



## LIVRE BLANC

# Les réseaux PON « Passive Optical Network »

*Eléments d'appréciation techniques, économiques et réglementaires*

18 Décembre 2006

# SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>PREAMBULE</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>QU'EST-CE QU'UN RESEAU PON ?</b> .....	<b>5</b>
2.1	<b>La technologie PON dans les réseaux d'accès très haut débit</b> .....	<b>6</b>
2.2	<b>Comment fonctionne un réseau PON ?</b> .....	<b>8</b>
2.2.1	Les principes de base .....	8
2.2.2	Le PON accepte toutes les topologies de réseau .....	10
2.2.3	Les avantages de la fibre optique combinés aux performances d'équipements de réseaux entièrement passifs .....	11
<b>3</b>	<b>UN RESEAU PON EST NEUTRE TECHNOLOGIQUEMENT</b> .....	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>LES RESEAUX PON AUTORISENT LA MUTUALISATION DES INFRASTRUCTURES PASSIVES</b> .....	<b>15</b>
4.1	<b>Organisation des infrastructures passives :</b> .....	<b>15</b>
4.2	<b>Mutualisation passive du PON</b> .....	<b>17</b>
4.3	<b>Dimensionnements comparés</b> .....	<b>20</b>
<b>5</b>	<b>UN RESEAU PON EST ACCESSIBLE, EN MODE ACTIF, A TOUS LES OPERATEURS</b> .....	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>LE PON : UNE TECHNOLOGIE UTILISEE PAR TOUTES LES CATEGORIES D'OPERATEURS</b> .....	<b>26</b>
<b>7</b>	<b>LE PON : DES PERFORMANCES ADAPTEES A TOUS LES BESOINS.</b> .....	<b>30</b>
7.1	<b>Les débits offerts par les réseaux Ethernet point à point</b> .....	<b>30</b>
7.2	<b>Les débits offerts par les réseaux PON</b> .....	<b>31</b>
7.3	<b>Comparaison avec le mode « Bitstream » sur la boucle de cuivre</b> .....	<b>32</b>
7.4	<b>Les réseaux PON offrent toutes les garanties de sécurité et de fiabilité:</b> .....	<b>34</b>
7.4.1	Fiabilité .....	34
7.4.2	Confidentialité des données.....	35
<b>8</b>	<b>LES RESEAUX PON, UTILISES EN MODE PARTAGE, PERMETTENT AUX OPERATEURS DE FAIRE DES OFFRES DE SERVICES DIFFERENCIEES</b> .....	<b>37</b>
8.1	<b>Services résidentiels</b> .....	<b>37</b>
8.2	<b>Services aux entreprises</b> .....	<b>39</b>
<b>9</b>	<b>LE PON : UNE TECHNOLOGIE PERENNE QUI ANTICIPE LES BESOINS A VENIR</b> .....	<b>43</b>
<b>10</b>	<b>LE DEPLOIEMENT DE RESEAUX PON EN MODE ACTIF : UN FACTEUR DE DIVERSIFICATION ET D'ACCELERATION DE LA CONCURRENCE</b> .....	<b>45</b>
10.1	<b>Mutualisation optique active et « bitstream » sur paire de cuivre</b> .....	<b>46</b>
10.2	<b>Mutualisation active : ouvrir le champ de la concurrence par les services</b> .....	<b>46</b>
10.3	<b>Mutualisation active, collectivités et utilisateurs finals</b> .....	<b>47</b>
10.4	<b>La concurrence, à partir d'un réseau PON, diffère en tous points de celle générée par   les réseaux câblés</b> .....	<b>48</b>
<b>11</b>	<b>LES RESEAUX PON : UNE ECONOMIE D'INVESTISSEMENT ET D'EXPLOITATION</b> .....	<b>49</b>
11.1	<b>Des coûts d'investissement favorisant un environnement multi-opérateurs</b> .....	<b>49</b>
11.2	<b>Les réseaux PON : des charges d'exploitation optimisées</b> .....	<b>52</b>
11.3	<b>Co-existence possible des technologies FTTH et des modes d'exploitation</b> .....	<b>53</b>
<b>12</b>	<b>ANNEXES</b> .....	<b>56</b>
	<b>GLOSSAIRE</b> .....	<b>57</b>

## PREAMBULE

Le développement, en France, de réseaux d'accès à très haut débit sur fibre optique (FTTx)<sup>1</sup> est quasiment inexistant, alors même qu'il connaît une très forte croissance dans nombre de pays. Le Japon voit, pour la première fois, en 2005, la proportion de liaisons d'abonnés sur fibre optique dépasser celle sur DSL, les Etats-Unis et en particulier les collectivités locales, en 2006, mettent en œuvre des programmes de plusieurs millions de lignes FTTx, les pays scandinaves montrent également un dynamisme très fort dans ce domaine.

Pendant que ces pays évoluent vers le très haut débit, la France s'interroge : le Ministère de l'Industrie a dévoilé le 27 novembre dernier, un plan d'action du très haut débit, avec l'objectif d'atteindre 4 millions d'abonnés au très haut débit en 2012. Par ailleurs, l'Autorité de Régulation des Communications Electroniques et des Postes (ARCEP) a entrepris une série de réflexion sur les moyens de favoriser les déploiements de réseaux d'accès à très haut débit<sup>2</sup> Si ces démarches peuvent se justifier par la création d'un contexte favorable à l'essor du très haut débit il convient également d'éclairer le débat actuel sur les caractéristiques des technologies FTTx (réseaux fibre point à point contre point à multipoints, infrastructures passives contre réseaux actifs)

La neutralité technologique est en effet un facteur essentiel à l'ouverture des marchés, au succès d'un plan national en faveur du très haut débit et à la bonne intégration de ces technologies d'accès dans des politiques publiques territoriales. Les économies en termes de coûts d'investissement comme de charges d'exploitation entrent également directement dans l'objectif de ces politiques, tout comme la pérennité et l'évolutivité des technologies au regard de celles qui suivront constituent un troisième facteur essentiel. La technologie PON est une des solutions techniques qui satisfont à ces exigences.

Ce Livre Blanc, porté par un ensemble d'industriels et équipementiers du domaine, a pour objet de montrer en quoi les technologies PON se sont précisément développées pour répondre à ces critères, à travers leur standardisation, la plus universelle possible (Ethernet-IP), les économies d'investissement et d'exploitation qu'elles génèrent compte tenu de leur capacité de mutualisation et d'administration, et conséquemment la baisse des barrières à l'entrée qu'elles entraînent pour tous les opérateurs du marché.

---

1 FTT(x) – Réseaux fibre optique : (U) à l'abonné, (H) à la maison, (B) à l'immeuble, (N) au répartiteur, (C) au trottoir...

2 Voir : <http://www.art-telecom.fr/fileadmin/reprise/dossiers/fibre/slides-fttx-prog-101106.pdf>

Le PON est d'ores et déjà significativement déployé dans le monde, notamment en Amérique du Nord et en Asie. Le PON est cependant considéré, en France, comme une technologie nouvelle qui suscite des interrogations de la part d'acteurs déjà en place, mais également du côté institutionnel et public.

Il convient, en outre, de créer les conditions pour que les technologies PON accompagnent, tout comme d'autres, les acteurs publics dans la conduite de leurs projets d'aménagement numérique de manière optimisée et pérenne.

En France, les collectivités territoriales disposent, depuis 2004, d'un cadre juridique adapté - l'article L 1425-1 du Code général des collectivités territoriales - qui leur permet d'occuper le champ des réseaux de communications électroniques sans restriction. Il ne faudrait pas, qu'à l'heure de l'essor des technologies FTTx, cette compétence leur soit déniée et leur statut ramené six ans en arrière, au temps des infrastructures fibre noire.

Ce Livre Blanc vise à éclairer le débat sur les technologies d'accès. Au fil des pages il démontre comment les technologies PON sont neutres, autorisent la mutualisation des infrastructures passives et l'accès de tous les opérateurs à des offres de capacités en gros, présentent toutes garanties de sécurité et de fiabilité. A partir de ces réseaux PON, les opérateurs sont capables de faire des offres de service différenciées. Les réseaux PON offrent une technologie pérenne qui anticipe les besoins à venir et va contribuer à accélérer et diversifier la concurrence tant par les infrastructures que par les services.

L'argumentaire développé dans ce document doit permettre aux responsables des programmes d'aménagement et aux collectivités territoriales de disposer de véritables critères de décision fondés sur l'explicitation des caractéristiques des technologies PON et sur des retours d'expériences.

# 1 Qu'est-ce qu'un réseau PON ?

Les réseaux d'accès Point à Multipoints sur fibre PON utilisent la technologie du Réseau Optique Passif (PON - « *Passive Optical Network* »).

Les technologies PON constituent aujourd'hui une référence en matière de réseaux d'accès très haut débit dans la mesure où elles concilient très forte capacité de transport et minimisation des infrastructures fibres nécessaires. Ces technologies utilisent des réseaux optiques passifs : optiques, car ils utilisent comme infrastructure sous-jacente des fibres optiques, passifs car les équipements de la partie intermédiaire de ces réseaux sont inactifs : ils ne sont pas alimentés en électricité et n'embarquent aucune électronique. Ces réseaux permettent un service d'acheminement de flux bidirectionnels et multimédia à très haut débit, jusqu'à l'utilisateur final, entreprise ou particulier.

Les réseaux PON ont fait l'objet de procédures de normalisation au niveau international par les principaux organismes de normalisation : l'ITU (International Telecommunication Union) et le FSAN (Full Service Access Network), l'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers).

Afin de réduire les coûts d'infrastructure, poste prépondérant dans les investissements, les réseaux PON innovent par l'utilisation de composants passifs sur le parcours de la fibre optique, permettant de diviser le signal optique sur plusieurs branches secondaires, également en fibre optique. Les informations seront donc démultipliées dans leur trajet vers l'utilisateur final à la manière classique des réseaux d'acheminement d'eau, de gaz ou encore d'électricité. Dans le sens utilisateur vers réseau, les signaux optiques issus des différentes branches sont additionnés. Des mécanismes d'allocation permettent d'éviter les collisions entre informations émises par les utilisateurs en partageant l'usage de la ressource optique dans le temps. En outre, en éliminant la nécessité d'installer des équipements actifs intermédiaires, alimentés électriquement, entre le point de présence de l'opérateur et l'abonné, les réseaux PON diminuent fortement les contraintes d'exploitation des réseaux optiques.

Les services de transport proposés dans ce cadre sont accessibles à tous les types d'opérateurs. Ils s'appuient sur la mutualisation des infrastructures de génie civil (tranchées, canalisations, chambres techniques, fourreaux), de la fibre noire mais aussi sur le partage de la couche active. Les réseaux PON trient les flux et permettent de partager des VLAN sans contraintes pour l'utilisateur, chacun des VLAN étant spécifique aux opérateurs partageant ces infrastructures. Ces réseaux sont en fait configurés pour être utilisés par plusieurs opérateurs simultanément, que ce soit auprès de la clientèle résidentielle ou professionnelle.

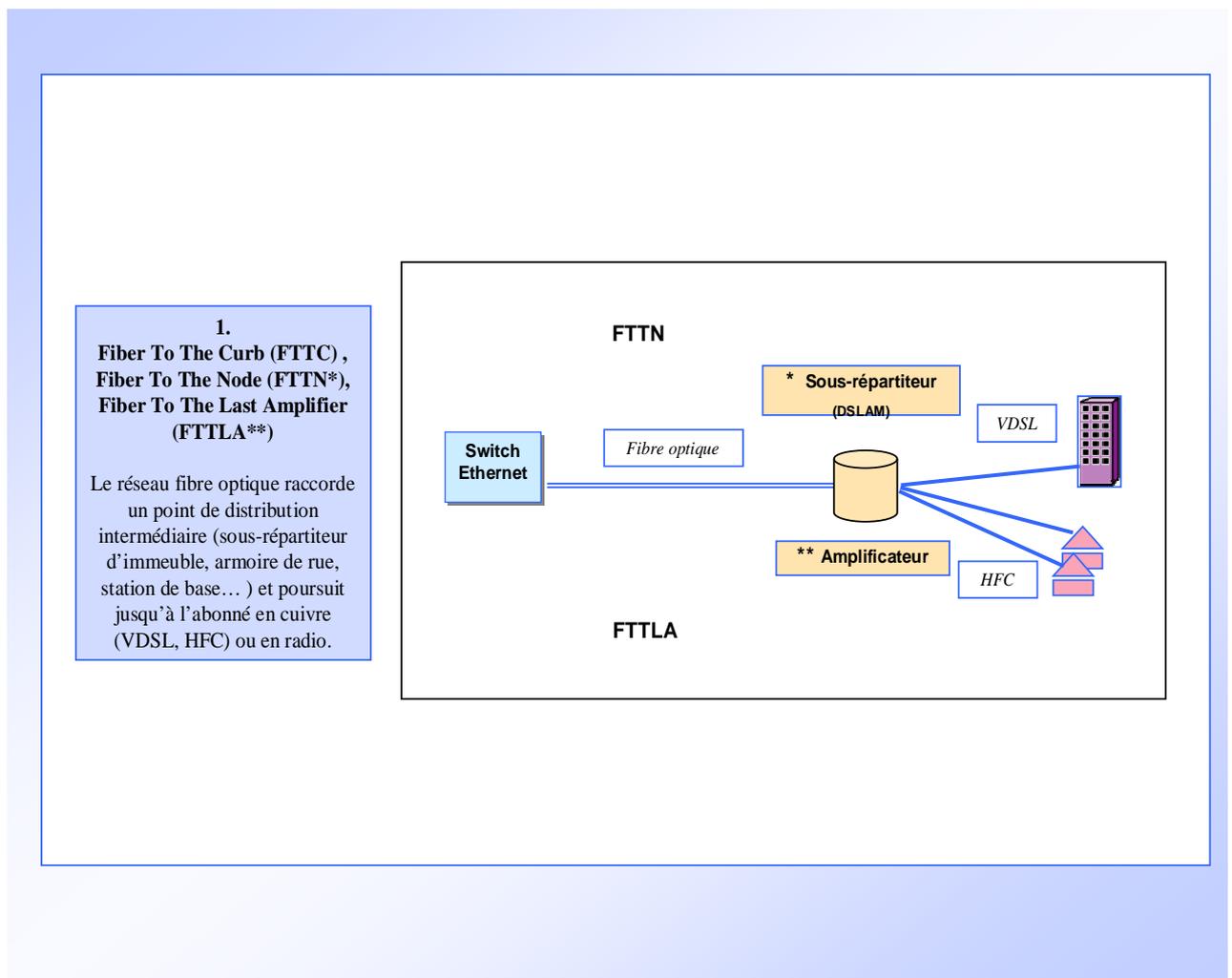
La forte capacité de mutualisation à tout niveau et la granularité des offres de transport simultanées qu'autorisent ces réseaux exploités en mutualisation active rendent ainsi le marché accessible non seulement aux opérateurs de taille significative mais aussi aux opérateurs de services plus modestes, porteurs de forte valeur ajoutée.

Cette technologie favorise ainsi l'introduction de nouveaux services et de nouveaux acteurs sur le marché, en complément des opérateurs actuels, pour leur part en mesure soit de déployer de la fibre optique dédiée à leurs seuls besoins, soit d'être locataires de fibre noire, notamment auprès de collectivités territoriales.

## 1.1 La technologie PON dans les réseaux d'accès très haut débit

Les grandes familles de réseaux FTTx sont résumées dans les tableaux ci-dessous.

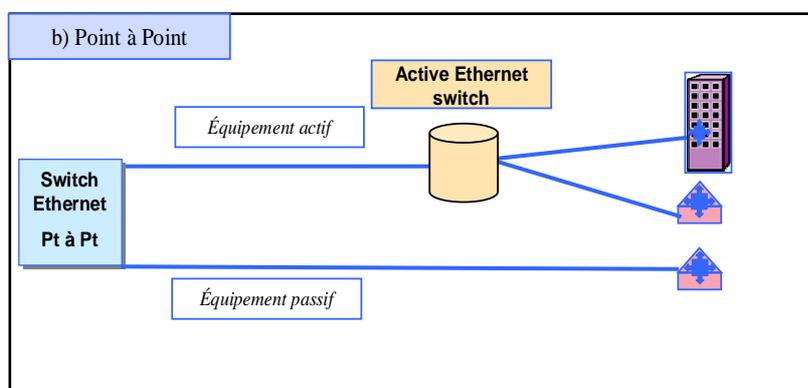
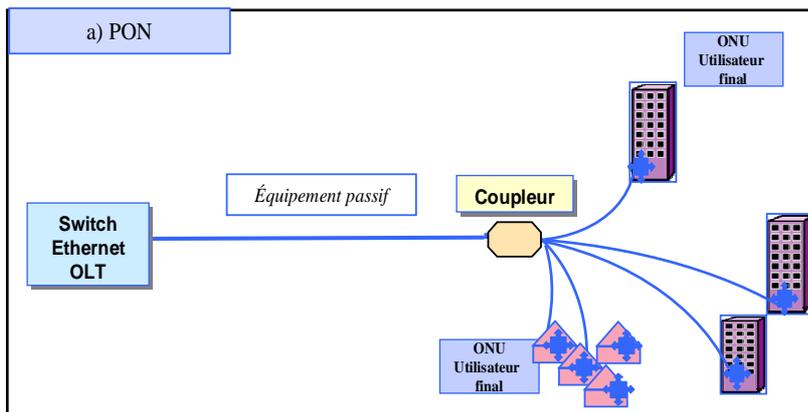
### Deux familles principales



**2.  
Fiber To The User  
(FTTU/FTTH/ FTTB)**

Le réseau fibre optique raccorde jusqu'à l'utilisateur final (habitation, immeubles bureaux ou résidentiel) selon 2 modalités:

- a) Point à multi-points (PON)
- b) Point à point (Ethernet point à point)

