

Backhauling

Hervé LE BRIS - EFORT

<http://www.efort.com>

1 Introduction

Jusqu'à une époque récente, les technologies utilisées à l'accès des réseaux de télécommunication, tant fixe de type Internet que mobile, se sont accommodées de l'infrastructure de paires de cuivre déployées 20 à 30 ans auparavant pour la téléphonie analogique.

Or, d'ici deux ans, deux phénomènes clés vont se produire :

- d'une part les usagers ayant pris goût aux débits permis par l'ADSL vont augmenter leurs débits consommés d'un facteur 10 en mobile (avec la 4G-LTE) et d'un facteur 50 à 100 en fixe (avec la fibre jusqu'aux foyers) et
- d'autre part l'abandon du mode circuit (TDM ou ATM) au profit du mode paquet généralisé (la téléphonie devenant sur IP, ToIP) sera confirmé ; mouvement déjà amorcé avec l'ADSL.

Prémices de cette évolution inéluctable, une étape symbolique a été franchie vers 2005 où les volumes échangés issus de la téléphonie classique (64kbit/s) sont devenus inférieurs aux volumes d'autres natures, classées "données", incluant la ToIP et la vidéo.

C'est pourquoi aller chercher les usagers, fixes ou mobiles, là où ils se trouvent et rapatrier leur trafic, *dix à cent fois plus élevé qu'auparavant*, sur le réseau dorsal mondial est un défi technico-économique pour les opérateurs.

Cette opération est typiquement l'objet du « backhauling ».

En effet, désormais, les plate-formes délivrant les services sont le plus souvent centralisées. Il s'agit donc de transporter sur un ou plusieurs milliers de kilomètres des flux traités en central. Le fameux « cloud computing » ne fait qu'exploiter cette situation¹.

Le compromis entre choix de technologies et coûts dépend à l'évidence des types de services utilisés et de la densité géographique de leur points d'utilisation.

Typiquement, le spectre hertzien étant limité, les débits agrégés relatifs aux **mobiles**, même de type LTE-4G, restent (resteront !) modérés et peuvent dans un premier temps s'accommoder de technologies de transport déjà en place, type SDH par exemple, tant par câbles que par faisceaux hertziens.

Il n'en va plus de même quand le débit nominal par point d'utilisation **fixe** est de 100Mbit/s minimum ; le Gbit/s devenant rapidement « courant », notamment dans les entreprises.

Dans ce dernier cas, *seule la fibre optique* peut transporter de tels débits agrégés sur de grandes distances. La contre-partie immédiate est le **coût du génie civil**, surtout quand on se rapproche des utilisateurs, du fait du foisonnement. A l'évidence, en zone à habitat dense, l'optimisation économique peut être trouvée plus aisément que dans les campagnes.

¹ Comme l'ont fait dans les décennies 60 à 80 les mainframes, frontaux, contrôleurs de grappe et autres consoles 3270, interconnectés par des liaisons modem à... 9600 bit/s !

Quant au réseau dit « dorsal » ici, cet article pré-suppose que son amortissement est adossé à une telle masse agrégée de trafic et sur une telle durée (40 ans) que l'équation économique justifie facilement le recours à la fibre optique. La latitude de choix est alors cantonnée sur les systèmes de multiplexage : l'Ethernet direct sur DWDM a les faveurs des acteurs actuellement.

Contrainte supplémentaire, même si une fibre enterrée présente une très forte **disponibilité**, il n'est pas malsain de prévoir son éventuelle rupture et dérouter le trafic de raccordement correspondant vers un autre point d'entrée sur le dorsal. *D'ailleurs sur ce sujet, est-il opportun de mixer trafic mobile et trafic fixe dans les mêmes supports physiques ?*

Par ailleurs, ramener le trafic depuis des points de concentration ou de multiplexage situés près des usagers vers le dorsal, doit s'accommoder de trafics de type "données" **peu prévisibles**, ce qui complexifie l'optimisation pérenne de ce réseau mutualisé de collecte, objet du « backhauling ». Le tout avec des revenus possiblement en baisse du fait de la connotation "quasi-gratuit" de ces services dans l'esprit des utilisateurs.

Dernière contrainte, une infrastructure nouvelle de backhauling devra prendre en compte le raccordement de systèmes que l'on qualifiera d'anciens, même s'ils n'ont qu'une poignée d'années d'âge : DSLAM en fixe et NodeB pour les mobiles UMTS-3G typiquement.

Cet article commence par inventorier les applications et services utilisés à ce jour et dans un avenir prévisible.

Il dresse ensuite un panorama de solutions en vogue aptes à satisfaire ces besoins.

Pour finir, les éléments de coûts et méthodologies diverses sont évoqués permettant in fine de trancher entre plusieurs compromis technico-économiques. Cette partie dépend beaucoup de la géographie locale : densité de population, réglementation nationale, pratiques « commerciales ».

2 Revue des Applications

Dans le cadre du backhauling, consistant à raccorder des équipements d'accès, effectuant de la concentration ou du multiplexage, et donc spécifiques des services délivrés, à des équipements d'agrégation dans le but d'atteindre le réseau dorsal, les applications se matérialisent en fait par les interfaces d'interconnexion. On peut ici en dresser une liste :

Applications mobiles :

- BTS ou BSC (GSM-2G) : TDM sur E1
- NodeB ou RNC (UMTS-3G) : ATM sur E1
- ...Les mêmes modernisés : Ethernet 100 BaseT
- eNodeB (LTE-4G) : Ethernet 100 BaseT

Contrainte : l'interface radio a besoin de signaux de synchronisation (fréquence et phase) assez précis, qui peuvent ou doivent, suivant les cas, être fournis par le réseau (cf IEEE 1588 V2).

Applications fixes conçues pour résidentiels :

- Unité de Raccordement d' Abonnés (URA) téléphoniques : TDM sur E1
- DSLAM-ATM : ATM sur SDH - STM1
- DSLAM-IP : Paquet sur SDH (PoS) – STM1
- OLT (FTTH GPON) : Ethernet 10 Gbit/s sur fibre
- Switch Ethernet (FTTH P2P) : Ethernet 10 Gbit/s sur fibre
- Station de base WiMax : Ethernet 100 Mbit/s sur UTP5

Applications fixes pour entreprises :

- ADM pour LS PDH (Nx64, E1, E3) : SDH STM1 ou 4
- ADM pour LS STM1 : SDH STM 4
- DSLAM pour LS entreprises en G.SHDSL (Nx2,3Mbit/s) : ATM sur SDH - STM1
- POP IP public (routeur) : Paquet sur SDH (PoS) STM1 ou 4 ou GigaEther
- Switch Ethernet – P2P : Ethernet 10/40/(100 ?!) Gbit/s

Tous ces équipements d'accès se connectent en amont par une ou plusieurs fibres optiques.

