

Synthèse sur l'évolution des réseaux de télécommunications

Daniel Kofman

Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications

21 Septembre 2001

Contact : daniel.kofman@enst.fr

1 Remerciements

Dans l'objectif de prendre en compte les visions de divers acteurs sur les possibles évolutions du marché des télécommunications, l'auteur a tenu à rencontrer des membres de diverses entreprises. Le choix s'est logiquement porté sur l'opérateur historique (France Télécom - Orange) et sur un opérateur alternatif (Firstmark), ainsi que sur un grand constructeur (Siemens) et sur un constructeur en développement (Eolring). L'auteur tient à remercier les personnes citées par la suite des très intéressants échanges qu'il a eus avec elles.

France Télécom – Orange : Jullien Billot, Directeur Marketing, Saverio Domanico, Responsable des Services à Valeur Ajoutée

Firstmark : Thiery Mileo, Directeur Général, Pierre-Yves Deboudé, Responsable des études marketing, Yves-André Gagnard, Directeur Marketing voix, André Piquemal, Directeur Déploiement Région Rhône-Alpes-Côte d'Azur.

Siemens : Stéphane Bret, Directeur de l'Activité Réseaux Mobiles, Nabila Meghelli, Responsable Commercial Grand Comptes.

Eolring : Roland Schutz, Directeur Marketing Produit

2 Table de Matières

1	Remerciements	2
2	Table de Matières	3
3	Introduction et contenu	5
3.1	Technologies : Perspective historique	7
3.2	Sur l'évolution du trafic	10
4	Evolution des réseaux d'accès	12
4.1	Technologies et architectures xDSL	12
4.1.1	Evolution de l'architecture d'accès au RTC	12
4.1.2	Evolution vers les architectures xDSL	15
4.1.3	La technologie VoDSL	18
4.1.4	Présentation des différentes technologies xDSL	20
4.1.5	Architecture d'accès xDSL	21
4.1.6	Intérêts	22
4.2	La fibre optique dans le réseau d'accès	23
4.3	Des réseaux câble vers les réseaux HFC	25
4.4	La boucle locale radio	28
4.5	Autres technologies d'accès	30
4.6	Quelle place pour les nouvelles technologies d'accès et la concurrence en France?	31
5	Evolution des cœurs de réseaux	35
5.1	La technologie WDM	35
5.2	IP sur ATM, PoS et MPLS	39
5.3	Les réseaux tout-optiques	42
6	Evolution des réseaux métropolitains	44
7	Evolution des réseaux mobiles	46
7.1	Architecture des réseaux mobiles : vision macroscopique	47
7.2	Quel partage des infrastructures de réseaux mobiles	50
7.3	Quelle stratégie de déploiement ?	50
7.3.1	Les verrous à lever	50
7.3.2	Quel avenir pour l'Internet mobile ? Un déploiement en deux étapes	52
7.3.3	Le cas japonais et la quatrième génération	53
8	La voix paquetisée et les NGN	55
8.1	Perspective historique	55
8.2	Voix et téléphonie sur des réseaux paquet	55
8.2.1	La voix paquetisée jusqu'au terminal	56
8.2.2	L'interconnexion de sites d'entreprise	57
8.2.3	Evolution des réseaux téléphoniques d'opérateur, vision d'ensemble et introduction aux NGN.	58
8.2.4	La mise en place par un opérateur d'une boucle locale téléphonique	59
8.2.5	L'évolution du backbone téléphonique	59
8.2.6	L'offre par un opérateur de services téléphoniques et de convergence sur un réseau de paquets	59
8.3	Les architectures de téléphonie sur IP et l'évolution vers les NGN	60
8.4	Existe t-il un marché ?	61
9	Evolution de l'offre de services	63
9.1	Besoins génériques	63
9.2	Quels services ?	63

9.2.1	Services de transport : Evolution des VPN	63
9.2.2	Les services directement liés à la vidéo	64
9.2.3	Télé-médecine	65
9.2.4	Télé-enseignement	65
9.2.5	Calcul distribué	65
9.2.6	Réalité virtuelle	66
9.2.7	Commerce électronique	66
9.2.8	L'offre de services de télécommunications en mode ASP	66
9.3	Les services qui tirent profit de la mobilité	67
9.3.1	Services liés à la géolocalisation	67
9.3.2	Messagerie unifiée, multimédia	67
9.3.3	SMS CB (Cell Broadcast)	67
9.3.4	M-commerce, Mobile commerce.	67
9.3.5	Amélioration des services WAP actuels	68
9.3.6	Jeux	68
9.3.7	Téléchargement	68
9.3.8	Groupware	68
9.3.9	SMS interactif	68
9.3.10	Services avec tiers parties	68
9.3.11	Quel besoin pour l'UMTS ?	68
10	De l'IPv4 vers l'IPv6	70
11	Conclusion	72
11.1	Une vision prospective	72
11.2	Les technologies de la migration	72
12	Annexe A : Glossaire	75
13	Annexe B : Sur la valeur des pronostiques	77

3 Introduction et contenu

L'objectif de ce rapport est : de donner une vision globale de l'ensemble des nouvelles technologies des télécommunications, d'évaluer leur importance, notamment par rapport aux usages qui peuvent en dériver, d'analyser les contraintes techniques et technico-économiques liées à leur déploiement et de présenter les évolutions possibles de leurs marchés.

Un réseau peut être vu comme un ensemble de ressources mises en place pour offrir un ensemble de services. C'est l'évolution des services et des trafics qui en découlent qui a piloté, dans les dernières années, l'évolution technologique qui a permis d'augmenter la capacité et les fonctionnalités des ressources des réseaux¹. Ainsi, par exemple, le succès des services de l'Internet a engendré une explosion de trafic qui a mené les opérateurs à utiliser de nouvelles technologies dans le cœur des réseaux telles que l'IP sur ATM, le PoS, l'IP sur WDM et le MPLS.

Les évolutions récentes ont également été fortement influencées par la dérégulation. La concurrence a amené une baisse des prix de la plupart des services historiques, ce qui a réduit les marges des opérateurs. Dès lors que la différenciation par les prix devient difficile, celle-ci ne peut se faire que par les services et leur qualité. L'offre de services innovants et l'amélioration de la qualité de services existants, tels que la navigation du Web, requièrent souvent une évolution de la bande passante à l'accès. Ainsi, des technologies comme le xDSL, la BLR et les réseaux HFC, se sont développées.

Un point essentiel dans l'évolution de l'offre de services concerne la capacité à regrouper l'ensemble des services dont le client a besoin et de les lui offrir, si possible de manière convergente², à travers une interface unique. Cela pousse dans la direction de bâtir des réseaux multiservices avec convergence entre services. Les architectures de type VoDSL, téléphonie sur IP et ATM, ainsi que NGN semblent bien adaptées pour la mise en place de la convergence voix/données. Les nouvelles générations de réseaux mobiles, telles que le GPRS et l'UMTS permettront de faire des progrès dans la convergence fixe/mobile. La mise en place de réseaux multiservices devrait permettre également de réduire les coûts de déploiement des différents services et les coûts d'exploitation et maintenance.

La qualité du service rendu par un opérateur est également perçue par le client à travers son approche de provisionnement des services. Les clients demandent à l'opérateur de fournir tout service, immédiatement, partout et à moindre prix. Cela concerne notamment la capacité de pouvoir choisir dynamiquement le niveau de qualité de service en fonction de leurs besoins et de ce qu'ils sont prêts à payer en fonction des politiques de tarification de l'opérateur. De

¹ Néanmoins, pour certaines des technologies qui cherchent à s'imposer aujourd'hui sur le marché, le besoin de leur déploiement n'est pas tout à fait clair. Nous verrons que nous risquons de nous trouver dans une situation semblable à celle rencontrée lors du lancement du RNIS. Ce dernier a longtemps été appelé « Innovation Subscribers Don't Need » en référence à son acronyme anglais ISDN. En effet, il s'agissait d'une innovation technologique qui n'avait pas été pilotée par un besoin des clients et de ce fait, dans la plupart des pays, son marché a eu du mal à se développer dans un premier temps. Par la suite, le succès de l'Internet a amené un besoin d'accès à des débits plus importants que ceux fournis par les accès commutés par modem analogique et de ce fait le marché RNIS a connu une croissance.

² Un réseau peut être multiservices, dans le sens où il offre des services de voix, de vidéo, de données, etc. Il n'offre pas nécessairement pour autant de services convergents. On parle de convergence quand il y a interactivité entre les différents services offerts. Nous reviendrons sur ce concept dans les chapitres 8 et 9.

plus, ils demandent à pouvoir auto-configurer et personnaliser leurs services à travers une interface conviviale (par exemple de type Web).

La convergence et la flexibilité de provisioning passent par une séparation claire entre un plan réseau et un plan de service. Dans le premier, nous l'avons vu, diverses technologies seront déployées. Le plan de service doit cacher cette diversité technologique au créateur des services, que se soit l'opérateur ou le client lui-même. Il doit également fournir des interfaces génériques pour la création de services. Suite à la création d'un nouveau service, ou à la personnalisation d'un service existant, les mécanismes de « customer care » et de facturation doivent être mis à jour de la manière la plus automatisée possible.

On remarque donc que l'évolution actuelle du monde des télécommunications concerne un nombre important de nouvelles technologies et de nouvelles architectures. Nous nous efforcerons de les présenter toutes de manière synthétique et globale.

Avant de décrire le contenu du document, disons que nous avons choisi une structure avec un découpage, d'une part, horizontal, en différenciant accès et cœur de réseau et, d'autre part, vertical, en différenciant plan réseau et plan service. Bien sûr, une synthèse fournissant une vision de bout en bout sera également présentée. La raison de la classification en accès et cœur vient du fait que les contraintes à l'accès et dans le cœur de réseau sont très différentes et, en conséquence, le sont souvent également les technologies qui s'adaptent le mieux à chaque contexte ainsi que les architectures qui utilisent ces dernières. Dans l'accès, le but est de concentrer le trafic de divers clients vers les équipements qui fournissent les services attendus (commutateur téléphonique, Broadband Access Server³, etc.). Dans le cœur, le but est d'acheminer des volumes de trafic importants entre un nombre de points limité (les équipements fournissant les services). A titre d'exemple, le réseau téléphonique de France Télécom comporte de l'ordre de 1500 commutateurs. Le réseau d'accès doit permettre aux plus de 30 millions de lignes téléphoniques existantes d'accéder à ces commutateurs ; le cœur de réseau se charge de l'interconnexion de ces commutateurs. Les coûts et les contraintes de déploiement, notamment ceux d'ingénierie civile, ne sont donc pas les mêmes dans les deux contextes. C'est souvent à l'accès où il est le plus important de prendre en compte l'existant. Dans le contexte d'un réseau multiservices, c'est au réseau d'accès de fournir les diverses interfaces correspondant aux divers services offerts.

Le découpage vertical est conforme à l'évolution actuelle vers des réseaux multiservices convergents qui requièrent un plan de service indépendant des technologies réseau sous-jacentes.

Ainsi, dans le chapitre 4, nous traitons des réseaux d'accès. Nous présentons les technologies xDSL, BLR, HFC, PLC et satellite. Le chapitre 5 est dédié aux technologies de cœur de réseau. Nous introduisons l'IP sur ATM, le PoS, le MPLS et les technologies tout-optiques. Le chapitre 6 traite des réseaux métropolitains, de plus en plus présents entre l'accès et le backbone⁴.

Le chapitre 7 traite des évolutions des réseaux mobiles vers les générations 2.5 et 3. Le chapitre 8 porte sur la voix paquetisée et les NGN et présente donc la convergence voix/données. Le chapitre 9 est dédié à l'évolution de l'offre de services. Le chapitre 10 traite d'un sujet transversal aux précédents : la migration vers l'IPv6. Dans l'ensemble des chapitres, nous analysons le positionnement des diverses technologies présentées en France.

³ Equipement d'accès à l'Internet et ses services (voir 4.1.5).

⁴ Nous utiliserons indistinctement les termes « cœur de réseau » et backbone.

Suite à la conclusion, une annexe présente le glossaire. *Afin d'alléger le texte, la signification des acronymes ne figure souvent que dans le glossaire.*

Avant de passer au chapitre 4, nous présentons dans la section suivante une perspective historique des technologies que nous allons présenter dans ce rapport.

3.1 Technologies : Perspective historique

Nous disions qu'un réseau peut être vu comme un ensemble de ressources mises en place pour offrir un ensemble de services. Historiquement, des réseaux spécifiques par service ont été conçus et déployés. Ainsi, on peut parler du réseau téléphonique pour le service téléphonique, des réseaux Frame Relay pour l'interconnexion de réseaux locaux, etc. Cette approche a un coût élevé et ne s'adapte pas bien à une évolution dynamique de l'offre de services. Depuis de longues années, les opérateurs s'efforcent d'évoluer vers des réseaux à intégration de services. Le RNIS en fut une première approche. En poussant le numérique jusqu'à l'utilisateur, il devenait possible d'intégrer divers services sur un unique lien d'accès à travers une interface unique. Malheureusement, le RNIS se base sur des techniques de commutation classiques et, de ce fait, le type de services offert reste limité⁵ et ne présente pas la flexibilité requise pour supporter le trafic engendré par des applications innovantes.

Conscients des limitations des technologies utilisées dans les RNIS, les opérateurs travaillaient depuis le milieu des années '80 dans une nouvelle technologie qui devait permettre de bâtir les RNIS Large Bande (RNIS-LB), capables eux de fournir tous les types de service qu'un client pourrait demander et de les supporter sur un backbone unique. La technologie qu'ils conçurent fut l'ATM. Cette technologie et les architectures des RNIS-LB furent normalisées à partir de 1992 par l'UIT. Comme son nom l'indique, le RNIS-LB est une évolution du RNIS. Cela est particulièrement vrai pour ce qui est du plan de contrôle du réseau (signalisation permettant de contrôler les connexions). Même si, en termes de commutation et de multiplexage, la technologie ATM est complètement innovante, elle fut conçue en tenant en compte l'importance du trafic téléphonique dit MIC (64 Kbit/s par connexion), trafic largement majoritaire en ces temps.

L'ATM fut la première technologie haut débit disponible sur le marché et de ce fait elle fut massivement déployée par les opérateurs. L'idée était qu'en couvrant l'infrastructure SDH^{6,7} existante avec une couche ATM, on apporterait la flexibilité nécessaire en termes de diversité de services de réseau. En effet, l'ATM permet de multiplexer tout type de trafic sur un même conduit de transmission (SDH ou autre) tout en garantissant la qualité de service spécifique dont chaque type a besoin et en optimisant les ressources (notamment la capacité des conduits de transmission).

La technologie ATM est donc particulièrement intéressante quand le réseau est amené à transporter sur les mêmes liens des trafics divers (voix, vidéo, données), ce qui était attendu à

⁵ Les accès les plus utilisés sont l'accès de base et l'accès primaire. Ces accès offrent des canaux en mode circuit à 64 Kbit/s, dits canaux B (2 et 30 respectivement) et un canal en mode paquet, dit canal D, à 16Kbit/s et 64 Kbit/s, respectivement. Le canal D est utilisé en particulier pour transmettre la signalisation. Les accès sont également naturellement appelés 2B+D et 30B+D, respectivement.

⁶ Cette technologie a été massivement déployée pour supporter le RTC et les liaisons louées, ce pour quoi elle est très bien adaptée.

⁷ La technologie SDH a remplacé la technologie PDH dans les réseaux de télécommunications. Elle permet de gérer la capacité des médium de transmission et de fournir entre deux points quelconques de l'infrastructure physique des conduits de transmission de débit fixe à 155Mbit/s, 622Mbit/s, 2.5Gbit/s et 10 Gbit/s. Une de ses fonctionnalités les plus prisées est sa capacité de cicatrisation automatique en cas de panne en moins de 50ms.

l'époque. Mais le trafic n'a pas évolué depuis comme cela avait été projeté. Le trafic de vidéo n'a toujours pas explosé sur les réseaux de télécommunications (cela ne saurait pas tarder, nous y reviendrons dans la section 3.2 et dans le chapitre 9). Le trafic de voix fixe a augmenté, comme prévu, lentement (4% en moyenne par an dans les pays développés) et le trafic de données a explosé (à une vitesse qui n'avait pas été prévue). L'ATM, conçue comme technologie multiservices, a donc été utilisée au début comme un moyen de faire face à cette explosion et n'a donc été utilisée, dans un premier temps, que comme une technologie de cœur de réseau pour transporter du Frame Relay et de l'IP (trafic engendré par l'Internet notamment).

Le trafic de voix MIC restant largement majoritaire et disposant d'un réseau optimisé pour son transport (le RTC), il n'était pas justifié pour les opérateurs d'investir dans le basculement de ce trafic sur les réseaux ATM. Les réseaux ATM se sont donc développés en parallèle du RTC/RNIS au lieu de devenir une évolution de celui-ci.

La deuxième étape dans le déploiement de l'ATM a été l'accès, dans un premier temps, en tant que liaisons ATM permanentes fournies aux grands clients pour l'interconnexion de leurs sites⁸ et, dans un deuxième temps, dans le contexte de technologies et d'architectures d'accès innovantes comme le xDSL et la BLR.

L'évolution naturelle semblait être une couverture ATM de plus en plus dense et, dès lors que le trafic de voix deviendrait minoritaire par rapport aux autres trafics, le basculement progressif de la voix sur le réseau ATM se justifierait. Les réseaux ATM deviendraient ainsi des réseaux multiservices de bout en bout. Mais cela ne semble pas être l'évolution du marché et il y a plusieurs raisons à cela.

D'abord, l'ATM a perdu depuis de longues années la bataille du poste de travail. De ce fait, peu d'applications natives ATM ont été développées, la plupart des nouvelles applications sont développées sur la pile de protocoles IP. C'est l'adressage IP qui est utilisé pour identifier les équipements terminaux. L'ATM est ainsi condamnée à devenir uniquement une technologie de transport et donc à être utilisée uniquement là où elle présente des avantages par rapport aux autres technologies (elle ne devient pas une technologie de bout en bout). Parmi ces avantages, on peut citer les suivants :

- L'ATM résout, de la meilleure manière possible aujourd'hui, le difficile compromis entre garantir les différents types de qualité de service attendus et optimiser les ressources déployées.
- L'ATM dispose de mécanismes de contrôle du réseau et d'opération et maintenance évolués
- Elle dispose également d'une architecture de gestion évoluée, avec des mécanismes de protection permettant d'offrir une disponibilité et une fiabilité importantes

La question est de savoir quand est-ce qu'on a besoin de ces propriétés pour que le coût d'utilisation de l'ATM soit justifié. Des réponses à cette question, contraires à l'objectif original de couverture globale des infrastructures par l'ATM, se sont faites entendre dès 1996. En 1996, pour la première fois, le trafic IP « Best Effort⁹ » transatlantique est devenu

⁸ Les entreprises font, dans ce contexte, du multiplexage voix/données sur ATM. Mais l'ATM n'est utilisé ici que comme moyen de transport.

⁹ On appelle réseau « Best Effort » un réseau qui fait de son mieux pour transporter les informations mais qui ne garantit aucune qualité de service. On appelle trafic « Best Effort » un trafic qui ne s'attend à recevoir un quelconque niveau de qualité de service.

suffisamment important pour remplir, à lui tout seul, des conduits de transmission de débit élevé pour l'époque (155 Mbit/s). La question s'est donc posée du besoin d'une technologie comme l'ATM dont le grand atout, en termes de transmission de l'information, est de permettre un multiplexage efficace de divers types de trafic. La réponse a été de transmettre le trafic IP directement sur la couche physique, sans couche intermédiaire. Cette technologie est appelée « Packets over SONET/SDH » (PoS). Cette évolution concerna, dans un premier, uniquement à la transmission¹⁰. Elle a été suivie par la conception de routeurs IP de grande capacité avec des interfaces PoS. Des réseaux pour le transport de l'IP ont donc pu être construits sans besoin de l'ATM. Ces réseaux répondent bien à certains besoins, ceux de la mise en place de réseaux IP « Best Effort » haut débit pas chers pour faire face à la croissance de l'Internet. Ceci était, notamment, le besoin d'un grand nombre d'ISPs (Internet Service Providers). Par contre, cette technologie n'a pas les avantages cités de l'ATM et ne supporte donc pas bien la mise en place de réseaux multiservices.

