence)	300 Hz à 3.000 Hz
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System	Norme constituant l'implémentation européenne des spécifications IMT-2000 de l'UIT pour les systèmes radio cellulaires 3G.
US	Upstream	
VD	Voie descendante	
VDSL	Very High Speed Digital Subscriber Line	
VHF (THF)	Very High Frequency (Très Haute Fréquence)	30 MHz à 300 MHz
VLAN	Virtual LAN	Réseau Local Virtuel
VLF (TBF)	Very Low Frequency (Très Basse Fréquence)	3 kHz à 30 kHz
VOD	Video On Demand	La vidéo à la demande est une technique de diffusion interactive de contenus vidéo numériques offerts ou vendus par les réseaux câblés, comme Internet, ou les réseaux non câblés, comme la téléphonie 3G.
VOIP	Voice Over IP	La voix sur réseau IP, ou « VoIP » pour Voice over IP, est une technique qui permet de communiquer par la voix via l'Internet ou tout autre réseau acceptant le protocole TCP/IP.
VR	Voie remontante	
WDM	Wavelength Division Multiplexing	Système de multiplexage en longueurs d'onde mis en œuvre dans les transmissions sur fibres optiques et partageant la ressource de transmission (la fibre) entre plusieurs flux transmis par des lasers spécifiques émettant à des longueurs d'ondes différentes; à l'arrivée le signal optique est filtré pour isoler les différents signaux élémentaires.
Wi-Fi	Wireless Fidelity	Label lié aux matériels conformes aux normes IEEE 802.11
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access	Famille de normes, définissant les connexions à haut-débit par voie hertzienne.
W-LAN	Wireless Metropolitan Area Network	Voir R-LAN
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
ZMD	Zones moins denses	Les ZMD correspondent au complément des zones très denses.
ZTD	Zones très Denses	Cadre réglementaire défini par l'ARCEP. Elles regroupent 148 communes réparties sur 20 agglomérations ; le reste du territoire est défini « hors des zones très denses ».

LISTE DES ADHÉRENTS AU CREDO

3M Télécommunications	GISMARTWARE
ACOME	IDEA OPTICAL
ADP	IFOTEC
ALTEIS	INFRACTIVE
AMBITION TELECOM ET RESEAUX	INSTITUT MINES TELECOM
ARTERIA/RTE	ITEDEC
ARUFOG	IUT de SAINT-MALO
AUBAY	JDSU
AXIONE	LASER 2000
BEM INGENIERIE	LEBON CONSEIL
CADAGEO	LOOPGRADE
CAISSE DES DEPOTS	LYCEE LE DANTEC
CETE de LYON	MITSUBISHI ELECTRICITE
CETE de L'OUEST	NIEVRE NUMERIQUE (CG 58)
CEV	NORD FIBRE OPTIQUE
CIRCET	NOVEA
CONSEIL GENERAL DE COTE D'OR (CG 21)	OPTERNA
COLLECTIVITE TERRITORIALE DE CORSE	RATP
DOTIC	SERPOLLET. COM
DRIVOPTIC	SETICS
EGIS	SNCF
E RESO	SOBECA
ERI-INFORMATER	SOCOTEC
ERT TECHNOLOGIES	TACTIS
ESIGELEC	TELCITE
FIBAPT	TELECOM SAINT-ETIENNE
FORMA 2000+	TELECOM SUD PARIS
FORTEL	TYCO ELECTRONICS
FNCCR	VIERLING Communication
GRANIOU	WAVIN NOVOTECH

LISTE DU COMITÉ ÉDITORIAL ET DES CONTRIBUTEURS

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

13.1 COMITÉ ÉDITORIAL

13.1.1 LIGNE ÉDITORIALE

Michel TRIBOULET :
Rapporteur du groupe de travail CREDO

13.1.2 COMITÉ ÉDITORIAL ET AUTEURS

Gilles BILLET : IFOTEC,
Hervé BRUNET : 3M,
Dominique CHAMPION : GRANIOU,
Bastien COLLET : E RESO,
Eric GANGLOFF : TELECOM SUD PARIS,
Thierry HOUDARD : AXIONE
Michel LEBON : LEBON CONSEIL,
François-Antoine LERICHE : GRANIOU,
Thomas MARGOGNE : TACTIS,
Joël MAU : INSTITUT MINES-TELECOM,
Christophe NIEL : DOTIC,
Philippe PAUTONNIER : TACTIS,
Serge PUJOL : CETE de l'OUEST,
Claude RICHARD : ALTEIS,
Michel TRIBOULET : Fondateur E-RESO,
Dominique WATEL : DRIVOPTIC

13.2 COMITÉ DE RELECTURE

Juan BEZADA : Consultant 3M
TELECOMMUNICATIONS
Bertrand HAAS : Consultant indépendant
Luc GARCIA : FIRALP – SOBECA
Dominique LEROY : Consultant indépendant
Philippe THIBAUT : FIBAPT

13.3 PUBLICATION

Dominique WATEL : Président du CREDO,
Claude RICHARD : Délégué Général du CREDO

PUBLICATIONS ANTERIEURES DU CREDO

GUIDE DE CÂBLAGE OPTIQUE

1996



Ce guide, publié en 1996, fait le point sur l'usage des technologies fibre optique dans les infrastructures de câblage d'entreprise - bâtiments, campus, etc. - dans les réseaux fédérateurs et jusqu'à la prise terminale de bureau.