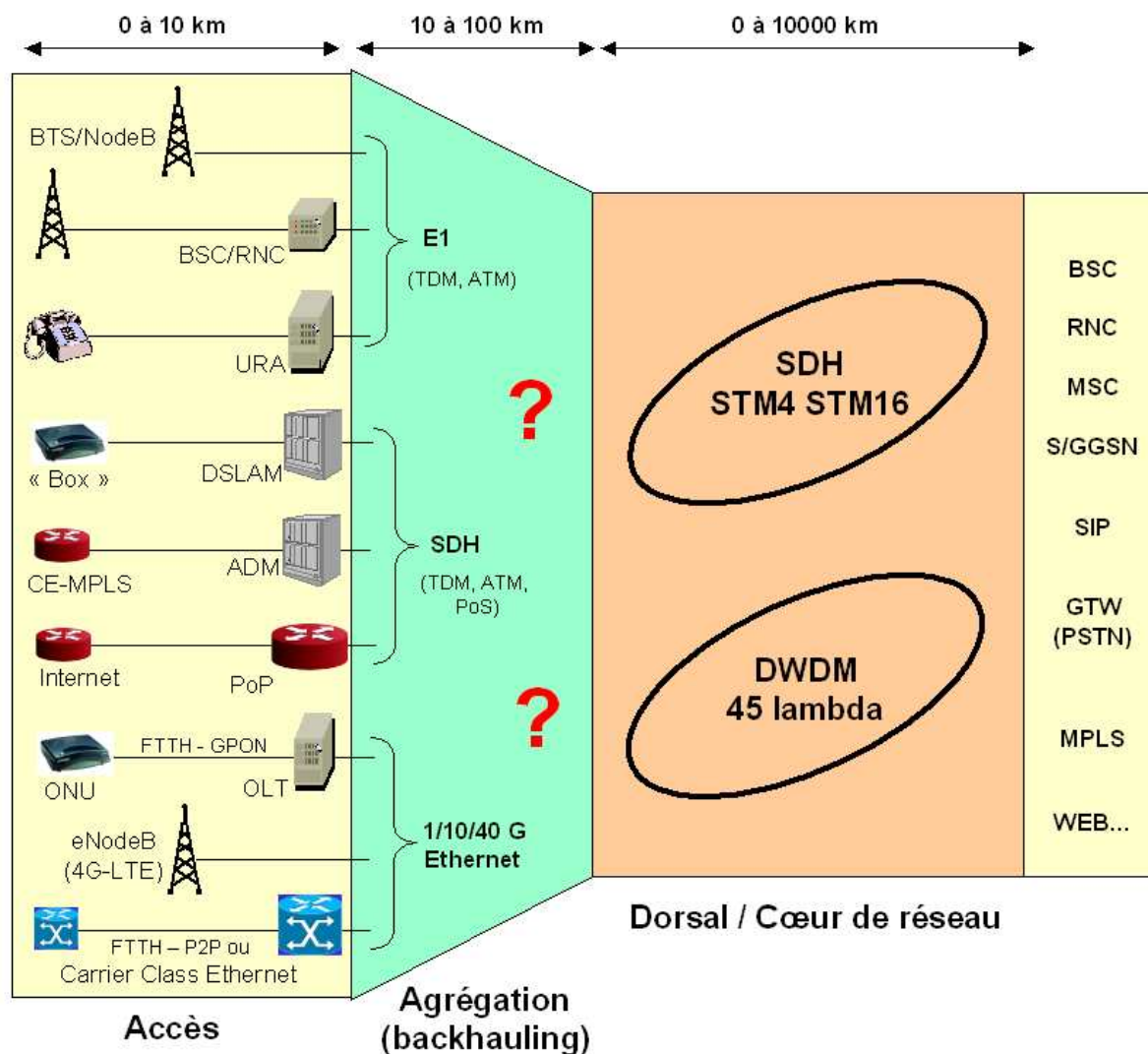


Figure 1 : Panorama des équipements dont le trafic doit être « backhaulé »

Dans la figure 1, on peut constater que dans le haut se trouvent les anciennes technologies, avec donc les plus récentes dans le bas.

A l'évidence, cette situation va orienter la recherche des technologies les plus aptes à transporter tous ces types de trafic.

3 Technologies et Solutions

Comme le montre la figure 1, les débits résultant de la concentration ou du multiplexage de tous les services sont tellement élevés, plusieurs Gbit/s, que **seule la fibre optique** peut y faire face. Cette technologie réveille alors la douloureuse problématique du génie civil.

Néanmoins, un opérateur mobile, s'il décidait de « *ne pas mettre tous ses œufs dans le même panier* », pourrait concevoir de réaliser un backhauling dédié pour ses besoins, auquel cas les débits à transporter sont et resteront nettement inférieurs et peuvent s'accommoder typiquement de technologies SDH sur câbles ou faisceaux hertziens, techniques bien rôdées, il est vrai.

Backhauling dédié pour mobiles :

Comme nous l'avons vu, les BTS et BSC, d'une part, ainsi que les NodeB et RNC, d'autre part, ont des interfaces de type E1 supportant du TDM dans le premier cas, de l'ATM dans le second. Couramment, un NodeB traitant trois bandes de 5Mhz (le cas des trois opérateurs majeurs en France) présente six (6) E1.

Le premier réflexe est de se raccorder à un ADM SDH situé « à proximité ».

- Si cette dernière se limite à moins de 4 km, le recours à du G.SHDSL sur une ou deux paires téléphoniques existantes permet de s'y raccorder à très bas coût.
- Au-delà, le recours à des faisceaux hertziens s'avère inéluctable, avec une portée géométrique limitée à 15 ou 20 km suivant environnement. On trouve sur le marché des faisceaux hertziens capables de transporter jusqu'à six (6) STM1 avec un septième en secours. S'il s'agit d'une BSC ou d'un RNC en zone « sensible » quant à la disponibilité, il n'est pas ridicule d'avoir deux tels faisceaux vers deux points dorsaux distincts.

L'introduction de la LTE-4G, matérialisée par les eNodeB, impose des interfaces de type Ethernet à 100Mbit/s. De manière incontournable à *court terme*, le recours à un transport sur STM1 s'impose, en mettant en oeuvre la fonctionnalité « Ethernet over SDH ou EoS ». Dans ce cas, il sera pertinent de consommer deux VC-3 pour un débit utile agrégé de $2 \times 48.384 = 96.768$ Mbit/s, apte à transporter le flux réel Ethernet.

Rappelons ici, qu'en amont, si les ADM et cross-connects SDH supportent la « virtual concatenation ou VCAT », chacun des VC-3 peut suivre un chemin physique différent pour rejoindre l'équipement hiérarchiquement supérieur : Ethernet étant par conception un mode paquet, la perte de l'un des VC-3 ne coupe pas totalement la liaison car l'autre est supposé fonctionnel ; on est donc alors en régime dégradé avec une bande passante moitié moindre.

La figure 2 ci-dessous tente de résumer ces situations.

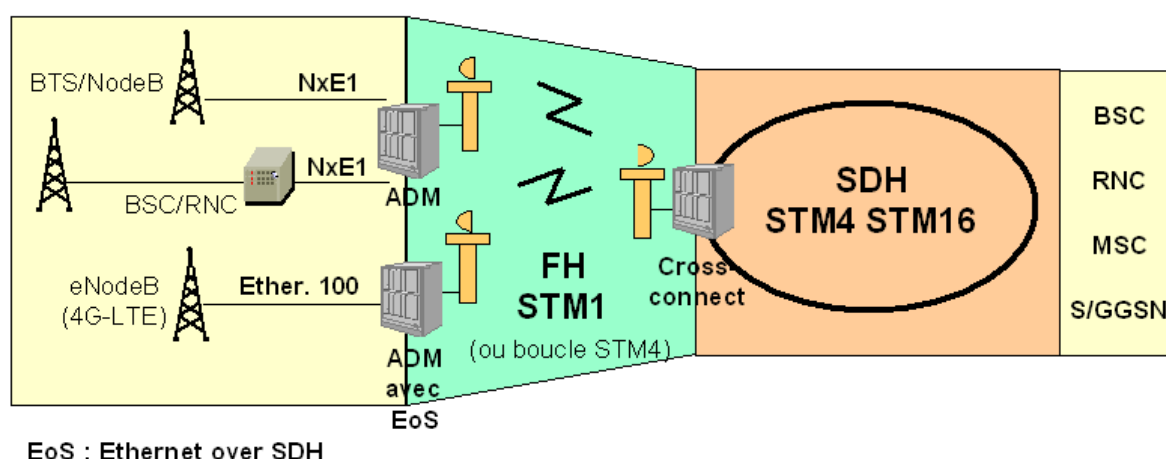


Figure 2 : Exemple de raccordement dédié de stations mobiles

Dans la figure 2, les faisceaux hertziens STM1 utilisés en backhauling peuvent avantageusement être remplacés par une boucle STM4 sur fibres optiques, cas qui peut se présenter en zones urbaines assez denses.