Certes, en cœur de réseau, on peut se permettre, dans certains cas, un surdimensionnement du réseau permettant de garantir les qualités de service requises sans besoin de mécanismes de contrôle complexes. Mais cela n'est pas vrai à l'accès où :

- La bande passante reste faible et chère
- Le relativement faible débit des interfaces (quelques dizaines de Mbit/s) requiert une fine granularité de multiplexage afin d'éviter des variations de délai (gigues) non compatibles avec les trafics temps réel (voix, vidéo, etc.).

A partir de cette observation, on comprend les choix faits ou qui se dessinent à la fois à l'accès et dans le cœur des réseaux d'opérateur. A l'accès, la technologie ATM est souvent maintenue et se trouve à la base des architectures innovantes comme le VoDSL (voir la section 4.1.3) et l'UMTS (voir la section 7.1). Dans le cœur du réseau, où le débit des interfaces est suffisamment élevé pour que la granularité de multiplexage ne représente pas un problème, on essaye de simplifier l'architecture. Ainsi, au lieu de superposer un réseau IP sur un réseau ATM, on essaye d'intégrer les avantages des deux technologies dans une seule. Le concept de MPLS essaye de répondre à cet objectif (voir la section 5.2).

Pour finir, disons que sur une fibre optique on dispose d'une capacité théorique de plusieurs centaines de Tbit/s et que, jusqu'il y quelques années, on ne disposait pas d'une technologie permettant de transmettre plus que 2.5 Gbit/s sur une fibre. La technologie WDM apporte une réponse à ce problème. Nous verrons qu'aujourd'hui il est possible de transmettre jusqu'à 1,6 Tbit/s sur une fibre. L'évolution vers les réseaux tout-optiques devrait permettre de maintenir la tendance à la baisse des coûts de transmission.

On se trouve dans la situation où, en dehors de la téléphonie, le trafic généré par la plupart des applications c'est de l'IP. Ce trafic IP peut être transmis de diverses manières : sur le WDM, sur la SDH, sur du MPLS, sur de l'ATM, etc. Pour ce qui est de la téléphonie, l'ATM a encore un rôle important à jouer, que ce soit à l'accès ou en substitution des cœurs des réseaux téléphoniques (voir le chapitre 8).

Les possibilités d'architecture sont multiples, nous n'avons donné dans cette introduction qu'un bref aperçu. Dans ce rapport, nous essayerons de mettre en évidence les intérêts technico-économiques des différentes technologies et architectures par rapport à l'évolution des services et des usages désirés.

¹⁰ Rappelons qu'un réseau requiert de la transmission mais également de l'aiguillage. Ce dernier étant implémenté dans le monde IP dans des équipements appelés routeurs.

3.2 Sur l'évolution du trafic

Nous venons de voir que l'évolution du trafic, et notamment le fait que le trafic de données tende à devenir majoritaire, est un élément clé dans la justification des évolutions des technologies et architectures de réseau.

Les analystes ne sont pas d'accord sur la question de l'évolution du trafic et notamment sur l'instant auquel le trafic de données va dépasser celui de la voix. Pour en débattre, il faut bien définir ce que l'on mesure et pour cela il faut différencier, d'une part

- La capacité déployée
- Le trafic transporté
- Les revenus

et, d'autre part

- Trafic local
- Trafic national
- Trafic international

Ainsi, par exemple, dans certains cœurs de réseau, la capacité déployée grâce à la technologie DWDM dépasse les besoins immédiats. De manière générale, les mesures indirectes du trafic IP, faites à partir des mesures des capacités déployées et/ou des revenus, s'avèrent parfois erronées.

Pour montrer l'importance de la deuxième différenciation que nous avons faite, soulignons que pour la téléphonie, en 1999, le trafic international représentait 1% du total, le trafic national 10% et le trafic local le reste. Pour l'Internet, il est évident que, pour la plupart des pays, le trafic international est le plus important.

Ce qu'on peut dire, avec une certaine certitude, c'est que le point de croisement aura lieu d'abord pour la capacité, puis pour le trafic et finalement pour les revenus. En ce qui concerne les revenus, cela n'arrivera peut être pas avant qu'il y ait convergence de services et donc qu'une partie des services téléphoniques ne soit offerte par les réseaux de données.

On peut également affirmer que le trafic de données internationales a dépassé celui de la voix vers 1998¹¹.

Il est important de comparer la vitesse de croissance du trafic avec celle de la capacité des réseaux. Certains experts affirment que la capacité des réseaux augmente plus vite que celle du trafic et que, de ce fait, on peut sur-dimensionner les réseaux et éviter ainsi les fonctions complexes tendant à les optimiser.

Nous ne partageons pas ce point de vue pour diverses raisons. Nous nous basons par la suite sur l'exemple de l'Internet. D'abord, nous considérons que le réseau est encore auto-contrôlé. En effet, nous disposons aujourd'hui de très bonnes applications mettant en œuvre de la vidéo (citons par exemple la vidéoconférence, les jeux, la réalité virtuelle distribuée, etc.). Ces applications ne sont pas utilisées plus massivement parce que le réseau ne les supporte pas. Des applications de masse de vidéo à la demande, impliquant une consommation par utilisateur de plus de 2Mbps, ou des applications plus spécifiques de calcul distribué, générant 1 Gbit/s, sont aujourd'hui disponibles sur étagère à un prix très raisonnable. Dès le moment où les ressources dans le réseau suffiront à transporter les flux engendrés par ces applications le trafic augmentera d'une manière qu'on ne peut pas estimer aujourd'hui.

¹¹ Direction of Traffic, ITU/TGI, 1999.

De plus, même si le coût de la transmission diminue de manière significative grâce au DWDM, on ne peut pas dire la même chose du coût d'acheminement des informations. La capacité des routeurs n'augmente pas à la même vitesse que la capacité de transmission et leur coût ne diminue pas non plus de la même manière.

Il est ici important de signaler qu'une étude finalisée le mois dernier (août 2001) par L.G. Roberts, un des pionniers de l'Internet et actuellement Directeur de Caspian Networks, montre que le total du trafic IP de 19 des plus importants ISP¹² américains a augmenté d'un facteur de 4 au cours du dernier semestre, ce qui contredit des affirmations récentes sur un ralentissement de la croissance. Ces affirmations n'étaient pas basées sur des mesures directes.

Finalement, il faut faire la différence entre le cœur du réseau et l'accès. Dans le premier, une approche de surdimensionnement est peut être faisable dans certaines circonstances. Par contre, à l'accès, la bande passante est bien plus chère. On connaît la difficulté d'augmenter la capacité des réseaux d'accès sans fils nécessaires notamment à la mobilité. Puis, au fur et à mesure que la capacité de l'interface client augmente, il faut également augmenter la capacité des réseaux de concentration, ce qui, vu la capillarité requise, représente également un coût élevé.

¹² Tous ISP de cœur, dont le métier est d'interconnecter d'autres ISP.

4 Evolution des réseaux d'accès

Dans cette section, nous introduisons et comparons les différentes technologies d'accès : xDSL, FTTx, BLR, HFC, PLC et satellite. Nous avons déjà parlé de l'importance du coût d'ingénierie civile lié au déploiement d'un réseau d'accès. Certaines technologies ont donc été conçues pour réutiliser l'infrastructure existante ; d'autres, basées sur la transmission radio, ont essayé de réduire ce coût.

4.1 Technologies et architectures xDSL

Afin de comprendre les évolutions en cours des réseaux d'accès basés sur la paire torsadée, ainsi que les nouvelles architectures de réseaux métropolitains (voir le chapitre 6), nous commençons par une présentation de l'évolution de l'architecture d'accès au réseau téléphonique commuté (RTC) ; en effet, la boucle locale en paire torsadée a été déployée pour fournir l'accès au RTC.

4.1.1 Evolution de l'architecture d'accès au RTC

La Figure 1 montre l'architecture historique des réseaux téléphoniques à l'accès¹³.

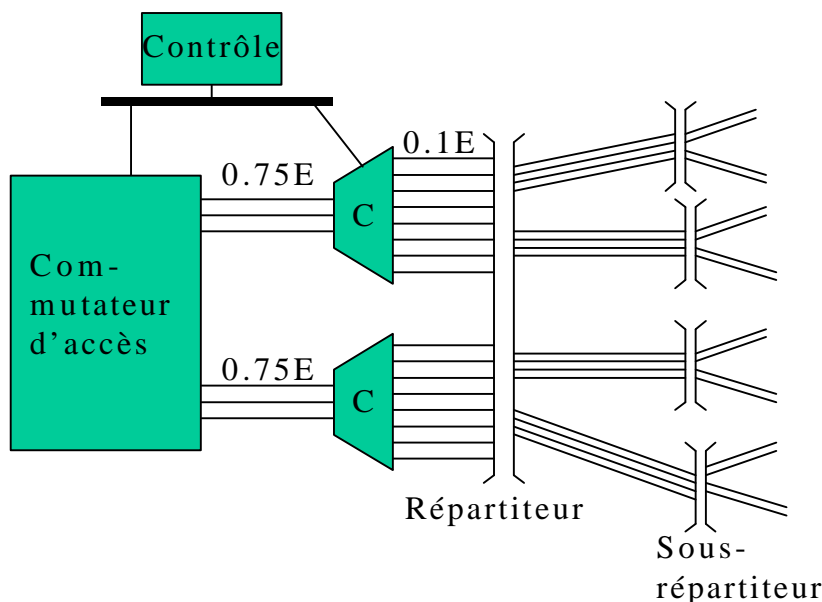


Figure 1 : Architecture historique d'accès au RTC

¹³ Cette architecture reste la plus utilisée en France.

On distingue à gauche un commutateur téléphonique d'accès et à droite les câbles de paires torsadées en sortie du répartiteur. Les câbles sont « ouverts » dans une ou plusieurs étapes de sous-répartition. A chaque étape le nombre de paires torsadées par câble diminue ; le client est finalement atteint avec une ou deux paires.

Le trafic téléphonique résidentiel sur une paire torsadée est évalué, à l'heure de pointe, à 0,1 Erlang (E). Autrement dit, à l'heure de pointe du réseau, la paire torsadée, et donc son interface avec le réseau, ne sont utilisées que 10% du temps. Pour une entreprise la moyenne est de 0,25 E. Avant d'atteindre l'interface avec le commutateur, on passe par des étapes de concentration dont les interfaces avec ce dernier sont chargées à environ 0,75 E. Ces concentrateurs sont co-logés (ils se trouvent dans le même bâtiment) que le commutateur. L'ensemble des équipements peut donc être contrôlé en local.

Dans une telle architecture les paires torsadées sont clairement sous-utilisées. Afin de faire face à la croissance de la demande de lignes téléphoniques et grâce aux évolutions technologiques, cette architecture a évolué chez certains opérateurs. En effet, la possibilité de transmettre sur une paire torsadée à 2Mbit/s symétriques sur des distances de quelques kilomètres permet de déporter les concentrateurs/multiplexeurs, afin de les rapprocher des clients finaux, comme cela est indiqué dans la Figure 2.

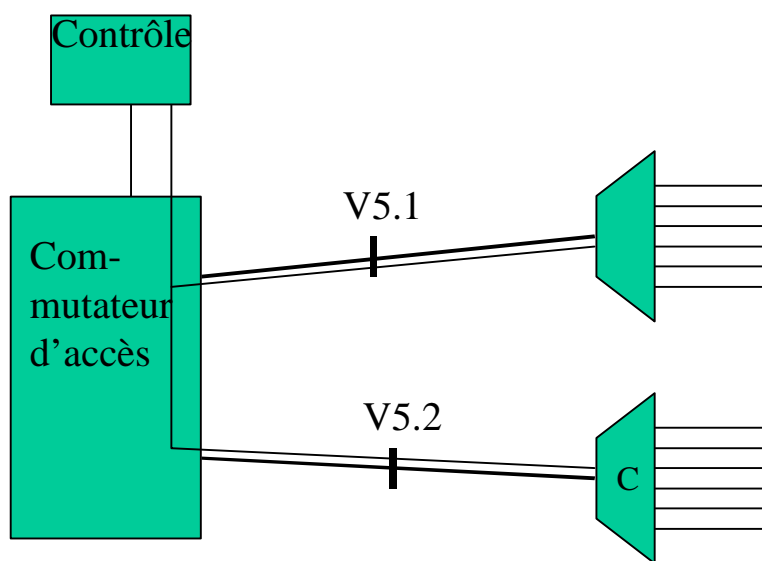


Figure 2 : Interfaces V5.1 et V5.2

Maintenant, sur une paire torsadée supportant un lien numérique à 2Mbit/s on peut transporter jusqu'à 30 communications téléphoniques simultanées. Se pose le problème du contrôle de ces équipements distants. On peut placer une PT spécifique pour les signaux de contrôle ou multiplexer les informations de contrôle sur la paire torsadée transportant la voix. Cette deuxième approche est plus efficace mais requiert la définition de nouvelles interfaces. Ainsi, l'ETSI a publié deux standards pour répondre à ce besoin, appelés V5.1 et V5.2¹⁴. La différence entre eux est que V5.2 autorise la concentration, tandis que V5.1 ne l'autorise pas. Autrement dit, sachant que le nombre de voies téléphoniques est de 30 sur l'interface de 2Mbit/s, en V5.1 on ne pourra raccorder que 30 lignes téléphoniques, tandis qu'en V5.2 cette contrainte n'existe pas, les voies sont allouées dynamiquement quand les appels arrivent.

Cette architecture pose divers problèmes, dont on peut citer :

- La fiabilité : si une paire torsadée est coupée, un nombre important de clients se voit affecté.
- La capacité : il est souvent économiquement intéressant de concentrer plus de trafic au niveau de l'accès.
- La diversité de services : l'offre de services au client final n'évolue pas.

Ainsi, les architectures plus récentes introduisent la fibre optique dans le réseau d'accès avec des architectures dites « Digital Loop Carrier » (DLC), telles que celle illustrée de manière très schématique dans la Figure 3.

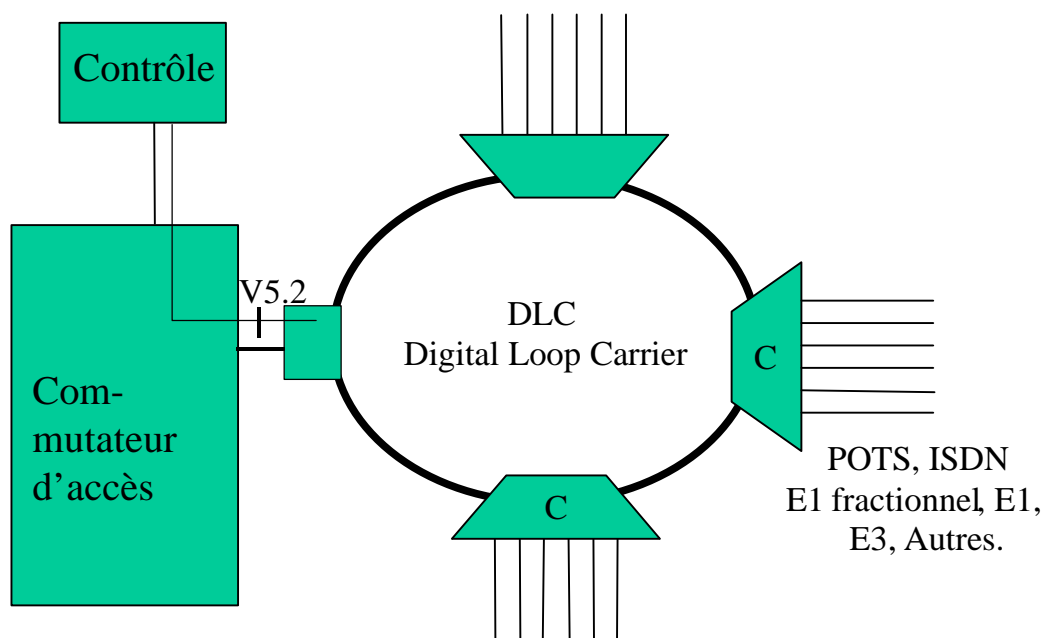


Figure 3 : Architecture DLC

¹⁴ L'ANSI a publié des standards visant le même objectif, appelés GR303.

La boucle optique est basée sur la technologie SDH⁷ et de ce fait elle est protégée ; il y a en fait deux anneaux contrarotatifs dans la boucle afin de mettre en œuvre la protection. Les standards du marché sont tels qu'en cas de panne la boucle doit être reconfigurée en moins de 50ms. De telles boucles permettent, en outre, d'offrir des services de lignes spécialisées numériques à haut débit. Le contrôle des interfaces de téléphonie peut toujours se faire à travers les interfaces V5.

Remarque : on observe que, suite à ces évolutions technologiques et architecturales, on ne dispose plus toujours d'une PT entre le client et le point de présence de l'opérateur, les équipements de la boucle en question pouvant être placés dans des cabinets ou dans les sous-sols des immeubles des clients, par exemple. Cela soulève des problèmes lors du déploiement des technologies xDSL (voir la section 4.1.5). En effet, il n'est pas toujours possible de déployer dans ces points les équipements xDSL, tels que le DSLAM (voir la section 4.1.5). De plus, imposer un tel emplacement aux DSLAM peut être un frein au dégroupage ; en effet, les cabinets appartiennent à l'opérateur historique et leur évolution est complexe. De ce fait, en France, un tel déploiement est interdit par l'ART. En France, la plupart des clients sont raccordés selon l'architecture de la Figure 1.

4.1.2 Evolution vers les architectures xDSL

Le RTC, dont l'architecture est illustrée de manière synthétique dans la Figure 4, a été conçu, comme son nom l'indique, spécifiquement pour offrir des services téléphoniques.

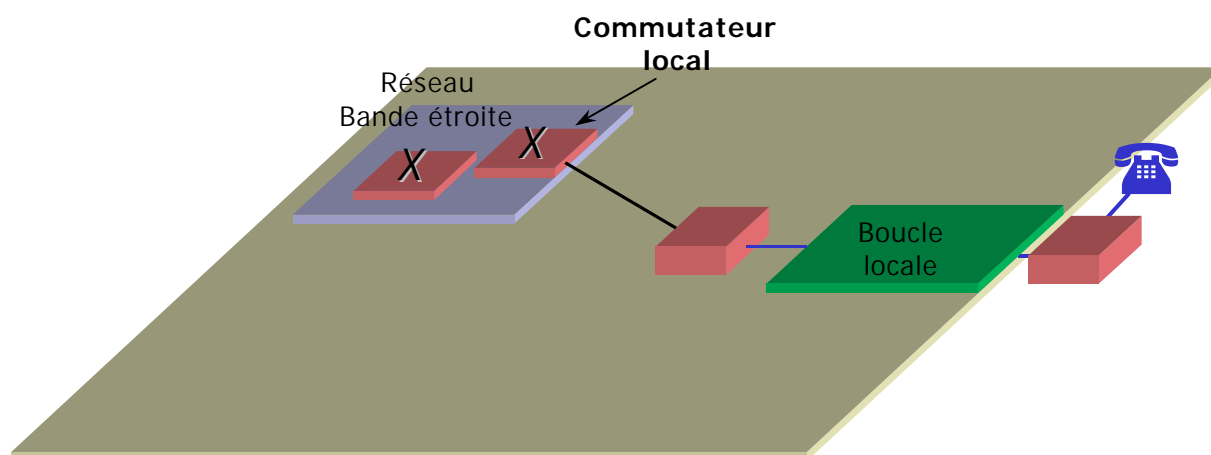


Figure 4 : Le réseau téléphonique commuté

De ce fait, il est peu flexible à la création de nouveaux services. L'Internet propose un ensemble de nouveaux services, mais se pose le problème de l'accès à ce réseau. Si on avait déployé un réseau d'accès ad-hoc pour l'Internet, les modèles d'affaires qui ont été à la base de son succès n'auraient pas été possibles. Le succès de l'Internet est dû, en grande partie, au fait qu'il a utilisé le RTC comme l'un de ses réseaux d'accès ; cela est illustré dans la Figure 5.

Côté ISP (Internet Service Provider), on distingue un équipement appelé RAS (Remote Acces Server). Un usager de l'Internet va utiliser un modem pour établir une connexion sur le RTC avec le RAS et disposer ainsi d'une couche physique (d'un moyen de transmission) pour accéder à l'Internet. On parle d'accès « dial-up ». Le RAS est connecté à un réseau large bande (haut débit) qui, potentiellement, ne représente pas un goulot d'étranglement (IP sur ATM, PoS, etc.). Les RAS de première génération étaient vus par le RTC comme des équipements d'extrémité, raccordés avec des interfaces d'utilisateur.