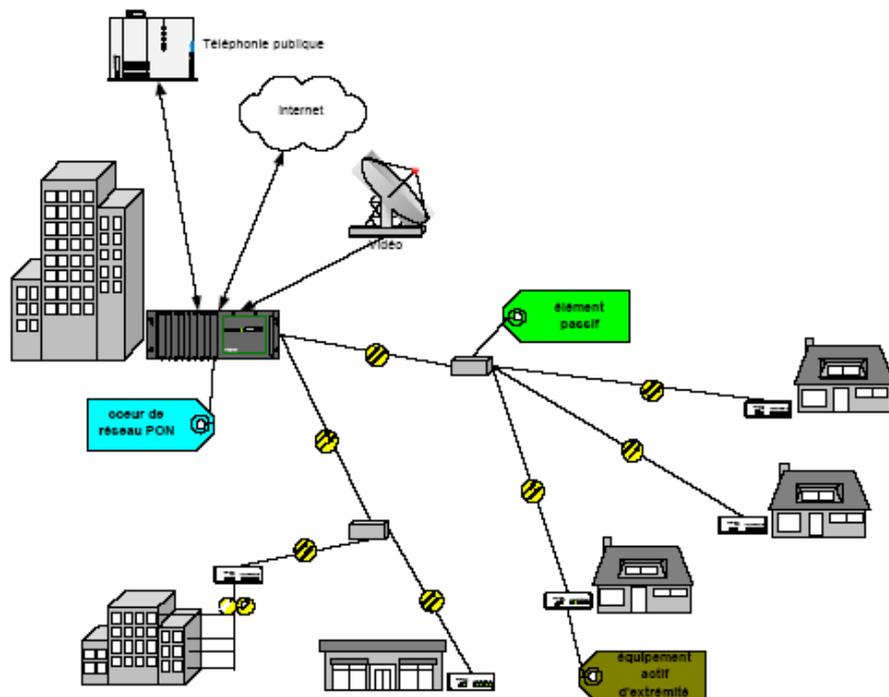


## 2.2. Comment fonctionne un réseau PON ?

### 2.2.1. Les principes de base

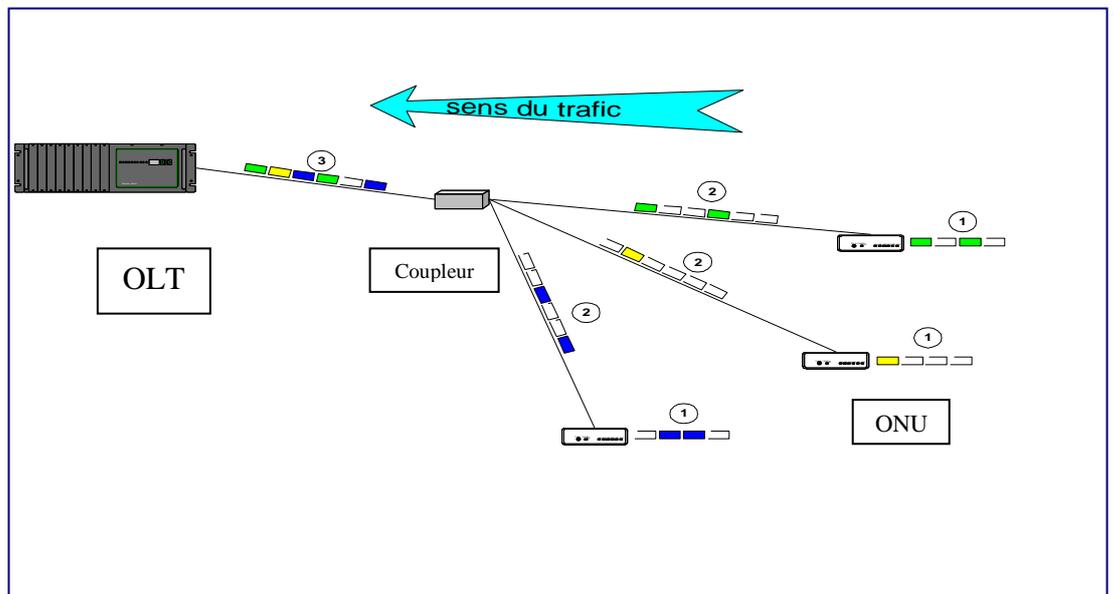
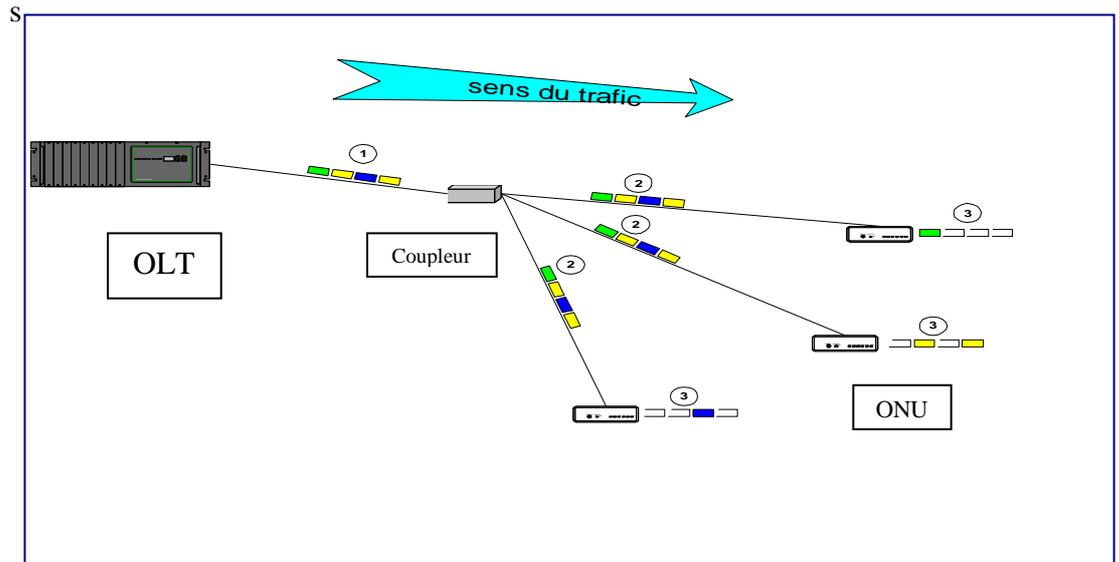
Un réseau PON, représenté schématiquement dans les figures ci-dessous, comporte un nœud de raccordement optique (NRO), sur lequel sont connectées des sources multiples de services (vidéo, Internet et téléphonie classique). Ce NRO est lui même interconnecté, via la fibre optique, aux utilisateurs finals. On distingue trois composants principaux dans un réseau PON :

- Un équipement actif positionné au NRO a pour fonction d'assurer d'un côté l'interconnexion du réseau PON avec les autres réseaux, de l'autre d'animer l'information au sein du réseau PON par l'illumination des différentes fibres optiques. Cet équipement est appelé communément OLT pour « Optical Line Terminal » ou « Terminaison de Ligne Optique ».
- Des équipements actifs, installés chez les utilisateurs finals du réseau et qui assurent la connexion avec les terminaux de l'utilisateur, sur les interfaces spécifiques de ces derniers (RJ45 cuivre pour le PC sur Internet, connecteur coaxial pour la télévision, RJ11 cuivre pour le téléphone analogique, ...). Cet équipement est appelé communément ONU ou ONT pour « Optical Network Unit », « Optical Network Terminaison » ou « Terminaison de Réseau Optique ».
- Des composants passifs, installés sur le cheminement de la fibre optique entre l'OLT et les ONU. Ils ont pour rôle de partager le signal optique pour la voie dite descendante (de l'OLT vers les ONUs) et de recomposer le signal à partir des multiples signaux remontants dans l'autre sens (des ONUs vers l'OLT). Ces équipements sont appelés communément « splitters » ou coupleurs/découpleurs.



L'architecture d'un réseau PON vise à réduire l'utilisation des fibres optiques que l'installateur positionnera dans le réseau souterrain. Il s'agit principalement de réseaux arborescents, où chaque noeud séparant la fibre optique en branches secondaires est représenté par un coupleur. Plusieurs coupleurs peuvent être utilisés sur le parcours d'une fibre optique.

L'utilisation des coupleurs permet de constituer des arbres de transmission passifs. Ces arbres, caractérisés par le départ d'une seule fibre à l'OLT, constituent un élément de base des réseaux PON. Le PON utilise à la fois un multiplexage temporel et fréquentiel en longueur d'onde afin de réduire au minimum le nombre de fibres optiques utilisées dans le réseau. Un arbre PON reliant l'OLT aux ONUs n'utilise qu'une seule fibre optique par branche.



### 2.2.2. Le PON accepte toutes les topologies de réseau

Un réseau d'accès PON s'adapte aux topologies en fonction des contraintes du terrain et des besoins des clients grâce à l'utilisation des coupleurs optiques totalement passifs et modulaires, positionnés au plus près des abonnés, le tout sans nécessiter d'armoires de rue dédiées ni d'alimentation spécifique. Les coupleurs autorisent tous les types de topologies possibles: en étoile, en arborescence, en bus.

Cette flexibilité dans la conception du réseau permet un déploiement beaucoup plus simple qu'avec toutes les technologies nécessitant des équipements actifs entre les têtes de réseau et les abonnés.

Les réseaux PON peuvent ainsi être dimensionnés de façon optimale et économique quelles que soient les densités rencontrées.

Pour répondre à la croissance du nombre d'utilisateurs et à l'augmentation de la consommation de services et donc de bande passante sur une zone, on procède à un simple ajout de coupleurs optiques sur le réseau. Un léger surdimensionnement des coupleurs lors de la conception de départ (en installant des coupleurs 1x4, 1x8, 1x16 voire 1x32 par exemple) avec quelques ports non utilisés permet également très simplement d'étendre le réseau initial vers de nouveaux abonnés.

En outre, le support fibre permet d'envisager des services ou des débits insoupçonnés aujourd'hui, grâce à l'augmentation de débit nominal de fonctionnement ou à la possibilité de multiplexage en longueur d'onde WDM, si bien qu'un réseau de fibres et de coupleurs PON, déployé aujourd'hui, permettra, sans évolution de la base installée, de répondre aux besoins du futur.

### 2.2.3. Les avantages de la fibre optique combinés aux performances d'équipements de réseaux entièrement passifs

La transmission sur fibre optique permet de s'affranchir des contraintes environnementales telles les parasites électriques ou les interférences radio. Les courants induits, les radiations ou les effets électromagnétiques ne peuvent pas générer de bruit parasitant le signal lumineux sur la fibre et donc ne peuvent absolument pas perturber le trafic. En outre, la fibre optique présente une résistance face à la foudre incomparable au regard des autres supports.

Cela combiné au fait d'utiliser des coupleurs entièrement passifs assure une fiabilité sans équivalent, des coûts de maintenance extrêmement réduits et la possibilité de déployer le réseau d'accès dans des endroits où l'acheminement d'énergie, les contraintes en température, humidité ou les interférences électriques ne l'auraient pas permis.

Les réseaux PON ont classiquement (de par la norme) une portée de 20 kilomètres, quels que soient les flux transportés, ce qui permet en réalité de couvrir une superficie de 20 kilomètres de rayon sans aucun répéteur.

Ni la fibre optique, ni les coupleurs optiques ne nécessitent de composants actifs.

Les coupleurs optiques compacts et de très faibles dimensions, sont très accessibles et se déclinent en différents ratios allant de 1x2 à 1x32. A chaque étape la lumière est divisée et redirigée vers différentes directions, les budgets optiques étant totalement pris en compte et gérés par les normes PON elles-mêmes. Il est possible d'utiliser des coupleurs symétriques qui partagent la puissance optique équitablement mais il existe aussi, si la topologie le requiert, des coupleurs asymétriques qui peuvent n'extraire qu'une partie de la puissance lumineuse (très utiles en topologie en bus). Dans le sens utilisateur – réseau, les coupleurs optiques

additionnent purement et simplement les signaux optiques émis par les utilisateurs. Dans tous les cas, ces coupleurs optiques sont totalement passifs et ne requièrent ni alimentation électrique, ni protections environnementales spécifiques ou maintenance préventive. Ils peuvent être installés sans protection sur le terrain même si, par précaution, les opérateurs préfèrent habituellement les placer dans des armoires à même la voirie ou dans des chambres techniques équipés d'abris de protection).



Coupleur optique 1 x 2



Armoire de coupleurs

Différentes versions de technologies PON ont été normalisées afin de favoriser l'interopérabilité, principalement le BPON (Broadband PON ITU-T G.983), l'EPON (Ethernet PON, IEE.3ah) ou le GPON (Gigabit PON ITU-T G.984).

En résumé :

Le PON est une technologie normalisée au niveau international. L'architecture d'un réseau PON supporte toutes les topologies de réseau d'accès en fonction des contraintes du terrain et des besoins des clients. Ses atouts que sont la réduction de l'utilisation des fibres optiques, la possibilité de se dispenser d'armoires de rue dédiées ou d'alimentation électrique dans la partie intermédiaire du réseau, conduisent à minimiser l'encombrement du sous-sol et du sur sol. Le nombre limité de fibres terminées au niveau du nœud de raccordement optique permet enfin de restreindre la taille en superficie du local technique nécessaire.

En conséquence, cette technologie évite toute préemption du marché par un seul opérateur dont le réseau d'accès conduirait à une saturation des réserves techniques existantes ou à une sur-occupation du sous-sol considéré comme une ressource rare.

Ces réseaux permettent en outre un service d'acheminement de flux bidirectionnels et multimédia à très haut débit, qui autorise l'accès de tous les opérateurs sans contraintes de débits.

## 2 Un réseau PON est neutre technologiquement

Pour être considéré comme neutre technologiquement un réseau doit être ouvert, non contraignant et non discriminatoire, et, à ce titre, il doit, a minima, respecter les principes suivants :

- le réseau d'accès doit être transparent et ouvert de manière équitable aux flux de fournisseurs de services (qu'ils soient ou non opérateurs de ce réseau d'accès) ; ceux-ci ne doivent en aucun cas affecter son fonctionnement ni donc avoir un impact sur les autres opérateurs usagers du réseau d'accès ;
- le réseau d'accès doit être exploité et administré de manière neutre par rapport à tout autre réseau ;
- les interfaces entre points d'interconnexion au niveau du réseau d'accès doivent être normalisées et standardisées et ne pas présenter de frein technologique au développement de nouveaux services par les opérateurs usagers ;
- la problématique d'Authentification, d'Autorisation et de Facturation (Authentication, Authorization and Accounting : AAA) de l'utilisateur final doit être gérée de manière indépendante par l'opérateur de service usager du réseau, sans interface pour l'opérateur du réseau d'accès ni les autres opérateurs usagers.

Les réseaux d'accès PON Ethernet sont basés sur le protocole universel Ethernet et sont normalisés au niveau international. Ils remplissent les conditions d'ouverture et de neutralité technologique précédemment décrites dans la mesure où :

- les services de transport sont délivrés en tous points du réseau ;
- le réseau est transparent aux flux des opérateurs usagers qui peuvent fournir aux utilisateurs finals, quel que soit le média utilisé : Voix (voix sur IP ou traditionnelle), vidéo (RF ou IP), et données (IP, Flux Ethernet, VPN ...) ;
- les services de transport fournis aux opérateurs usagers (point à point Ethernet, point à multipoints Ethernet, point à point VLAN, point à multipoints VLAN, vidéo RF ...) le sont tous sur des interfaces standardisées (E1, POTS, natif VOIP sur Ethernet, Ethernet optique ou cuivre) ;
- l'opérateur de transport PON assure la gestion de l'accès/authentification, la gestion de la qualité de service (QoS) et la gestion de la bande passante, **par flux individualisés**, en **environnement multi-opérateurs** : tous les opérateurs transitant simultanément sur le réseau, qu'ils soient de services Internet, de services voix, de services vidéo ou de triple play, bénéficient de conduits étanches. La gestion des droits et des services aux utilisateurs finals est faite par chacun des opérateurs de services indépendamment des autres. L'utilisateur final peut ainsi bénéficier de flux en provenance de différents opérateurs sans contrainte.

- le système d'allocation de ressource, dédié au réseau PON, garantit l'étanchéité des flux entre différents fournisseurs de services et donc la neutralité du réseau en univers multi-opérateurs.
- Les équipements PON, qui supportent le protocole SNMP, sont de ce fait intégrables dans les plateformes de supervision de réseaux classiques (par exemple basées sur Open View de Hewlet Packard). Les variables d'exploitation sont renseignées dans des tables interrogeables et modifiables à distance.
- le processus d'Authentification, d'Autorisation, et de Facturation (AAA) de l'utilisateur final est géré de manière indépendante par l'opérateur de service, usager du réseau, sans contraintes de la part de l'opérateur du réseau d'accès ni des autres opérateurs usagers : le réseau permet de délivrer le service à l'utilisateur final soit sur ONT/ONU directement , soit sur un équipement propre à l'opérateur usager (type « opérateur box ») connecté à l'ONT/ONU par une interface standardisée. L'opérateur usager facture ses utilisateurs finals avec ses propres outils
- les services sont tous fournis sur interfaces normalisées, que ce soit côté opérateurs ou côté utilisateurs finals.

Le PON répond aux critères de neutralité technologique propres à tous les réseaux fonctionnant en mode ouvert et multi-opérateurs:

- il supporte tous types de flux de manière transparente pour les usagers,
- il garantit l'étanchéité des flux entre opérateurs,
- les services de transport sont délivrés sur interfaces standardisées,
- l'opérateur de transport PON assure la gestion de la qualité de service (QoS) et la gestion de la bande passante, par flux individualisés en environnement multi-opérateurs. .

Enfin, chaque opérateur ou fournisseur de services gère, de manière indépendante, sa relation technique et commerciale avec ses clients sans interférence avec l'opérateur du réseau d'accès.

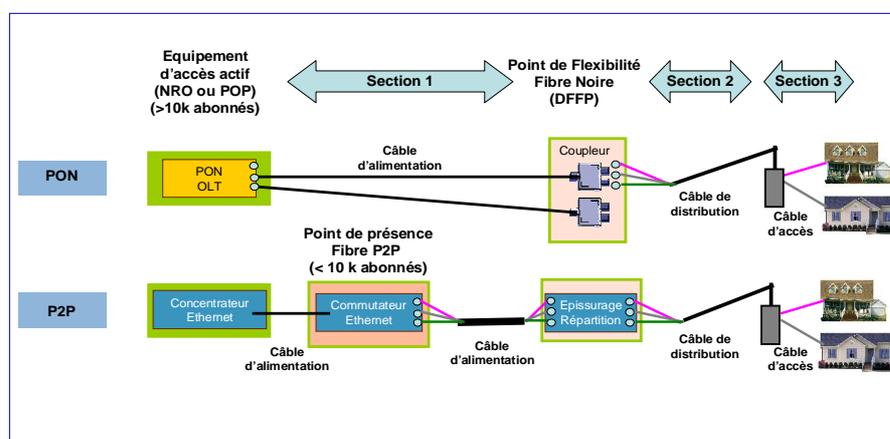
L'utilisateur final peut ainsi bénéficier, simultanément, de flux en provenance de différents opérateurs et fournisseurs de services.

### 3 Les réseaux PON autorisent la mutualisation des infrastructures passives

#### 3.1 Organisation des infrastructures passives :

Quelle que soit la topologie de réseau utilisée (PON, Ethernet point à point ou Ethernet actif), la distribution des fourreaux et de l'infrastructure de fibre optique suit le même schéma. A l'expérience, les déploiements opérationnels font en particulier apparaître dans la plupart des cas l'existence d'un ou de plusieurs points de brassage ou « points de flexibilité fibre ». Ces topologies présentent toutefois de grandes différences dans le dimensionnement des fourreaux et le nombre de fibres devant être passées, ainsi que par la présence ou pas d'équipements actifs dans les points de concentration/dérivation ou « points de flexibilité fibre ».

#### Infrastructures de déploiement FTTH



L'infrastructure de fibre passive est composée de trois parties:

- **Section 1 :** Le câble de transport (*feeder cable*) entre le nœud de raccordement optique (NRO) et le point de flexibilité fibre noire (DFFP),
- **Section 2 :** Le câble de distribution entre le point de flexibilité fibre et l'immeuble ou le pavillon,
- **Section 3:** Le câble de raccordement (*drop cable*) entre le domaine public et le réseau domestique de l'abonné.