Il s'adresse à tous les acteurs intervenant dans les infrastructures et applications de télécommunications et réseaux.

Il décrit l'architecture générale, les concepts d'ingénierie et produits associés, les caractéristiques des composants mis en œuvre, les règles de mise en œuvre, les règles de contrôle, l'exploitation et les applications ainsi que la normalisation.

Cette brochure est devenue depuis sa publication, l'ouvrage de référence en matière de câblage optique.

GLOSSAIRE DU CÂBLAGE OPTIQUE

1997



Près de 400 définitions du vocabulaire propre à la technologie de la fibre optique sont recensés dans ce glossaire du câblage optique.

Cet ouvrage est organisé par thèmes et rubriques : lois optiques, fibres, câbles, contenants et accessoires, mesures et appareils, composants passifs et actifs, raccordement, systèmes de transmission, pose, outillage...

Ce classement en rubriques permet, outre la recherche alphabétique, d'élargir la connaissance à d'autres termes proches, relevant du même domaine.

MESURE ET RECETTE D'UN CÂBLAGE OPTIQUE

1998



Cet ouvrage présente, dans le cadre de l'état de l'art actuel, les principes et la méthodologie de contrôle des installations à fibres optiques.

Véritable référentiel du contrôle, cet ouvrage répond à l'attente du marché en matière de clarification des prestations des professionnels.

Pour chaque stade de réalisation, il précise les contrôles et mesures à effectuer et délimite les responsabilités de chaque intervenant.

Outre une méthodologie de mesures et précautions opératoires, le guide propose un cahier de recette pour suivre l'évolution du réseau et en faciliter la maintenance. Il comporte un glossaire spécifique des mesures et recette.

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

1998



Ce premier ouvrage de recommandations, publié en 1998 est entièrement dédié aux réseaux métropolitains fibre optique. Il répond à un double objectif : guider les élus locaux désireux de construire des GFU dans leurs choix technologiques et financiers et fournir aux services techniques un référentiel sur les règles d'architecture, le choix des technologies, les règles de mise en œuvre et de contrôle. Ce guide de 44 pages est divisé en deux parties.

Une première partie destinée à éclairer les maîtres d'ouvrage sur l'apport du MAN (Metropolitan Area Network) à la Collectivité Locale et à ses administrés, son environnement réglementaire, ses modalités de réalisation et de gestion et les coûts afférents. La deuxième partie, à l'intention des services techniques, traite de l'ingénierie de câblage, du choix des composants, des règles d'installation, de mise en œuvre et des étapes de contrôle.

OPTIQUE : LES ACTEURS, CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

1999



Le savoir-faire des intervenants est un élément décisif aussi stratégique que la qualité des technologies pour la réalisation d'un câblage optique. La lecture de ce guide fournit les éléments indispensables pour l'appréciation et le choix du prestataire le mieux adapté aux besoins et objectifs d'un projet.

Cet ouvrage s'adresse aux entreprises qui envisagent de se doter d'un câblage optique : de la PME, pour sa communication d'entreprise, à l'opérateur de télécommunication grande distance.

La mise en place d'un réseau de communication se décompose en différentes étapes, de la phase d'étude à l'exploitation, en passant par la réalisation. Le guide reprend cette décomposition en décrivant à chaque étape, les missions correspondantes et les métiers associés : concepteur, acheteur, installateur, intégrateur, expert. Après avoir défini précisément en quoi consiste chaque métier, l'ouvrage détermine les connaissances et compétences que l'on est en droit d'attendre de chaque intervenant.

RÉSEAU FIBRE OPTIQUE ÉTENDU MAN-WAN : GUIDE DE RÉALISATION 2001



Cet ouvrage porte sur la réalisation d'un Réseau Fibre Optique Étendu. Il s'adresse aux spécialistes du domaine et leur apporte des réponses aux questions d'actualité, ainsi que des recommandations sur les réseaux MAN-WAN.

Le guide dresse en premier lieu un état des applications mises en œuvre sur les réseaux longues distances - SDH et DWDM, ainsi que les applications métropolitaines plus spécifiques.

Il fait le point sur les différents types de fibres monomodes mis en œuvre sur ces réseaux et les critères de choix associés. Avec de nombreuses photographies et illustrations, il décrit l'état de l'art des différents composants mis en œuvre sur ces infrastructures : câbles, connectique, accessoires de raccordement et répartiteurs, ainsi que les règles de mise en œuvre, de contrôle et d'exploitation.