La nouvelle génération de RAS peut se connecter directement au cœur du RTC à des débits importants (ceux de la hiérarchie SDH : 155Mbit/s, 622Mbit/s, etc.). Pour ce qui est de la signalisation, ils peuvent être connectés au réseau du Système de Signalisation N°7, plus précisément à un PTS (Point de Transfert de Signalisation)¹⁵. Cela réduit les coûts de déploiement quand le trafic est important. En France, se présente une difficulté liée au fait que France Télécom utilise des protocoles de signalisation propriétaires dans le cœur du réseau téléphonique (appelés SSUTR2 et SPIROU).

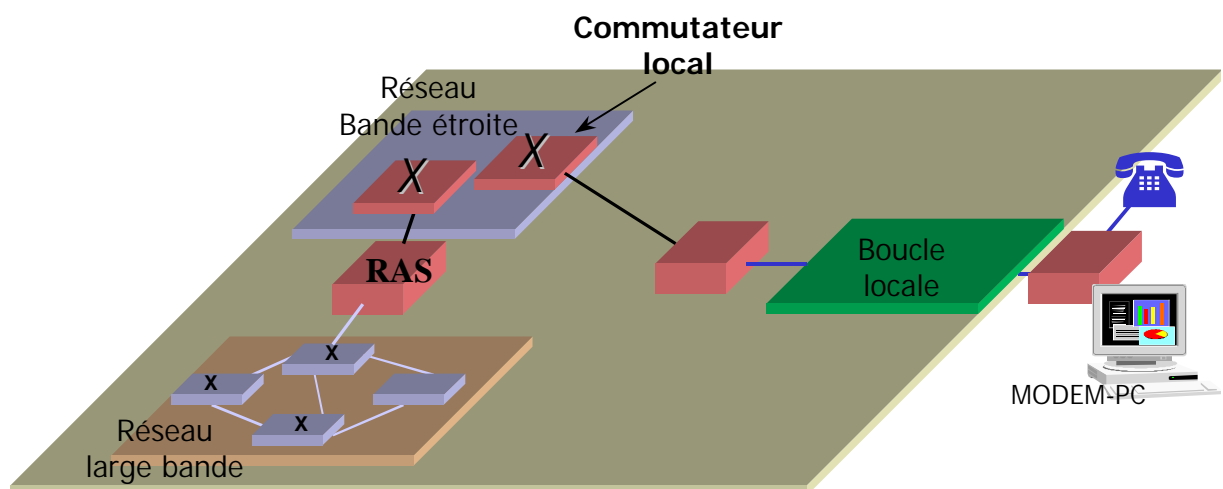


Figure 5 : Accès commuté à l'Internet

¹⁵ Le RTC et le RNIS disposent d'un réseau permettant d'acheminer les informations de contrôle (notamment la signalisation). Les PTS sont les nœuds de ce réseau.

Grâce à cette approche, la mise en place du réseau d'accès à l'Internet se limite au déploiement des RAS et d'autres serveurs liés à l'authentification, autorisation et facturation des clients, mais n'implique pas le déploiement d'une nouvelle infrastructure. Le prix à payer pour cette simplicité est important :

- Débit limité : le débit est limité à 56 Kbit/s sur une ligne analogique et ce débit est très proche du maximum théorique¹⁶ (capacité de Shanon). On n'aura donc pas une évolution des débits dans ce contexte.
- Pas de simultanéité de services. Quand on est connecté à l'Internet on ne peut pas utiliser les services du réseau téléphonique et, en particulier, on perd les appels entrants.
- Pas de convergence téléphonie/informatique.

La simultanéité des services est une forte demande des clients. Des solutions partielles sont proposées aujourd'hui sur le marché. Nous citons ici le « Internet Call Waiting » (ICW). Grâce à ce service, un usager connecté à l'Internet qui reçoit un appel téléphonique en est informé. Il est également informé du numéro de l'appelant et a le choix de couper sa connexion à l'Internet pour répondre ou de dériver l'appel téléphonique vers une messagerie vocale. Cette dernière peut envoyer au destinataire le message enregistré sous forme de fichier numérique, auquel cas il recevra le message pendant qu'il reste connecté à l'Internet.

Une autre solution à ce problème consiste en le re-routage de l'appel vers une passerelle de téléphonie sur IP (voir le chapitre 8 pour les détails sur la téléphonie sur IP). Ainsi, un usager connecté à l'Internet pourra émettre et recevoir des appels téléphoniques pendant qu'il reste connecté à l'Internet. Ce type de solution est très rarement disponible sur le marché, même si la technologie requise est aujourd'hui relativement mature. En effet, elle impose des architectures plus complexes, comme celles détaillées dans le chapitre 8.

De manière générale, vu la limitation de débit disponible par un accès « dial-up », l'offre possible de services reste limitée. Se pose donc la question du besoin de traverser le RTC, source principale de cette limitation de débit. Certes on voudrait réutiliser les PT comme technologie d'accès, mais on ne veut pas subir les contraintes du RTC. C'est ici que rentrent en jeu les technologies xDSL. La Figure 6 représente, très schématiquement, une architecture de réseau ADSL. L'utilisateur dispose simultanément, sur une paire torsadée, du canal analogique historique et d'un canal numérique. Il peut donc connecter un équipement de données (dans la figure un PC) et son téléphone à travers la même paire torsadée. Côté opérateur, avant le commutateur téléphonique, les signaux en provenance de chaque équipement terminal sont séparés. La téléphonie est envoyée au RTC et le canal numérique donne un accès direct à l'Internet. La transmission peut être simultanée, le système se base sur un multiplexage en fréquences sur la PT. Le service téléphonique est maintenu et, en ce qui concerne le canal numérique, le goulot d'étranglement introduit par le RTC dans l'approche de la Figure 5 est éliminé ; en effet, le débit n'est maintenant limité que par les caractéristiques des paires torsadées. Ainsi, on atteint des débits de quelques Mbit/s comme cela est détaillé dans la section 4.1.4. Par ailleurs, on soulage le RTC dont les étapes de concentration n'ont pas été dimensionnées pour les connexions d'accès à l'Internet, bien plus longues (20mn en moyenne) que les connexions téléphoniques (4mn en moyenne).

¹⁶ Cela est dû au fait que le RTC filtre à 4 KHz les signaux qu'il reçoit sur les PT.

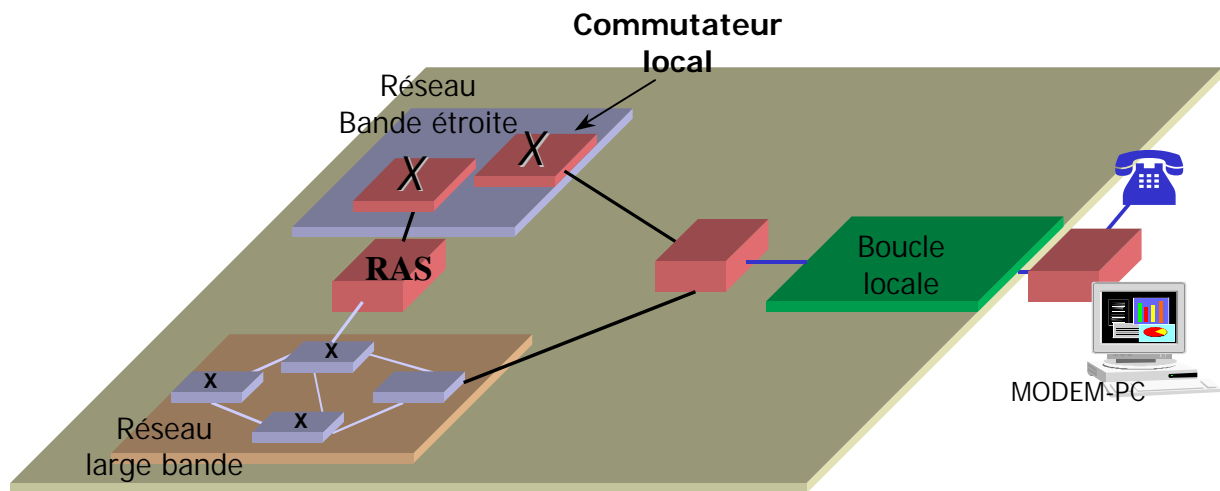


Figure 6 : Introduction des technologies xDSL

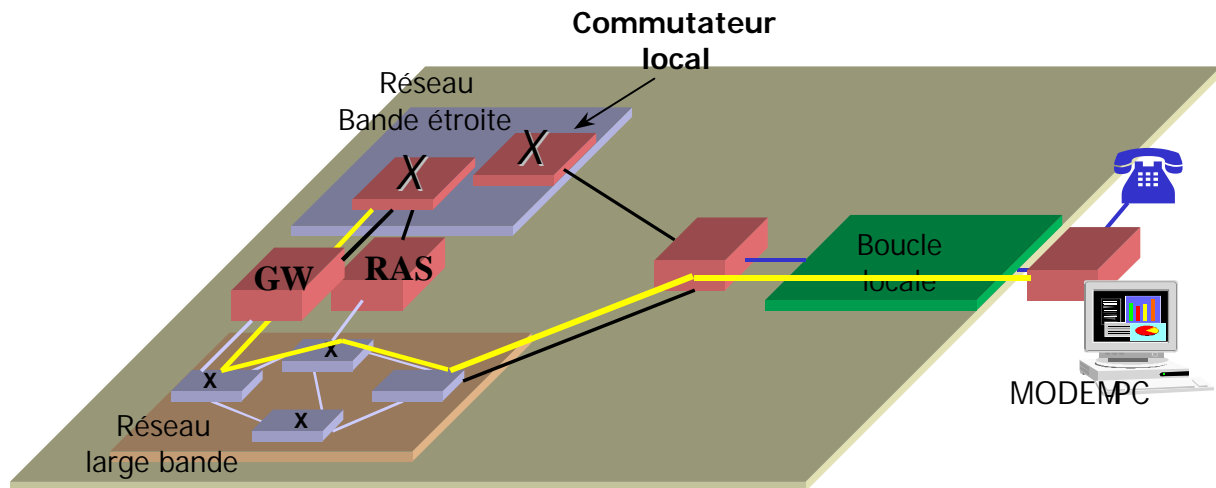
Néanmoins, des contraintes subsistent dans cette architecture :

- Une seule ligne téléphonique est disponible
- Il n'y a pas de convergence, les services téléphoniques et les services de l'Internet sont offerts de manière indépendante.
- Pour un opérateur alternatif, l'offre au client final de services téléphoniques sur le canal analogique requiert la demande à France Telecom d'un service supplémentaire et engendre donc un coût (ceci deviendra plus clair dans la section suivante).

4.1.3 La technologie VoDSL

L'étape suivante consiste à introduire une nouvelle technologie, appelée Voice over DSL (VoDSL). L'idée du VoDSL est de transmettre la voix sur le canal numérique et d'utiliser donc le réseau large bande comme réseau d'accès au réseau téléphonique. Cette idée est illustrée dans la Figure 7, où le trait jaune représente une bande passante établie sur le réseau large bande pour transporter éventuellement plusieurs communications de voix entre l'utilisateur et le RTC. Par rapport à la Figure 6, la différence majeure est l'apparition d'une passerelle (notée GW dans la figure pour son nom anglais « gateway ») entre les deux réseaux. Cet équipement est chargé, en particulier, du transcodage (on peut utiliser des codages de voix différents de chaque côté) et de certaines conversions des protocoles de signalisation. L'ATM Forum a normalisé une architecture permettant de déployer du VoDSL comme indiqué dans la Figure 7, elle s'appelle « Broadband – Loop Emulation Service » (B-LES). Elle se base sur un

réseau ATM entre la GW et le site client, ce qui est naturel, l'ATM étant la technologie utilisée sur les accès xDSL (voir la section 4.1.5).



Demain le réseau large bande offrira les services du réseau bande étroite

Figure 7 : Introduction de la technologie VoDSL

Cela présente les avantages suivants :

- Diverses connexions téléphoniques peuvent être établies simultanément (une PME pourrait ainsi connecter un PABX).
- Un opérateur nouvel entrant peut amener le trafic téléphonique de ses clients vers un de ses points de présence téléphonique en simplifiant ainsi significativement la mise en place de ces services (voir la section 4.1.6 pour plus d'exemples).

On remarquera que par rapport à l'architecture « dial-up », nous avons évolué de l'utilisation du RTC pour accéder au réseau de paquets à l'utilisation du réseau de paquets pour accéder au RTC.

Par contre, cette architecture peut encore être améliorée par rapport à deux points :

- La mise en place de services de convergence téléphonie/informatique reste complexe puisque qu'il n'y a pas d'interopérabilité au niveau service (le réseau de données n'est utilisé que comme un réseau de transport).
- Deux réseaux restent encore nécessaires, un réseau de paquets et un réseau téléphonique.

La dernière étape consiste à offrir les services de téléphonie sur le réseau de paquets, ce qui peut être fait, par exemple, à travers la mise en place de soft-switches¹⁷. Bien sûr, une interconnexion avec le réseau téléphonique est encore nécessaire pour pouvoir communiquer avec les correspondants qui restent connectés au RTC. On parle ainsi d'une interconnexion au niveau service entre le RTC et le réseau de paquets, le service téléphonique s'appuie sur les deux infrastructures¹⁸ (voir le chapitre 8). La téléphonie étant transportée sur le canal numérique, on parle toujours dans ce cas de VoDSL. Une telle architecture facilite l'offre de services convergents puisque l'ensemble des services est offert par le même plan de service.

4.1.4 Présentation des différentes technologies xDSL

Le terme DSL (Digital Subscriber Line) a été inventé avec l'avènement du RNIS. En effet, la grande évolution technologique, permettant le déploiement de ces réseaux, fut la numérisation de boucle locale. Parmi les accès les plus usuels à ce réseau on compte le 2B+D et le 30B+D, définis dans la section 3.1. Ce dernier est basé sur un lien à 2 Mbit/s. A l'époque, cela exigeait deux paires torsadées, une pour chaque direction de transmission, et des régénérateurs sur la ligne. La technologie de transmission a été remplacée par le HDSL. Cette technologie permet de transmettre 2Mbit/s symétriques sans régénérateurs, ce qui représente une diminution importante dans les coûts de déploiement et d'opération et maintenance. De plus, elle autorise un nombre supérieur de lignes DSL dans un même câble (elle introduit moins d'interférence). Par contre, elle nécessite toujours 2 voir 3 paires torsadées. Plus récemment, l'ETSI a normalisé le SDSL, permettant d'avoir jusqu'à 2 Mbit/s symétriques sur une seule paire. De plus, le SDSL introduit l'adaptation de débit, c'est à dire que les modems vont tester la ligne et choisir le meilleur débit possible. L'ANSI a normalisé le HDSL2, transmettant 1.5 Mbit/s sur une seule paire torsadée. Finalement, l'UIT vient de normaliser le SHDSL dont les principales propriétés sont : débit symétrique adaptatif jusqu'à 2360 Kbit/s, meilleure compatibilité spectrale que le SDSL, n'accepte pas le multiplexage en fréquence d'une ligne téléphonique analogique sur la même paire torsadée. Cette norme n'est pas encore publiée mais elle est finalisée et implémentée par certains constructeurs.

Les différentes normes citées proposent un débit symétrique, or certains usages, comme la navigation du Web, engendrent des trafics asymétriques (débits différents dans chaque sens). La bande passante totale sur une paire torsadée étant limitée, il peut être donc utile de disposer d'un débit asymétrique, d'où la technologie ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) pour laquelle le débit descendant maximal a été normalisé à 8 Mbit/s et le débit maximal remontant à 640 Kbit/s. Ces débits sont théoriques, il est rare qu'un opérateur propose plus de 2Mbit/s descendants sur ces technologies.

Il est important de signaler que le débit disponible sur une paire torsadée diminue de manière rapide avec la distance. La norme ADSL vise, en particulier, le cas de la Figure 1 (paire torsadée entre l'utilisateur et le commutateur téléphonique local). Mais si on se rapproche du client en fibre optique, comme cela est possible dans le cas de la Figure 3, la distance en paire torsadée diminue. Ainsi, la technologie VDSL a été conçue pour transmettre sur une PT à des

¹⁷ Voir les sections 8.2.3 et 8.2.4 pour une définition de ce terme et pour plus d'explications.

¹⁸ Il ne s'agit plus d'utiliser le réseau de paquets pour transporter la voix vers le RTC, mais d'interconnecter deux réseaux offrant chacun des services téléphoniques.

débits de plusieurs dizaines de Mbit/s, symétriques ou asymétriques, sur des distances de quelques centaines de mètres.

Les technologies les plus utilisées en France sont l'ADSL et le SHDSL. L'ADSL est la technologie de choix pour les accès résidentiels et SOHO. En effet, le trafic de ces derniers est souvent fortement asymétrique. Dans le cas d'interconnexion de sites d'entreprise, les technologies à débit symétrique sont souvent plus adaptées. C'est également le cas dans un contexte VoDSL, quand le trafic de voix a un poids important sur le trafic total (en effet, la téléphonie engendre un trafic symétrique). Pour des raisons de compatibilité électromagnétique, la technologie de choix est le SHDSL dans ce cas, choix d'ailleurs imposé par l'opérateur historique.

4.1.5 Architecture d'accès xDSL

La Figure 8 montre, de manière synthétique, l'architecture d'accès xDSL. On distingue coté client un équipement présentant des ports permettant de connecter, d'un coté, le LAN de l'entreprise ainsi que le PABX ou des téléphones et, de l'autre coté, une interface xDSL vers l'opérateur. Cet équipement, appelé IAD, dispose donc d'un modem xDSL¹⁹. Coté opérateur, la paire torsadée du client arrive à un équipement qui termine le lien xDSL et qui concentre le trafic de divers clients. La technologie de multiplexage utilisée aujourd'hui sur le lien xDSL entre l'IAD et le DSLAM est l'ATM. Historiquement, les IAD offraient des interfaces ATM coté LAN mais de plus en plus des interfaces Ethernet sont utilisées, voir USB quand il y a un seul terminal à connecter.

¹⁹ Ceci représente le cas le plus complexe. Les accès résidentiels sont plus simples et n'offrent souvent qu'un moyen d'accès à l'Internet.

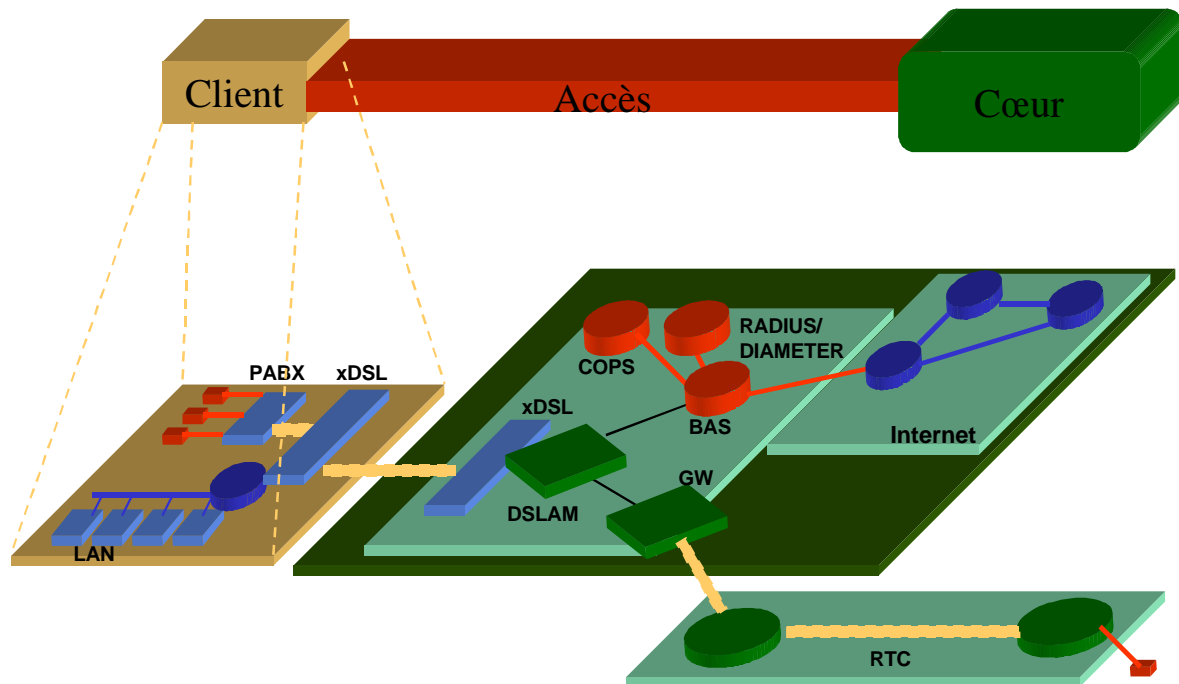


Figure 8 : Architecture d'accès xDSL

Le client peut ainsi disposer d'une connexion ATM vers le BAS qui lui donne l'accès à l'Internet ou à un VPN de niveau 3 (voir la section 9.2.1). Le BAS peut discuter avec un serveur RADIUS ou DIAMETER pour les fonctions d'authentification, d'autorisation et de « accounting » et avec un serveur COPS pour la gestion de divers niveaux de qualité de service. DIAMETER (évolution de RADIUS) et COPS représentent des technologies qui n'ont pas encore atteint un stade de maturité industrielle.