✓ **Le positionnement et le format des points de flexibilité fibre dépendent intimement de la topologie de l'infrastructure support du réseau.**

- Dans le cas de l'**Ethernet point à point**, le point de flexibilité fibre se trouve aux points majeurs de dérivation/concentration des fibres. Il n'est pas toujours nécessaire. Mais, en pratique, à moins de mettre en place, dès le déploiement initial du projet, une couverture de 100%, il faut un point de flexibilité passif près des abonnés pour s'adapter aux tirages de fibres ultérieurs lors de la montée en charge du réseau.
- Dans la variante de l'**Ethernet point à point** actif, les points de flexibilité fibre vont héberger les commutateurs qui permettent de distribuer les fibres vers les abonnés au plus près de ceux-ci. Ces sites doivent donc être facilement accessibles, être suffisamment spacieux pour recevoir des équipements actifs, et disposer d'énergie et des conditions environnementales indispensables à un équipement actif (climatisation par exemple).
- Dans le cas du **PON**, les points de flexibilité fibre hébergent les coupleurs optiques et permettent ainsi le raccordement d'utilisateurs au fur et à mesure de la progression de la pénétration ; simplement en tirant simplement des fibres entre ce point de flexibilité et les nouveaux abonnés. Il n'est en général pas nécessaire de tirer de la capacité supplémentaire entre le nœud de raccordement optique (NRO) et le point de flexibilité, ce qui constitue un atout majeur de l'architecture point à multipoints. Le point de flexibilité fibre permet le raccordement des abonnés sur les coupleurs optiques des différents fournisseurs de service dans le cas de la mutualisation d'infrastructures passives.

Dans tous les cas, la capacité du réseau en nombre d'abonnés sera limitée par le tirage initial de fibre entre le nœud de raccordement optique (NRO) et le point de flexibilité fibre. Et il faudra compter en tout état de cause beaucoup plus de fibres optiques dans un réseau point à point que dans un réseau PON.

Il faut noter qu'il est tout à fait possible d'utiliser simultanément une topologie point à point et point à multipoints sur une même zone et de basculer des abonnés d'un réseau vers l'autre au point de flexibilité de la fibre. En revanche, les solutions actives exigent des points de flexibilité plus vastes disposant d'énergie. Un degré de flexibilité demeure sous réserve que le déploiement initial ait prévu la configuration active.

Quelle que soit la topologie retenue, le partage et la mutualisation de l'infrastructure passive (fourreaux, tubes, câbles et points de flexibilité fibre) est possible.

En revanche, ce choix aura un impact significatif sur la taille des fourreaux et sous-fourreaux, PON et Ethernet actif étant plus économes que l'Ethernet point à point, mais également sur les points de flexibilité fibre pour lesquels les solutions Ethernet actives sont plus coûteuses.

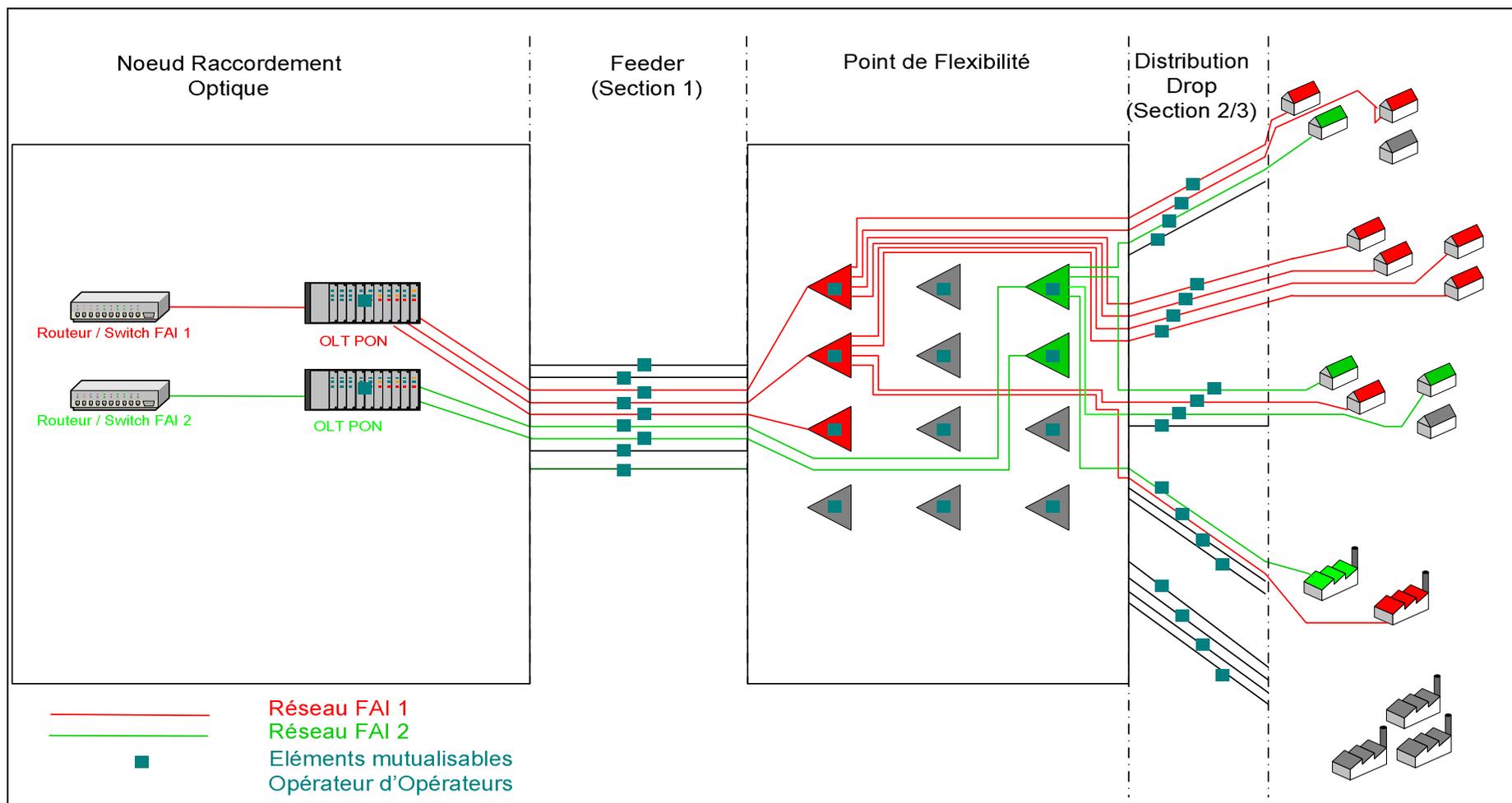
✓ **Utilisation de la fibre de transport vers les points de flexibilité fibre :**

- **Ethernet Point à Point :** une fibre par abonné est utilisée sur les sections 1, 2 et 3. Cela a, bien évidemment, une incidence sur le nombre total de fibres à tirer et la taille des fourreaux de la section 1. Sur cette section, et dans l'hypothèse de plusieurs fournisseurs de service différents, **il faudra tirer un nombre beaucoup plus conséquent de fibres dans une solution point à point que dans le cas d'une solution PON** (Cf. détail § 4.3.). En outre, il faut prévoir suffisamment de capacités sur cette même section 1 car il est très difficile et coûteux de l'augmenter après le déploiement initial.
- **Ethernet point à point actif :** Nous sommes dans le même cas que dans la topologie PON. En revanche, le point de flexibilité fibre doit héberger les commutateurs Ethernet de chacun des fournisseurs de service, une solution coûteuse tant en investissement qu'en maintenance et en exploitation (raccordement électrique).
- **PON:** Chaque fournisseur de services doit disposer de sa propre fibre dans la section 1 (transport) et de ses propres *coupleurs optiques* dans le point de flexibilité fibre. Il faut noter que ces équipements sont complètement passifs et se présentent sous un format très compact (positionnable en chambre). Chaque utilisateur final dispose d'une fibre qui lui est dédiée sur la section 2 (distribution) et la section 3 (accès). Sur des zones de faible densité, il est possible d'utiliser un second niveau de flexibilité fibre pour limiter la longueur de la section 2. Les réseaux PON supportent en effet une topologie hiérarchique avec plusieurs niveaux de *coupleurs optiques*.

## 3.2 Mutualisation passive du PON

Le schéma ci-dessous représente une configuration dans laquelle deux opérateurs d'accès exploitent chacun leur OLT alimentant des coupleurs optiques situés dans les points de flexibilité et qui leur sont propres (fournis par leurs soins ou alloués par le propriétaire du réseau passif, par exemple la collectivité locale ou son délégataire).

Lorsqu'un utilisateur final souhaite changer d'opérateur, il suffit à l'opérateur du réseau d'accès, d'intervenir au point de flexibilité et de basculer la connexion fibre de distribution de l'utilisateur final du coupleur de l'ancien opérateur vers le coupleur du nouvel opérateur.



Mutualisation des infrastructures passives d'un réseau PON

Afin d'obtenir un gain optimal en cas de mutualisation des infrastructures passives des réseaux PON, on considère les conditions de déploiement suivantes :

- On installe autant de coupleurs optiques que nécessaire dans le point de flexibilité, en fonction du nombre d'opérateurs et du nombre total d'utilisateurs finals prévus.
- Les câbles de transport, les coupleurs optiques et les fibres d'accès sont alloués aux opérateurs en fonction du nombre de leurs clients utilisateurs ;
  - si leur nombre d'utilisateurs augmentait, les ressources physiques qui leur sont attribuées augmenteraient en conséquence ;
  - si leur nombre d'utilisateurs diminuait, les ressources physiques qui leur sont attribuées diminueraient en conséquence.
- Pour faciliter l'exploitation, certaines ressources non utilisées peuvent être pré-allouées
- Il est nécessaire d'optimiser l'emplacement des points de flexibilité en fonction de deux types de contraintes :
  - le point de flexibilité doit être le plus proche possible des utilisateurs finals afin de maximiser l'effet de couplage (minimiser les longueurs de fibre après le coupleur optique)
  - le point de flexibilité doit être suffisamment loin des utilisateurs pour maximiser le taux de remplissage du coupleur optique.

Ces deux éléments agissent en sens inverse. En pratique, la détermination de la position optimale des points de flexibilité revient à l'opérateur qui déploie le réseau, dans le cadre des études d'ingénierie du réseau qui ont pour but d'optimiser le déploiement de la fibre chez les utilisateurs finals ainsi que la localisation des points de flexibilité et le surdimensionnement éventuel de la section de transport en fonction essentiellement de l'emplacement et de la densité des habitations.

Pour conclure sur l'exploitation passive d'un réseau PON, il est toujours possible de mutualiser l'utilisation des fourreaux, des tubes, des fibres, des coupleurs optiques et du point de flexibilité entre plusieurs opérateurs sans restreindre la possibilité pour l'utilisateur final de choisir son FAI et d'en changer. L'organisation plus distribuée des points de raccordement rend d'ailleurs un tel changement plus simple et donc plus sûr.

### 3.3 Dimensionnements comparés

Pour illustrer le gain obtenu entre une architecture point à point et une architecture PON, prenons le cas d'un réseau utilisé simultanément par quatre opérateurs, avec un NRO dimensionné pour 1000 abonnés. Le nombre de fibres sur les câbles de la section 1 requis dans le cas du point à point est de 1000, soit un groupe de câbles d'une capacité de 1024 Fibres, quand il est de 36 à 40 dans le cas du PON (cas d'un couplage de 32), soit au final un câble de seulement 48 fibres. On obtient donc un résultat permettant de diminuer le nombre de fibres par un facteur 22.

Les détails du calcul dans le cas du PON avec un couplage de 32 sont les suivants :

Prenons le cas des 1000 abonnés et partons du principe que le taux de répartition est le suivant:

OPERATEUR A: 400 abonnés

OPERATEUR B: 300 abonnés

OPERATEUR C: 200 abonnés

OPERATEUR D: 100 abonnés

Le nombre de splitters par opérateur sera donc comme suit:

OPERATEUR A:  $400/32=12,5$  disons 15 pour garantir une évolutivité confortable

OPERATEUR B:  $300/32=9,375$  disons 11

OPERATEUR C:  $200/32=6,25$  disons 8

OPERATEUR D:  $100/32=3,125$  disons 4

Soit 38 fibres sur le transport (36 en ne prenant pas de marge d'évolutivité)

Dans tous les cas on passera au moins un câble de 24 paires, soit 48 fibres donc le gain réel est de  $1024/48$  soit 21,3. Ce calcul est réalisé dans l'hypothèse d'un taux d'activation des utilisateurs finals du réseau de 100%. Si nous nous plaçons dans des conditions différentes (35%), le résultat est proche cette fois de 24/25.

Les réseaux PON sont mutualisables au niveau de l'infrastructure optique passive. Le point de flexibilité fibre permet le raccordement des abonnés sur les *coupleurs* optiques des différents opérateurs et fournisseurs de service dans le cas d'une infrastructure mutualisée.

Quelle que soit la topologie choisie, point à point ou point à multipoints, le partage des fourreaux et des points de flexibilité

|| fibre est possible.

|| Dans tous les cas de figure, les réseaux PON sont plus économes que les réseaux point à point en taille de fourreaux, en points de flexibilité et en dimensionnement de câbles optiques que les réseaux point à point qui nécessitent 20 à 22 fois plus de fibres optiques.

## 4 Un réseau PON est accessible, en mode actif, à tous les opérateurs

La législation française autorise les collectivités locales à établir et exploiter des réseaux de communications électroniques (Article L 1425-1 du CGCT). A ce titre, une collectivité est en droit de mettre en œuvre un **réseau actif** et de l'exploiter de manière neutre et non discriminatoire dans le cadre d'une activité d'opérateur d'opérateurs.

Dans ce cas, les trois modèles de topologies (PON, Ethernet point à point, Ethernet actif) ont la même offre aux opérateurs et fournisseurs de service, à savoir la mise à disposition de bande passante vers l'abonné, assortie des services connexes de gestion, de qualité de service et de sécurité.

Il revient toutefois aux services de transport supportés par des réseaux PON de bénéficier d'atouts spécifiques liés à la grande flexibilité de cette technologie. Le PON permet notamment de délivrer à l'utilisateur final de 1 M bits/s à 1 Gbit/s (5 à 10 Gbit/s demain) sans changer l'équipement terminal.

L'accès partagé et mutualisé à un réseau PON est garanti par la technologie retenue, Ethernet/IP, et les spécifications de ces réseaux. Comme on l'a vu en traitant la question de la neutralité de la technologie PON, les services de transport, dans ce cas, sont tous fournis aux opérateurs usagers (point à point Ethernet, point à multipoints Ethernet, point à point VLAN, point à multipoints VLAN, vidéo RF ...) sur des interfaces standardisées (E1, POTS sur RJ11, natif VOIP sur Ethernet, Ethernet optique ou cuivre). En outre, l'opérateur de transport PON assure la gestion de l'accès/authentification au réseau (mais pas au service), la gestion de la qualité de service (QoS) et la gestion de la bande passante, par flux individualisés : tous les opérateurs transitant simultanément sur le réseau, qu'ils soient fournisseurs de services Internet, de services voix, de services vidéo ou de triple play, etc, bénéficient de conduits étanches et sécurisés (accès + cryptage des données).

Les flux des différents fournisseurs de service et des différents clients sont rigoureusement séparés dans les équipements d'accès et d'agrégation partagés. A ce titre, les trois topologies existantes (Ethernet point à point, Ethernet actif et PON) utilisant les mêmes protocoles et les mêmes technologies ouvertes basées sur les standards Ethernet et IP, elles garantissent un fonctionnement à l'identique pour un opérateur quelle que soit la solution retenue par l'opérateur d'opérateurs. Il est à noter que les solutions PON intègrent en standard des solutions de cryptage et d'authentification pointues.

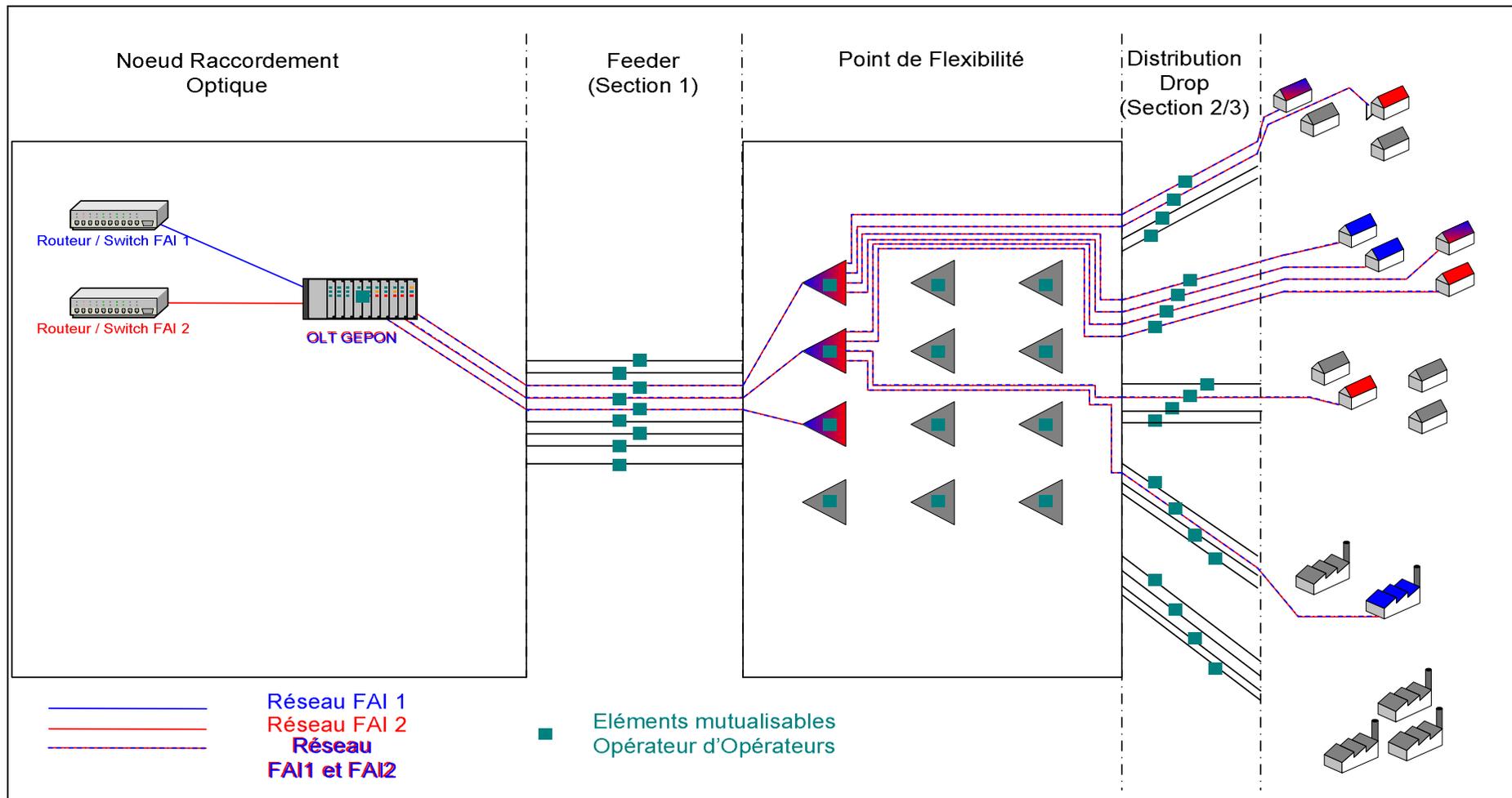
Cela vaut aussi dans le cas où le délégataire de la collectivité territoriale assure également l'agrégation sur un réseau MAN avec une infrastructure MPLS.