L'évolution vers des interfaces de type Ethernet semblant inéluctable, l'opérateur mobile peut décider d'une étape intermédiaire préparatoire au « tout Ethernet » où ce type d'interface est l'unique utilisée sur place.

La figure 3 illustre alors cette étape.

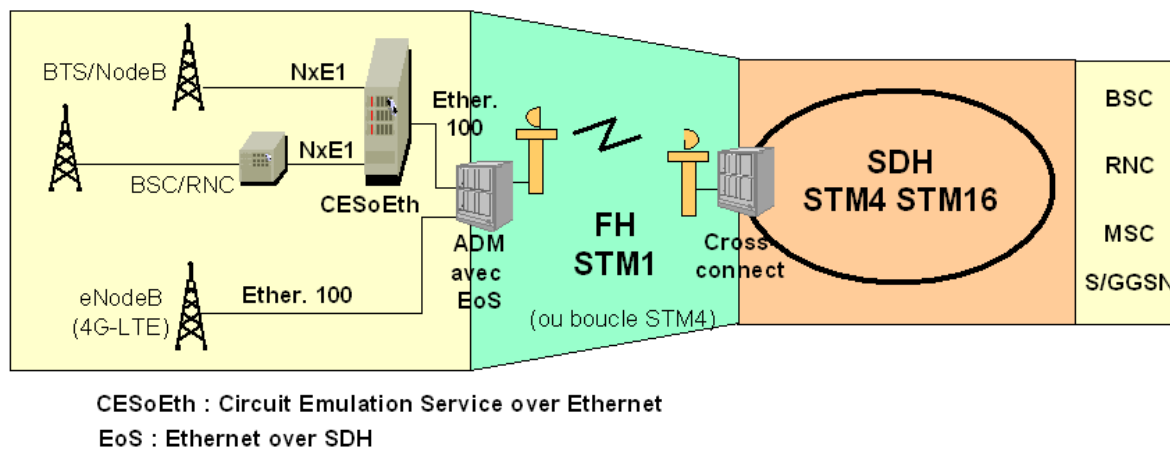


Figure 3 : Étape intermédiaire à unique interface Ethernet 100M

La fonction d'émulation de circuits sur Ethernet (CESoEth) est alors mise en œuvre, de façon à prendre en compte les anciens systèmes basés PDH.

Le « Metro Ethernet Forum (MEF) » a édicté les règles (à effet de normes) permettant ce type de mise en œuvre :

- MEF-18 : Circuit Emulation Services Over Ethernet (CESoETH)
- MEF-8 : Implementation Agreement for the Emulation of PDH Circuits over Metro Ethernet Networks

Certains analystes annoncent que 73% des « anciens » systèmes seront raccordés de cette manière (CESoE) à l'horizon 2013.

Néanmoins, il faut bien être conscient que l'ADM d'agrégation devient un maillon faible (un « Single Point of Failure ou SPOF ») ; à l'évidence il doit être « carrier grade » : alimentation dupliquée, double unité de commande, etc...

Précisément, une façon d'introduire plus de flexibilité et donc la possibilité d'avoir plusieurs chemins depuis la périphérie vers les fonctions centrales, consiste à utiliser un réseau MPLS, technologie désormais mûre qui a remplacé l'ATM.

Dans la figure 4 ci-dessous, il faut noter que les trames Ethernet échangées avec les équipements terminaux sont directement encapsulées dans des « pseudo-wires » eux-mêmes transportés par les Label Switched Paths (LSP), c'est-à-dire les circuits virtuels façon MPLS. La norme a prévu ce type d'encapsulation.

Sous réserve de disposer des cartes coupleurs ad hoc, il est même possible d'encapsuler directement les flux E1 dans des pseudo-wires dédiés : tenez-vous bien, la norme recommande d'utiliser une adaptation de type AAL1, issue de l'ATM (ref IP/MPLS Forum 4.1.0).

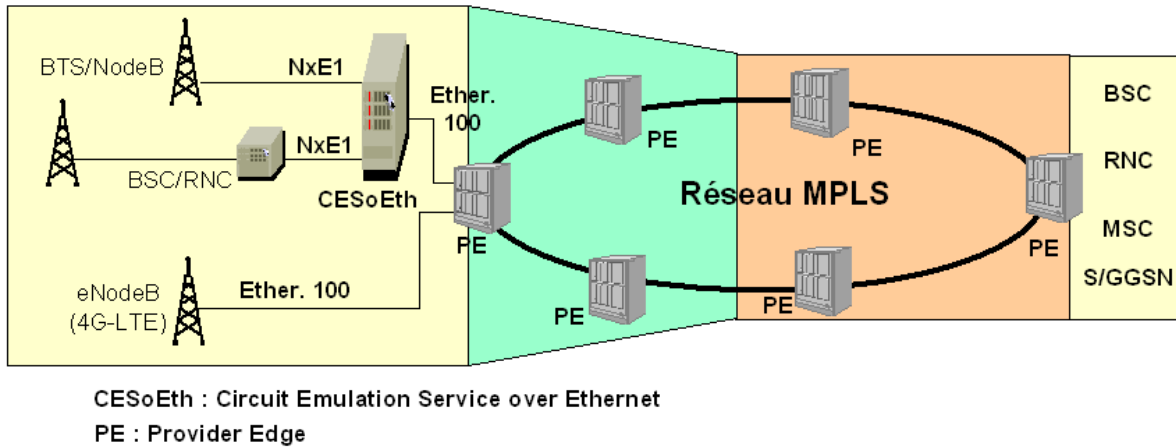


Figure 4 : Alternative utilisant un réseau MPLS, plus flexible

Rappelons que grâce à la mise en œuvre de IS-IS (ou OSPF) au sein du réseau MPLS, le meilleur chemin, en termes de disponibilité, de débit crête ou de charge, est toujours choisi pour rejoindre l'équipement hiérarchiquement en amont.

Ce genre de backhauling basé MPLS et dédié aux applications mobiles peut perdurer du fait que les débits manipulés resteront toujours de l'ordre de 100 Mbit/s par eNodeB et donc tout à fait manipulables par la technologie MPLS.

Backhauling mutualisé tous services :

Dans cette section, nous supposons qu'une capillarité assez dense en fibres optiques a été déployée permettant le transport de très hauts débits, disons à partir de **100Mbit/s** par foyer ou entreprise, transportant une très grande variété de services ou applications.

En France, les opérateurs conventionnels se bousculent dans les milieux urbains denses. La fibre y sera rapidement assez présente et permettra d'atteindre, a priori par un unique chemin physique, le nœud de raccordement optique (NRO) dont dépend le quartier. Le backhauling avec équipements actifs peut démarrer dès ce NRO ou un peu plus loin en amont (10km) sans répéteur, si le budget optique de liaison le permet.

Quel paradoxe ! C'est en ces lieux que l'ADSL est disponible avec les plus hauts débits, donc là où les administrés sont a priori les moins demandeurs ou du moins peuvent attendre !