Une deuxième connexion peut être établie vers une passerelle (notée GW dans la figure) donnant accès au RTC (service VoDSL cité précédemment). Le client peut également disposer de connexions ATM vers d'autres sites de son entreprise (service VPN de niveau 2, voir la section 9.2.1).

On peut donc souligner que les architectures xDSL permettent d'offrir simultanément les divers services de télécommunications attendus par les clients.

Le serveur COPS est à la base d'une nouvelle architecture de gestion de réseaux appelée « Policy Managed Networks ». Elle devrait faciliter, entre autre, l'offre de qualités de service diversifiées (notamment différenciées) sur un réseau IP tel que l'Internet.

4.1.6 Intérêts

Les technologies xDSL présentent les avantages suivants :

- Réutilise le câblage existant, ce qui minimise les besoins d'ingénierie civile.

- Technologie potentiellement « always-on ». Autrement dit, le client est connecté en permanence.
- Elle permet une offre de services évoluée, avec simultanéité de divers services. Possibilité donc de guichet unique, le client s'adresse à un seul fournisseur qui répond à travers une interface unique à l'ensemble de ses besoins de télécommunications.
- Le déploiement peut être progressif et les coûts fixes sont faibles, surtout pour un opérateur historique qui ne paye pas la salle d'hébergement du DSLAM. Cela n'est pas le cas du câble qui, comme indiqué plus loin, requiert, pour l'offre de nouveaux services, une mise à jour de l'ensemble du réseau.
- Soulage les commutateurs téléphoniques des connexions à l'Internet.
- Contrairement au câble et à la BLR, il n'y a pas de diffusion, donc moins de problèmes de sécurité.

Elle présente également quelques inconvénients

- Sensibilité à la qualité et la longueur des paires torsadées.
- Débit maximum limité.

L'architecture VoDSL apporte une valeur ajoutée importante aux architectures DSL

- Pour un opérateur alternatif, elle permet de rapatrier le trafic téléphonique vers un point de présence téléphonique de cet opérateur. L'offre de téléphonie sur le canal analogique requiert par contre des équipements de téléphonie dans le local de l'opérateur historique.
- Elle permet à un ISP d'étendre relativement facilement son portefeuille de services (reste que la passerelle doit être connectée au RTC selon une logique d'interconnexion téléphonique).
- Elle est un élément clé de la simultanéité des services en permettant d'offrir plusieurs lignes téléphoniques simultanées et notamment la possibilité de connecter un PABX
- Simplification de provisionning. Ajouter une ligne téléphonique devient une action logicielle et non matérielle. Suite à un clic sur une page Web, le client peut avoir une nouvelle ligne téléphonique provisionnée instantanément.

4.2 La fibre optique dans le réseau d'accès

Les technologies xDSL sont très sensibles à la longueur et la qualité de la paire torsadée, le débit maximum disponible diminue très sensiblement avec la distance.

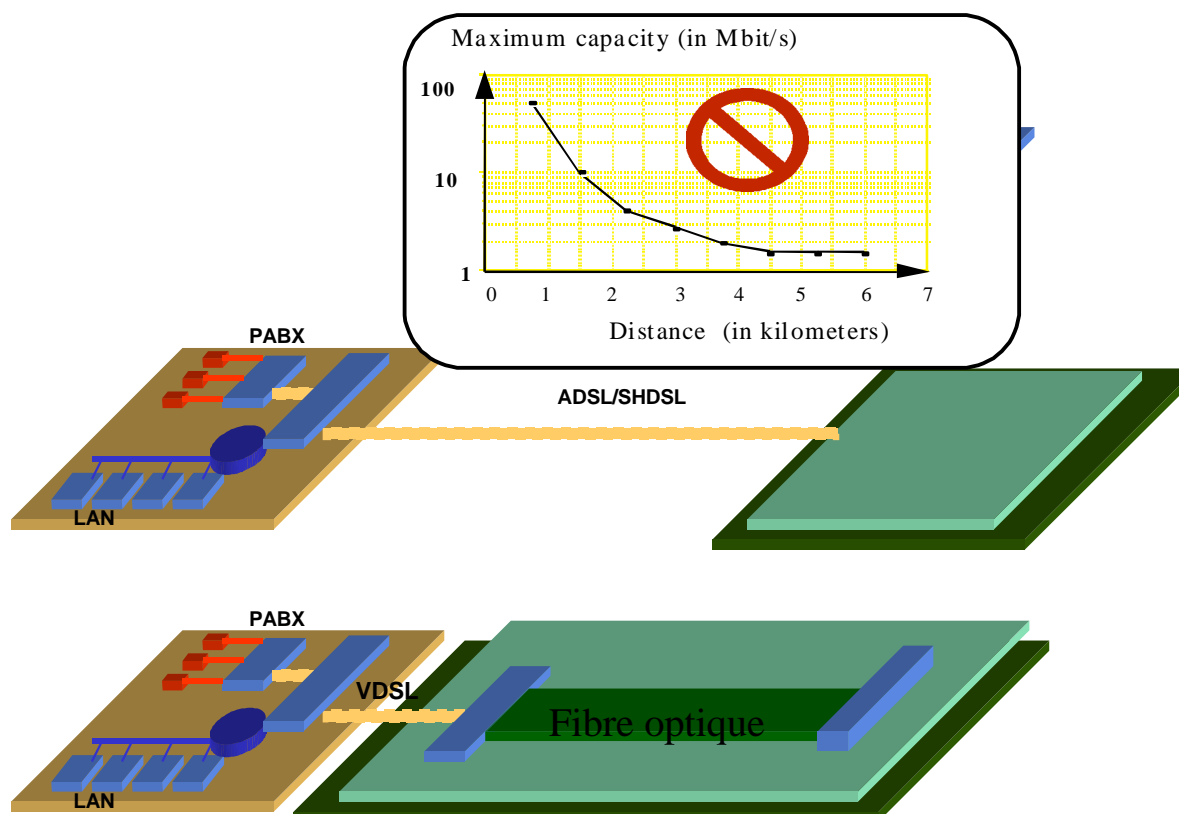


Figure 9 : La fibre optique dans le réseau d'accès

Comme cela est indiqué dans la Figure 9, une solution à ce problème est de « rapprocher » la fibre optique du client final. Les architectures permettant de le faire sont appelées FTTx (Fibre To The x), le x pouvant prendre diverses valeurs (C pour Cabinet, B pour Building, H pour Home, O pour Office, etc.). La longueur de la paire torsadée, quand celle-ci est maintenue, devient de quelques centaines de mètres et la technologie VDSL définie précédemment peut ainsi être utilisée.

Diverses technologies permettent d'implémenter une telle architecture. Citons deux avancées récentes : les PON (Passive Optical Network) et le Metro-WDM. Nous présentons la deuxième dans le chapitre 6. La Figure 10 montre un réseau PON. L'ODN (Optical Distribution Network) est un arbre en fibre optique. Il ne contient aucun élément actif, d'où le nom de la technologie. L'OLT (Optical Line Termination) contrôle l'accès à l'arbre et de ce fait permet un partage équitable de son interface vers le réseau d'opérateur entre plusieurs clients. En fait, il contrôle les ONU (Optical Network Unit) qui se trouvent soit chez le client (FTTO), soit dans un cabinet (FTTC), etc.

Ce partage dynamique entre plusieurs clients d'une interface optique haut débit avec le réseau permet de réduire les coûts de déploiement des architectures FTTx. Des normes existent pour les PON. Les PON basés ATM ont été normalisés par l'UIT²⁰. L'IEEE travaille sur la normalisation d'un PON basé Ethernet. De nombreuses start-ups commencent à fournir aujourd'hui les équipements permettant de déployer ces architectures.

²⁰ UIT – Recommandation G.983

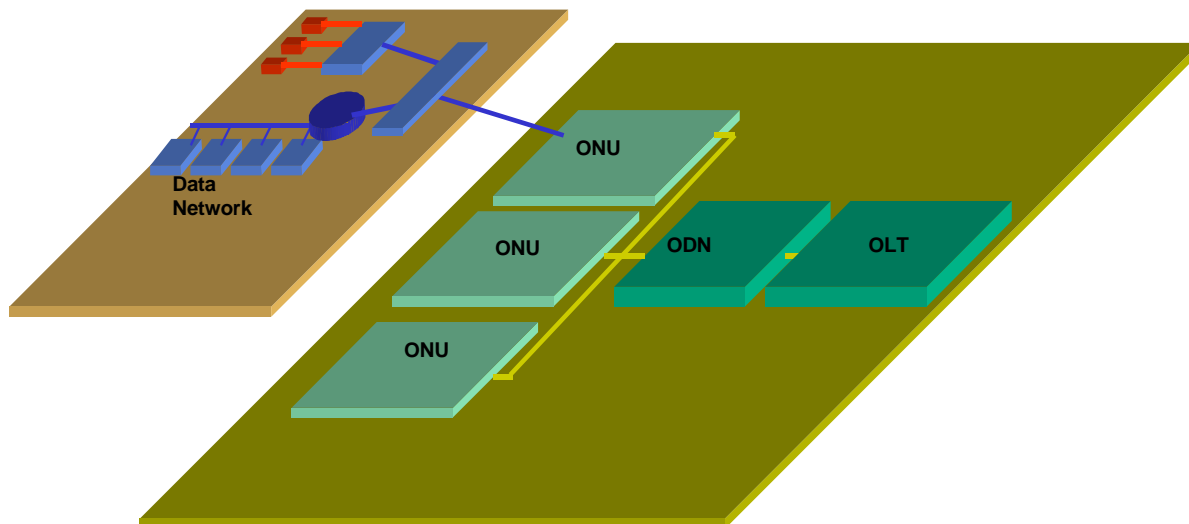


Figure 10 : Réseaux Optiques Passifs (PON)

Le rayon de ces réseaux dans les normes actuelles est de 20 Km. Le débit maximum normalisé est de 622 Mbit/s mais les constructeurs travaillent sur le développement d'interfaces à 2.5 Gbit/s.

Une architecture du type de celle du schéma du bas de la Figure 9 peut être déployée en connectant un DSLAM à l'ONU du PON. Le DSLAM termine les accès xDSL, y compris VDSL, et fournit un premier niveau de concentration. Le PON fournit un deuxième niveau de concentration de trafic.

Un troisième niveau de concentration peut être fourni par des boucles Metro-WDM, comme cela est expliqué dans le chapitre 6.

4.3 Des réseaux câble vers les réseaux HFC

La Figure 11 montre l'architecture des réseaux câble (CATV) tels que déployés historiquement pour offrir uniquement de la distribution de télévision. Il s'agit d'un arbre de câble coaxial d'un rayon maximum de 20 Km. Pour faire face à l'atténuation du signal introduite par une telle longueur de câble, entre 20 et 30 amplificateurs sont nécessaires dans le trunk (dispositifs bleus). Le signal étant analogique, cela entraîne une perte de qualité. La bande passante disponible est 800 MHz dans les réseaux de deuxième génération (un canal vidéo analogique en consomme entre 6 et 8 MHz, selon les architectures). Le spectre est divisé dans des intervalles de cette largeur. Tous les intervalles ne sont pas utilisés pour transmettre de la vidéo pour des raisons de qualité, les interférences ne sont pas les mêmes sur tous les intervalles.

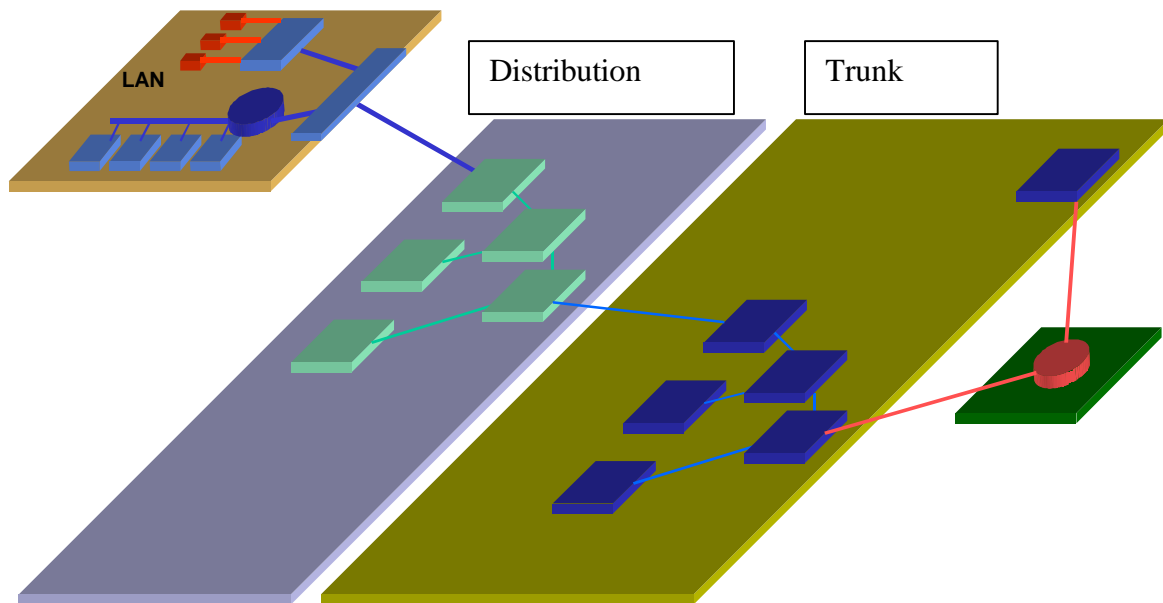


Figure 11 : Réseau câble

Les dispositifs verts se chargent d'amplifier le signal lors de la distribution dans un quartier ou immeuble vers les différents foyers. Ils se trouvent dans les dernières centaines de mètres. On appelle cette partie du réseau la distribution par opposition au trunk. Ils font face à la perte de puissance due au dédoublement du signal et non pas à l'atténuation.

La transmission de canaux numériques permet une meilleure utilisation de la bande passante. La vidéo numérique étant compressée, jusqu'à 6 canaux peuvent être transmis sur un intervalle de fréquences.

Ces réseaux sont conçus pour la distribution de télévision et sont donc unidirectionnels. L'offre d'autres services, tels que l'accès à l'Internet ou la téléphonie, requiert la mise en place d'un canal de retour²¹. Cela implique :

- Des amplificateurs dans le sens remontant.
- Un protocole pour gérer l'accès dynamiquement ; autrement dit, pour que les différents clients se partagent équitablement et dynamiquement la bande passante disponible.

²¹ Un certain niveau d'interactivité peut être obtenu avec un canal de retour par le RTC. Cela existe depuis quelques années mais la solution n'est pas flexible pour permettre une offre de services évoluée, notamment à cause de la limitation de débit et au coût supplémentaire de connexion qui va à l'encontre du modèle « always-on » du câble.

Se pose également un problème de capacité. Lors de la distribution de télévision, la bande passante consommée ne dépend pas du nombre de clients, le même signal étant distribué à tous. Si on met en place des services bidirectionnels, la bande passante dépend du nombre de clients qui sont connectés à une même racine de l'arbre. Ce nombre est en général très élevé et donc la bande passante disponible pour chacun peut être limitée.

Une nouvelle génération est en train de remplacer ces réseaux, il s'agit des réseaux HFC (Hybrid Fibre Coax). La Figure 12 illustre un tel réseau. Le réseau a été divisé dans ce qu'on appelle des poches de taille (en nombre de clients) réduite. Le trunk a été remplacé par des fibres optiques. Ainsi :

- On dispose d'une bande passante plus importante par client.
- Le besoin d'amplification dans le trunk diminue fortement (ce qui est important en terme de qualité et en termes de coût par rapport aux amplificateurs qu'il aurait fallu déployer pour créer le canal de retour).

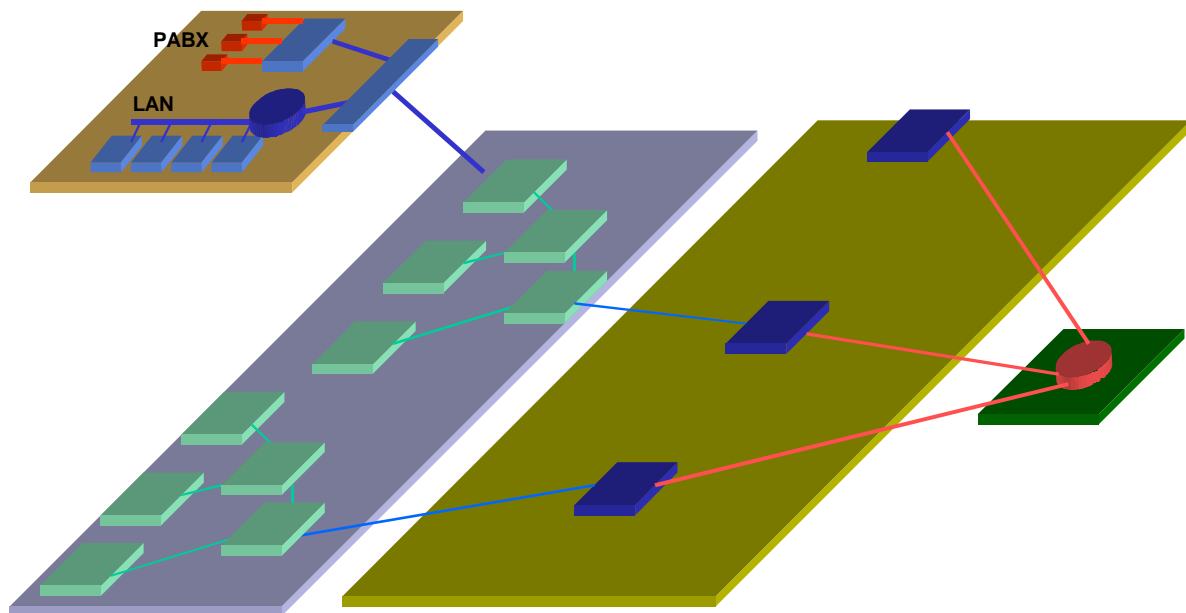


Figure 12 : Réseaux HFC

La Figure 12 n'est qu'une représentation ; en général, ce ne sont pas des fibres en point à point mais des boucles optiques (éventuellement du metro-WDM, voir le chapitre 6) qui sont utilisées. Diverses normes existent pour mettre en place le canal de retour, notamment les normes IEEE, ETSI/DAVIC et DOCSIS. C'est cette dernière, issue d'un travail de conception des opérateurs américains, qui s'est imposée sur le marché, même en Europe. Dans ses versions 1.1²², elle autorise la définition de différents niveaux de QoS.

²² Cela est également le cas de la version 2.0, dont la normalisation devrait être finalisée à la fin de cette année.

En ce qui concerne les services vidéo, nous avons vu que la transmission de canaux vidéo en numérique augmente le nombre de canaux possibles. On peut ainsi introduire des services appelés NVoD (Near Video on Demand). L'idée est qu'un même programme est répété sur plusieurs canaux mais avec une heure de commencement différente. Ainsi, outre la programmation, le client peut choisir approximativement l'heure à laquelle il va regarder. Un programme de 12 films de 2 heures (un cycle) peut être transmis sur 24 canaux, les cycles sur les différents canaux étant décalés d'une demi-heure. A une demi-heure près, le client pourra regarder le programme voulu à l'heure voulue. Il s'agit d'un service unidirectionnel.

Le service video on demand (VoD) consiste à choisir un film à n'importe qu'elle heure et à pouvoir interagir (arrêts sur image, etc.). Il ne s'agit plus de diffusion. La capacité requise est bien plus importante et le coût des serveurs vidéo plus élevé. Les études réalisées en France ont conclu sur la non-faisabilité à court terme du déploiement d'un tel service. La VoD n'est qu'un exemple de services de vidéo interactive. On peut imaginer des services de vidéo liés au commerce en ligne (clips présentant le produit sur lesquels on peut agir pour faire évoluer le produit).