Il est significatif, à cet égard, de voir que les réseaux PON ont intégré d'emblée, et de manière native, les règles de l' « open access », accès ouvert, imposées aussi bien par les collectivités territoriales nord-américaines qu'européennes aux opérateurs souhaitant intervenir sur le marché des réseaux métropolitains publics. Le retour d'expérience montre que les collectivités territoriales qui ont mis en place ou délégué le déploiement de réseaux d'accès PON bénéficient des offres de plusieurs opérateurs, conjointement sur le même réseau. C'est le cas du réseau PON de l'agglomération de Grant County aux Etats-Unis, « Zipp Networks », qui supporte 15 FAI, 2 fournisseurs de TV IP et 2 opérateurs de téléphonie alternatifs ou du réseau PON de Chelan County qui rassemble 14 fournisseurs de services. Le réseau PON de la Ville de Jackson, présente les mêmes caractéristiques et compte dès son démarrage plusieurs opérateurs Internet et vidéo.

### ✓ Exemple d'accès partagé à un réseau PON

Le schéma ci-dessous représente une configuration dans laquelle deux opérateurs utilisent le réseau d'accès d'un opérateur d'opérateurs. La connexion au réseau se fait en amont de l'OLT (BAS, routeur, switch Ethernet, OLT).

Le canal dédié à la fourniture du service, de l'opérateur à l'utilisateur final, est géré à distance par l'opérateur d'opérateurs. L'OLT intègre nativement un logiciel de supervision et de maintenance approprié.



Partage actif de réseaux PON

Cette solution permet une mutualisation supérieure à celle obtenue dans le cas d'un réseau passif, en particulier en terme de souplesse et d'adaptation au souhait des utilisateurs, et garantit une grande transparence de l'architecture pour le fournisseur de services grâce à l'utilisation exclusive des standards de l'industrie.

Les réseaux PON sont, par nature, partageables au niveau de la partie active. L'accès ouvert à un réseau actif en PON est garanti par la technologie retenue, Ethernet/IP. Les flux des différents fournisseurs de service et des différents utilisateurs finals sont rigoureusement séparés dans les équipements d'accès et d'agrégation partagés ce qui assure le caractère neutre et indépendant du réseau.

Tous les fournisseurs de services et opérateurs usagers transitant simultanément sur le réseau, qu'ils soient de services Internet, de services voix, de services vidéo ou de triple play bénéficient de conduits étanches et sécurisés (accès + cryptage des données). Les réseaux PON intègrent en standard des solutions de cryptage et d'authentification pointues.

Le retour d'expérience a montré, depuis plusieurs années, le caractère opérationnel du partage de réseau PON, que ce soit aux Etats-Unis, en Asie ou en Europe du Nord. C'est à chaque fois plusieurs dizaines de FAI, opérateurs voix et vidéo qui utilisent simultanément ces réseaux et disposent de bande passante sans commune mesure avec celle des réseaux cuivre.

Ceci est le résultat de l'intégration, **de manière native**, par la technologie PON, des règles de l'« open access », accès ouvert,

## 5 Le PON : une technologie utilisée par toutes les catégories d'opérateurs

Le PON est une technologie, certes récente (normalisation par l'ITU, International Telecommunication Union et par l'IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers entre 2000 et 2005 selon les protocoles) mais qui, depuis, a été adoptée par des acteurs aussi bien historiques que nouveaux entrants.

Contrairement à une idée répandue, les réseaux PON ne sont pas, en effet, réservés aux seuls déploiements conduits par les opérateurs historiques.

A côté de plusieurs d'entre eux, qui ont effectivement retenu cette technologie pour des déploiements de masse, optimisant ainsi leurs coûts d'investissements et d'exploitation (SBC et Verizon aux Etats-Unis, NTT au Japon, China Telecom en Chine, France Telecom en France...), et qui représentent plusieurs millions de lignes PON, on trouve de nombreux opérateurs indépendants, nouveaux entrants:

- des opérateurs privés : opérateurs alternatifs locaux ou nationaux aux Etats-Unis (ILEC<sup>3</sup>, CLEC<sup>4</sup>) ou en Asie
- des opérateurs intervenant aux côtés des collectivités territoriales issus des « utilities » (Etats-Unis), des régies d'électricité (Pays scandinaves) ou bien établis à l'initiative des collectivités territoriales elles-mêmes (France, Espagne).

On note une forte représentation d'opérateurs nouveaux entrants (publics et privés) dans les réseaux PON (Cf Tableau ci-après). Dans la mesure où ces opérateurs partent d'une page blanche (« greenfields ») et n'ont à amortir aucune plateforme technique antérieure, ni à intégrer des choix technologies antérieurs, ils choisissent des solutions techniques leur permettant, d'emblée, une optimisation maximale des coûts d'équipements et des charges d'exploitation.

---

3 ILEC « Independant Local Exchange Carrier »

4 CLEC « Competitive Local Exchange Carrier » - Opérateur local alternatif ; IOC « Independant Operating Company » - Opérateur indépendant.

<i>Pays</i>	<i>Opérateurs Historiques</i>	<i>Collectivités territoriales/Utilities</i>	<i>Opérateurs Indépendants (IOC)</i>
<b>Amérique du Nord</b>	SBC Verizon	Jackson Energy Authority Bristol, VA Chelan County PUD Dalton Utilities City of Quincy Grant County Utah County	Embarq* TDS* Citizens* Windstream*
<b>Asie-Pacifique</b>	NTT Korea Telecom China Telecom	China Netcom (Ville de Shanghai)	
<b>Europe</b>	France Telecom	EnergiMidt Broadband Sydfyns Efforsyning Région des Asturies Région de Tallinn Ville de Moscou Sicoval –Toulouse Sud-Est Sipperec Ville de Lodz	

Opérateurs ayant retenu une technologie PON

(\*) *En phase de tests en 2006 – Source FTTH Forum Council- 2006*

Les réseaux PON exploités par les opérateurs historiques comme par une partie des indépendants semblent l'être pour le moment sur une base mono-opérateur pour des raisons essentiellement de choix stratégiques, aucune contrainte technique n'imposant ce mode de fonctionnement, ainsi que nous l'avons montré. Ces réseaux sont exploités de manière non mutualisés, soit parce que les législations nationales n'imposent aucune obligation de dégroupage sur ce segment aux opérateurs réputés puissants, soit parce que les acteurs du marché se positionnent en opérateurs de détail et n'intègrent pas, délibérément, d'offres de gros.

En revanche, les collectivités territoriales comme nombre d'opérateurs indépendants nouveaux entrants mettent en œuvre des réseaux PON mutualisés et en accès ouvert (cf. Tableau ci-après).

En principe comme dans la réalité des déploiements déjà entrepris, les réseaux PON sont mutualisables à la fois de manière passive et de manière active. De ce fait et s'ils s'avèrent adaptés aux stratégies des opérateurs établis sans modification des cadres réglementaires, ils répondent particulièrement bien aux besoins des collectivités qui souhaitent assurer

une ouverture maximale de leur réseau aux opérateurs et fournisseurs de services.

On trouve de nombreux exemples à travers le monde où les collectivités locales ont choisi des solutions PON pour amener le haut débit à leurs administrés avec des contraintes fortes sur la neutralité du réseau déployé. Plusieurs de ces projets sont décrits en annexe.

<b>Jackson Energy Authority (Tennessee) E-U</b>	<b>Voix, Vidéo RF (analogique, numérique, TVHD, services video interactifs ) Internet=&gt; <u>Réseau ouvert: 10 opérateurs</u></b>
<b>GRANT COUNTY Etat de Washington E-U</b>	<b>Zipp Network: Voix, Video, Internet; <u>Réseau ouvert : 15 FAI, 2 fournisseurs de TV IP , 2 opérateurs (CLEC )</u></b>
<b>CHELAN COUNTY Etat de Washington E-U</b>	<b>Voix, Video, Internet- <u>Réseau ouvert : 14 opérateurs</u></b>
<b>Ville de Moscou Russie</b>	<b><u>Réseau ouvert : 5 opérateurs majeurs russes FAI, Voix TDM et services bancaires</u></b>
<b>Toulouse Sud-Est – Sicoval – France</b>	<b><u>Réseau ouvert (en cours de déploiement) : FAI, opérateurs voix, opérateurs vidéo</u></b>
<b>Sipperec – France</b>	<b><u>Réseau ouvert (en cours de déploiement) : FAI, opérateurs voix, opérateurs vidéo, opérateurs données</u></b>
<b>Région des Asturies Espagne (en cours)</b>	<b><u>Réseau ouvert : Câblo-opérateur, FAI, opérateur voix</u></b>

### Exemples de réseaux PON multi-opérateurs

Les réseaux PON sont déployés aussi bien par des opérateurs historiques que par de nouveaux entrants. Parmi ces derniers, on compte à la fois des acteurs privés et des acteurs issus du monde des collectivités territoriales (sociétés de gestion d'énergie par exemple).

Aux Etats-Unis, à côté des « ex Baby Bell » (SBC ou Verizon) qui mettent en œuvre plusieurs millions de lignes PON, des opérateurs alternatifs expérimentent et déploient ces mêmes solutions techniques. Ils sont cités par le FTTH Forum Council<sup>5</sup> comme s'inscrivant dans la tendance forte de ces deux dernières années vers le déploiement de réseaux fibre jusqu'à l'abonné. Il s'agit des sociétés Embarcq, TDS, Citizens, Windstream... qui ont 4 à 5 ans d'expérience et privilégient des technologies d'accès offrant le meilleur ratio coût/bande passante disponible. En parallèle, l'appropriation des réseaux PON par les collectivités ou leurs émanations est forte. Parce qu'il s'agit d'une technologie

5 Intervention Journées de l'IDATE – Novembre 2006 : Joe Savage - Représentant du FTTH Forum Council-E-U

naturellement ouverte, elles sont nombreuses à l'avoir choisie : Jackson Energy, Chelan County, Grant County. Ces réseaux PON sont désormais utilisés par une quinzaine de fournisseurs de services en moyenne.

L'Asie voit également le développement simultané de liaisons PON par des opérateurs historiques (NTT au Japon, Korea Telecom, China Telecom) et par de nouveaux entrants auxquels les collectivités sont associées (China Netcom/Ville de Shanghai).

L'Europe de l'Est (Ville de Moscou), les Pays nordiques, l'Espagne (Région des Asturies) déploient à leur tour, des réseaux PON neutres et ouverts à tous les opérateurs.

Enfin, la France n'est pas en reste, puisqu'aux côtés de l'opérateur historique, France Telecom, qui teste sa solution PON, des collectivités comme le Sicoval (Technopole de Toulouse Sud-Est ou le Sipperec (DSP ZDE) mettent en œuvre des réseaux PON multi-services et multi-opérateurs.

Les deux positionnements, réseau ouvert ou mono-opérateur, coexistent, mais ne s'excluent pas.

## **6 Le PON : des performances adaptées à tous les besoins.**

Une idée reçue veut que les débits offerts par le point à point sont supérieurs à ceux du PON et que le point à point permet d'offrir des débits garantis, contrairement au PON.

A ce propos, il est important de comparer deux solutions fournissant des services équivalents, que ce soit du point de vue de l'utilisateur ou du point de vue de l'opérateur.

Il faut donc comparer les performances du PON par rapport à de l'Ethernet point à point et non pas à une offre fibre noire point à point, comme on le voit régulièrement de manière erronée.

On peut certes atteindre des débits symétriques très importants sur de la fibre noire (expérimentation de 14 Tbit/s sur une seule fibre au Japon). En réalité, le vrai facteur limitant pour les opérateurs qui utilisent la fibre noire est la capacité mise à disposition par les équipements actifs.

Dans le cas d'une topologie de réseau résidentiel, le but est de fournir des débits satisfaisant les besoins des particuliers. Il est couramment admis qu'un débit de 2\*100 Mbit/s symétriques offert à l'utilisateur final est suffisant dans un futur prévisible.

### **6.1 Les débits offerts par les réseaux Ethernet point à point**

En observant les réseaux point à point actuellement déployés, on constate que les débits offerts à l'utilisateur sont de 100 Mbit/s maximum (le déploiement de solutions Gbit/s présentant des contraintes technico-économiques rédhibitoires). Free a récemment annoncé des offres à 50 Mbit/s tandis que Erenis annonce une évolution de son offre de 50 à 100 Mbit/s.

En tout état de cause, ces annonces occultent le fait que la somme des débits fournis aux utilisateurs ne peut dépasser les capacités du commutateur Ethernet vers le réseau. Il faut effectivement considérer les débits disponibles à tous les niveaux du réseau (réseau résidentiel, réseau d'accès, réseau MAN, réseau WAN).

Rappelons que dans le cas des réseaux ADSL et malgré des offres commerciales annonçant des débits de plusieurs Mbit/s, le débit effectivement provisionné pour chaque utilisateur (en résidentiel) dans le réseau n'est que de 100 kbit/s.

Considérons le cas d'un réseau Ethernet point à point fournissant théoriquement un débit par utilisateur de 100 Mbit/s. Chaque utilisateur est

relié par au moins une fibre jusqu'au NRO. Même dans le cas d'un petit NRO avec seulement 500 connexions, ce NRO devrait donc débiter  $500 * 100$  Mbits soit 50 Gbit/s côté réseau pour être en mesure d'assurer les 100 Mbit/s affichés par utilisateur. Le dimensionnement requis est évidemment excessif et, en tout état de cause, ce NRO n'assurera un débit montant que de quelques Gbit/s, voire une liaison à 10 Gbit/s dans un réseau opérationnel. Les réseaux point à point ne permettent donc pas plus que les autres de garantir un usage permanent du débit crête.

A l'inverse, les réseaux Ethernet point à point ne permettent pas d'allouer à la volée de la bande passante au-delà de 100Mbit/s, ni de supporter dans les mêmes poches d'usagers des utilisateurs ayant une grande disparité de débits (1Mbit/s et 500 Mbit/s par exemple) sans contraintes technico-économiques rédhibitoires.

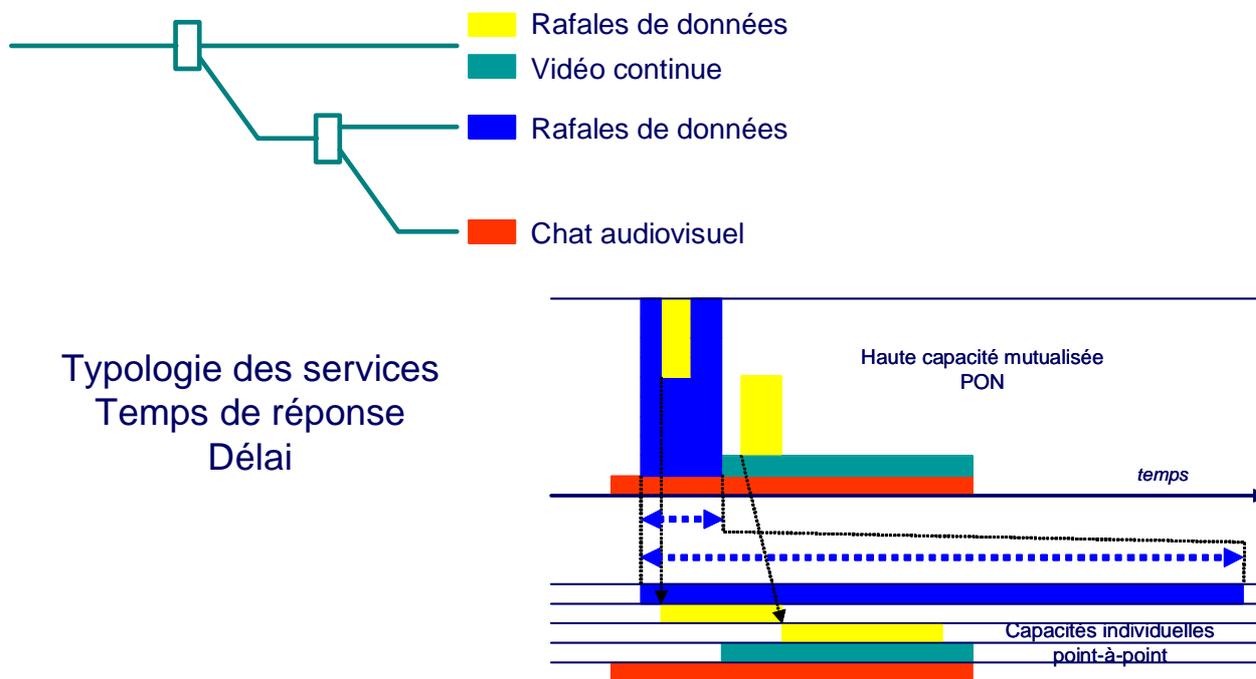
## **6.2 Les débits offerts par les réseaux PON**

L'architecture PON tire parti du fait que l'utilisateur n'a pas besoin en permanence du débit crête. La mutualisation de la bande permet alors de garantir des débits crête élevés à chaque utilisateur tout en moyennant l'utilisation de la bande en l'étalant dans le temps. L'équation économique est alors très favorable sans dégrader le débit disponible pour l'utilisateur.

Dans le cas des versions actuelles du PON, un débit de 1 à 2,5 Gbit/s est partagé entre N utilisateurs, N pouvant aller jusqu'à 64. Les ONUs ont des interfaces standardisées RJ45 avec des ports 10/100 Base-T ou 10/100/1000 Base-T autorisant des débits instantanés jusqu'à 1 Gbit/s (jusqu'à 5 à 10 Gbit/s demain).

Les architectures PON offrent une grande flexibilité pour l'allocation de la bande passante. La bande passante est en effet allouée de manière totalement dynamique à l'ensemble des utilisateurs ayant besoin de débit à un instant donné. Cette allocation de la bande est gérée par les algorithmes DBA (Dynamic Bandwidth Allocation) qui permettent d'offrir un débit minimum garanti (typiquement 30 Mbit/s symétriques) à chaque utilisateur y compris pendant les phases où le trafic est plus dense. Le reste de la bande passante disponible est alloué équitablement entre les utilisateurs actifs tout en respectant la qualité de service : débit minimum garanti, paramètres de SLA (Service Level Agreement).

Cette gestion dynamique de la bande passante est d'autant plus importante que l'ensemble des services migre progressivement vers IP avec le développement de services caractérisés par des rafales de données sur de très courtes périodes de temps. C'est le cas du téléchargement de fichiers (peer to peer ...), de la vidéo à la demande (téléchargement de DVD), du chargement d'une page Web avec un contenu multimédia.



Allocation de la bande passante selon les différentes architectures

### 6.3 Comparaison avec le mode « Bitstream » sur la boucle de cuivre

Les offres de services de transport sur réseau d'accès fibre optique point à multipoints PON avec mutualisation active ne peuvent être assimilées à des offres de type « bitstream » sur réseau cuivre de France Telecom, que ce soit sur le plan technique ou sur le plan tarifaire<sup>6</sup> (cf. tableau ci-dessous).