LA FIBRE OPTIQUE DANS LES RÉSEAUX D'ENTREPRISE

2002



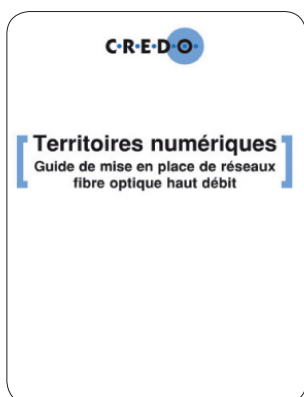
Quelle fibre optique choisir pour votre infrastructure de réseau ? Quelle distance déployer ? Quelle connectique mettre en œuvre ? Comment évoluent les normes et standards ? Votre infrastructure supporte-t-elle les nouveaux réseaux Gigabit Ethernet ou 10 Gigabit Ethernet ?

Dans un environnement en forte évolution, le dernier ouvrage du CREDO actualise les données sur l'usage des technologies fibre optique dans les infrastructures de réseau d'entreprise - bâtiments, campus, etc.

Ouvrage de référence, ce guide s'adresse à tous les acteurs intervenant dans la réalisation ou l'exploitation d'infrastructures de réseaux de télécommunications. Il introduit de manière didactique les principes fondamentaux de la transmission optique. Il traite des standards de câblage et des applications de réseaux d'entreprise et de leurs évolutions. Avec de nombreuses photographies et illustrations, il décrit l'état de l'art des différents composants mis en œuvre : fibres, câbles, connectique, répartiteurs et propose, pour chacun de ces composants un guide de choix. Il décrit enfin les règles de mise en œuvre, de contrôle et d'exploitation des infrastructures.

TERRITOIRES NUMÉRIQUES : GUIDE DE MISE EN PLACE DE RÉSEAUX FIBRE OPTIQUE HAUT DÉBIT

2003



Le développement de services multimédia à haut débit vers les usagers passe par la mise en place, au niveau régional et local, d'infrastructures de réseaux de collecte et d'accès à base de fibres optiques.

Cet ouvrage est destiné à éclairer les Collectivités Territoriales et acteurs impliqués dans le déploiement des réseaux à haut débit régionaux et métropolitains. Il constitue un véritable « condensé

d'expertise » et un référentiel précieux de l'état de l'Art des technologies et pratiques.

Il fournit au lecteur tous les éléments nécessaires sur les enjeux, l'organisation du marché, le contexte réglementaire et l'état de l'Art des architectures et technologies permettant de favoriser le développement des services à haut débit sur le territoire, tout en pérennisant les investissements et infrastructures.

DÉVELOPPEMENT DES RÉSEAUX À TRÈS HAUT DÉBIT : GUIDE DE MISE EN PLACE DES RÉSEAUX FTTH

2007



A la faveur d'un contexte réglementaire réadapté, les Collectivités Territoriales se sont désormais insérées dans le nouveau panorama des télécommunications en dotant leurs territoires des réseaux de collecte essentiels au développement de la concurrence entre opérateurs et des nouveaux services associés. Dans ce contexte, la refonte des réseaux d'accès n'apparaît plus aujourd'hui comme une alternative, mais constitue une condition essentielle

au maintien de l'attractivité numérique des territoires.

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

LES CONDITIONS POUR QUE LA MONTÉE EN DÉBIT SUR CUIVRE NE SOIT PAS UN FREIN AU DÉPLOIEMENT DU FTTH

2011



Ce fascicule édité en juin 2011, exprime clairement la vision du CREDO pour que les opérations de montée en débit (MeD), temporaires mais souvent nécessaires pour éviter une fracture numérique du très haut débit, s'inscrivent dans une logique de déploiement généralisé des réseaux à fibres optiques sur le territoire.

Ce document met en évidence, sous forme de recommandations, les risques, les enjeux et le rôle que devraient jouer les Collectivités Territoriales.

GUIDE DE MISE EN PLACE DES RÉSEAUX D'ACCÈS FTTH : LE DÉPLOIEMENT SUR L'ENSEMBLE DU TERRITOIRE À L'EXCEPTION DES ZONES TRÈS DENSES

2012



Pour le CREDO, le réseau cible satisfaisant à tous les critères techniques de pérennité, de disponibilité et de qualité s'appuiera obligatoirement sur un réseau d'accès en « fibre optique ». C'est dans cet esprit que le Cercle a orienté ses travaux sur le déploiement des réseaux d'accès FTTH dans les zones moins denses (ZMD), définies comme l'ensemble du territoire français à l'exception des zones très denses (ZTD). En se référant à la décision idoine de l'ARCEP (décision n°2010-1312 du 14 décembre 2010), le CREDO fournit aux acteurs du domaine un guide de recommandations, dans le même esprit que le guide de

mise en place des réseaux FTTH paru en 2007. Dans ces zones moins denses, le Cercle, fort de son expertise et de sa maîtrise technique, met à disposition des collectivités territoriales un référentiel de l'état de l'art des architectures, des technologies et des techniques de mise en œuvre et d'exploitation des réseaux d'accès FTTH dans une logique de mutualisation des infrastructures et des coûts.

En expliquant clairement sa vision et en étant force de propositions, le CREDO participe activement au développement des services numériques sur le territoire.

L'association des métiers et expertises pour le Très Haut Débit

Février 2014

11-17, rue de l'Amiral Hamelin - Paris 75016

Retrouvez tous nos événements
et publications sur notre site

www.cercle-credo.com

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