En milieux périurbains et ruraux, la où pourtant les administrés sont les plus demandeurs car éloignés des commodités, il en va tout autrement : la présence de la fibre sera le résultat d'une forme de loterie mélangeant le hasard du résultat des urnes, la volonté des administrés de « s'en sortir » ou non (éventuellement par eux-mêmes) et le volontarisme ou non des opérateurs.

Suivant les configurations locales déjà en place, les ADM SDH peuvent continuer à être utilisés pour les services classiques. Par contre, l'arrivée de nouveaux services et surtout de très hauts débits nécessite l'installation d'équipements de multiplexage optique appelés Reconfigurable Optical ADM (ROADM) ; *l'affectation des longueurs d'onde (λ) se fait à distance depuis une plate-forme de gestion.*

La figure 5 ci-après montre une situation transitoire possible.

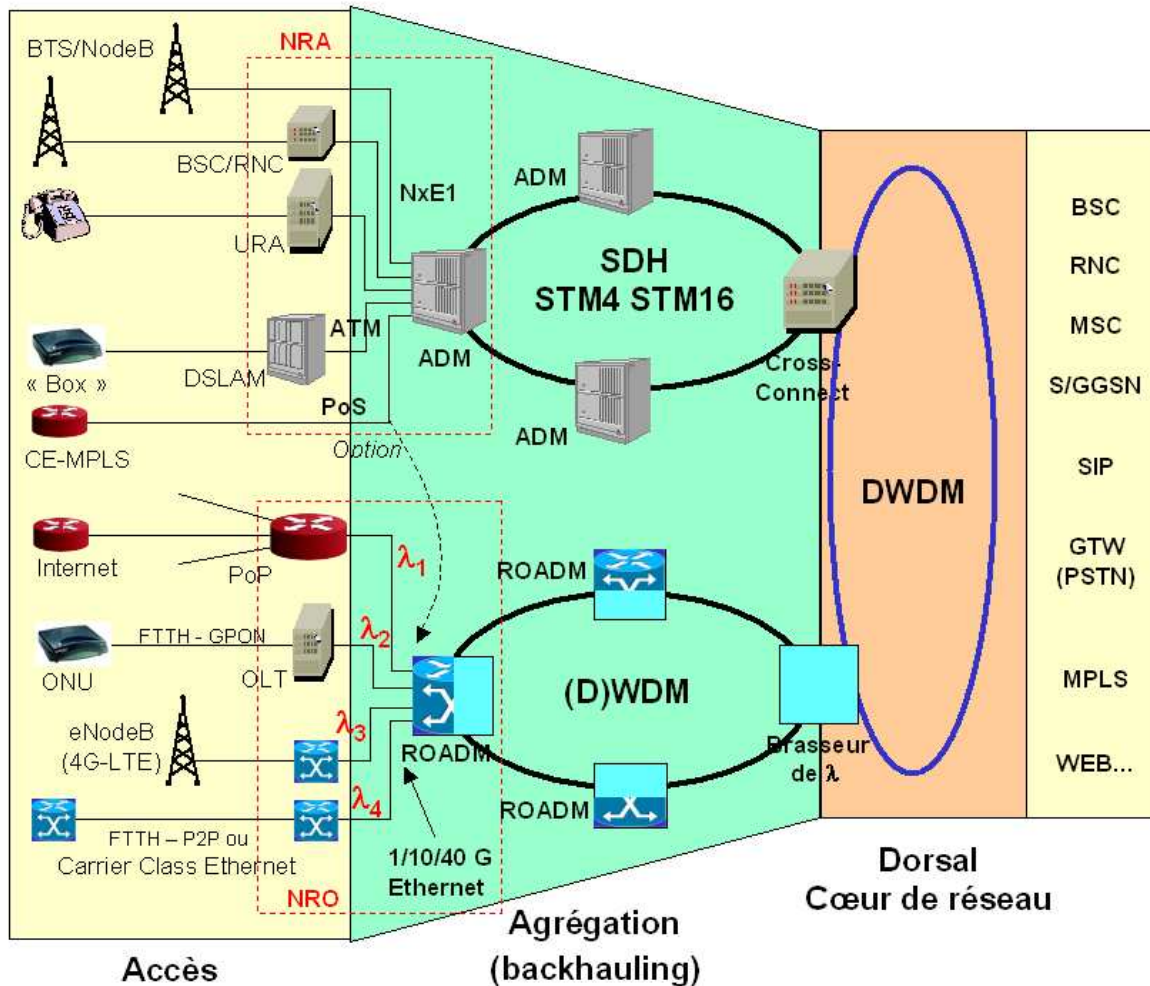


Figure 5 : Situation mixte avec SDH et Ethernet sur WDM

Notons que l'anneau (D)WDM de la figure présente exclusivement des interfaces Ethernet et donc le demi-ROADM côté utilisateurs est un commutateur Ethernet. A ce titre, ces commutateurs placés en anneau peuvent utiliser le protocole Resilient Packet Ring (RPR) pour assurer un re-routage automatique de niveau trame en cas de panne d'un tronçon : il vient renforcer le re-routage de niveau longueurs d'onde (deux paires de fibres en sens opposés).

Dans cette figure, un distinguo est effectué entre NRA et NRO :

- le Nœud de Raccordement d'Abonnés (**NRA**) est en fait un bâtiment dont la localisation a été historiquement dictée par la longueur et le tracé des paires torsadées en cuivre de la téléphonie ; c'est en cet endroit que se trouvent naturellement les DSLAM, par exemple, ainsi que l'arrivée des LS basées E1. De facto, ce bâtiment appartient à l'opérateur historique local et est géré par lui.
- le Nœud de Raccordement Optique (**NRO**), lui, peut avoir une localisation bien plus centralisée, donc plus éloignée des usagers finals, car la fibre optique a un affaiblissement très faible. Le plus souvent construit par un délégataire de service public, il a toutes chances d'être distinct des bâtiments de l'opérateur historique local.

Entre NRA et NRO, la mutualisation des fourreaux et des câbles peut être rendue très forte.

Dans le futur, les opérateurs finiront par désactiver leurs anneaux SDH au profit des anneaux Ethernet sur (D)WDM ; évolution peut-être plus ou moins forcée par l'absence de maintenance de la part des fabricants. Les analystes prédisent d'ailleurs des coûts de CAPEX et d'OPEX dix fois moindre pour les anneaux Ethernet que pour ceux en SDH...

La situation pourrait alors ressembler à celle de la figure 6.