4.4 La boucle locale radio

Le terme boucle locale radio regroupe différentes architectures. Une première classification est en point à point et point à multipoint (dans ce dernier plusieurs clients partagent une même ressource). Une deuxième classification est entre services de distribution et services bidirectionnels. Ainsi, la technologie MMDS (Multipoint Multichannel Distribution Service) permet de distribuer des signaux et notamment de la télévision (point à multipoint unidirectionnel). La technologie LMDS (Local Multipoint Distribution Service) permet d'offrir des services bidirectionnels dans un contexte point à multipoint. On peut facilement faire l'analogie avec les réseaux câble ou HFC. Dans un contexte BLR, il existe une partie trunk, en fibre par exemple, et une partie distribution qui, au lieu d'être en coaxial, est sans fil. Dans le cas bidirectionnel, tout comme dans le cas des câbles, un protocole est nécessaire pour partager équitablement la bande passante disponible. L'architecture est illustrée dans la Figure 13. Chaque site client dispose d'une antenne et communique avec une antenne située dans la station de base côté réseau. Plusieurs sites clients partagent dynamiquement la même ressource radio, d'où le besoin d'un protocole permettant de garantir à chacun la bande passante commandée et la sécurité.

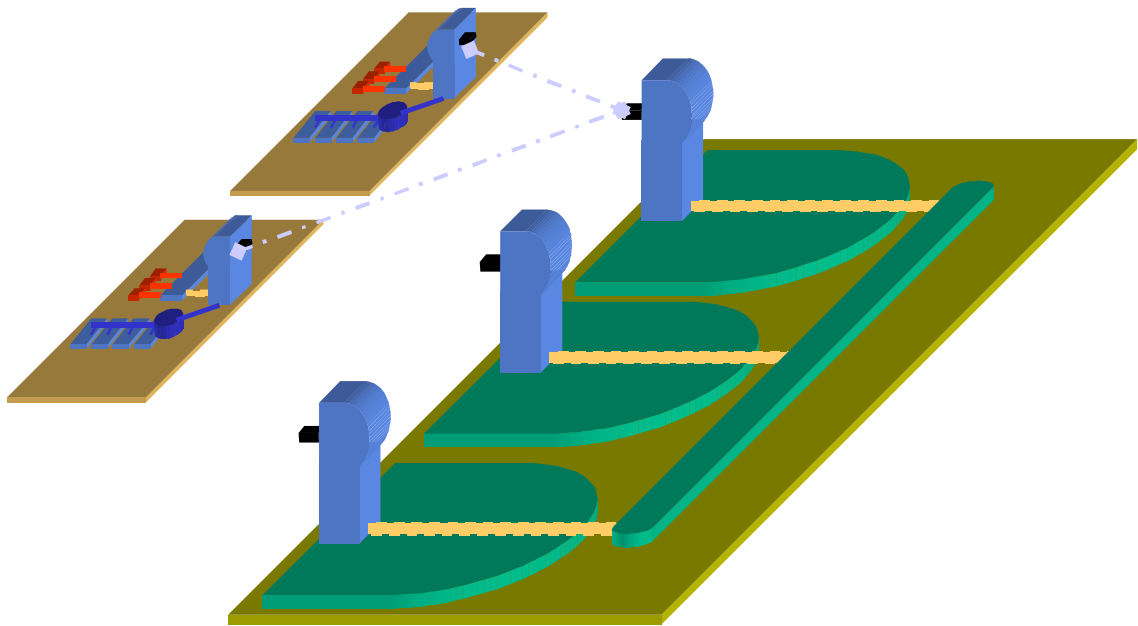


Figure 13 : La boucle locale radio

Typiquement, une station de base peut diviser l'espace en 4 secteurs de 45° chacun et proposer une bande passante de 30 Mbit/s sur chaque secteur. Ce débit est partagé entre les sites clients sur le secteur. Le débit physique attribué à chaque client va en général jusqu'à 8 Mbit/s, les constructeurs travaillent sur des solutions allant jusqu'à 16 Mbit/s. Souvent l'ATM est utilisé comme technologie de multiplexage. Une vision directe est nécessaire entre les antennes. Ce dernier point entraîne souvent le besoin d'un nombre important de stations de base et donc un coût de déploiement élevé. Des études sont en cours, notamment dans le contexte de projets européens, pour diminuer ce coût en mettant en place un système de télécommunications civil stratosphérique. L'aéronef permet de relayer les signaux entre, d'une part, une unique station de base côté opérateur et, d'autre part, les stations côté clients et cela sur plusieurs spots. Typiquement, l'aéronef vole au-dessus du trafic aérien à environ 21 km d'altitude. Les aéronefs commandés à terre sont aujourd'hui disponibles. Restent à résoudre des problèmes liés au fait que l'aéronef bouge et que donc les spots le font également. Une antenne fixe à terre risque donc de changer en permanence de spot (et donc de fréquence) et cela engendre de multiples handovers.

Les fréquences utilisées en France pour la BLR sont 3,5 et 26 GHz. La première est mieux adaptée à une zone de faible densité (couverture plus large), la deuxième est mieux adaptée à des zones à forte densité. En 3,5 GHz la visibilité directe entre antennes n'est pas toujours obligatoire.

Quand un opérateur déploie ses stations de base, il doit les interconnecter. Il peut louer de la bande passante à un autre opérateur, déployer un réseau filaire ou, solution souvent mieux adaptée, interconnecter les stations de base à travers des liens radio. Cette dernière approche a

un intérêt du fait qu'un opérateur BLR doit, de toutes manières, disposer des points en hauteur pour ses stations de base. On construit ainsi un réseau métropolitain radio qui sera raccordé sur un ou plusieurs points à un réseau longue distance pour le trafic échangé avec l'extérieur de la métropole. Ceci peut être un avantage décisif pour cette technologie qui a des difficultés à s'imposer massivement aujourd'hui (voir la section 4.6). Cet avantage est particulièrement intéressant dans le cas de déploiements dans des métropoles avec peu de ressources de télécommunications.

4.5 Autres technologies d'accès

Pour être exhaustifs, nous présentons sommairement deux autres technologies d'accès : le satellite et le PLC (Power Line Communication). Cette dernière concerne l'utilisation du réseau électrique pour transmettre des données. Les opérateurs de réseaux électriques utilisent depuis très longtemps les lignes haute tension pour transmettre des données, mais il s'agit de données de contrôle du réseau électrique lui-même et donc de débits très bas. L'idée de la technologie PLC est de transmettre des données haut débit entre le dernier transformateur électrique et les usagers. Le souci est toujours le même : éviter l'ingénierie civile liée au câblage. Dans un premier temps, la transmission de données est séparée du réseau électrique avant le compteur électrique du client.

Des tests ont été réalisés notamment en Angleterre, mais on ne compte pas à ce jour, à notre connaissance, de déploiements massifs. En France, en moyenne 80 clients du réseau électrique dépendent de la même tête de distribution. Le débit total disponible avec les technologies existantes (quelques Mbit/s) doit être partagé entre eux (l'architecture du réseau de distribution électrique est en arbre). Il n'est donc pas possible d'offrir des débits importants aux utilisateurs. A titre d'exemple, signalons que fin 1999 Nortel Networks et UUPLC ont abandonné la Joint Venture qu'ils avaient créée deux ans auparavant pour développer le marché PLC.

On peut imaginer, dans un deuxième temps, d'utiliser le câblage électrique du client pour la transmission des données dans la maison. Ainsi, l'ordinateur recevrait sur la même prise le courant et les données. On disposerait ainsi d'un point d'accès au réseau de données au niveau de chaque prise électrique. Cela pose des problèmes liés aux interférences et à l'état du câblage électrique. Avec l'avènement des maisons intelligentes, le sujet pourrait redevenir d'actualité.

En ce qui concerne le satellite, des services bidirectionnels sont offerts, mais souvent avec une voie de retour terrestre, même si quelques services existent avec une voie de retour par satellite. Cette technologie est intéressante pour atteindre des zones qui ne peuvent pas être couvertes par les technologies décrites précédemment, mais il semble difficile à l'heure actuelle, pour les services offerts aujourd'hui, qu'elle puisse concurrencer avec ces technologies dans des zones à forte et moyenne densité. Avec la technologie VSAT, on trouve sur le marché des solutions avec des débits de jusqu'à 50 Mbit/s descendants et de l'ordre de 150 Kbit/s remontants. Ces débits requièrent une antenne côté client de plus d'un mètre.

Les satellites géostationnaires se trouvent à plus de 35 000 Km de la terre. Le canal de retour par satellite requiert donc une puissance importante dans le terminal. De plus, l'optimisation de la bande passante est complexe puisque les protocoles d'accès partagé sont sensibles aux délais de propagation. Ces délais sont également pénalisants pour certaines applications, comme la téléphonie sur IP. D'où l'intérêt des satellites à orbites basses et moyennes (LEO/MEO). Ces derniers se trouvent plus proches de la terre (moins de 3000 Km pour les LEO) et donc les besoins de puissance sont moins importants. De plus, le spot de couverture

est réduit et donc il y a moins de clients pour partager la bande passante dans un spot. Par contre, la terre est couverte avec 3 satellites géostationnaires et il faut une constellation d'un nombre très important de satellites qui dépend de l'altitude de l'orbite pour la couvrir avec des LEO. Des problèmes de handover apparaissent, puisque les satellites ne sont plus fixes par rapport aux antennes terrestres. On peut imaginer que la commutation se fasse sur les satellites pour éviter plusieurs aller-retours sur terre. Cela pose des problèmes de routage. Des solutions existent pour ces problèmes, mais l'enthousiasme pour ces architectures a diminué, notamment suite aux problèmes financiers d'Iridium.

4.6 Quelle place pour les nouvelles technologies d'accès et la concurrence en France?

Dans les sections précédentes, nous avons présenté les différentes technologies et architectures permettant d'augmenter la capacité des réseaux d'accès. La réglementation autorise aujourd'hui leur déploiement. En effet, au début du deuxième semestre 2000, les autorisations pour le déploiement de la BLR ont été accordées et depuis le 1^{er} janvier dernier, la réglementation française intègre le dégroupage.

Par contre, même si les technologies sont disponibles et le contexte réglementaire autorise, a priori, leur déploiement, le marché se développe moins vite que prévu et la concurrence a du mal à se mettre en place. Il convient donc de s'interroger sur les causes de ce retard.

Une des difficultés majeures, indépendante des technologies utilisées, est le manque de ce qu'on appelle communément une « killer application », c'est à dire, d'une application dont le succès serait susceptible de justifier le déploiement des nouvelles technologies. Nous en reparlons dans le chapitre 9. Nous détaillons par la suite des difficultés spécifiques à chaque technologie. L'analyse suivante se base majoritairement sur deux services, l'accès haut débit à l'Internet et les liaisons louées, qui représentent les premiers services offerts en France sur le xDSL et la BLR.

Commençons avec la BLR. Ici le problème majeur rencontré par les opérateurs est le coût du déploiement ; celui-ci s'avère plus élevé que prévu. Le point critique dans la structure des coûts est le CPE, c'est à dire l'équipement côté client et plus précisément le coût des composants radio correspondants. Le prix de cet équipement est de l'ordre de 20 000 F pour la bande de 26 GHz. De ce fait, le service ne peut être rentable que dans un contexte PME/PMI d'une certaine taille où des débits élevés sont nécessaires. En général, se sont les entreprises de plus de 10 salariés qui sont visées. Mais ces entreprises ne représentent que 7% du total des entreprises françaises, ce qui limite le marché pour cette technologie. D'un autre côté, les grandes entreprises sont, et seront de plus en plus, connectées en liaisons spécialisées de 34 Mbit/s et plus ; notamment grâce à un câblage en fibre optique jusqu'à l'entreprise qui se développera dans le court terme dans les zones à forte densité. De ce fait, le marché pour la BLR semble limité. On comprend donc les faillites récentes dans divers pays (Etats Unis et Europe).

Une solution au problème du coût du CPE est de le partager entre plusieurs clients. Pour cela, on peut imaginer que le trafic dans l'immeuble soit concentré localement, à l'aide d'un DSLAM, par exemple, qu'on placerait dans l'immeuble même. La sortie du DSLAM serait connectée au CPE BLR^{23,24}. En France, il est courant que les paires torsadées des immeubles

²³ La suite d'équipements serait donc : poste client, modem xDSL, paire torsadée, modem xDSL, DSLAM, CPE BLR, lien radio, station de base, réseau.

appartiennent à France Télécom, ce qui représente une contrainte supplémentaire pour les opérateurs BLR tentés par cette solution. En effet, d'une part le câblage des immeubles datant d'avant 1976 appartient à France Télécom et, d'autre part, France Télécom a souvent récupéré le câblage des immeubles plus récents en contrepartie du maintien de ce dernier. La solution citée peut donc nécessiter le déploiement d'un câblage ad-hoc dans l'immeuble.

Outre le coût du CPE, il faut s'intéresser également au coût de déploiement des stations de base. Le déploiement en 26 GHz requiert une visibilité directe entre les stations de base et les CPE. Cela implique un rayon de couverture par station de base petit et donc de nombreuses stations de base. Cela représente également un coût important puisque ces stations requièrent des points hauts. On aurait pu imaginer que le déploiement démarre en 3,5 GHz et non en 26 GHz comme cela a été le cas. En effet, le rayon de couverture est plus large en 3.5 GHz. Mais le problème est que la capacité totale attribuée sur cette bande est limitée.

Néanmoins, la BLR peut être intéressante pour des villes moyennes dans lesquelles il n'est pas rentable de déployer des boucles métropolitaines optiques (voir le chapitre 6). Comme indiqué en 4.4, des boucles radio peuvent être créées. Dans les bandes de fréquence attribuées pour la BLR, on dispose aujourd'hui de liens point à point radio de 155 Mbit/s à un prix abordable. Le coût des points hauts est donc partagé entre l'accès des clients et l'interconnexion des stations de base. Cela représente un avantage par rapport aux opérateurs qui profitent du dégroupage pour déployer des architectures xDSL qui doivent également interconnecter leurs DSLAM. En effet, France Télécom ne les autorise pas à déployer des antennes sur son toit pour créer le réseau métropolitain. Ils doivent donc payer un coût important pour disposer de cette bande passante métropolitaine.

Le premier marché visé par les opérateurs de BLR en France semble être les liaisons louées longue distance (très chères chez l'opérateur historique) et les accès à l'Internet à haut débit là où le xDSL n'est pas disponible. La bande passante longue distance est très bon marché en France aujourd'hui et avec la BLR les opérateurs peuvent bâtir l'accès et la section métropolitaine. France Télécom ne désire réduire ces prix des liaisons louées. En effet, elle dispose d'une offre de couverture nationale très rentable et préfère donc perdre des clients dans certaines zones. Nous pensons que l'approche des opérateurs BLR est risquée. En effet, s'ils atteignent un taux de pénétration important, France Télécom décidera de baisser ces prix et leur stratégie se verra affectée.

Nous considérons que cette approche risque de mener à une guerre de prix avec les conséquences que nous connaissons dans le contexte de la téléphonie nationale (des marges trop érodées). Nous aurions préconisé une différenciation par les services, un effort donc pour offrir des bouquets de services répondant de manière globale aux besoins des clients. Eventuellement, avec une offre de services à valeur ajoutée et des services convergents.

Disons pour terminer que la situation pour la BLR est bien plus optimiste dans des pays moins développés que la France, où le manque de qualité et de disponibilité des paires torsadées peut augmenter le coût de déploiement du xDSL et où, dans certains cas, l'opérateur historique a une politique moins agressive de déploiement en termes de volume et de prix de l'offre.

En ce qui concerne le xDSL, même si le développement est moins rapide que prévu, le baromètre IDC fait état, en France, de 363 000 terminaux accédant à l'Internet via un lien

²⁴ Cette architecture requiert des DSLAM de petite taille d'un coût réduit. Il n'y a pas une grande disponibilité de ce type d'équipement.

ADSL (sur 12 millions au total), dont 141 000 en domestique et 222 000 en professionnel. Le marché se base sur les offres de France Télécom, aucun opérateur ne propose des offres basées sur des lignes dégroupées à ce jour. Il n'est donc pas étonnant que Wanadoo détienne plus de 41% du marché d'accès via ADSL des résidentiels.

Sur les plusieurs dizaines d'opérateurs ayant effectué des tests de dégroupage, seulement 7 se sont présentés candidats au dégroupage et il n'est pas sûr que les 7 aillent finalement dans ce sens. La raison invoquée : les tarifs de France Telecom. Le coût du dégroupage rendrait impossible la rentabilité du dégroupage sur les accès bas de gamme de France Télécom, et sur les accès haut de gamme, dans un contexte de faible pénétration qui caractérise l'ouverture d'une offre, il semblerait qu'il soit plus rentable aux opérateurs alternatifs de se baser sur l'offre Turbo DSL de France Télécom que de dégroupier.

Les opérateurs alternatifs se plaignent du manque d'une séparation claire chez France Télécom entre les activités sous monopole et celles qui ne le sont pas. La paire torsadée appartient à France Télécom. Mais les conditions d'usage de cette PT devrait, d'après les opérateurs alternatifs, être la même pour France Télécom que pour eux. A titre d'exemple, le prix France Télécom d'une salle de dégroupage est de 1MF à partager entre ceux qui l'utilisent. Mais les unités d'affaires de France Télécom impliquées dans l'offre xDSL ne participent pas à ce partage.

De même, dans les endroits où il n'y a pas de place pour une salle de dégroupage, France Télécom s'autorise quand même à proposer le service xDSL à ces clients.

Il existe un autre élément qui augmente le coût du dégroupage. L'opérateur alternatif doit payer la bande passante entre le DSLAM se trouvant dans les locaux loués à France Télécom et son point de présence. Cette bande passante doit être achetée à France Télécom. Même dans le cas où l'opérateur alternatif trouve des locaux à côté de ceux de France Télécom, et la connexion se réduit à un câblage local, France Télécom facture la bande passante.

Tout cela, plus la politique de déploiement de France Télécom qui prévoit 600 000 lignes pour la fin de l'année, laisse penser qu'il ne restera pas trop de place pour la concurrence.

Pour résumer, les opérateurs alternatifs affirment qu'un contrôle des prix par l'ART est nécessaire afin de rendre la concurrence possible.

Outre les coûts liés à l'offre de dégroupage de France Télécom, il faut signaler que les équipements disponibles dans le marché sont souvent peu adaptés à un contexte de dégroupage. Ils ont été conçus pour les grands opérateurs historiques. Les constructeurs ont dans leur plan d'évolution des produits des offres mieux adaptés mais, craintifs sur l'évolution du marché, ils ont ralenti les investissements sur ces produits, ce qui rend plus difficile la situation des opérateurs alternatifs. Un exemple simple, la redondance. Un opérateur historique peu se permettre de baser la redondance sur la duplication des équipements, cela n'est pas le cas d'un opérateur alternatif (coût es équipements mais également coût de co-localisation). Des équipements offrant une redondance de leurs divers composants sont donc nécessaires et pas toujours disponibles.

Comme pour le cas de la BLR, nous considérons qu'une possible solution à ces difficultés pourrait être du côté de l'offre de services, les commentaires que nous avons faits sur le besoin d'une offre plus évoluée restent valables dans le cas xDSL..

Il semblerait donc qu'un « coup de pouce » garantissant un marché minimum soit nécessaire pour débloquer la situation (que ce soit pour la BLR ou le xDSL). En effet, cela pourrait mener les constructeurs à adapter leurs produits au contexte des nouveaux entrants (xDSL) et les opérateurs à disposer de certaines marges sur les offres de services classiques les motivant à compléter celles-ci. Ce « coup de pouce » pourrait venir des subventions prévues pour les collectivités locales, suite au CIAT du 9 juillet dernier. Les opérateurs alternatifs considèrent qu'il serait nécessaire de donner une plus grande flexibilité aux collectivités locales pour leur permettre de co-financer plus que les infrastructures passives (pilons, fibres noires, etc.). De même, il faudrait mieux spécifier l'objectif des subventions, il semblerait qu'il y ait un flou sur ce dernier : s'agit-il de faciliter le développement de l'accès des clients où du raccordement des métropoles aux réseaux longue distance déjà déployés ? Les acteurs ont des visions divergentes sur le sujet.

Nous avons également parlé du câble et de son évolution vers les réseaux HFC. En France, la situation n'est pas très favorable pour le câble puisque sa pénétration pour le service historique de diffusion de télévision est plus faible que la moyenne dans les pays développés. En Belgique, par exemple, la couverture câble est de plus de 90%.