Contrairement au cuivre, les réseaux optiques ne souffrent pas d'une diminution de débit avec l'éloignement de l'utilisateur par rapport au NRO. Les réseaux optiques, entre autres les réseaux PON, permettent

<sup>6</sup> S'agissant du « bitstream » sur paires de cuivre, les freins techniques, parfaitement cernés, ont très tôt été mis en avant par les opérateurs alternatifs et le Conseil de la Concurrence. Cf « Livre Noir du haut débit en France » – 2001; Décision du Conseil /Aforst ; Plainte au Conseil de 9T.

ainsi de réduire la fracture numérique. La contrainte de localisation des NRA existant dans le cas du cuivre disparaît dans le cadre des réseaux PON.

De surcroît, les réseaux PON permettent une allocation dynamique de la bande passante disponible à chaque utilisateur en fonction de ses besoins, sans souffrir d'une limitation théorique du média physique. Le PON peut donc supporter des rafales de trafic, contrairement à l'ADSL.

En outre, les mécanismes et protocoles associés à la gestion/allocation/garantie de la bande passante dynamique sont normalisés, contrairement au mode « Best Effort » de l'offre « Bitstream » sur la boucle de cuivre.

Comparaison	"Bitstream" sur la boucle cuivre FT	Services de Transport sur Réseau PON
Flux Transportés	Tous les flux doivent avoir le même protocole source (Ethernet ou IP)	Tous types de Flux de Télécommunication Voix Traditionnelle, Video RF, Transports Ethernet et IP
Qualité de Service	Les flux sont priorisés en fonction de l'offre souscrite.	Les flux ont une <b>garantie de bande passante en fonction de l'offre souscrite.</b>
Multicast	Non supporté de manière industrielle, donc pas de réel support pour les flux vidéo.	Multicast natif, Support Idéal pour des offres Video et Video on Demand (VOD)
Interconnection d'utilisateurs professionnels dans le même réseau	Doit être réalisée en amont, pas de support du VPN	Support Natif de service inter/intra VLAN
Equipements Usager	Nécessite un équipement permettant de router les paquets sur le site.	Equipement de Terminaison PON est un routeur

## 6.4 Les réseaux PON offrent toutes les garanties de sécurité et de fiabilité:

### 7.4.1. Fiabilité

#### ▪ Fiabilité des équipements PON

Le système PON est fiable. La probabilité de défaillance d'un ONU est infime et en tout hypothèse comparable à celle de n'importe quel autre modem ADSL ou optique. Celle d'un OLT est comparable à celle de n'importe quel équipement d'agrégation Ethernet actif, et l'on trouve moins de terminaisons optiques dans un PON que dans un réseau point à point.

La question est parfois posée de l'incidence du dysfonctionnement d'un ONU sur les autres ONUs connectés à une même terminaison côté OLT (une terminaison optique côté OLT pour 32 à 64 ONUs). Le seul problème identifié, pouvant nuire au bon fonctionnement des autres ONU, est celui de l'ONU qui, pour une raison quelconque, se met à émettre de la lumière en continu dans le sens montant. Il éblouirait alors la terminaison optique côté OLT, empêchant ainsi de localiser l'ONU défaillant.

Il faut remettre cette probabilité de défaillance en perspective d'autres types de défaillance sur les réseaux Internet. A titre indicatif, ce problème d'ONU défaillant n'a jamais été constaté sur les quelques millions de lignes PON déjà déployées depuis quelques années. A contrario, les interruptions de service dues à des problèmes de serveurs, ou bien d'erreurs de câblage lors d'un changement d'opérateur sont bien réelles et malheureusement trop fréquentes.

D'une manière plus générale, la sécurisation des réseaux PON est un problème de conception système et de configuration de l'accès. L'ITU a déjà travaillé sur la redondance des réseaux permettant en cas de panne d'un lien de basculer vers un lien secondaire (mécanismes de « protection »). Pour les raccordements ultrasensibles, cela peut aller jusqu'à une duplication complète de l'accès peut devenir nécessaire, avec routages physiques séparés. Le résultat de ces travaux est inclus dans la norme ITU-T G983.5. Notons au passage que cette question n'est en rien spécifique de la technologie PON.

#### ▪ Malveillance

Récurrente depuis que les réseaux télécoms existent la question de la « malveillance » se pose également. Le cas le plus « probable », car plus simple de mise en œuvre et moins onéreux, est la destruction complète d'une fibre ou d'un fourreau de fibres optiques. Il n'est en aucune façon spécifique au PON. Il est d'ailleurs plus complexe à traiter dans le cas du point à point en raison du plus grand nombre de liaisons à rétablir.

#### 7.4.2. Confidentialité des données

Un réseau PON offre un mode de fonctionnement sécurisé en ce qui concerne la confidentialité des données.

Il faut préciser que, de par la nature même de la technologie PON, il est extrêmement difficile pour une personne malveillante de parvenir à falsifier un ONT ou encore d'essayer de capter des données qui ne lui seraient pas destinées. Dans un réseau IP de type point à point, il est en revanche aisé de positionner un équipement falsifié en position d'espion en tout endroit de la fibre.

Toutefois, pour répondre à tous les cas imaginables de malveillance malgré leur improbabilité, le PON a mis en place des mécanismes afin qu'un abonné ne puisse lire que les données qui lui sont adressées.

Le mécanisme de sécurisation intégré est le suivant :

- Le trafic descendant est crypté. Il utilise l'algorithme standardisé AES à 128-bits :
  - chaque équipement client a sa propre clé de cryptage/décryptage privée ;
  - de nouvelles clés sont automatiquement échangées par l'OLT et l'ONU à des intervalles réguliers.
- Le trafic remontant est émis en utilisant une couleur optique de 1310 nm. Les modems client n'ont aucun moyen de détecter ce signal optique et par conséquent de lire le trafic remontant des autres clients.
- L'interception par une tierce partie provoquerait l'interruption temporaire de tous les flux optiques (ce qui serait immédiatement détectée par l'OLT et générerait une alerte majeure).

Enfin, des mécanismes d'authentification des ONT permettent de refuser la connexion pirate d'un nouvel ONT sur le réseau. Cette tentative restera infructueuse et sera automatiquement détectée par une alarme au niveau central.

S'agissant des performances des réseaux PON, la comparaison avec des solutions offrant des services de même nature (Ethernet point à point) met en évidence la supériorité des solutions PON à

celle des réseaux point à point.

Les versions actuelles du PON permettent des débits à l'utilisateur final de 1 Gbit/s (10 Gbit/s en cours de normalisation). Sur les réseaux point à point actuellement déployés, les débits offerts à l'utilisateur sont de 100 Mbit/s maximum (le déploiement de solution Gbit/s représentant de lourds investissements. De plus, en tout état de cause, la somme des débits fournis aux utilisateurs ou créés par les utilisateurs ne peut dépasser la capacité des liens du commutateur Ethernet vers le réseau.

Sur les réseaux PON, la bande passante étant allouée de manière totalement dynamique à l'ensemble des utilisateurs en fonction de leurs besoins, à un instant donné, la mutualisation des accès sur la liaison PON entre 6, 8, 16, 32 ou 64 abonnés autorise des débits crêtes supérieurs à 100 Mbit/s (par exemple 1 Gbits).

En outre, la possibilité d'allouer de la bande passante à la volée sur un réseau PON maximise ses capacités. Cette allocation ne souffre pas d'une limitation théorique du média physique comme c'est le cas avec le DSL, la comparaison avec le mode du « bitstream » spécifique à la paire de cuivre devenant de ce fait sans objet.

En revanche, les réseaux Ethernet point à point ne permettent pas actuellement d'affecter à la volée de la bande passante supérieure à 100Mbit/s, ni de supporter dans les mêmes poches d'utilisateurs des utilisateurs ayant une grande disparité de débit (1Mbit/s et 500 Mbit/s par exemple) sans contraintes technico-économiques rédhibitoires.

Quant à la sécurisation des réseaux PON, elle est encadrée par la norme ITU-T G983.5. La confidentialité des données est assurée au travers d'un mécanisme de sécurisation intégré dédié aux réseaux PON.

## 7 Les réseaux PON, utilisés en mode partagé, permettent aux opérateurs de faire des offres de services différenciées

Les services sont traditionnellement segmentés en deux grandes familles de clientèle : le résidentiel et l'entreprise. La mise en place d'un réseau PON, en mode partagé, garantit aux opérateurs de pouvoir faire des offres de services différenciées auprès de ces deux catégories d'utilisateurs finals.

### 7.1 Services résidentiels

Dans le marché résidentiel, le positionnement relatif des offres de services a considérablement évolué depuis le lancement du haut débit à travers l'ADSL et les réseaux câblés. Dans un premier temps, durant la phase de pénétration, la différenciation des offres s'est faite sur la bande passante mise à disposition de l'abonné et sur les prix.

L'arrivée du dégroupage total a accéléré l'érosion des prix pour arriver au plancher actuel. La concurrence s'est ensuite installée sur le débit de l'accès Internet jusqu'à arriver à la limite imposée par la technologie de transport. De surcroît, le débit maximum de 25 Mbit/s pour l'ADSL chute rapidement en fonction de la distance entre l'utilisateur et le DSLAM (tête de réseau).

Aussi, depuis près de deux ans, la différenciation entre les fournisseurs de services haut débit résidentiels se joue plus sur la multiplication des services dans une offre tout-en-un plutôt que sur le prix ou la bande passante. Le marché actuel s'articule autour d'offres *Triple Play* qui amènent à la fois les communications voix et visiophonie, l'accès Internet haut débit et la vidéo (diffusion et vidéo à la demande) à l'utilisateur.

Dans une première phase, le modèle actuel sera transposé sur le marché résidentiel du très haut débit. Au delà de la présence d'un acteur sur un accès fibre qui lui ouvrira des bandes passantes de 50 à 100 Mbit/s, ce sera la richesse de son offre de services qui lui permettra se distinguer de ses concurrents.

Cependant, la possibilité d'avoir accès à une bande passante symétrique et plus élevée que sur les technologies actuelles va permettre le développement de nouveaux services liés au partage de contenus, à la domotique et à l'Internet v2 (Web 2.0) qui sont difficilement mis en œuvre, sinon inaccessibles actuellement.

	Aujourd'hui	En déploiement	Moyen terme
Communication	<ul style="list-style-type: none"> <li>Terminal unique, MSN VoIP</li> <li>SMS, MMS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identifiant unique</li> <li><b>Video-telephonie</b></li> <li><b>Video-messagerie</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Com. contextisées</li> <li>X-media</li> <li>3D</li> </ul>
TV, multimédia	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>SD IPTV (Broadcast PPV, PVR, Timeshift)</b></li> <li>Faible interactivité</li> <li>Blogs, fichiers partagés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>HDTV, VoD</b></li> <li><b>Personal broadcast</b></li> <li>Video nomade</li> <li>TV interactive</li> <li>Communautés virtuelles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>3D HDTV</li> <li><b>Banques de contenus privés</b></li> <li>Equipements RFD</li> </ul>
Domotique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Micro paiements</li> <li>control Parental / firewall</li> <li>Réseaux Wifi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Télé surveillance</b></li> <li>Télécontrôle</li> <li><b>Mediacenter</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>video surveillance et télécontrôle automatique</b></li> </ul>
Transaction	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMORPG</li> <li>E-Banque/e-commerce</li> <li>Musique en ligne</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Jeux temps réel</b></li> <li><b>Publicité video</b></li> <li>Profilis personnalisés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Jeux à réalité virtuelle</b></li> <li>Profilis avancés</li> </ul>

**En gras, les applications nécessitant le très haut débit**

Dans le contexte d'un réseau d'initiative publique de type « opérateur d'opérateurs », la valeur ajoutée de l'exploitant du réseau se limite à la fourniture de l'accès au client final avec une bande passante symétrique de 50 à 100 Mbit/s ou plus, et à acheminer les flux des abonnés à chaque fournisseur de services selon des modèles réseaux basés sur Ethernet et/ou IP.

Evidemment, ces flux de données exigent des traitements spécifiques au niveau de la qualité de service, selon leur origine. Là où le trafic Internet peut se contenter d'un transport non synchrone, des applications comme la voix, la télévision ou bien la vidéo à la demande exigent des garanties de temps de transport, de gigue et de perte de paquet bien plus strictes.

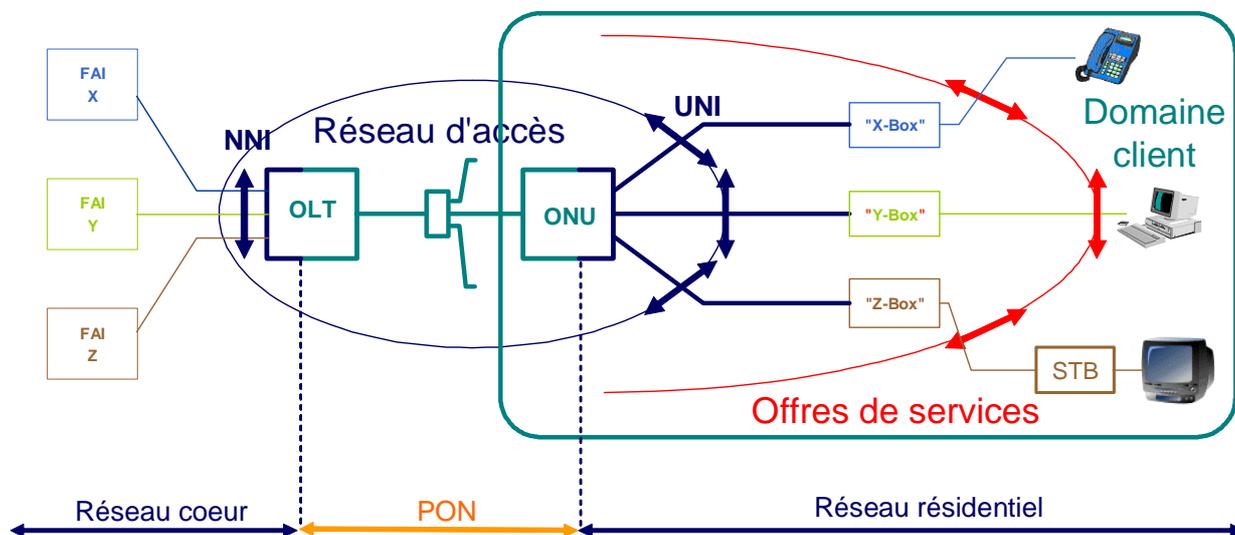
Les réseaux point à multipoints PON offrent naturellement, de par leur architecture, une gestion multi-utilisateurs optimisant l'allocation de la bande passante tout en gérant une différenciation de la qualité de service en fonction des contraintes desdits services.

Les réseaux PON permettent d'assurer la confidentialité des données grâce à des algorithmes performants de cryptage et la parfaite séparation des flux des différents clients et des différents fournisseurs de services.

Par ailleurs, du fait de l'utilisation du standard Ethernet côté réseau et côté utilisateur, les PONs garantissent l'interopérabilité avec les réseaux existants.

Les équipements de terminaison d'accès chez l'abonné, exploités par l'opérateur d'opérateurs sont capables de fournir une grande variété d'interfaces (POTS, Ethernet, CATV, VDSL). On peut donc envisager qu'un abonné puisse souscrire à des services fournis par différents acteurs et en changer facilement. Un abonné peut par exemple souscrire au service voix de l'opérateur historique, au service Internet d'un opérateur alternatif, et au service de télévision d'un opérateur de télévision local grâce au support du transport de la télévision analogique et numérique au format DVB.

La figure suivante illustre la faisabilité de la multiplicité des offreurs de services chez un même utilisateur.



#### Acronymes

BOX	Passerelle résidentielle (spécifique au FAI)
FAI	Fournisseur d'Accès Internet
STB	Set Top Box vidéo
UNI	User to Network Interface
NNI	Network to Network Interface

Les interfaces UNI et NNI sont de l'Ethernet standard (10/100/1000 Base T)

En conclusion et pour les services résidentiels, au-delà de la latitude offerte aux fournisseurs de services en matière de différenciation et de création de nouveaux services, les réseaux PON permettent de sortir du modèle captif de services « packagés » actuels pour apporter une complète liberté de choix de fournisseur au le client final.

Ils permettent également à de petites structures locales de fourniture de services d'accéder au client final sans avoir à investir dans le déploiement et la maintenance d'équipements actifs (raccordement sur le réseau d'accès de la collectivité locale).

## 7.2 Services aux entreprises

Dans le cas des services destinés aux entreprises, le support des standards de réseaux de données que sont Ethernet et IP sont indispensables.

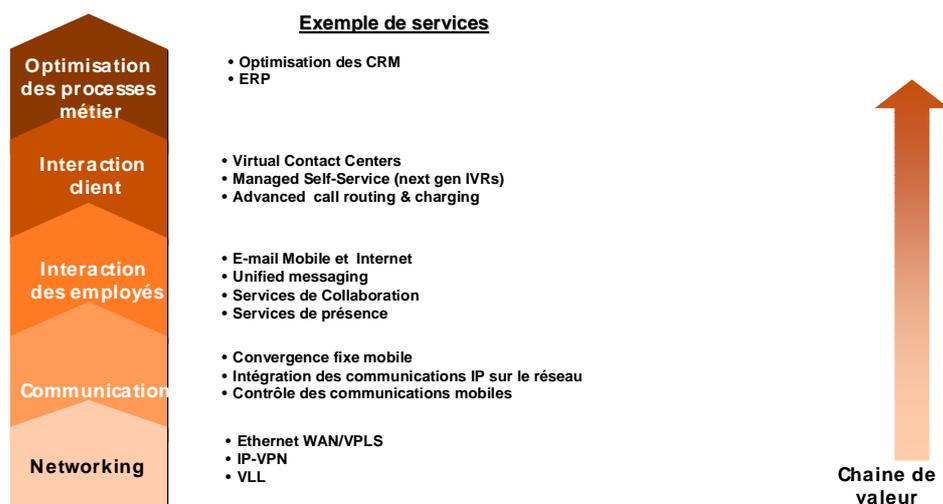
On trouve trois familles de services de base pour le marché des entreprises :

- ❑ Les services de transport de données transparents sur Ethernet (VLL, VPLS) ;
- ❑ Les services de transport de données au niveau IP avec interaction de routage (IP VPN) ;
- ❑ Les services de voix et de voix sur IP (VoIP).

Ces services reposent sur un transport standardisé sur IP et Ethernet qui est complètement supporté et interopérable sur les réseaux PON, qu'il s'agisse d'un réseau activé ou d'un réseau passif. Par ailleurs et quelle que soit la topologie du réseau (Ethernet point à point, Ethernet actif et réseau point à multipoints), ces services nécessitent un support de MPLS au niveau des commutateurs d'agrégation et des routeurs de point de présence (IP Edge) qui sont le domaine des fournisseurs de services ou de l'opérateur d'opérateurs.

**Quel que soit le cas de figure, l'utilisation exclusive dans les équipements PON des standards ITU, IEEE, IETF ou FSAN, garantit une parfaite interopérabilité entre l'abonné, l'opérateur d'opérateurs et les fournisseurs de services.**

Au delà de ces services de simple connectivité point à point ou de connectivité « intelligente » comme c'est le cas des services de réseaux privés multipoints (VPLS et IP VPN), la différenciation des fournisseurs de services se joue plus haut dans la chaîne de valeur, avec des applications qui touchent le mode de travail (interactions entre collaborateurs) ou les applications métiers (ERP Enterprise Resource Planning, par exemple SAP).