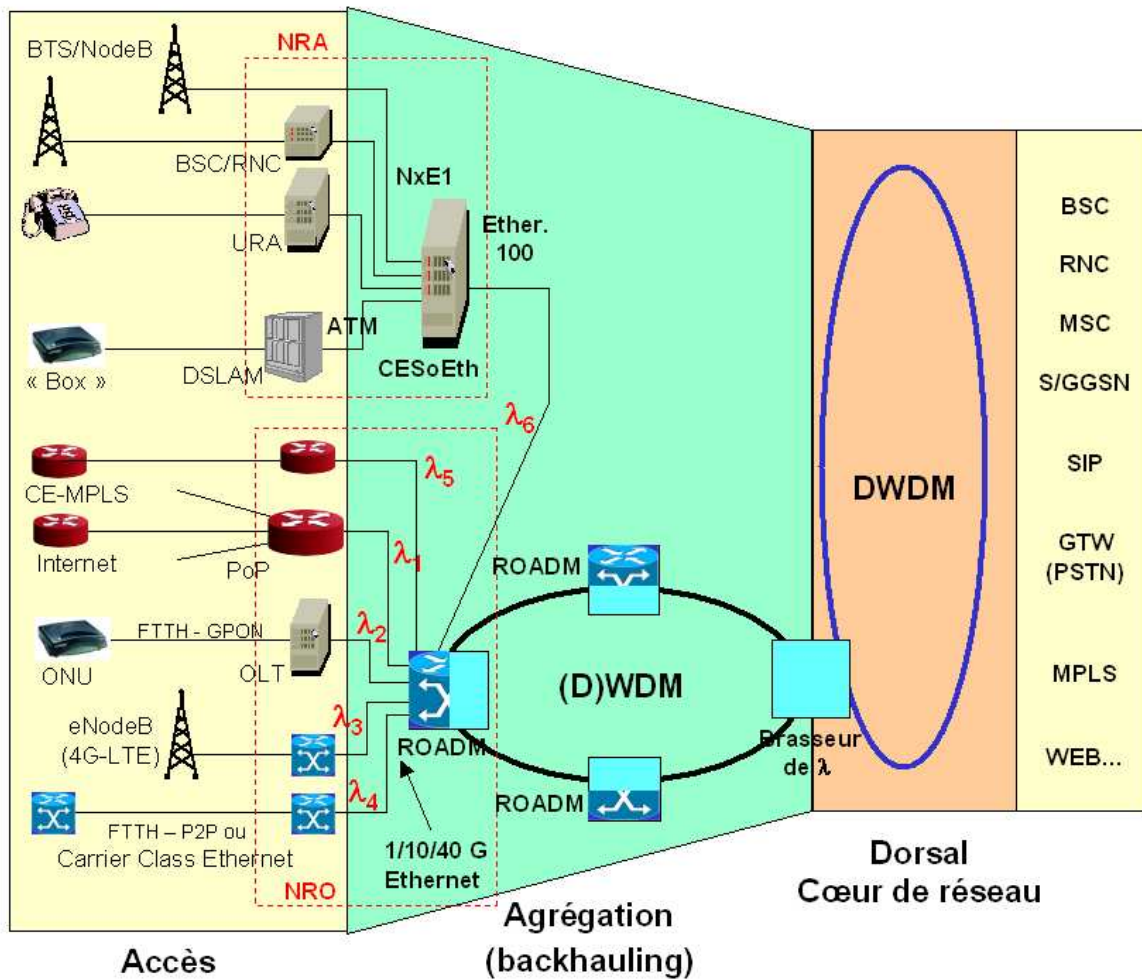


Figure 6 : Situation, qui pourra perdurer, basée Ethernet sur WDM

Sur cette figure, on constate que la fibre optique est généralisée et ce dès les points d'utilisation ; par exemple, les eNodeB auraient tout intérêt à être raccordés (via un ONU standard) à un réseau GPON s'il passe à proximité !

Accès aux logiques de services (côté droit sur les figures)

C'est donc au NRO, a priori plus central que le NRA, surtout en milieu rural, que l'architecture logique commence à se dessiner. Elle dépend bien sûr de la façon dont ces services sont eux-mêmes architecturés et du niveau de disponibilité requis. A ce sujet, la possibilité d'avoir deux chemins physiques distincts au départ du NRO vers l'amont peut être rendue assez forte à coût faible ramené à l'abonné.

Les équipements de traitement des services peuvent ainsi être fortement centralisés, tout en étant bien sûr dupliqués. Il bénéficient alors d'équipes bien formées et disponibles à toute heure. Par exemple, un serveur SIP actif pourrait être unique à un niveau national ; une poignée de passerelles VoIP/RTC, une dans les cinq plus grandes villes, peut suffire pour un pays comme la France.

La façon de les atteindre, en général via au moins un étage de commutation, pour séparer les flux, peut être point à point longue distance comme illustré sur la figure 7 ci-dessous. Les

coûts tant d'investissement (CAPEX) que d'exploitation (OPEX) s'en trouvent sérieusement réduits tout en maintenant une forte disponibilité de services.

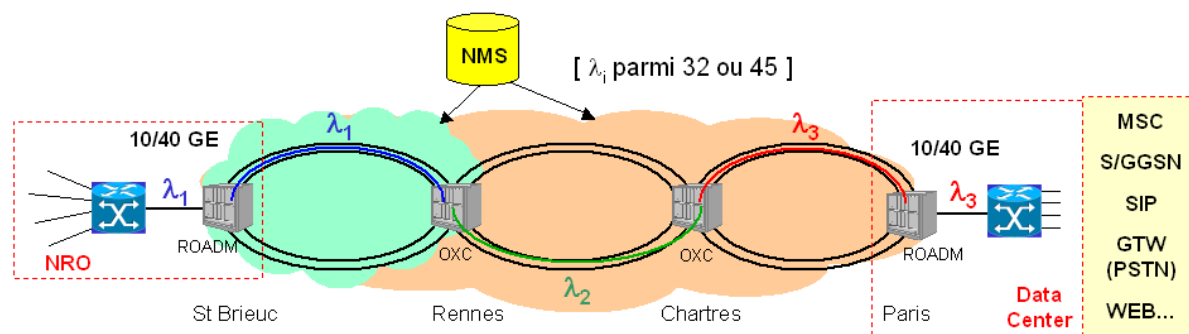


Figure 7 : Backhauling point à point longue distance

Suivant l'architecture de services, la commutation et donc la séparation géographique des flux peut intervenir plus tôt, côté aval.

Notons que ce vaste réseau de backhauling, c'est-à-dire de collecte et de distribution, pourrait être déployé et exploité par un opérateur dédié et *si possible indépendant des autres acteurs* : il vendrait alors cette prestation aux opérateurs de services... avec des engagements de qualité de service (SLA) stricts à la clé, bien sûr !

4 Aspects Économiques

Raccorder en très haut débit de multiples sites souvent très diffus au réseau mondial est un réel défi technico-économique. Mais inscrit dans la durée.

En France, la plupart des paires de cuivre d'abonné ont été posées entre 1975 et 1980 : 30 à 35 ans après, elles sont toujours opérationnelles malgré la vulnérabilité à l'oxydation du cuivre et de la connectique (laiton, pas toujours étamé) associée.

Avec la fibre optique, parler de 40 ans ne semble pas déraisonnable.

De plus, la portée en fibre optique est telle sans répéteur (jusqu'à 10 ou 20 km) qu'il faut tout de suite envisager des architectures sans équipement actif intermédiaire, lesquels introduisent a priori une vulnérabilité (foudre, vandalisme...). *Donc, autant faire les choses bien tout de suite, pour que l'on n'ait pas à y revenir dans cinq ou dix ans !*

Les sections suivantes abordent les questions qu'il faudra se poser projet par projet. En matière de coûts, la question « Faire soi-même ou louer ? » se posera en permanence.

Génie civil :

C'est le poste de **CAPEX** le plus élevé : statistiquement et en moyenne, **il contribue à 80% du coût total d'un réseau**. Par contre, avec une bonne base de données conservant les tracés de câbles, l'OPEX peut être réduit à vraiment très peu (gestion efficace des DICT).

En France, compte tenu de l'environnement concurrentiel, ce genre d'investissement – colossal ! - ressortit aux collectivités locales (ou territoriales). Par le truchement d'une Délégation de Service Public (DSP) ou d'un Partenariat Public-Privé (PPP), elles vont même jusqu'à câbler en fibre jusqu'au plus près (FTTC) des points d'usage voire jusque dans les foyers (FTTH).