Les principaux acteurs en France sont Noos et France Télécom. Le coût de migration du réseau semble trop élevé pour pouvoir concurrencer les offres xDSL. France Télécom l'a fait par exemple à Marseille, mais le taux de pénétration reste faible. Noos a racheté son réseau (qu'ils exploitaient mais qui appartenait à France Télécom), mais les fourreaux appartiennent toujours à France Télécom, ce qui ajoute une difficulté aux interventions sur le réseau.

Si on regarde du côté des nouveaux entrants, NTL a fait le choix de déployer simultanément du coaxial et de la paire torsadée, considérant que la technologie téléphonie sur câble n'était pas mure. Le coût étant élevé, le déploiement des paires a été arrêté.

Le SIPPEREC (Syndicat Intercommunal de la Périphérie de Paris pour l'Electricité et les Réseaux de Communication) a commandé à Noos le déploiement de deux réseaux câble, mais leur déploiement semble très lent.

En conclusion, les offres xDSL semblent prendre le dessus sur les offres câble en France.

Quant aux raccordements en fibre optique, ils devraient voir une croissance importante à moyen terme. En effet, des produits PON (voir la section 4.2) arrivent à maturité, il y a une concurrence intéressante dans l'offre de produits. Cette technologie diminue le coût de desserte en fibre optique puisqu'elle ne requiert pas d'équipements actifs, ceux-ci se trouvant en extrémité de l'arbre optique. Les plaques PON peuvent être interconnectées par réseaux Metro-DWDM diminuant le coût de la bande d'interconnexion. Outre l'interconnexion, le réseau métropolitain concentrera à bas coût le trafic en provenance des PON dont la destination se trouve en dehors de la métropole.

Les technologies de réseau métropolitain présentées dans le chapitre 6 mènent également à une réduction du prix de déploiement de la fibre jusqu'au client final.

A titre d'exemple, certains opérateurs américains offrent dans certaines zones des Etats Unis des raccordements en fibre optique pour un prix de 300 dollars.

5 Evolution des cœurs de réseaux

L'évolution des cœurs de réseaux est due majoritairement à l'augmentation du trafic de données et notamment de l'IP, mais également à l'évolution vers les réseaux multiservices. Nous nous concentrons donc sur l'évolution des cœurs des réseaux de paquets. Dans le chapitre 8, nous présentons les évolutions possibles du cœur des réseaux téléphoniques et les architectures pour la convergence voix/données.

Augmenter la capacité d'un réseau revient d'abord à augmenter la capacité de transmission des liens et puis à augmenter la capacité des équipements responsables d'aiguiller l'information (commutateurs ATM, routeurs IP, etc.). Afin de simplifier la présentation, nous appellerons ces derniers, de manière générique, des commutateurs ; en effet, ce sont les équipements permettant d'implémenter ce qu'on appelle les réseaux à commutation de paquets (réseaux ATM, IP, etc.).

Dans la section suivante, nous introduisons le WDM, technique qui a permis une augmentation très significative de la capacité de transmission. Les sections suivantes sont dédiées à l'évolution des commutateurs et des architectures de réseau.

5.1 La technologie WDM

L'augmentation de la capacité des réseaux passe par l'augmentation de la capacité de transmission. La fibre optique est le médium qui autorise aujourd'hui les débits de transmission les plus élevés. La Figure 14 montre deux équipements de réseau connectés par une fibre optique.

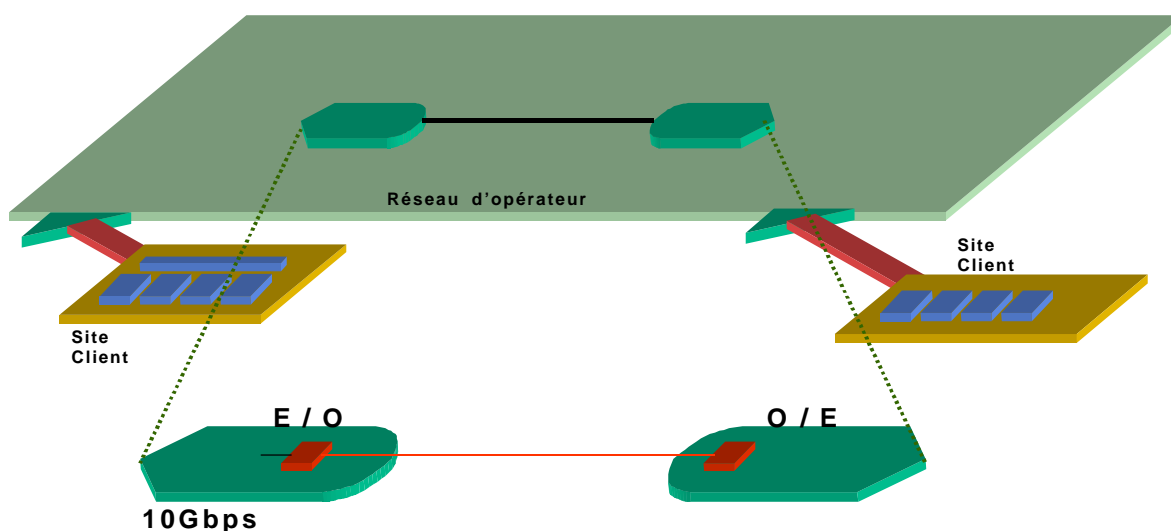


Figure 14 : Une interface électrique par fibre optique

Les équipements de réseau font un traitement électronique pour pouvoir relayer l'information²⁵ et, de ce fait, une conversion optoélectronique est nécessaire pour pouvoir transmettre sur les fibres optiques. Au niveau électronique, les cartes de réseau ont une limitation en débit. On trouve sur le marché des cartes à 10 Gbit/s et on sait construire des cartes à 40 Gbit/s. Par contre, la capacité de transmission d'une fibre optique est de plusieurs centaines de Tbit/s²⁶. Le fait d'utiliser une fibre optique pour transporter un signal à 10 Gbit/s induit donc une forte sous utilisation de la fibre. La technologie WDM, illustrée dans la Figure 15, permet d'optimiser l'utilisation des fibres.

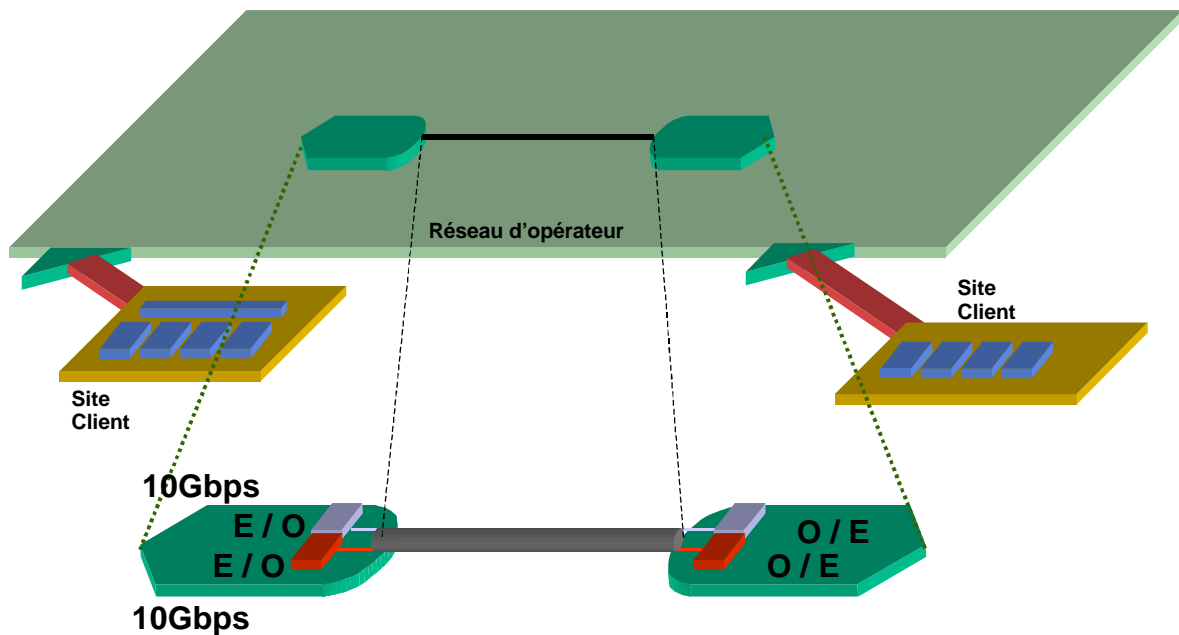


Figure 15 : Introduction au WDM

L'idée du WDM est de transporter plusieurs signaux à 2.5 Gbit/s ou 10 Gbit/s en parallèle sur une même fibre. Pour ce faire, chaque flux est modulé avec une couleur différente, ce qui permet à l'équipement destinataire de les séparer grâce à un prisme. Une fois séparé, chaque flux individuel est converti en un signal électrique pouvant, vu son débit, être traité en électronique.

Aujourd'hui, les équipements disponibles sur le marché permettent de transporter 1.6 Tbit/s ; ils transportent, par exemple, 160 couleurs offrant chacune un débit de 10 Gbit/s. Cela représente un débit supérieur au double de celui de tout le trafic de téléphonie fixe en France à l'heure de pointe.

²⁵ Nous verrons plus loin que cela évolue avec l'avènement des réseaux tout-optiques.

²⁶ 1Térabits/s=1000Gigabit/s.

Dès qu'on dispose de plus de 4 couleurs dans une fibre, on parle de DWDM.

En 1998, le marché de cette technologie dépassait déjà le milliard de dollars et se trouvait principalement aux Etats Unis. La raison de cela est simple, la technologie était rentable sur les longues distances. En effet, elle limite le besoin de déploiement de fibres²⁷ et réduit très significativement les coûts d'amplification des signaux²⁸. Par contre, le marché du WDM dans les courtes distances était à cette époque pratiquement négligeable. Aujourd'hui, le marché WDM est en train de se développer rapidement dans le domaine des réseaux métropolitains, comme cela est décrit dans le chapitre 6.

La couche physique des réseaux d'opérateur utilise, historiquement, la technologie SDH, que nous avons définie sommairement dans la section 3.1. Un réseau d'infrastructure SDH utilise souvent des boucles créées grâce à des ADM²⁹ (*Add Drop Multiplexer*), comme indiqué dans la Figure 16. Les ADM permettent de créer des conduits de transmission entre deux points quelconques de la boucle, plusieurs conduits étant multiplexés sur une même fibre.

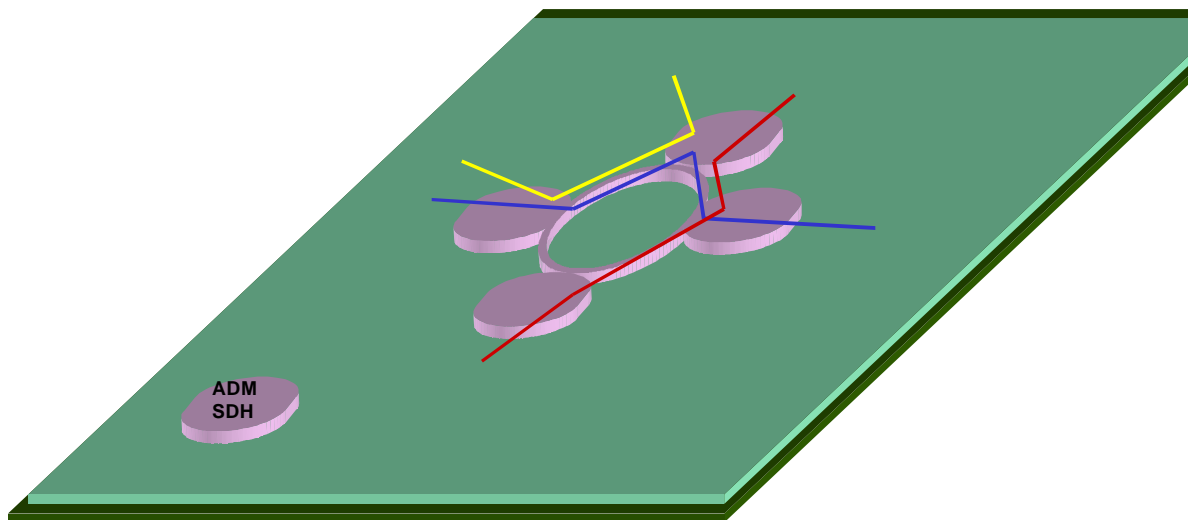


Figure 16 : Boucle SDH

²⁷ Que se soit lors du déploiement d'une infrastructure nouvelle ou de l'augmentation de la capacité d'une infrastructure existante. Néanmoins, il est important de signaler que certaines fibres, appelées DSF, déployées au milieu des années '90, sont mal adaptées au DWDM (contrairement à certaines déployées plus tôt et à celles déployées plus tard). Cela pose problème, en particulier, dans certains pays d'Amérique Latine, mais pas tellement en Europe. La technologie DSF a été remplacée par la technologie Non-zero DSF qui ne présente plus ces inconvénients.

²⁸ De manière schématique, on peut dire qu'un seul amplificateur optique amplifie simultanément un ensemble de signaux qui, en électronique, devaient être amplifiés individuellement. De plus, les amplificateurs peuvent être plus espacés que dans l'approche historique.

²⁹ Les ADM sont appelées en français des MIE (Multiplexeurs à Insertion Extraction), mais ce terme est rarement utilisé même en France.

Les conduits de transmission sont à débit constant, leur débit étant l'un de ceux de la hiérarchie SDH (155Mbit/s, 622Mbit/s, 2,5Gbit/s, 10Gbit/s, 40Gbit/s). La capacité maximale d'un interface SDH est de 40 Gbit/s. Les équipements SDH traitent les conduits de transmission en électronique pour les multiplexer et les démultiplexer.

On peut, aujourd'hui, construire des boucles DWDM. L'idée est exactement la même, sauf qu'ici les ADM multiplexent et démultiplexent des longueurs d'onde (des couleurs). Chaque longueur d'onde peut transporter, par exemple, un ou plusieurs conduits de transmission SDH³⁰. La capacité est donc bien plus importante, mais la granularité est moins fine. En effet, il n'est pas rentable d'associer une couleur à un lien à 155 Mbit/s puisque le nombre maximum de couleurs qu'on sait traiter est limité et parce que les interfaces sont chères. Dans certaines architectures, les boucles DWDM fédèrent des boucles SDH, comme cela est indiqué dans la Figure 17.

Nous avons dit qu'un des points forts des boucles SDH est le fait de travailler avec des doubles anneaux contrarotatifs qui permettent de mettre en place des systèmes de protection contre les pannes. Cela est également le cas des boucles DWDM. Malheureusement la normalisation de la protection n'est pas finie et on ne dispose que de solutions propriétaires.

Des avancées scientifiques comme le soliton permettent de transporter des débits de plus en plus importants sur des distances de plus en plus longues sans amplification. On sait aujourd'hui transmettre sur 4000 kilomètres sans amplification/régénération. En laboratoire on peut faire encore mieux, on sait faire tourner un signal dans une boucle fermée pendant un temps équivalent à celui nécessaire pour faire le tour de la terre et le récupérer sans introduire de la régénération entre temps. Sur des distances de 4000 kilomètres on n'atteint pas encore des débits de l'ordre du Tbit/s, on se limite aux dizaines de Gbit/s.

³⁰ La technologie WDM permet de transporter tout type de trafic, le SDH n'étant qu'un exemple.

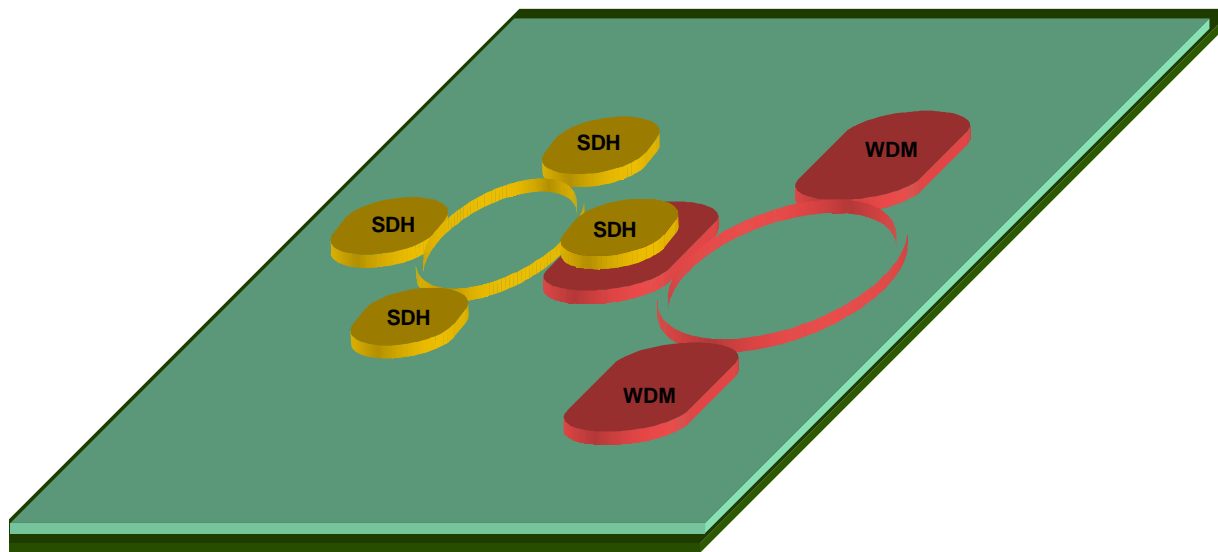


Figure 17 : Boucles WDM

Ce type de technologie permet ainsi de réduire considérablement le coût de déploiement et d'exploitation et maintenance de la bande passante longue distance.

Tout comme dans les réseaux SDH, la génération actuelle de réseaux DWDM ne permet que d'établir des tuyaux à débit fixe et de manière permanente, c'est à dire, re-configurables uniquement par la gestion du réseau. Les usagers n'ont pas les moyens d'établir dynamiquement ces tuyaux par signalisation.

En France, la capacité des réseaux a été augmentée grâce au DWDM. Le prix de la bande passante longue distance a diminué significativement. Malheureusement, cela n'est pas encore le cas pour la bande passante métropolitaine (sauf dans les plus grandes villes et notamment à Paris où il existe une concurrence).

5.2 IP sur ATM, PoS et MPLS

Pour bâtir un réseau, les conduits de transmission ne suffisent pas. Ne pouvant pas interconnecter deux à deux de manière permanente tout couple de points d'extrémité désirant communiquer, des équipements chargés d'acheminer dynamiquement les informations en fonction de leur destination sont nécessaires. Cet acheminement se fait à plusieurs niveaux. Dans la section 3.1, nous avons vu que, dans un premier temps, pour faire face à la croissance du trafic IP, une architecture de réseaux superposés a été déployée, comme cela est représenté dans la Figure 18. On distingue des boucles SDH qui permettent de créer des conduits de transmission des débits cités dans la section précédente. Ces conduits sont utilisés pour interconnecter les commutateurs ATM. Les commutateurs ATM sont utilisés pour établir des

connexions entre les routeurs IP chargés d'acheminer le trafic IP. Les connexions ATM peuvent être en théorie de n'importe quel débit et plusieurs connexions peuvent être multiplexées sur un même conduit de transmission (tant que le débit de l'ensemble des connexions ATM sur un conduit de transmission ne dépasse pas la capacité de celui-ci, bien évidemment).