Au final, la simple fourniture de bande passante s'efface au profit d'un partenariat tri-partite entre opérateurs, fournisseurs de services et clients entreprises pour l'élaboration de solutions clef en main qui demandent un travail conjoint de définition et d'intégration entre les différents partenaires.

Dans ce contexte, l'infrastructure de l'opérateur d'opérateur de la collectivité territoriale a un rôle de « simple » connectivité qui n'oblitére en aucune façon la capacité des différents fournisseurs à construire sur ce socle des offres de services pertinentes et différenciées.

En revanche, il est indispensable pour l'infrastructure de l'opérateur d'opérateur de supporter toutes les technologies et les pré-requis pour le transport de ces services avancés :

- ❑ Un support de MPLS dans l'agrégation, seul capable de garantir de la bande passante en environnement mutualisé et garantissant une correction de panne en moins de 50 millisecondes ;
- ❑ Le support des services de connectivité intelligents sur MPLS, qui permettent de simplifier la gestion des services pour l'exploitant du réseau et d'offrir plus de souplesse et autonomie aux fournisseurs de services ;
- ❑ Une gestion stricte et interopérable de la qualité de service au niveau Ethernet et IP ;
- ❑ Un transport garanti de la voix sur IP et des applications synchrones (Vidéo, CFAO, sécurité, Scada...) ;
- ❑ Une bande passante symétrique pour les applications d'hébergement Intranet, Extranet et Internet ;
- ❑ Une excellente séparation des flux sur media partagé pour garantir la sécurité des données de chaque entreprise.

Ces pré-requis ont été pris en compte lors de la conception des réseaux PON, qui permettent par ailleurs une optimisation des investissements et un coût réduit d'opération de l'infrastructure passive.

La mise en place d'un réseau PON, en mode partagé, garantit aux opérateurs de pouvoir faire des offres de services différenciées auprès des entreprises comme des particuliers.

En effet, quel que soit le cas de figure, l'utilisation exclusive dans les équipements PON des standards ITU, IEEE, garantit une parfaite interopérabilité entre l'abonné, l'opérateur d'opérateurs et les fournisseurs de services.

Les réseaux PON, étant basés sur Ethernet et IP, sont compatibles avec les solutions déjà mises en œuvre pour les entreprises ou les particuliers.

En outre, la possibilité, sur les réseaux PON, d'avoir accès à une bande passante symétrique et plus élevée que sur les technologies

actuelles permet le développement de nouveaux services liés au partage de contenus, à la domotique et à l'Internet v2 qui sont difficilement mis en oeuvre actuellement.

## 8 Le PON : une technologie pérenne qui anticipe les besoins à venir

La question se pose régulièrement de savoir si les architectures PON sont suffisamment évolutives pour satisfaire les besoins en débits croissants des utilisateurs. Malgré l'intérêt évident des architectures PON qui permettent de mutualiser les débits de manière dynamique entre plusieurs utilisateurs, faudra-t-il un jour fournir une liaison point à point à chaque utilisateur, comme le suggère une autre idée reçue ?

Une observation des futures technologies de réseaux d'accès optiques permet de voir se dessiner deux tendances :

- Evolution vers une nouvelle génération d'équipements actifs pour supporter de plus hauts débits sur le PON. L'IEEE a déjà commencé de définir une nouvelle génération de PON avec un débit de 10 Gbit/s. L'augmentation du débit permettra ou bien d'augmenter le couplage ou bien d'augmenter les débits en gardant un couplage équivalent (plus de 300 Mbit/s garantis pour un couplage de 32 ou 150 Mbit/s garantis pour un couplage de 64).
- La technologie DWDM (multiplexage en longueur d'onde) apparaît progressivement dans les réseaux d'accès et semble être la technologie du futur. Cette technologie a déjà permis d'obtenir des débits de plusieurs Tbit/s sur une seule fibre. Le DWDM permettra d'offrir à l'utilisateur, en cas de besoin, des liaisons point à point optiques superposées en environnement PON.

Il est intéressant de noter, sur cette dernière technologie, que la longueur d'onde est désormais considérée par le régulateur français comme une infrastructure passive<sup>7</sup>. Le PON WDM satisfera ainsi pleinement ceux qui souhaiteraient voir les collectivités investir dans des réseaux d'accès FTTx exclusivement passifs et de fait clôturera le débat, définitivement cette fois, sur les avantages comparés des infrastructures fibre noire point à point et des réseaux PON, en permettant de superposer sur la même topologie arborescente de fourreaux et de fibre des topologies d'accès PON et des topologies d'accès point à point.

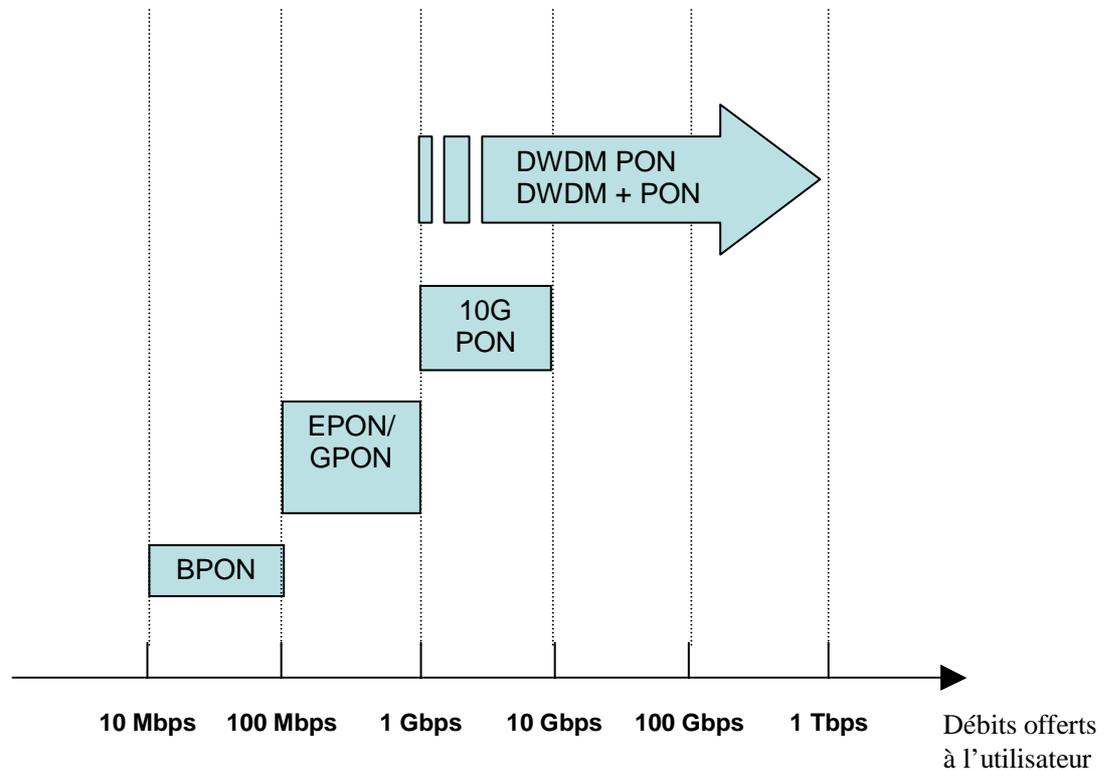
PON et WDM permettront donc dans les années à venir d'accompagner la demande en bande passante des utilisateurs finals à des coûts compétitifs.

Dans un futur plus lointain, les débits devraient encore augmenter avec, entre autre, de nouveaux schémas de modulation du signal lumineux.

---

<sup>7</sup> Ce qui n'était pas le cas durant tout le débat sur le passage de l'article L 1511-6 du CGCT à l'article L 1425-1.

Notons que ces évolutions se feront sans remettre en cause l'infrastructure fibre installée. Elles n'auront d'impact que sur les équipements d'extrémité et, peut-être, sur les coupleurs.



Les architectures PON sont évolutives et permettront d'augmenter les débits avec des nouvelles générations de terminaison actives. Des liaisons PON dédiées pourront également être proposées aux utilisateurs en cas de besoin avec l'introduction du DWDM et l'affectation d'une longueur d'onde par utilisateur.

Les équipements actifs chez l'utilisateur actuels fournissent actuellement des capacités à minima d'1 Gbit/s, niveau plus que suffisant pour répondre à la demande. Les équipements PON ne constitueront donc pas un frein à la demande croissante des utilisateurs au niveau de la bande passante.

La flexibilité des réseaux PON permettra au contraire d'accompagner cette demande à coûts maîtrisés.

## 9 Le déploiement de réseaux PON en mode actif : un facteur de diversification et d'accélération de la concurrence

Technologie adaptée, en mode passif et au même titre que d'autres technologies passives, à une mise en concurrence par les infrastructures, technologie qui rend possible en mode actif, et au même titre que d'autres technologies actives, mais de manière intrinsèque et optimisée, une mise en concurrence par les services, **le PON n'induit aucun mode de concurrence a priori.**

Cependant, le PON exploité en mutualisation active ouvre des perspectives inédites :

- ses performances en termes de capacité, de portée et de qualité rendent tout à fait inadéquate toute comparaison avec la paire de cuivre ; ce commentaire s'applique de fait à l'ensemble des technologies FTTH exploitées en mode actif : afin de tirer tout le bénéfice de la vraie rupture qu'induit la fibre optique, il convient de ré-interroger la validité des modèles de mise en concurrence par les infrastructures adoptés à juste titre pour la paire de cuivre ;
- l'adoption d'interfaces standardisées Ethernet-IP garantit la transparence vis-à-vis des fournisseurs de services, sous réserve que leurs équipements (« x-Box ») ne soient pas dotés d'interfaces peu ou prou propriétaires ;
- ses caractéristiques en font une technologie conçue pour tirer intrinsèquement le meilleur parti de la typologie des services Internet ; cela lui permet d'ouvrir des perspectives inaccessibles aux technologies alternatives dans les mêmes conditions économiques ;
- la topologie retenue en fait la seule technologie capable de tirer un véritable parti de l'évolution technologique annoncée vers le multiplexage en longueur d'onde.

Ainsi et sous réserve que le régulateur prenne acte d'un cadre technologique qui a évolué et redéfinisse en conséquence le cadre juridique d'une concurrence neutre, transparente et non discriminatoire, la mutualisation active en général et la technologie PON en particulier ne sauraient être un frein, mais seront au contraire un facteur d'élargissement et de diversification de la concurrence. Ils modifieront en profondeur les conditions d'une concurrence qui ouvre la voie :

- à de nouveaux fournisseurs de services à très forte valeur ajoutée, écartés par les barrières économiques de mise en oeuvre de fibre noire, pour lesquels la location de capacité est de loin la plus adéquate ;
- aux collectivités ou à leurs délégataires qui pourront mettre à profit dans des conditions viables l'article L.1425-1 du CGCT, en abaissant les barrières économiques d'entrée ;

- à une libération des utilisateurs vis-à-vis de l'offre actuelle de services captifs sur le mode « triple play » et « x-Box » qui prévaut actuellement.

Dans un modèle de concurrence ainsi redéfini, c'est la satisfaction des utilisateurs finals qui est privilégiée : ils peuvent bénéficier, simultanément, d'offres diversifiées. Les réseaux ouverts actifs signent ainsi la fin d'un modèle de concurrence centré sur les seuls opérateurs et redonne enfin leur place aux utilisateurs finals et à des modes de consommation de moyens de communication pluriels et spécifiques.

## **9.1 Mutualisation optique active et « bitstream » sur paire de cuivre**

S'agissant de la paire de cuivre, on comprend bien la nécessité d'une concurrence par les infrastructures, par opposition à la seule revente de débit acheté en gros à France Telecom, qualifiée de « bitstream ».

A vouloir transposer cette analyse au cas des réseaux d'accès sur fibre optique, qu'ils soient point à point ou point multipoints, on méconnaît à la fois :

- les capacités de transport de la fibre optique, qui ne peuvent être comparés à celles sur DSL,
- l'absence de contrainte linéaire liée à la localisation des points de flexibilité en matière d'éligibilité de lignes (contrairement à celle liée à la proximité des NRA),
- et, s'agissant du PON, le caractère natif du partage de capacités avec QoS sur ce type de réseaux, la granularité des débits allant de la communication téléphonique jusqu'à la longueur d'onde.

Assimiler une longueur d'onde à une paire de cuivre, dans ses effets sur la diversification des services, la baisse des tarifs et le nombre d'acteurs qu'elle induit, paraît donc peu pertinent.

## **9.2 Mutualisation active : ouvrir le champ de la concurrence par les services**

Loin de remettre en cause la concurrence ou de constituer un retour au monopole, la mutualisation de structures actives, comme dans les réseaux PON, crée une nouvelle dynamique en rendant accessible au plus grand nombre ce qui était réservé jusqu'à présent aux seuls grands groupes : la capacité de transport sur fibre native.

De fait, des services de transport de capacité sur fibre, tels que les réseaux actifs les autorisent, vont provoquer, pour les entreprises et les particuliers,

l'arrivée de nouveaux fournisseurs de contenus et d'applications, notamment à forte valeur ajoutée (ensemble des téléservices aux entreprises : téléarchivage, télésécurité et téléback-up, ... et aux particuliers). Ils ouvrent le marché à des fournisseurs de services n'y ayant pas accès aujourd'hui, compte tenu du niveau tarifaire et du type de services.

On mesure les changements de paradigme que sont susceptibles de créer, dans ses principes de régulation, l'émergence de technologies de transport de gros multi-services et multi-opérateurs, si celles-ci venaient à générer une réelle dynamique économique pour les opérateurs de détail, établissant ainsi une concurrence effective à partir des services.

Le retour d'expérience international montre que les réseaux FTTH en accès actif ouvert permettent la mise à disposition de capacités de transport très large bande et jouent un rôle démultiplicateur sur la création de services en aval et l'augmentation de la qualité de ces services.

### 9.3 Mutualisation active, collectivités et utilisateurs finals

Le 7 janvier 2004, lors des débats parlementaires dans le cadre de la loi sur la confiance dans l'économie numérique et le futur article L 1425-1, la Ministre déléguée en charge de la présentation du projet de loi s'exprimait ainsi :

*« Les collectivités devraient pouvoir disposer de la compétence d'opérateur d'opérateurs afin de favoriser le développement des services. En effet, l'optimum économique veut que certains équipements puissent être utilisés simultanément par plusieurs opérateurs. Si la collectivité ne dispose pas de la compétence d'opérateur d'opérateurs, elle n'aura d'autre choix que de louer ses équipements actifs à un unique opérateur, sans pouvoir contraindre ce dernier à en permettre un accès raisonnable à des concurrents ».*

Et de préciser que cette compétence d'opérateur actif **doit permettre à la collectivité « d'organiser la mutualisation de son réseau ».**

Non seulement la mutualisation active baisse les barrières d'entrée pour les collectivités et pour les fournisseurs de services et s'inscrit ainsi dans l'optimum économique visé par la loi mais elle libère les utilisateurs finals de toute forme de services captifs. Parmi d'autres possibilités de mutualisation active et dans de meilleures conditions économiques et techniques, les réseaux PON permettent d'aller plus loin dans la différenciation des offres commerciales en sortant du modèle d'offre multiservice *triple play* qui prévaut actuellement dans le haut débit. Ils offrent la possibilité d'installer plusieurs « x-Box » derrière la même liaison et d'activer, en temps réel, différents opérateurs éventuellement concurrents sur leur secteur.

## 9.4 La concurrence, à partir d'un réseau PON, diffère en tous points de celle générée par les réseaux câblés

La concurrence, à partir d'un réseau PON, diffère de celle autorisée par un réseau câblé, à la fois sur les plans quantitatif et qualitatif.

Un réseau PON permet de délivrer, à une multitude d'opérateurs usagers, simultanément et sans investissement supplémentaire, toute une panoplie de services configurables à la demande. Il n'y a aucune restriction sur le nombre d'opérateurs usagers.

La limite en bande passante est très supérieure à celle d'un réseau câblé ; elle est surtout garantie par utilisateur et allouée de manière dynamique, permettant de répondre en temps réel aux besoins des utilisateurs finals.

Le PON est doté de fonctions « multi-opérateurs », de façon native, pour les exploitants qui le souhaitent, avec les modes de management dédiés au partage de ressources.

Il s'inscrit dans une logique de concurrence particulièrement adaptée aux fournisseurs de services réactifs, en termes commerciaux et de contenus.

Les réseaux PON développent un modèle de concurrence différent et complémentaire de celui mis en œuvre sur les seules infrastructures fibres noires :

- différent parce qu'il met à disposition du plus grand nombre de fournisseurs de services des capacités de transport à très haut débit qui ne leur seraient accessibles qu'en mode propriétaire. L'accès natif à de l'IP ou de l'Ethernet sur fibre optique est désormais ouvert à tous sans contraintes de débits.
- complémentaire parce qu'il mobilise non seulement des acteurs de premier rang comme pour les infrastructures fibre noire mais aussi des opérateurs sectoriels susceptibles d'apporter leur valeur ajoutée à des services encore très standardisés autour du seul triple play.

**Ce modèle de concurrence privilégie en outre la satisfaction des utilisateurs finals qui peuvent bénéficier, simultanément, d'offres diversifiées.**

## 10 Les réseaux PON : une économie d'investissement et d'exploitation

### 10.1 Des coûts d'investissement favorisant un environnement multi-opérateurs

La solution PON présente des avantages importants et facilement quantifiables par rapport aux autres topologies de réseau, Active Ethernet et Ethernet point à point.

- Dans le cas d'une exploitation passive du PON :

Si on prend l'exemple d'un réseau PON mutualisé servant 10 opérateurs, l'économie en fibre obtenue sur la section 1<sup>8</sup> - qui représente la plus grande longueur de fibre optique - est de l'ordre d'un facteur **trente** (cas d'un couplage de 32) par rapport à un réseau Ethernet point à point.

L'architecture PON est également plus flexible lors de la montée en charge du réseau et de l'accroissement de la pénétration. Cela permet un investissement étalé dans le temps, là où une architecture point à point nécessite d'anticiper dès le premier jour les capacités en fibres de la section 1 telles qu'elles peuvent être au niveau de pénétration final.

- Dans le cas d'une exploitation active du PON :

- ✓ **Minimisation de la longueur de fibres à poser :**

Avec ce modèle, il n'est plus nécessaire de placer des *coupleurs optiques* pour chacun des opérateurs au niveau des points de flexibilité fibre comme dans le cas d'une mutualisation purement passive. De plus, il est possible d'optimiser plus avant la localisation et la hiérarchie des *coupleurs optiques* pour n'utiliser qu'un minimum de fibres optiques et un minimum de coupleurs. Par ailleurs, cette solution permet de réutiliser tant que faire se peut l'existant des infrastructures passives.

Par conséquent, les économies réalisées en consommation de fibres par rapport à l'architecture Ethernet point à point sont encore supérieures à celles constatées dans le cas d'exploitation passive de réseau PON.

C'est un élément important en faveur des réseaux PON car la réparation d'un câble de 720 fibres optiques (qui aurait été accidentellement coupé) dure environ 30 heures, à condition de pouvoir accéder physiquement au point de réparation (cas d'un égout visitable). Dans le cas d'un réseau

---

<sup>8</sup> Fig. n° .. « câble d'alimentation entre le nœud de raccordement optique et le point de flexibilité fibre »

point à multipoint, les câbles sont d'une densité très inférieure, minimisant ainsi fortement le temps de réparation et le risque d'erreur.