Pour construire cette capillarité, à l'échelon d'un département français par exemple, l'éventail de solutions est réduit :

- En aérien en suspensoir de réseaux électriques haute ou moyenne tensions
- Idem en basse tension (par exemple sous la phase dédiée à l'éclairage municipal)
- En aérien en façade (courant au Japon)
- En aérien sur poteaux dédiés (courant au Japon)
- En fond de rivière ou de fleuve (suffisamment profonds avec berges accores)
- Enfoui en pleine terre
- En sous-terrain via passages loués dans les égouts (certaines grandes villes)
- En sous-terrain en fourreaux loués (en France, à France Telecom typiquement)
- En sous-terrain en fourreaux à créer ex nihilo

En première approche, la liste ci-dessus va du moins coûteux au plus coûteux (ramené à l'abonné), en matière de CAPEX. Ce dernier contient une forte dose de coûts administratifs pour obtenir les autorisations en tout genre : de voirie, d'interruption du trafic routier, d'usage de sites élevés pour des pylônes de faisceaux hertziens, etc...

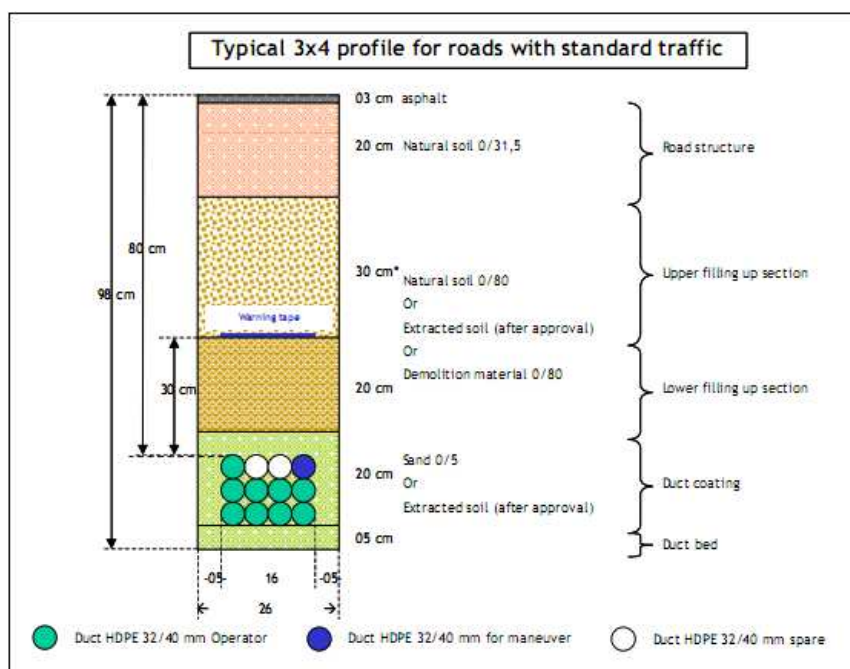
En France, le premier point est couvert par une filiale de RTE : ARTERIA (<http://www.arteria.fr>). Dans l'Ardèche, les câbles sont déployés au préalable au pied des pylônes par des... hélicoptères ! Les agents les montent ensuite sous les caténaires.

Notons aussi qu'en France, le réseau électrique basse tension (même quelquefois le moyenne tension à 20kV) appartient aux collectivités locales mais est exploité par d'autres sociétés, le plus souvent eRDF. Ce sont donc les collectivités, propriétaires, qu'il faut convaincre de l'intérêt pour leurs administrés à disposer de très haut débit.

Côtés fourreaux, en France, la location à France-Telecom d'un passage de câble dans un de leurs fourreaux est de $2,4 * D^2$ €/m/cm² par an (D diamètre en cm). Par exemple, faire passer un câble à 12 fibres, de 12,4mm de diamètre, sur 2000 m va coûter 615 € par mois. En supposant que 8 de ces fibres (4 en secours) desservent chacune 32 foyers en GPON, le coût mensuel par foyer pour cet unique poste est de 3€ TTC. Très loin d'être négligeable ! Une association d'élus (AVICCA) conteste d'ailleurs ces tarifs, très défavorables au rural.

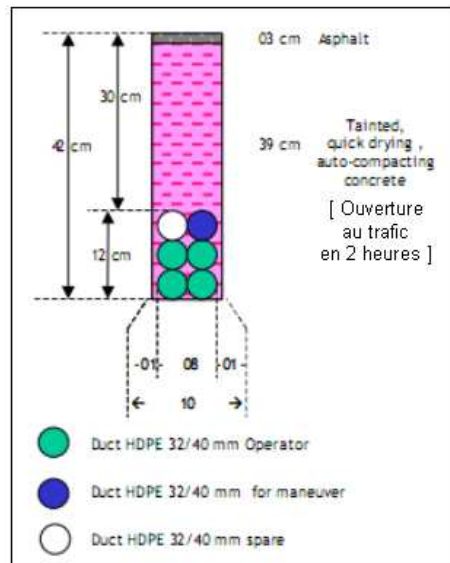
En matière de tranchées en milieu urbanisé, on en trouve de trois types :

- La plus luxueuse :



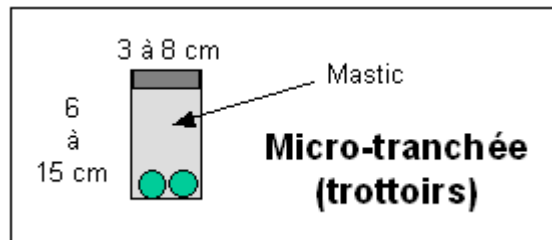
C'est la plus « lourde » à créer car elle nécessite l'interruption longue du trafic, de nombreuses autorisations, etc... Sans parler de l'outillage, des agrégats et du personnel ad hoc requis. **Coût** : 100 à 150€/m (indicatif). **Vitesse** : 50m par jour.

- La Mini-Tranchée :



Vitesse de réalisation : entre 200 et 400 mètres par jour.

- La Micro-Tranchée :



Souvent réalisée sur les trottoirs le long des bordures... Mais le mobilier urbain est souvent gênant ! **Vitesse** : 400 mètres par jour sans trop d'obstacles.

Quant aux **chambres** encastrées dans une chaussée : prévoir de 1000 à 1500€ la chambre.

NOTE sur la libre concurrence : les autorités locales (s'il y en a) de réglementation télécom sont censées avoir édicté les règles d'accès concurrentiel aux fourreaux posés. Le cas où ce génie civil a été réalisé par une collectivité territoriale est un cas a priori favorable, même si elle en a délégué la gestion à un acteur du secteur ; ce dernier se doit d'être neutre et impartial quand il loue de tels fourreaux à de potentiels concurrents au niveau des services.

Bâtiments :

Nous avons vu plus haut que les fibres en provenance des points d'utilisation peuvent transiter par le NRA historique (mais ce n'est pas obligatoire si le réseau est neuf). La longue portée sans répéteur des fibres permet en fait de placer le premier niveau d'équipement actif plus loin en amont, au « NRO », point central d'arrivée des câbles optiques.

Alors, il faudra envisager de construire un bâtiment pour abriter ce NRO ; typiquement le cas en milieu rural avec en contrepartie la facilité à trouver des m2. A moins de le louer...
Conseil : l'idéal, en ville, est de choisir un ancien commerce : destination commerciale déjà prévue aux sens juridique et fiscal, en rez de chaussée (arrivée des câbles par le sous-sol), énergie suffisante, ventilation déjà prévue (les copropriétaires ont déjà accepté cette belle cheminée en inox), nuisances sonores (if any) déjà intégrées par le voisinage... A contrario, transformer un appartement en NRO = beaucoup de soucis !

Aire de NRO à prévoir pour 15000 foyers raccordés en zone dense :

- FTTH en point à point : 48 m2
- FTTH en GPON : 15 m2

La puissance crête électrique nécessaire est également nettement en faveur des OLT-GPON, puisqu'une unique carte coupleur peut traiter jusqu'à 64 foyers (disons une quarantaine en moyenne).