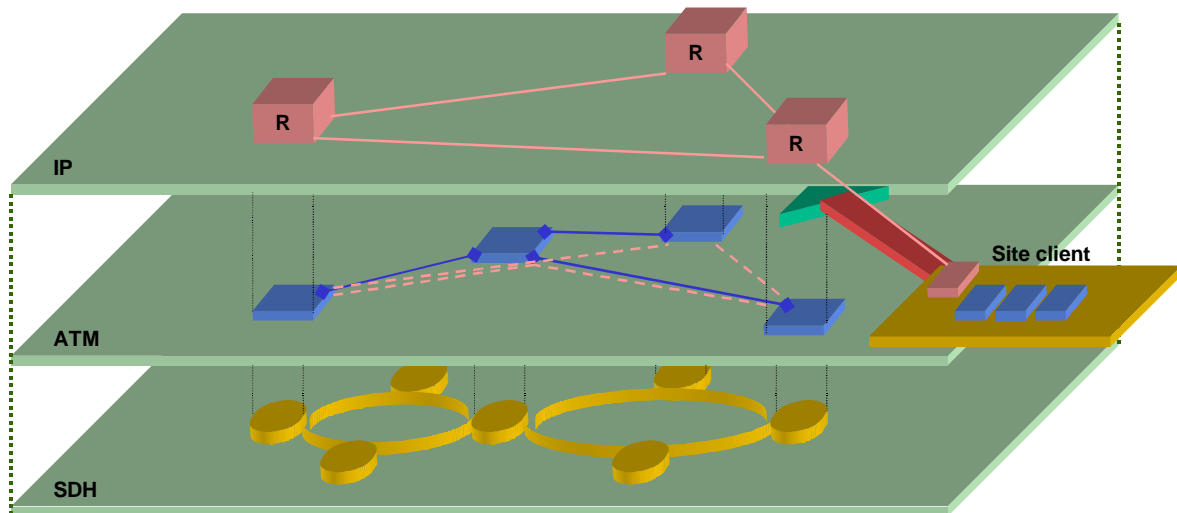


Figure 18 : Architecture de réseaux superposés

Cette solution est particulièrement intéressante quand on multiplexe plusieurs flux sur un même conduit de transmission SDH. Ainsi, en ouvrant une connexion ATM par flux, on arrive à fournir, grâce à la gestion de trafic évoluée de l'ATM, la QoS requise par chaque flux. On peut donc véhiculer de la voix, de la vidéo et des données sur le même réseau. Dans ce cas, par rapport à la Figure 18, il y aurait d'autres connexions ATM pour interconnecter des équipements téléphoniques, par exemple, non représentés dans la figure. De plus, les mécanismes de l'ATM permettent de résoudre le difficile compromis entre maintenir le niveau de QoS attendu par chaque type de trafic et optimiser les ressources déployées.

Par contre, cette approche introduit un coût important lié au nombre et à la diversité d'équipements requis et, également, une complexité de gestion. De plus, la couche ATM induit un surcoût de bande passante de l'ordre de 10%.

Une solution alternative consiste à transporter le trafic IP directement sur les conduits de transmission SDH. Cette technologie est appelée PoS (Packets over SDH) ; elle est illustrée dans la Figure 19.

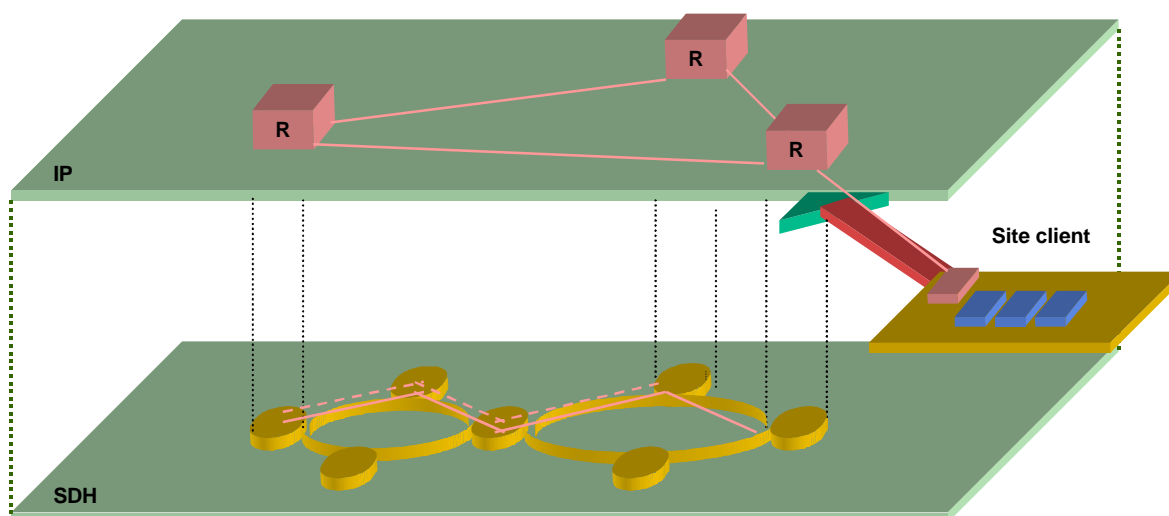


Figure 19 : « Packets over Sonet »

Cette architecture est intéressante quand le trafic IP à lui tout seul est suffisant pour remplir les conduits de transmission. Elle a été utilisée pour la première fois en 1996 sur des liens transatlantiques et trans-pacifiques. Cette architecture s'adapte bien à certains besoins, par exemple, l'augmentation du trafic IP « Best Effort³¹ » chez un ISP.

On gagne en simplicité mais on perd la QoS, les mécanismes d'opération et maintenance de l'ATM, etc. Cette technologie ne permet pas aujourd'hui de déployer des réseaux multiservices.

Aucune des deux solutions n'étant optimale, on s'oriente vers une troisième voie, le MPLS. L'idée du MPLS est d'intégrer les avantages des deux approches précédentes. Dans l'architecture MPLS, il n'y a pas des équipements IP et des équipements ATM, il y a un seul type d'équipement que l'on appelle des LSR. On a un seul adressage (au lieu de deux dans l'architecture superposée), il s'agit de l'adressage IP. On a également un seul routage. Par contre, le MPLS achemine les informations, et en particulier les paquets IP, par des mécanismes proches de ceux de l'ATM et introduit un plan de contrôle qui permet d'établir des connexions comme dans le cas de l'ATM. Ces connexions peuvent fournir divers niveaux de QoS, comme l'ATM le fait. Autrement dit, on achemine des paquets IP mais avec les mécanismes de l'ATM, ce qui est raisonnable puisque la plupart des nouvelles applications génèrent de l'IP mais nombreuses requièrent les propriétés de l'ATM. De plus, le MPLS peut transporter tout type de trafic, pas seulement l'IP, et s'adapte donc bien à la mise en place d'un cœur de réseau multiservice.

³¹ Trafic pour lequel le réseau fait de son mieux mais ne garantit aucune QoS.

Le MPLS apporte à l'IP une implémentation simplifiée de la QoS, la possibilité d'optimiser le réseau grâce à une ingénierie de trafic évoluée et une grande flexibilité pour la mise en œuvre de VPNs (voir la section 9.2.1).

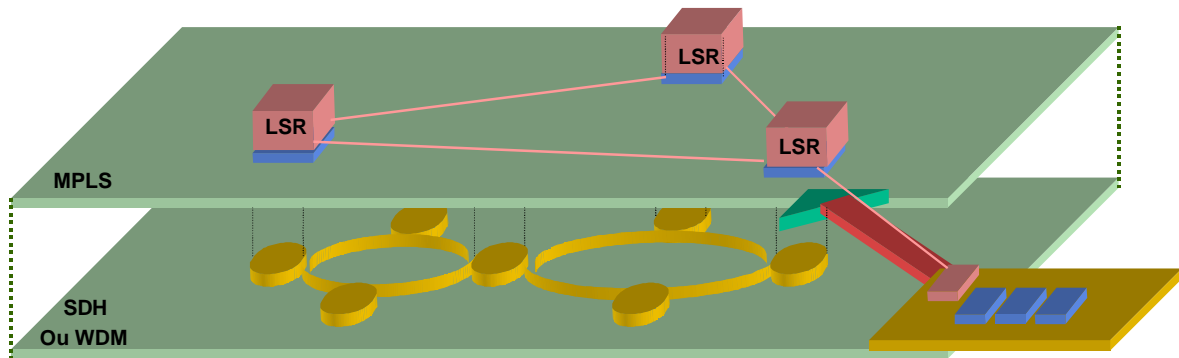


Figure 20 : Multi-Protocol Label Switching

Par contre, il est important de signaler que la normalisation du MPLS est loin d'être terminée. Ce manque de maturité de la technologie fait que son usage soit aujourd'hui restreint, se limitant souvent au support du trafic IP Best Effort avec éventuellement la mise en place de VPNs requérant un grand travail d'administration (voir la section 9.2.1).

En raison des avantages cités, les opérateurs poussent dans le sens d'un déploiement important de cette technologie. Ils sont à l'attente de l'évolution de l'offre de produits. Entre temps, le marché de l'ATM a augmenté de manière significative en 2000.

5.3 Les réseaux tout-optiques

Dans la section 5.1, nous avons introduit la technologie DWDM. Nous avons souligné l'importance des équipements appelés ADM, permettant de créer des boucles DWDM disposant de mécanismes de protection.

La première génération d'ADM n'était pas capable de changer la couleur d'un signal. Le fait qu'un conduit doive garder la même couleur de bout en bout, indépendamment du nombre d'ADM traversés, représente une contrainte par rapport aux maillages de conduits possibles.

Aujourd'hui, des solutions existent mais elles requièrent un traitement électronique, ce qui réduit leur capacité maximale et augmente le coût. Ces systèmes sont dits opaques, une conversion optoélectronique est faite à l'intérieur.

Les équipementiers ont bien avancé sur la conception d'ADMs transparents, pour lesquels la conversion des couleurs se fait par des composants tout-optiques.

La simplification de l'opération et maintenance des réseaux représente aujourd'hui un point très important des architectures. En effet, elle engendre des coûts récurrents qui deviennent rapidement plus importants dans les modèles d'affaire que les amortissements des investissements. Des efforts sont faits pour mettre en place un plan de contrôle des réseaux optiques simplifiant l'opération et maintenance. Afin de faciliter la mise en place d'un contrôle intégré du réseau, des efforts sont réalisés pour utiliser, au niveau optique, les mêmes protocoles que ceux utilisés dans le MPLS. L'architecture MPLS est donc généralisée à une nouvelle architecture, appelée Generalized MPLS (GMPLS). Le cas particulier du contrôle par ses architectures des réseaux tout-optiques est appelé MP λ S (le λ faisant référence aux longueurs d'onde que l'on contrôle).

Ainsi, on pourra bâtir un réseau IP sur DWDM avec un plan de contrôle unifié pour les parties IP et DWDM. Le commutateur (électronique) intègre ici directement des interfaces DWDM.

L'étape suivante c'est la construction de commutateurs de paquets (des LSR par exemple) tout-optiques. Par opposition à l'établissement d'un conduit optique à débit fixe entre deux points donnés, comme cela est grâce aux ADM, il s'agit ici de traiter des blocs d'information individuellement et de les acheminer vers une sortie calculée suite à un traitement tout-optique. Plusieurs problèmes doivent encore être résolus, un des plus importants étant la difficulté de construire des mémoires optiques. En effet, quand on commute des blocs d'information individuels, il se peut que deux blocs arrivant sur des ports différents d'un même équipement doivent être transmis au même port de sortie. Dans ce cas, l'un d'entre eux doit attendre. Cela n'est pas simple à implémenter en tout-optique. Les solutions les plus performantes qui ont été imaginées, requièrent des échanges de signaux de contrôle entre équipements, associés à chaque bloc d'information, ce qui n'est pas simple à implémenter non plus. La conversion de couleur est également un élément clé du développement de ce type d'équipement.

Quand la transmission et la commutation sont faites par des équipements optiques, on parle de réseaux tout-optiques. Vu les problèmes techniques qui restent à résoudre, il est difficile d'estimer quand est-ce que le marché de la commutation tout-optique se développera.

6 Evolution des réseaux métropolitains

Les réseaux métropolitains sont déployés, comme leur nom l'indique, à l'échelle d'une métropole. Ils peuvent être utilisés comme une deuxième étape de concentration derrière des réseaux d'accès ou pour interconnecter des nœuds de service. Dans le premier cas, des usagers ayant besoin d'une bande passante importante peuvent être directement connectés au réseau métropolitain, sans passer avant par une étape de concentration préalable.

Un réseau métropolitain peut concentrer le trafic de divers DSLAM, stations de base BLR ou têtes de réseau HFC. Il peut également être terminé par des PON (voir le chapitre 4 pour la définition de ces divers concepts).

Un exemple typique d'interconnexion de nœuds de service est celui de l'interconnexion de commutateurs téléphoniques d'accès à l'échelle d'une ville.

Historiquement, les réseaux métropolitains ont été basés sur la technologie SDH. Il s'agit ici de boucles SDH bénéficiant du haut niveau de protection de cette technologie qui assure en cas de panne une auto-cicatrisation en moins de 50ms.

La technologie DWDM, rentable depuis quelques années déjà dans le contexte longue distance, devient rentable de nos jours dans le contexte métropolitain. Même quand le déploiement de plusieurs boucles SDH reste moins cher que le déploiement d'une boucle DWDM (émulant plusieurs boucles SDH), celle-ci présente parfois des avantages qui justifient son déploiement. A titre d'exemple, les boucles DWDM sont déployées quand les canalisations sont saturées et n'autorisent pas le déploiement de nouvelles boucles SDH (cas de la ville de New York, par exemple). Une boucle DWDM permet de réduire significativement le temps de provisioning de bande passante aux clients qui demandent des conduits de transmission de grande capacité. En effet, ce provisioning est logique et n'implique pas le déploiement de nouveaux équipements physiques. Finalement, il faut signaler que certains équipements du marché facilitent une offre de services bien plus large que les simples interfaces SDH ou DWDM. Pour ce faire, les équipementiers intègrent dans les ADM DWDM des équipements de commutation de paquets (ATM dans un premier temps).

Des évolutions sont également en cours au niveau SDH. Les boucles offrant uniquement des interfaces SDH sont mal adaptées au trafic de paquets et donc notamment au transport de l'IP. On constate deux évolutions. La première consiste à remplacer les équipements actifs de la boucle (les ADM) par des équipements basés sur la technologie SDH mais autorisant un multiplexage plus flexible entre les circuits et les paquets. Parfois, les équipements en question peuvent implémenter des commutateurs ATM, mais les interfaces dans la boucle restent SDH (et donc on transporte le trafic usager, soit directement sur SDH, soit sur ATM et l'ATM sur la SDH). La deuxième consiste à remplacer les équipements actifs par des commutateurs de paquets ayant des interfaces Ethernet à 10Gbit/s dans l'anneau (au lieu de SDH). Tous les trafics, y compris la voix et les circuits synchrones (liaisons louées) ; sont transmis en mode paquet. Cette dernière solution est poussée par certains constructeurs et a donné lieu à une normalisation par l'IEEE 802.17 (RPR, Resilient Packet Ring). Les interfaces optiques peuvent être DWDM. Il est prévu que cette norme sera terminée en 2003, mais des constructeurs proposent déjà des solutions propriétaires basées sur ces concepts. L'objectif de cette norme est, dans un premier temps, de fournir la même protection en termes de temps d'auto cicatrisation que les boucles SDH.

Nous considérons que la faiblesse financière des opérateurs alternatifs rend difficile leur capacité à investir massivement dans une technologie tout-optique dans le réseau

métropolitain. La première solution citée semble plus mature et mieux adaptée à un contexte d'opérateur qui dispose déjà d'un réseau SDH. L'introduction de ces technologies risque donc de se faire en deux étapes, le déploiement des solutions du type RPR ne se faisant pas massivement avant 3 ans. Il faut souligner que les solutions de type RPR sont également moins matures notamment en ce qui concerne l'offre de services à QoS garantie nécessaire au transport des trafics temps-réel.

Certains constructeurs proposent des solutions de réseau métropolitain avec des technologies propriétaires adaptées à des usages spécifiques, tels que la télé-surveillance (du trafic routier, par exemple). Le marché pour ses solutions semble être amorcé.

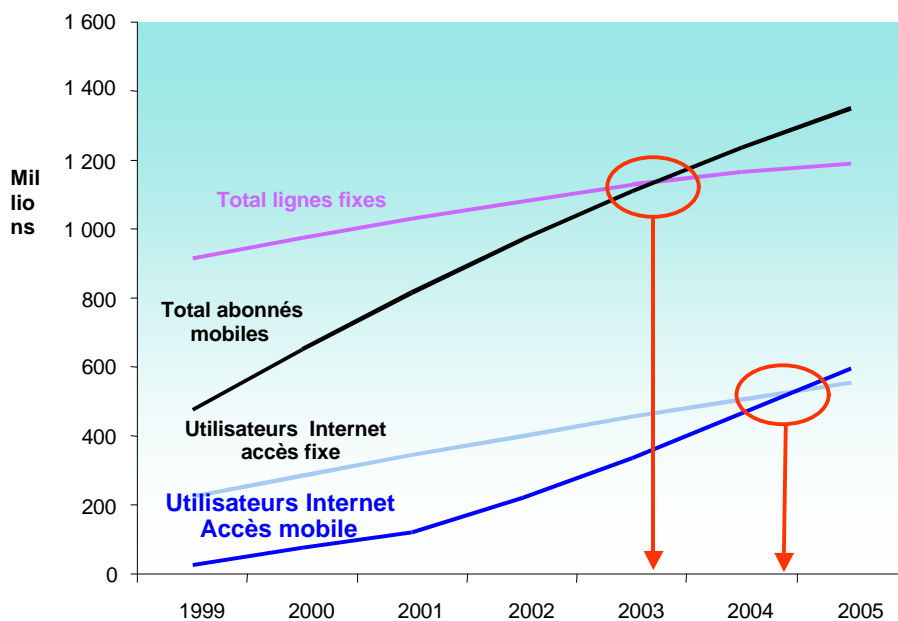
Il est important de signaler que le marché des réseaux métropolitains risque d'être fortement influencé, dans le court terme, par les décisions des collectivités locales. Cela est particulièrement vrai en France, suite à la décision du CIAT du 9 juillet dernier concernant le déploiement du haut débit en France.

De manière générale, on peut dire que ces technologies diminuent le coût du Mbit/s et facilitent le déploiement de la fibre optique au plus proche du client final et même jusqu'au client final. Les PON représentent, dans ce sens, un bon complément aux boucles DWDM. La solution fibre jusqu'au client redevient d'actualité, après avoir été laissée de côté parce que très chère il y a quelques années. Elle limite le marché de certaines technologies comme celui de la BLR pour des débits supérieurs à ceux du xDSL. En effet, la marge pour une solution offrant des débits entre ceux du xDSL et ceux des connexions en fibre se réduit. Néanmoins, la BLR peut avoir un rôle à jouer quand le déploiement de boucles optiques n'est pas rentable, la même infrastructure pouvant à la fois être utilisée pour la BLR à l'accès et pour interconnecter les stations de base à travers un réseau métropolitain radio, comme cela est détaillé dans la section 4.4.

7 Evolution des réseaux mobiles

Cette étude traite des réseaux fixes, on peut donc se questionner sur la raison de ce chapitre. En fait, elle est double : d'une part, le marché s'oriente vers une convergence des services fixes et mobiles et, d'autre part, les architectures de réseaux mobiles comptent une partie radio et une partie fixe. Nous verrons dans la section suivante qu'à terme les mêmes réseaux seront utilisés pour transporter les trafics engendrés par des terminaux fixes et mobiles.

Historiquement, les réseaux mobiles se limitaient à offrir des services téléphoniques. Certains analystes estiment que cela risque d'évoluer rapidement comme le montre la Figure 21. Personnellement, nous considérons qu'il est aujourd'hui très difficile d'estimer la vitesse de cette évolution. En particulier, il n'est pas possible d'évaluer la croissance des réseaux mobiles des générations 2.5 et 3 en se basant sur le succès de la deuxième génération (réseaux GSM en France). En effet, on ne connaît pas à ce jour une application qui présente autant d'intérêt pour l'utilisateur final que la voix mobile.



Source : Siemens, ICN M CM, Status: Mar 31, 2000

Figure 21 : Trafic Internet mobile

Nous analysons dans la section 7.3 divers facteurs qui risquent d'influencer l'évolution du marché des réseaux mobiles. Mais avant cela, dans la section 7.1, nous présentons, de manière macroscopique, leur architecture et, dans la section 7.2, nous discutons des approches permettant de partager les coûts de déploiement.

7.1 Architecture des réseaux mobiles : vision macroscopique

Dans cette section, nous représentons de manière synthétique l'architecture des réseaux mobiles en indiquant uniquement le type de technologie utilisé dans la partie accès et dans la partie cœur. La partie accès, appelée « Base-station subsystem » dans le GSM, comporte les stations de base et leur contrôleur, la connexion (fixe) entre eux et la connexion des contrôleurs au cœur. Le cœur, appelé « Network subsystem » dans le GSM, consiste en un réseau fixe dont les composants intègrent des fonctionnalités liées à la mobilité, autrement dit, le contrôle qui permet de maintenir la connectivité même en cas de déplacement des usagers. La Figure 22 décrit l'architecture GSM. Les parties accès et cœur sont basées sur une technologie de commutation de circuits (TDM). Autrement dit, l'accès à l'Internet se fait à travers l'établissement d'un circuit à débit constant. Ce débit est d'ailleurs faible : 9,6 Kbit/s. Ceci explique deux points importants qui ont retardé la croissance attendue du trafic WAP³². D'abord, le mode de facturation : le client est facturé au temps de navigation, ce qui reflète le fait que les ressources lui sont allouées en permanence pendant une navigation, même s'il ne transmet pas. Puis, les délais importants dus au faible débit disponible, qui rendent peu ergonomique l'usage de certains services.