### ✓ **Minimisation des coûts liés aux NRO<sup>9</sup>**

Les réseaux PON permettent de réduire le besoin d'espace et la consommation électrique dans les NRO par rapport aux réseaux point à point.

Par exemple un bâti de 42U permettant de gérer 6144 abonnés en PON avec seulement 96 fibres optiques (feeder) à brasser soit une baie optique sous-utilisée. Avec une solution de type point à point Ethernet, cette même densité d'abonnés nécessiterait six bâtis pour les commutateurs Ethernet, (environ 1000 abonnés maximum par bâti), et une capacité d'accueil et de brassage de 6144 fibres optiques nécessitant environ une dizaine de baies optiques pour les terminaisons fibres et le brassage. Il y a approximativement un ordre de grandeur supplémentaire en surface à prévoir pour une solution point à point par rapport au PON.

La puissance électrique consommée est également réduite à 0,34W par abonné dans le cas du PON contre environ 3 W par abonné dans le cas d'une solution Ethernet point à point.

L'exploitation du réseau PON en actif permet une meilleure utilisation de l'espace NRO nécessaire puisque les équipements actifs sont également mutualisés, ce qui évite que chaque fournisseur de service vienne installer ses propres équipements d'accès et d'agrégation et multiplie ainsi les contraintes électriques et environnementales.

Le Ministère de l'Industrie a fait procéder récemment, dans le cadre de la Mission Très Haut Débit à une étude comparée des coûts d'investissements entre réseau GPON et réseau Gigabit Ethernet. La modélisation mise en œuvre conclue à un coût inférieur du déploiement PON par rapport à la technologie point à point.<sup>10</sup>

Au total, le choix de la topologie PON permet, aussi bien dans le cadre d'une délégation passive qu'active, d'importantes économies au niveau des investissements :

- ❑ Moins de fibres pour la section transport (feeder)
- ❑ Une topologie hiérarchisée et optimisée dans le cas d'une délégation active
- ❑ aucun d'équipements actifs en dehors du NRO et de l'abonné
- ❑ Moins de NRO ou des NRO plus petits d'un facteur 3
- ❑ Moins d'épissures
- ❑ Moins de brassage
- ❑ Repérage simplifié

---

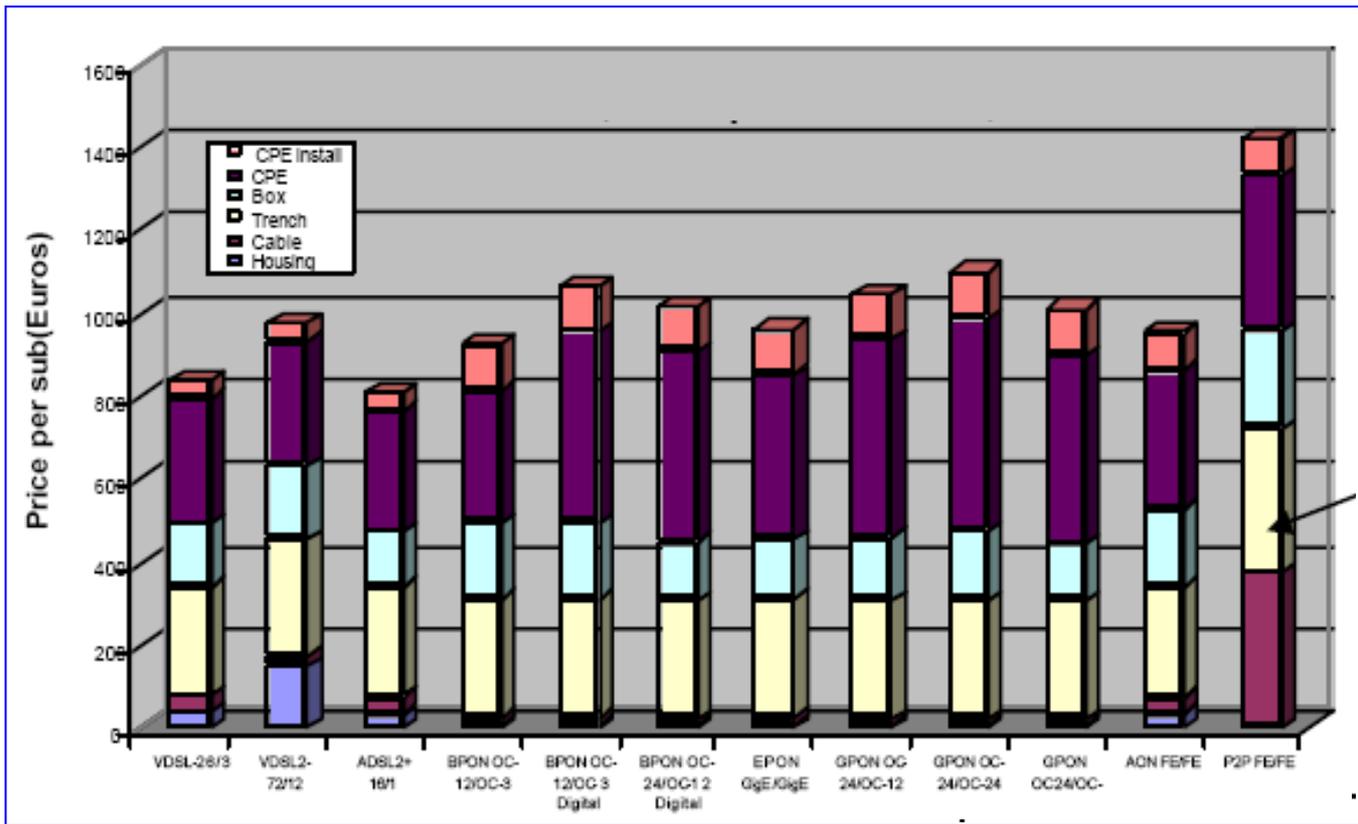
<sup>9</sup> NRO – Nœud de Raccordement Optique

<sup>10</sup> Etude « Réseaux Très haut débit » - Idete pour le compte du Ministère de l'Industrie – Avril 2006.

Enfin, les investissements liés au déploiement d'un réseau PON sont progressifs. Contrairement aux réseaux point à point, cette technologie ne nécessite pas le financement de l'intégralité du réseau dès sa mise en œuvre. Le déploiement d'un réseau PON fonctionne sur le mode du « *pay as you grow* » anglo-saxon qui pourrait se traduire par : des investissements directement liés à la montée en charge du réseau. Les éléments de réseau (cartes OLT, ONT, splitter ...) sont installés de manière modulaire en fonction du taux de pénétration.

Le modèle d'exploitation d'un réseau PON en actif permet un *business plan* plus solide que celui d'une exploitation purement passive du RIP, et donc une durée d'amortissement des investissements plus courte, tout en maximisant le niveau de service et la concurrence générée sur le réseau d'accès.

Eléments de sensibilité des CAPEX en fonction de la technologie utilisée  
 Source :Idate-Lucent - 2006



## 10.2 Les réseaux PON : des charges d'exploitation optimisées

Le choix de l'architecture PON permet des gains d'exploitation durant toute la vie du réseau. Le retour d'expérience des RBOC américains a permis de constater **une économie de l'ordre de 40% en OPEX<sup>11</sup>** par rapport à une solution point à point.

### Minimisation des coûts de maintenance

Cette économie de fibre permet de concentrer plus en amont les nœuds de raccordement optique, de réduire jusqu'à un facteur de 64 le nombre d'épissures et de brassage de la fibre, et enfin d'optimiser les coûts de maintenance du réseau, notamment dans les tâches de soudure de la fibre qui sont souvent sous estimées.

C'est un élément important en faveur des réseaux PON car, comme il a été vu précédemment, la réparation d'un câble de 720 fibres optiques (qui aurait été accidentellement coupé) dure environ 30 heures, à condition de pouvoir accéder physiquement au point de réparation (cas d'un égout visitable). Dans le cas d'un réseau point à multipoint, les câbles sont d'une densité très inférieure, minimisant ainsi fortement le temps de réparation et le risque d'erreur.

L'absence de matériel actif sur le parcours de la fibre minimise également les déplacements de maintenance : un coupleur ne nécessite pas les interventions sur site que génèrent des équipements d'activation intermédiaires.

### Gestion simplifiée des abonnements

Le fait de gérer une infrastructure active permet à l'utilisateur de changer encore plus facilement de FAI que dans le cas d'une exploitation passive du PON. Cette procédure ne requiert en effet aucune intervention dans le point de flexibilité. Le changement se fait de manière instantanée par simple intervention logicielle. Les erreurs de câblage sont réduites à néant puisqu'il n'y a plus besoin de faire des épissures, ce qui évite de longues interruptions de service.

De manière générale, les charges d'exploitations liées à l'utilisation d'un réseau PON sont inférieures à celles générées par les réseaux point à point. Cette situation est mise en avant régulièrement par les opérateurs ayant eu à gérer les deux cas de figure. Une étude commanditée par l'ARCEP et la Caisse des Dépôts et Consignations en Avril 2005 au cabinet « Le Chanel » sur les réseaux FTTx aux Etats-Unis notait déjà: « *Le PON est une architecture de FTTH passive, c'est-à-dire sans équipement électrique*

---

11 OPEX – Maintenance, exploitation

*dans la boucle de distribution (...). C'est la solution FTTH la plus économique à ce jour »<sup>12</sup>*

### **10.3 Co-existence possible des technologies FTTH et des modes d'exploitation**

Les différentes technologies FTTH (PON, Ethernet point à point, Ethernet actif) utilisent les mêmes fibres optiques (à savoir monomodes) et peuvent par conséquent co-exister au sein d'un même réseau d'accès.

De même, il est possible d'exploiter simultanément une partie du réseau de manière active et une autre de manière passive.

Le schéma suivant illustre ce propos. Dans le NRO, co-existent différentes technologies PON et point à point. Dans le cas de l'exploitation passive, on observe une mutualisation des coupleurs optiques dans le point de flexibilité ainsi que des équipements actifs dans le NRO. Dans le cas de l'exploitation active, les coupleurs optiques sont dédiés ainsi que les équipements actifs (OLT).

Le choix de la topologie PON permet, aussi bien dans le cadre d'une délégation passive qu'active, d'importantes économies au niveau des investissements :

- ❑ Moins de fibres pour la section transport (feeder)
- ❑ Une topologie hiérarchisée et optimisée dans le cas d'une délégation active
- ❑ aucun équipement actif en dehors du NRO et de l'abonné
- ❑ Moins de NRO ou des NRO plus petits d'un facteur 10
- ❑ Moins d'épissures
- ❑ Moins de brassage
- ❑ Repérage simplifié

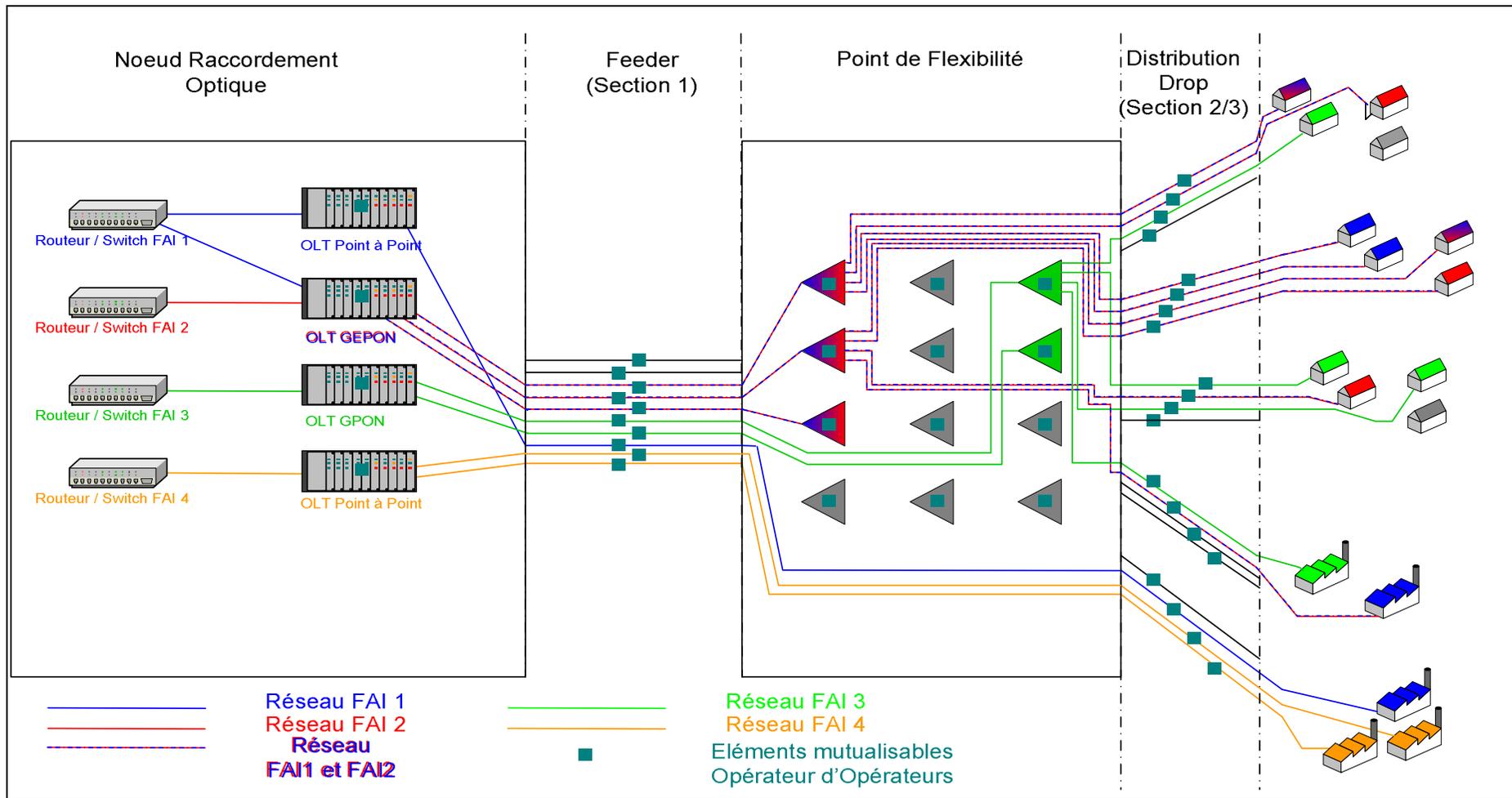
Le modèle d'exploitation d'un réseau PON en actif permet un *business plan* plus solide que celui d'une exploitation purement passive, et donc une durée d'amortissement des investissements plus courte, tout en maximisant le niveau de service et la concurrence générée sur le réseau d'accès.

---

12 Pour le compte de l'ARCEP et la Caisse des Dépôts et Consignations : étude du Cabinet Le Channel « *Collectivités territoriales et Haut débit : Etats-Unis, panorama de l'intervention publique dans le développement d'infrastructures haut débit* ».

Les réseaux PON entraînent des coûts inférieurs à ceux des réseaux point à point.

Le choix de l'architecture PON permet des gains d'exploitation durant toute la vie du réseau. Le retour d'expérience des opérateurs disposant d'une bonne antériorité a permis de constater **une économie de l'ordre de 40% en OPEX<sup>13</sup>** par rapport à une solution point à point.



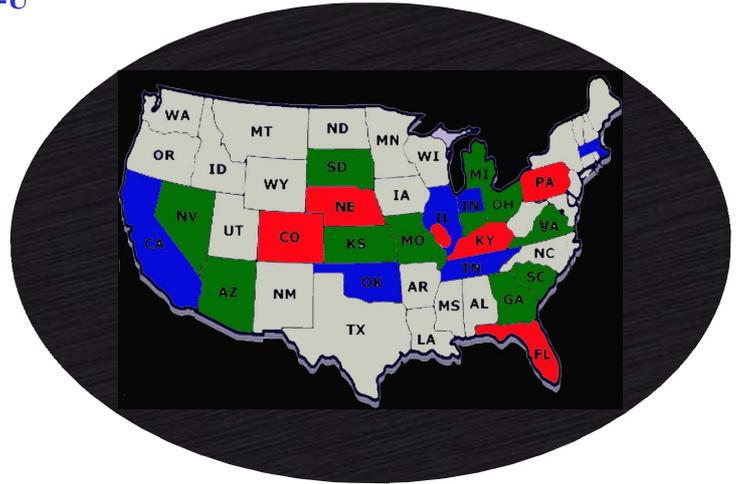
Réseau multi-technologies avec partage de l'actif et mutualisation du passif

# 11 Annexes

## Exemple de mise en œuvre de réseaux PON sur des clientèles diversifiées

Parc de clients pour un même équipementier PON aux E-U (extraits)

- *Opérateurs locaux historiques dans 11 Etats* ■
- *Déploiement par des Municipalités dans 6 Etats* ■
- *Opérateurs alternatifs locaux dans six Etats* ■



Source: Wave 7

# GLOSSAIRE

## A

### **ADSL:**

(Asymmetric Digital Subscriber Line). Technologie de compression de l'information permettant d'augmenter le débit sur des lignes téléphoniques en cuivre. Le canal descendant (downstream) autorise des débits de l'ordre de 8 Mb/s par rapport au canal montant (upstream) proche de 1 Mb/s. ADSL est une des technologies DSL de haut débit sur paire de cuivre. Le signal ne peut être délivré valablement au delà de quelques kilomètres (3-4) du répartiteur. L'ADSL 2+ permet d'augmenter le débit pour tendre vers 20 /1 Mb/s descendant/montant à moins de 2 km (débits théoriques).

### **ATM:**

(Asynchronous Transfer Mode): Technologie de transmission de l'information qui associe la commutation de circuits et la technique de gestion de la bande passante utilisée pour la commutation par paquets. Cette transmission est réalisable sur tous les supports. L'ATM permet de multiplexer diverses sortes de flux: voix, données, images. Elle distribue dans des intervalles de temps les informations aux différents destinataires. Elle est asynchrone (du fait de la gestion des paquets) et permet de disposer d'une bande passante de 155 à 622 Mb/s. Cette technologie est aujourd'hui dépassée par le mode de transmission IP, plus économique et plus souple, mais qui nécessite un autre type d'infrastructure technique. En effet, le routage des paquets dans l'ATM est physique alors que dans l'IP il est logique et donc paramétrable. L'ATM est souvent utilisée sur les réseaux de type SDH pour des volumes de transport importants par des opérateurs dont les équipements sont surtout orientés voix.

## B

### **Bande passante:**

Largeur de la plage de fréquences utilisées pour la transmission du signal sur une liaison télécom. On l'utilise pour qualifier un signal ou un flux, auquel cas, c'est la plage de fréquence qui limite ce signal ou ce flux. Elle est exprimée en Hertz (Hz, KHz, Mhz, Ghz) La bande passante d'un signal permet de déterminer sa capacité de transmission, c'est à dire son débit, exprimé en bits/s (Kb/s, Mb/s, Gb/s). On confond souvent ces deux termes en pratique. La bande passante d'une liaison peut être structurée de diverses manières pour séparer et transporter des types de flux différents. La transmission désigne la fonction de circulation du signal sur le support physique. Une partie de la bande passante est affectée aux diverses fonctions de contrôle et de service de transport de l'information. Une fibre optique offre couramment une bande passante de 30 Gb/s, selon la technologie utilisée. La relation entre la bande passante et le débit maximal est :  $D = 2.B.\log_2(V)$ , où V désigne le nombre de valeurs distinctes dans un intervalle élémentaire de temps de transfert d'information.