Câbles utilisés :

Pour fixer les idées, un câble très solide à **12 fibres** G.652 s'achète à **2400€/km** en prix public. Diamètre = 12,4mm. Résistant en traction, à l'écrasement, aux rongeurs et étanche à l'eau ; double armure en aluminium (une extrudée, l'autre en treillis). Cette catégorie convient à de multiples usages, y compris enfoui en pleine terre.

Amorti sur 30 ans et mutualisé entre 250 abonnés, le coût mensuel de ce câble se chiffre en centimes d'euro, c'est-à-dire d'un ou plusieurs ordres de grandeur inférieur au génie civil.

En suspente de caténaires à 400 kV, des câbles renforcés sont utilisés. Le surcoût (quid si hélicoptère ?) est compensé par le fait qu'ils touchent des foyers en plus grand nombre, à partir de 500.

Équipements actifs (au NRO) :

En cet endroit, bien à l'abri des intempéries, des rongeurs et des malveillances (?), on retrouve la quincaillerie classique des télécom (cf figures 5 et 6) :

- Répartiteurs de câbles optiques et jarretières
- Si G-PON (ou dans le futur du 10G-EPON) : des OLT ; à titre illustratif, une armoire Alcatel-Lucent 7342 avec deux « shelves » équipées de cartes à 2xGPON peut desservir jusqu'à **3500 foyers** avec **1600W crête** et une emprise **au sol de 60 x 40 cm** (23" x 15").
[des cartes à 4xGPON sont également disponibles, doublant l'efficiencia au sol]
- Switches Ethernet « carrier grade » pour du FTTH point à point (par exemple du CISCO 4510, mais les fournisseurs sont nombreux) : a du sens pour raccorder des entreprises (débits symétriques)
- Routeurs IP d'agrégation ou PoP (si accès Internet)
[le serveur DHCP peut être encore plus centralisé]
- Switches Ethernet 10GE en interconnexion locale au NRO
- ROADM pour backhauling vers réseaux dorsaux
- Onduleurs ou convertisseurs (48VDC → 220VAC)
- Batteries, groupe électrogène
- Climatisation (suivant météo locale)
- Alerte incendie, gaz Inergen®...
- Contrôle des accès, alarme intrusion...

Un nouvel entrant ne visant que les services fixes peut se simplifier la vie avec des commutateurs Ethernet. C'est en jouant sur la notion de LAN virtuels (VLAN) qu'il pourra alors distinguer entre différents types de services : par exemple, pour un même site

d'abonné raccordé, offrir un accès à Internet (public) et un accès à un réseau MPLS (privé) d'interconnexion de sites d'entreprises.

A l'évidence, les coûts de CAPEX doivent inclure la formation initiale, ceux d'OPEX les contrats de maintenance !

Tout contrat doit donner lieu à un Service Level Agreement (SLA) associé à des pénalités.

Sur ces aspects process et contrats, les références à COBITv4.1 et ITILv3 (certification ISO 20000) sont les bienvenues.

4 Conclusion

Nous avons vu dans ce document que, 35 ans après les débuts de la numérisation du réseau téléphonique analogique et 15 ans après la généralisation du GSM, l'évolution des prochaines années va se traduire par la généralisation de la fibre optique, d'une part, et du mode paquet en ce qui concerne le multiplexage et l'acheminement au travers de grands réseaux, d'autre part.

La généralisation de la fibre dans les habitats éloignés des centres-villes va nécessiter une bonne dose d'innovation, surtout en matière de génie civil, si les intéressés ne veulent pas attendre deux autres décennies pour profiter du très haut débit et... du cinéma 4K - en relief ! - qui va avec (à partir de 2012 ?).

En ce qui concerne le mode paquet généralisé, IP nous a déjà habitué à son omniprésence au niveau des services et applications rendus, mais ce qui est plus nouveau est l'adoption qui semble consensuelle d'Ethernet comme format de transport sous-jacent.

On peut ainsi prévoir (!) que dès fin 2013, la moitié des liens de backhauling seront basés sur Ethernet : les paquets Ethernet sont alors directement émis sur les porteuses optiques. D'ailleurs, à cette date, atteindrons nous à coût « raisonnable » les 80 voire 160 porteuses par paire de fibre ? A 100 Gbit/s crête par porteuse² ?

En période transitoire, les interfaces de raccordement des anciens systèmes d'accès, typiquement de type PDH et ATM, voire SDH, seront émulées au travers d'Ethernet.

Quant au réseau mondial d'interconnexion, qui n'est pas le sujet ici, on peut imaginer que la technologie MPLS, tant privée que publique (Internet), pourra perdurer... du moins tant que les utilisateurs n'échangent pas de la vidéo 16-9^{ème} HD massivement² les uns avec les autres.

² Aparté : la rapidité de commutation sera-t-elle à la hauteur ? Comme en 1980, faudra-t-il réinventer « un » ATM (avec des paquets de longueurs variables, cette fois-ci) qui bannirait toute commutation logicielle micro-codée ? Une solution qui serait au passage moins consommatrice d'énergie car moins de transistors sollicités pour un même résultat !

ANNEXE

GPON : Compromis nombre d'abonnés / distance par fibre

Laser émission : +1 à +5 dBm

Sensibilité réception : min = -27 dBm

→ Budget disponible : 28dB

Affaiblissement fibre G.652 :

- Sens descendant à 1550nm : 0.23dB par km (GPON à 1490nm)
- Sens remontant à 1310nm : 0.37dB par km

Splitter 1:2 = 3.5dB

Splitter 1:4 = 7dB

Splitter 1:8 = 10.5dB

Splitter 1:16 = 14dB

Splitter 1:32 = 17.5dB

Splitter 1:64 = 21dB

Note : il est possible de cascader deux splitters

Par ex : x4 suivi en aval de x16 = x 64

Connecteur = 0,3 à 0.5 dB

Épissure = 0.1 à 0.2 dB

Conseil : budgéter 6% pour le vieillissement

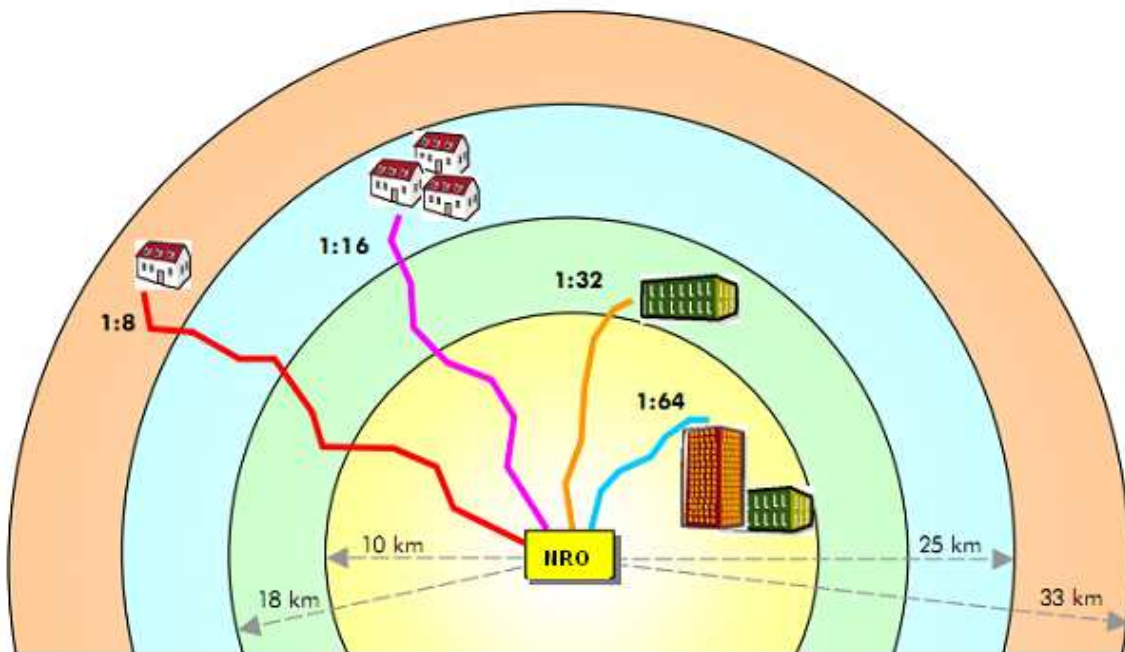


Illustration des distances que l'on peut atteindre en fonction du taux d'éclatement

GLOSSAIRE

AVICCA (France) : Association des Villes et Collectivités pour les Communications électroniques et l'Audiovisuel (<http://www.avicca.org/>)

CAPEX : Capital Expenditure : dépenses d'investissement (voir OPEX).