### **Boucle locale:**

Réseau filaire ou radioélectrique qui distribue les postes des abonnés depuis un répartiteur. La boucle locale est ainsi la partie terminale du réseau d'un opérateur vers l'abonné. L'accès à la boucle locale cuivre s'effectue à partir du répartiteur. On parle de sous-boucle locale cuivre pour qualifier le segment entre le sous-répartiteur et l'abonné.

## C

### **CGCT:**

Code Général des Collectivités Territoriales: Sa partie législative est votée par l'Assemblée

### **CO:**

(Central Office): Sites centraux du réseau où les opérateurs de services viennent s'interconnecter.

### **Commutateur:**

Équipement de réseau qui reçoit des signaux d'une ligne en entrée et les transfère vers une ligne en sortie. Il interconnecte ainsi deux segments d'un réseau. Le commutateur (en anglais Switch) assure soit de la commutation de circuits soit de la transmission de paquets. Différents types de commutateurs existent selon le niveau hiérarchique auquel ils sont placés dans un réseau. Un commutateur optimise l'utilisation de la bande passante dans la gestion du trafic. La programmation logique des commutateurs permet en effet de paramétrer et d'optimiser l'organisation du trafic sur le réseau. Le commutateur utilise les adresses dites MAC (Medium Access Control) qui sont les identifiants des équipements physiques du réseau pour acheminer le trafic. Un commutateur d'abonnés (CAA) analyse le signal et sélectionne la bonne sortie automatiquement.

### **Commutation:**

La fonction de commutation assure le routage (ou aiguillage) de l'information d'un point à l'autre du réseau depuis l'émetteur jusqu'au destinataire de cette information. Pour cela elle est opérée dans les équipements de terminaison (commutateurs) situés aux différents nœuds du réseau. On distingue deux types de commutation: la commutation de circuits et la commutation de paquets. Le mode "circuit" est utilisé en téléphonie courante. Il mobilise un circuit physique pendant toute la durée de l'échange entre l'émetteur et le récepteur. Il utilise en général les technologies synchrones et asynchrones SDH et ATM de transport. Le mode "paquet" correspond à une segmentation de l'information en "paquets" successifs qui sont acheminés vers le destinataire le long des différentes liaisons disponibles. Ce dernier mode est en particulier celui du protocole IP.

### **Connectivité optique:**

Voir " Service de connectivité optique "

### **CPE-FFTB:**

(Customer Premise Equipment), désigne un équipement terminal utilisateur dans le cadre d'un réseau de fibres jusqu'au bâtiment.

## D

### **Débit:**

Quantité de données transitant sur un réseau pendant une durée déterminée. Elle se mesure en bits/s soit Kb/s, Mb/s, Gb/s. Voir Bande passante. Le débit et la bande passante sont souvent confondues en pratique pour désigner la vitesse de transmission de l'information.

**Dégroupage de la boucle locale:**

Le dégroupage de la boucle locale ou l'accès dégroupé consiste pour les opérateurs à utiliser le réseau local de l'opérateur historique, constitué de paires de fils de cuivre, pour desservir directement leurs abonnés. Dans cette hypothèse, l'usage du réseau local de l'opérateur historique est naturellement rémunéré par l'opérateur nouvel entrant.

**DSL:**

Technologie de traitement / compression du signal qui permet d'augmenter les débits pouvant transiter sur les paires de fils de cuivre torsadées téléphoniques, avec un canal montant et un canal descendant. Cette liaison point à point nécessite un modem chez l'utilisateur et un DSLAM au central téléphonique qui va regrouper les flux des lignes des utilisateurs. Les technologies DSL diffèrent selon leurs caractéristiques (symétrie ou non, débit, distance de livraison, vitesse).

**DSLAM:**

(Digital Subscriber Line Multiplexer) : Equipement installé dans les NRA de l'opérateur (répartiteur), qui assure la conversion des flux ATM en flux DSL vers les utilisateurs. Le DSLAM permet à un opérateur alternatif de disposer d'un ensemble de connexions DSL vers des utilisateurs, dans le cadre du dégroupage. Il est installé dans une salle de colocalisation et connecté au réseau de l'opérateur historique par une liaison fibre. Les DSLAM VDSL sont des équipements qui permettent de dépasser les 20 Mb/s qui utilisent la norme UIT dite VDSL2 et qui doivent être installés au niveau des sous-répartiteurs de France Telecom pour être près des abonnés (30 Mb/s sur 1 km, 20 Mb/s sur 2 km).

**DWDM:**

(Dense Wavelength Division Multiplexing)": Multiplexage en longueur d'ondes. Technique permettant d'augmenter la capacité d'un réseau. On atteint aujourd'hui une division en 128 canaux sur une même fibre optique.

**E****EAPON :****F****FAI:**

Fournisseur d'Accès à Internet (en anglais ISP : Internet Service Provider).

**Fibre noire:**

La fibre transporte le signal sous forme de flux lumineux. La propagation de la lumière peut utiliser différentes longueurs d'ondes au sein de la fibre. Lorsque celle-ci n'est pas éclairée et donc non activée, elle est dite noire.

**Fibre optique:**

La fibre optique transporte l'information sous forme d'un signal lumineux. Sa capacité est très importante et se compte en gigabits/secondes sur une distance d'un km. Dans la fibre dite multimode la lumière se réfléchit tout au long de l'intérieur de la fibre. Sa capacité est limitée.

Dans la fibre dite monomode, la lumière chemine pratiquement directement et sa capacité est beaucoup plus grande, mais elle nécessite davantage d'énergie.

### **FTTx:**

(Fiber to the x..) La fibre optique arrive jusqu'au "x": FTTH: (home), appartement, bureau. FTTB: (Building) bâtiment. FTTC:(Curb) trottoir, FTU(user).

« FTTH » ou « Fiber to the Home » : désigne une fibre optique allant jusque dans l'habitat.

« FTTB » ou « Fiber to the Building » : désigne une fibre optique jusqu'au bâtiment ;

« FTU » ou « Fiber to the User » : désigne une fibre optique jusqu'à l'utilisateur final, indépendamment de sa localisation (immeuble collectif ou habitat particulier);

## **G**

### **Gigabit Ethernet:**

Norme (IEEE 802.3z) de la même famille que l'Ethernet (IEEE 802,3) de transfert rapide Ethernet avec un débit de 1 gigabit/s. Elle permet d'accroître la capacité des réseaux Fast Ethernet (IEEE 802,3u) existants sans changement d'architecture. Le Gigabit Ethernet se fait sur fibre optique multimode ou monomode et sur cuivre.

## **H**

### **HFC:**

(Hybrid Fiber Coax): Câble dont l'âme centrale est une fibre entourée d'une enveloppe ou tresse métallique et séparé par un isolant. Le câble coaxial a une âme centrale en cuivre. Ce type de technologies hybride permet d'assurer un débit de quelques Mb/s en voie descendante, (moins en voie montante) pour la diffusion de la télévision notamment mais elle est de plus en plus remplacée par de la fibre optique.

## **I**

### **Infrastructures:**

Support physique des réseaux: fibre optique non activée (dite passive ou noire), Points haut pour émission radio (antennes du WiMAX, des faisceaux hertziens du WiFi), paires de fils de cuivre du téléphone, câble coaxial. L'infrastructure ne comprend pas ce qui relève de la transmission du signal

### **Interconnexion:**

Dispositif technique de connexion entre différents réseaux de télécommunications, dont l'objectif est de permettre les échanges de flux des clients des différents opérateurs de ces réseaux. Voir Colocalisation.

### **Interopérabilité:**

Propriété qu'ont des technologies différentes de pouvoir coopérer entre elles sans que cela soit visible par l'utilisateur final. Il peut s'agir aussi bien de réseaux de types différents (ATM, IP, ..) que de services applicatifs différents (IP, WiMAX, WiFi, etc.). L'interopérabilité suppose le respect d'une certaine normalisation pour que les interconnexions entre les réseaux et services des opérateurs puissent coopérer.

**Intranet:**

Réseau interne à une entité (groupe d'utilisateurs, entreprise, organisme public, etc.) fondé sur la technologie IP (Internet Protocol) utilisé par les membres de cette entité. C'est aujourd'hui un mode classique de communication, interactive ou non, dans une entreprise ou un organisme public avec des services internes identiques à ceux de l'Internet.

**IP VPN:**

VPN transportant des flux IP (ou IPVN)

**IRU:**

(Indefeasible Right of Use): logique commerciale permettant à un opérateur télécom de disposer d'une liaison télécom (fibre) sur une longue période (10 à 20 ans) en visant l'intégralité du montant de la prestation à la signature du contrat et de disposer d'un prix plus avantageux que celui de la location. Cette liaison lui est acquise pendant toute la durée de l'IRU et est assimilée comptablement à un investissement.

**L****Liaison louée:**

Liaison permanente constituée par la mise à disposition, entre deux points du réseau d'un opérateur, de capacité à l'usage exclusif d'un utilisateur. Elle est dite aussi "liaison spécialisée". La liaison louée est généralement utilisée soit par des opérateurs pour compléter leur réseau, soit par des entreprises dans le cas de réseaux locaux.

**M****Modem:**

(Modulateur-démodulateur). Boitier ou équipement de connexion d'un ordinateur avec le réseau téléphonique pour assurer la conversion du signal adéquate pour les flux entrants et sortants. Les modems se différencient par les types de protocoles qu'ils supportent, les modes de compression du signal, leur vitesse de transmission, etc.. On a ainsi les modems voix données (54 Kb/s), les modems ADSL (dizaines de Mb/s), les modems CPL.

**MPLS:**

(Multi-Protocol Label Switching) : Technologie de gestion/ exploitation utilisée dans les réseaux de nouvelle génération (normalisation en cours à l'IETF). MPLS associe les deux couches 2 et 3 des réseaux, le niveau 2 qui gère de la bande passante et la commutation, et le niveau 3 qui gère le routage IP. On obtient ainsi un mode d'exploitation du réseau plus souple, plus économique et plus fiable, et notamment cela permet de développer de nouvelles fonctionnalités dans les grands réseaux à moindre coût (exemple les VPN IP) et de gérer plus facilement le trafic.

**MPLS VPN:**

VPN utilisant la technologie MPLS.

**Multiplexage:**

Opération qui consiste à introduire plusieurs flux au départ d'une même liaison et à les séparer à l'arrivée. Cette opération peut se faire soit en affectant des segments de temps à chaque flux, soit en leur affectant des canaux différents. Le multiplexage peut se faire soit de manière optique sur la fibre (Voir WDM) soit de manière électrique sur du cuivre (TDM et SFPM).

## N

### **NRA:**

(Nœud de Raccordement d'Abonnés). Cette dénomination remplace les URA et les CAA de France Telecom, ou encore les "centraux téléphoniques". Ce sont les centraux dans lesquels se situent les répartiteurs et les sous-répartiteurs d'où partent les lignes de l'opérateur vers les usagers. Le dégroupage s'effectue aujourd'hui en installant des DSLAM dans les répartiteurs de France Telecom, lesquels sont plus éloignés que les sous-répartiteurs des points de livraison, la distance de la liaison conditionnant la hauteur du débit. Une commune peut être couverte par un ou plusieurs NRA ou partager un NRA avec d'autres communes selon la densité de population.

### **NRO**

Nœud de Raccordement Optique (premier point d'accès d'équipements actifs, notamment l'OLT)

## O

### **Opérateur d'opérateurs:**

Opérateurs de gros fournissant aux opérateurs télécoms de détail un service de transport, mais n'assurant pas sous leur nom la fonction commerciale auprès des utilisateurs finals. Les Collectivités Territoriales peuvent notamment assurer cette fonction via leur délégataire ou directement, auprès des usagers du réseau (opérateurs et réseaux indépendants).

### **Opérateur de Boucle Locale:**

Opérateur qui dispose d'infrastructures de télécommunication pour raccorder physiquement ses abonnés aux réseaux métropolitains ou longue distance. Ces infrastructures sont constituées d'une ligne filaire ou hertzienne et d'équipements de commutation.

### **Opérateur puissant:**

Tout opérateur de télécommunication détenant une part supérieure à 25% d'un marché pertinent de télécommunications. L'ARCEP est chargée d'arrêter annuellement la liste des opérateurs puissants. Les opérateurs puissants sont soumis notamment à l'obligation de publier un catalogue d'interconnexion.

### **Opérateurs Longue Distance:**

Opérateur de télécommunications disposant d'infrastructures permettant d'assurer l'acheminement des communications longue distance nationales et / ou internationales entre des commutateurs auxquels sont raccordés les abonnés. Ils ne vont pas jusqu'à l'abonné. Les opérateurs régionaux ou locaux prennent généralement le relais.

## P

### **PON:**

(Passive Optical Network): Technologie d'accès point à multipoints passive sur Fibre Optique. Les réseaux PON ont été développés afin de mettre en place une infrastructure de réseaux de télécommunications utilisant massivement la fibre optique comme support universel

d'acheminement bidirectionnel d'informations jusqu'à l'utilisateur (résidentiel ou entreprise). Le PON élimine le besoin d'installer des éléments actifs, alimentés électriquement, sur le réseau, entre le central et l'abonné, d'où une grande simplicité d'exploitation. Il utilise soit le protocole ATM/Ethernet (norme G 983 IUT-BPON, G984 IUT-GPON) soit l'Ethernet (IEEE 802.ah-EPON). Le déploiement du réseau en arborescence permet d'économiser largement la fibre optique par divisions successives du signal. Les principaux équipements sont les OLT (Optical Line Terminal) d'où se déploient des fibres qui sont divisées successivement par des "Splitters", jusqu'aux points de livraison, les ONT (Optical Network Terminal) ou les ONU (Optical Network Unit) .

**PoP:**

(Point of Presence) : Point de présence d'un opérateur télécom. C'est le nœud réseau permettant le raccordement des usagers.

**Q**

**QoS:**

(Quality of Service) : désigne la " Qualité de Service " associée à un service fourni à un usager selon divers critères techniques et opérationnels.

**R**

**Répéteur:**

Équipement qui prolonge le signal électrique sur le segment suivant en l'amplifiant ou en le régénérant mais sans le modifier. Sur un satellite, le répéteur est aussi dit transpondeur. Il se situe au niveau de la couche 1. On trouve des répéteurs aussi bien sur fibre, câble coaxial, ligne cuivre, support radioélectrique.

**Répartiteur:**

Dispositif technique situé entre le commutateur et les abonnés ou entre le commutateur et des sous-répartiteurs en cas d'arborescence, afin d'assurer la connexion en paire de cuivre des abonnés. Le sous-répartiteur est plus proche de l'abonné (quelques centaines de m). Un dégroupage depuis le sous-répartiteur permet d'assurer de plus hauts débits, donc plus de services DSL que depuis le répartiteur.

**Réseau d'accès:**

Réseau sur lequel les utilisateurs finals connectent directement leurs équipements terminaux (Modem PC ou routeur, Téléphone, Boîtiers ADSL) afin d'accéder aux services. (voir "cœur de réseau").

**Réseau Privé Virtuel:**

Voir VPN

**Réseaux câblés:**

Réseaux de télédistribution audiovisuelle. Loi du 29 juillet 1982 sur la communication audiovisuelle et loi n°86-1067 du 30 septembre 1986 relative à la liberté de communication.

**Routeur:**

Équipement situé au niveau de la couche réseau (niveau 3 du modèle OSI). Le routeur

détermine le meilleur chemin pour la transmission du trafic et opère en mode paquets et utilise pour cela des tables de routages.

## S

### **Service de connectivité optique:**

Mise à disposition et maintenance de fibre(s) optique(s) et des accès aux locaux techniques correspondants, entre deux points de raccordement du réseau.

### **Service de simple transit:**

Service figurant au catalogue d'interconnexion de France Télécom. Acheminement des flux d'un opérateur connecté à un Commutateur de Transit de France Telecom vers ses abonnés situés dans la zone de transit correspondant à ce commutateur (environ 2 millions de lignes).

### **Service de transport:**

Offre de capacités et de connectivité réseau.

### **SLA:**

(Service Level Agreement) : Accord quant aux niveaux de services exigés, donnant lieu à des pénalités en cas de non respect.

**Switch Ethernet:** désigne un commutateur supportant la technologie et les interfaces Ethernet

## T

### **TCP/IP:**

(Transmission Control Protocol). Famille de protocoles de contrôle de la transmission de l'information (organisée en couches) permettant aux ordinateurs de gérer et mutualiser leurs ressources dans un réseau, et dans laquelle on trouve un ensemble de fonctionnalités de communication et de transmission et des services tels que: transfert de fichiers, accès à des ordinateurs distants, envois de messages, serveurs de fichiers, serveurs de noms, partages de fichiers, télécommande, etc. Internet utilise ces protocoles. TCP recouvre les fonctions de communication et IP assure le transfert du message en le découpant en datagrammes et en le reconstituant, arrivé à destination. IP est un protocole qui peut être requis indépendamment des protocoles TCP. Enfin, la gestion du support physique utilisée par le TCP est Ethernet.

### **TDM:**

(Time Division Multiplexing) Multiplexage électrique par division du temps, chaque flux disposant successivement d'un segment .

### **Triple Play:**

Service offrant simultanément la voix, l'Internet et la vidéo.

## U

### **UIT:**

(Union Internationale des Télécommunications, ou ITU International Telecommunication Union) : Organisme international, où sont élaborées les normes dans le secteur des télécommunications. L'UIT réunit les pouvoirs publics de 189 Etats, les grands opérateurs,

équipementiers, organismes de recherche, financiers, etc.). L'UIT organise notamment la Conférence Mondiale des Radiocommunications tous les 3 ans pour la coordination et l'harmonisation des fréquences (mêmes services, mêmes bandes de fréquences), dont les résultats sont applicables au plan mondial.

## V

### **VDSL:**

(Very High Bit Rate DSL) Technologie DSL très rapide pouvant atteindre de 10 à 50 Mb/s sur une paire de cuivre torsadée, soit symétrique soit asymétrique sur une distance de 1.5 à 0,3 km.

### **VPN:**

(Virtual Private Network): Réseau privé virtuel. C'est un réseau défini logiquement sur un réseau physique, attribué exclusivement à un client donné, qui peut être également un Groupe Fermé d'Utilisateurs. L'opérateur garantit ainsi à son client une connectivité propriétaire entre tous les points d'accès de ce client, avec une sécurisation assurée.

## W

### **WDM:**

(Wave Division Multiplexing): Technologies de multiplexage du signal optique analogique qui multiplexe plusieurs signaux de longueurs d'ondes différentes, chaque longueur d'onde retenue étant un canal portant le signal intégralement (on dit aussi couleur pour longueur d'onde). Le WDM accroît ainsi la performance de la fibre, notamment pour les longues distances. On passe ainsi à 10 Gigabits/s par canal. Les déploiements peuvent se faire sur des distances de l'ordre de près de 1000 km. L'avantage particulier du WDM est que chaque canal arrive directement et en même temps que les autres à son destinataire.