« Carrier grade » = qualité opérateur : qualificatif donné à des équipements conçus pour être très fiable ; a minima : duplication des alimentations, des ventilateurs, de la logique de commande ; en option : une carte coupleur (avec switch ad hoc automatique) peut en dépanner N à la volée (mode N+1). Rappel : le fameux « five nines » ou 99,999% de disponibilité correspond à une indisponibilité moyennée de 3mn par an (norme pour les commutateurs téléphoniques à l'ancienne).

CES, CESoE, CESoETH : Circuit Emulation Service... over Ethernet... ou comment émuler un flux continu (donc un circuit) de données par-dessus des flux de type paquets, foncièrement sporadiques.

DICT : Déclaration d'intention de commencement de travaux (droit français)

DSP : Délégation de Service Public

DWDM : multiplexage dense en longueurs d'onde. Assez couramment 45 sur une même fibre, mais le coût d'achat (lasers !) est en conséquence ; encore actuellement en laboratoire : 80 puis 160 porteuses par fibre. Avec bientôt 100 Mbit/s par porteuse...

E1 : appellation familière qualifiant un multiplex de 32 voies à 64 kbit/s chacune, soit 2048 kbit/s. La vraie norme est « G.704 à 2048 kbit/s ». Naissance en 1975.

EoS : Ethernet over SDH (ou SONET aux USA) : procédé permettant de transporter des trames Ethernet dans des conteneurs SDH (voir PoS)

FTTH – FTTB – FTTC : Fiber to the Home – Building/Basement – Curb : la fibre jusqu'au foyer - jusqu'à l'immeuble - jusqu'au coin de la rue.

GPON (voir PON) : Gigabit Passive Optical Network, technique permettant d'offrir 2,5Gbit/s à 64 abonnés sur une seule fibre, sous réserve qu'ils soient à moins de 4km (environ) ou à 16 abonnés jusqu'à 10 ou 15km (environ). Avantage : beaucoup moins de « filasse » à gérer et il est par conséquent plus facile de trouver des fourreaux libres (en ville surtout). Nécessite un équipement, l'OLT, en central (au NRO) et un modem optique/Giga-Ethernet chez l'utilisateur, l'ONU. Autre avantage : une offre concurrentielle service par service est possible en jouant avec les VLAN_id (un par opérateur de service). Inconvénient : un SLA drastique doit être appliqué pour cette offre d'accès aux opérateurs de services.

IS-IS (Intermediate System - Intermediate System) : algorithme similaire à OSPF mais moins « verbose », ayant le même objectif (voir OSPF) ; adapté aux réseaux ayant un très grand nombre de nœuds, typiquement les FAI en interne (intra-domain). Note : même les réseaux d'entreprises (plus petits) finissent par l'adopter du fait d'une meilleure stabilité des tables d'acheminement quand des éléments commencent à défaillir.

NRA : Nœud de Raccordement d'Abonnés : bâtiment abritant l'arrivée des paires de cuivre d'abonnés téléphoniques analogiques ; ces arrivées sont matérialisées par ce que l'on appelle le « répartiteur général » et les bancs de modem ADSL s'y trouvent (équipement DSLAM). Pour des raisons historiques, ce bâtiment appartient et est géré par l'opérateur

téléphonique historique local. A moins que la propriété et la gestion aient été transférées à des entités publiques censées être indépendantes.

NRO : Nœud de Raccordement Optique : bâtiment abritant l'arrivée des fibres d'abonnés ET où se trouvent les premiers équipements actifs opto-électroniques. Du fait de la portée deux à trois fois plus importante sans répéteur que celle de la paire de cuivre, le NRO a toutes chances d'être différent du NRA (voir NRA) ; c'est même conseillé pour conserver un bon niveau de flexibilité vis à vis de l'opérateur historique.

OLT et ONU : voir GPON

OPEX : Operational Expenditure : dépenses d'exploitation (voir CAPEX).

OSPF (Open Shortest Path First) : algorithme issu de la théorie des graphes permettant de calculer le meilleur chemin depuis tout bord d'un réseau vers tout autre bord... « Tous les chemins mènent à Rome », mais il en est de meilleurs que d'autres à un certain moment ! Un chemin est jugé plus ou moins bon par évaluation d'une fonction de coût qui peut intégrer le débit des artères (ou arcs) empruntés, la charge constatée des nœuds, la charge des artères... (voir IS-IS)

OXC : Optical Cross-Connect : brasseur de longueur d'ondes, avec ou sans régénération.

P2P (FTTH-P2P): Point to Point (point à point), contrairement aux réseaux PON, ici, un abonné = une fibre (voire une paire de fibres, l'histoire d'en avoir une en secours). Inconvénient : beaucoup de filasse, comme avec les paires de cuivre torsadées du téléphone de papy. Autre inconvénient : solution ne favorisant pas la concurrence sur les services. Avantage : l'opérateur de services peut avoir la maîtrise de la qualité jusqu'au chez son client.

PON : voir GPON

PoP : Point of Presence (Point de Présence), nom générique donné au routeur internet (public donc) le plus proche auquel raccorder les routeurs des abonnés fixes.

PoS : Packet over SDH (ou SONET, aux USA) : procédé permettant de transporter des paquets IP ou MPLS dans des conteneurs SDH (voir EoS)

PPP : Partenariat Public Privé

ROADM : Reconfigurable Optical ADM : équipement « carrier grade » qui transporte les flux échangés avec l'extérieur sur des longueurs d'onde différentes multiplexées ensuite sur un double anneau à fibres optiques, une dans un sens l'autre dans l'autre : à l'instar de la SDH et ses 50ms de restauration, la rupture d'une liaison est transparente pour les applications.

SLA : Service Level Agreement : engagement de qualité de service. Document contractuel du fournisseur vers son client qui décrit les prestations et codifie les mesures de qualité associées à des pénalités s'il ne les tient pas.

URA : Unité de Raccordement d'Abonnés : équipement concentrant et multiplexant sur quelques E1 le trafic échangé avec des téléphones analogiques classiques ; utilisé en milieu résidentiel.

VCAT : Virtual Concatenation : flexibilité apportée à la SDH en permettant d'agréger de manière « assez » flexible plusieurs sous-débits, en l'occurrence des VC-3 à 48.384 Mbit/s utiles chacun ; chaque VC-3 vit sa vie, c'est-à-dire a son propre trajet, au travers du réseau qui est souvent de dimension continentale. Avantage : la rupture de l'un ne rompt pas la totalité du flux, ce qui est précisément intéressant pour des flux en mode paquets.