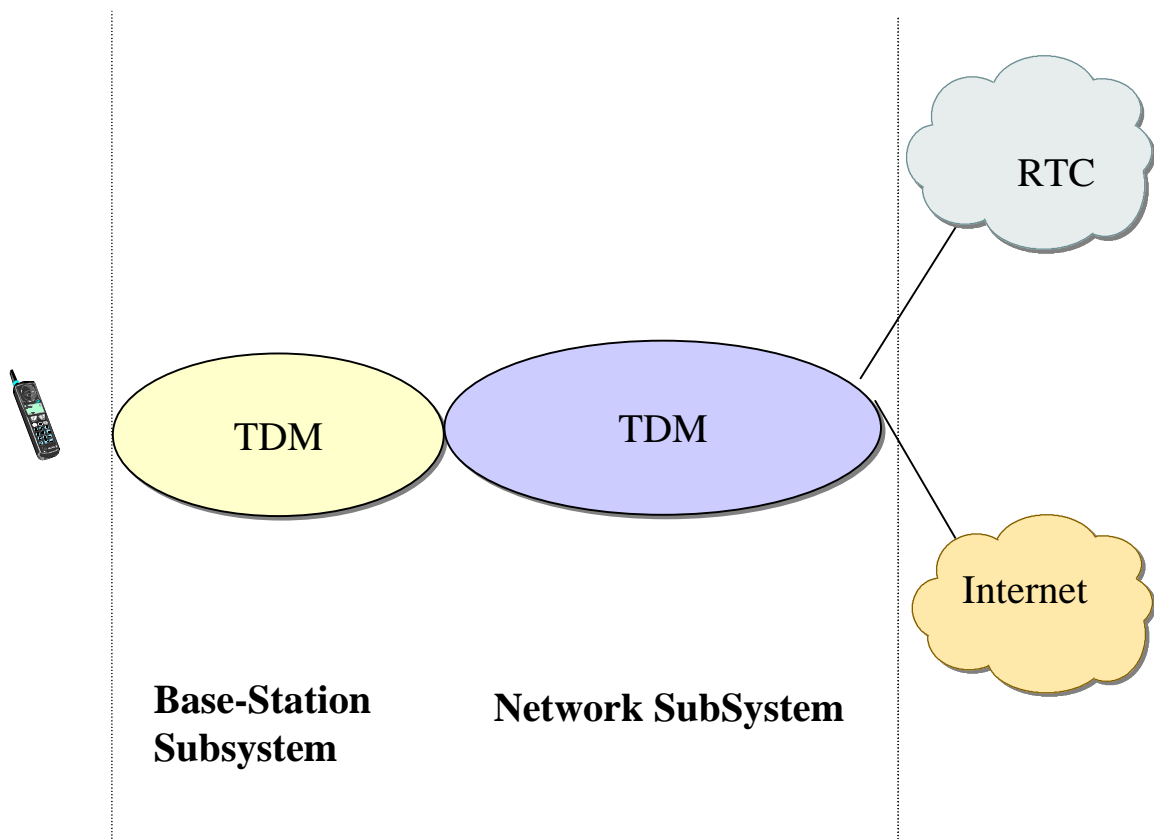


Figure 22 : Internet mobile sur GSM

La Figure 23 montre l'architecture GPRS. À l'accès, les stations de base (antennes) et leurs contrôleurs (le réseau d'accès) sont partagés par les deux trafics (voix et données) mais des protocoles différents sont utilisés. Les données sont transmises dès le terminal en mode paquet, donc avec un meilleur usage de la bande passante (en particulier de la bande passante radio qui représente la ressource la plus rare). Les débits disponibles pour les données sont

³² Le WAP permet de naviguer sur des serveurs conçus spécialement pour le cas mobile, avec une interface homme-machine pauvre étant donné les faibles débits et la taille des écrans disponibles sur les mobiles actuels.

plus élevés, de l'ordre de 50 Kbit/s dans les premières offres qui seront disponibles probablement à la fin de la présente année. Ce débit est à comparer à celui disponible sur un accès fixe par modem analogique : 56 Kbit/s. Le réseau cœur est constitué de deux réseaux, un pour la téléphonie, l'autre pour les données.

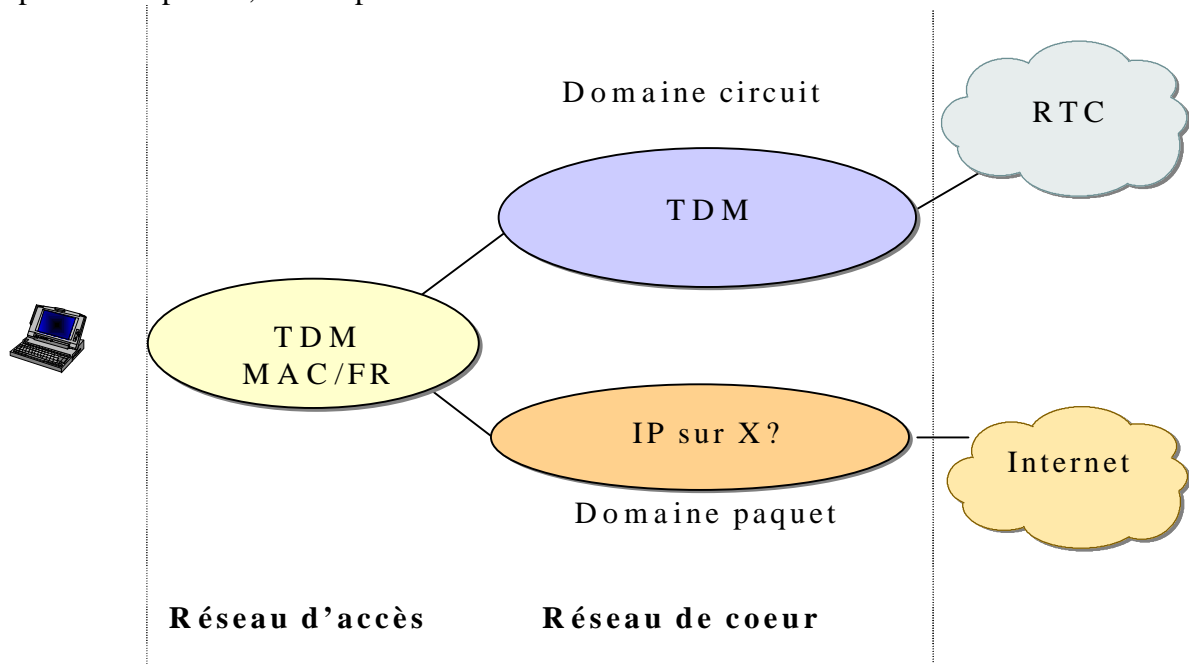


Figure 23 : Architecture GPRS

Concernant le signe d'interrogation de la figure, disons que dans la première génération des réseaux GPRS en France, ce sera de l'IP sur Frame Relay.

La Figure 24 montre l'architecture UMTS. Dans l'accès un seul protocole est utilisé pour multiplexer l'ensemble de trafics : l'ATM.

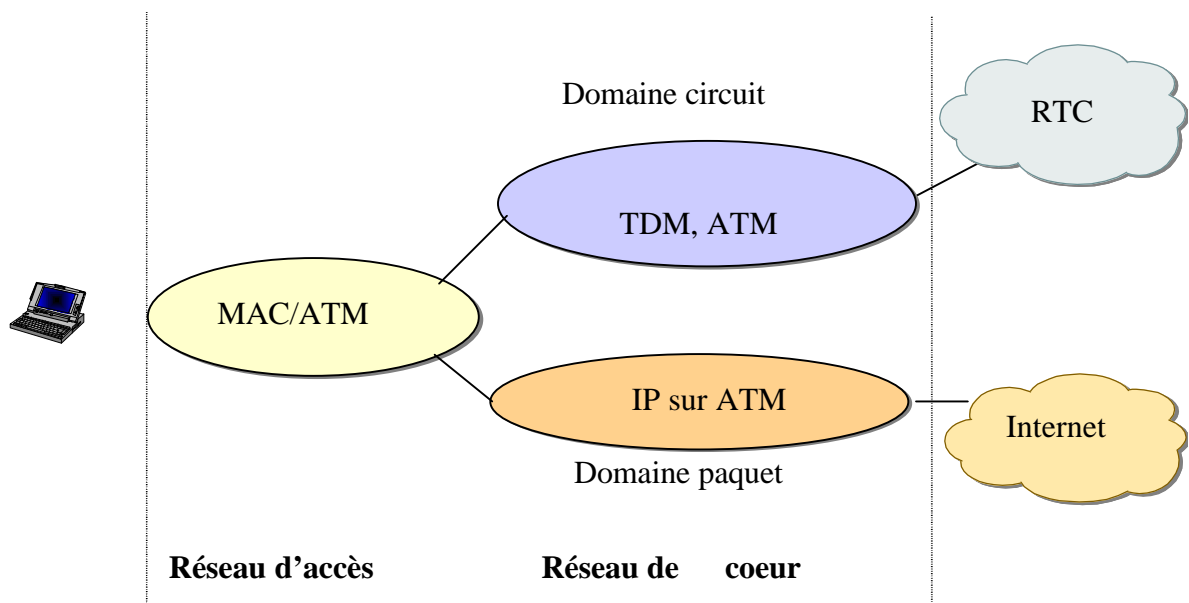


Figure 24 : Architecture UMTS

Dans la partie cœur, les trafics sont encore séparés pour des raisons historiques mais, en général, c'est toujours l'ATM qui est utilisée pour transporter à la fois les circuits TDM et le trafic IP. L'utilisation des ressources est mieux optimisée grâce aux propriétés de l'ATM. De plus, les débits disponibles sont plus élevés. Deux technologies ont été normalisées pour la partie radio : le FDD (jusqu'à 384 Kbit/s par code³³) et le TDD (jusqu'à 2 Mbit/s). C'est la première qui sera déployée dans un premier temps, la deuxième sera dans un premier temps réservée à des micro-cellules, dans des centres d'affaires, par exemple.

Nous venons de décrire l'architecture de troisième génération telle qu'elle est normalisée et qu'elle sera déployée dans un premier temps. Les organismes de normalisation travaillent dans une nouvelle version dont l'architecture est représentée dans la Figure 25. Dans ce contexte, un seul réseau est utilisé pour l'ensemble des trafics dans le cœur et à l'accès. De plus, dans le cœur il est possible que des technologies tout IP soient utilisées. A l'accès, il est probable que l'ATM sera maintenue, il n'est pas simple de garantir une bonne qualité de service en IP sur des liens bas débit. L'IP serait donc transporté sur l'ATM à l'accès.

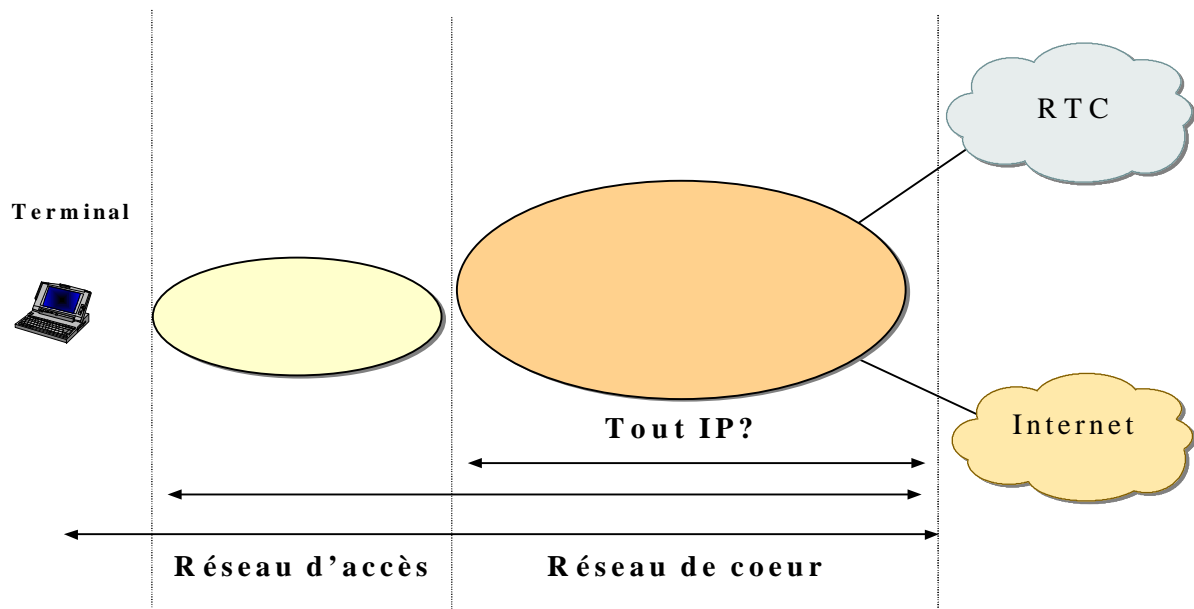


Figure 25 : Architecture 3G, prochaine version

Le réseau IP pourrait être le même pour le réseau fixe et pour le réseau mobile. Certaines fonctions nécessaires à la mobilité seraient ainsi présentes dans certains routeurs de ce backbone unique.

Finalement, signalons que les réseaux mobiles peuvent tout simplement être vus comme une technologie d'accès et que, de ce fait, l'architecture cible serait celle décrite dans la Figure 26. L'opérateur dispose d'un réseau unique, auquel on peut y accéder à travers n'importe laquelle des technologies d'accès disponibles afin d'utiliser les différents services offerts. Ces services peuvent être de transport (VPN pour bâtir de Intranets distants, voir la section 9.2.1), d'accès à l'Internet ou des services offerts par l'opérateur lui-même, tels que la téléphonie

³³ Nous ne pouvons pas rentrer ici dans les détails techniques, les codes sont un concept lié à la technologie de partage de la capacité radio entre plusieurs terminaux. Il faut signaler qu'un terminal peut utiliser jusqu'à 5 codes et donc atteindre en mode FDD le débit de 2 Mbit/s mais le coût augmente en conséquence.

(offerte par exemple en mode NGN à travers une plate-forme de services générique comme cela est décrit dans le chapitre 8).

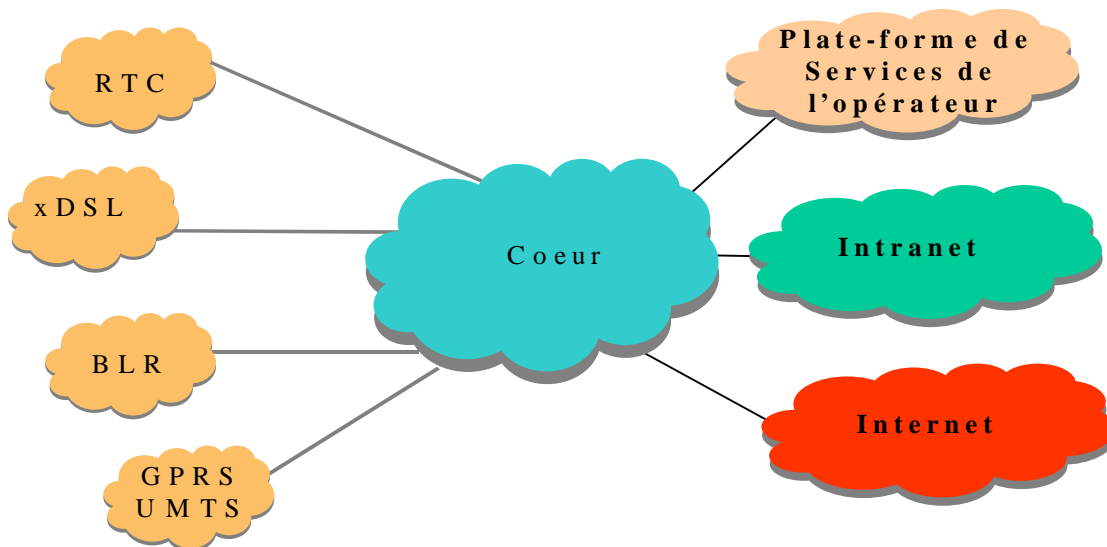


Figure 26 : Architecture cible

7.2 Quel partage des infrastructures de réseaux mobiles

Les coûts de déploiement d'un réseau de troisième génération sont significatifs. Il est donc raisonnable d'imaginer des approches permettant à divers opérateurs de les partager. Deux modes de partage semblent s'imposer.

Le premier consiste à partager l'infrastructure déployée qui est divisée de manière logique. Chaque opérateur garde le contrôle sur sa partie. La difficulté concerne la maintenance des parties communes. En général, la solution est de confier cette maintenance à un tiers.

Dans la deuxième approche, un seul opérateur détient l'infrastructure, mais revend des services d'accès à d'autres opérateurs. Il s'agit d'une approche souvent utilisée dans les réseaux fixes. Un opérateur (A) déploie le réseau d'accès, collecte le trafic d'un autre opérateur (B) et envoie ce trafic à un point de présence de B. Cela est transparent pour les clients de B. A la limite, B peut ne disposer d'aucune infrastructure réseau et limiter son activité au marketing et vente des services ainsi qu'à la gestion des clients (tarification, customer care, etc.). Un tel opérateur est appelé, dans le contexte mobile, un VMNO.

7.3 Quelle stratégie de déploiement ?

7.3.1 Les verrous à lever

7.3.1.1 Les terminaux

Les terminaux doivent évoluer afin de permettre la mise en place de certains services et applications innovants. Ils doivent intégrer des fonctionnalités comme celles qu'on trouve sur PC :

- Traitement de l'audio, de la vidéo et des images
- Exécution d'applications telles que celles décrites dans la section 9.3.

Et cela avec des contraintes :

- Petite taille.

- Ecran rendant ergonomiques les applications telles que celles décrites dans la section 9.3.
- Prix inférieur à celui d'un PC.

Il est probable que ces terminaux proviennent en particulier de l'intégration, par les constructeurs de PDA, d'une interface native vers le réseau mobile, autrement dit, qu'ils intègrent les fonctionnalités de base d'un terminal mobile sur les PDA.

Les opérateurs doivent convaincre les constructeurs de terminaux qu'ils pourront rentabiliser leurs investissements.

7.3.1.2 Cartes SIM

Les cartes SIM actuelles ne disposent que de 32 Ko. Certains nouveaux services requièrent bien plus.

Les cartes SIM sont contrôlées par l'opérateur, les téléphones non. L'opérateur voudrait donc des téléphones banalisés et des cartes SIM puissantes intégrant des SIM tool kit permettant de télécharger des fonctions spécifiques à l'opérateur sur la carte.

Les constructeurs de téléphone veulent se différencier à travers la valeur ajoutée de leurs équipements. Il y a donc un triangle d'intérêts à résoudre entre les opérateurs, les constructeurs de téléphones et les constructeurs de cartes SIM.

Les cartes SIM évoluent également vers de nouvelles technologies, comme les cartes WIM. Il est notamment intéressant de pouvoir télécharger des programmes Java pour gérer l'intelligence dans le mobile.

7.3.1.3 Diversité des capacités de terminaux et portails adaptés

Il y aura rapidement sur le marché des terminaux avec différentes capacités. Il est important pour le portail de présenter les informations selon un format que le téléphone sache traiter. La technologie UAP (« User Agent Profile ») permet au mobile d'informer au portail ce qu'il sait afficher et le portail met en forme les informations en conséquence (en proxy par exemple par rapport aux fournisseurs de contenu). Cette capacité représente une spécificité des portails mobiles.

En utilisant le langage XML, on peut envoyer au terminal, d'une part, les informations brutes et, d'autre part, un programme XSSL qui permet au mobile de calculer le formatage avant l'affichage. Ainsi, le portail peut disposer, pour une même information, de différents programmes XSSL et il choisira lequel transmettre en fonction des capacités du mobile demandeur de l'information.

7.3.1.4 Contenu

Le succès des nouvelles générations de mobiles passe également par la capacité des opérateurs à établir des partenariats forts et durables avec les fournisseurs de contenu. Notamment, l'UMTS apportera, par rapport au GPRS, la vidéo. Le succès de l'UMTS dépendra donc de manière significative du type de contenu vidéo proposé. La distribution de télévision par câble a montré pour quel type de contenu les clients sont prêts à payer ; il faudra donc réussir à fournir des contenus du type diffusion des buts en temps réel, etc. Les jeux seront également un facteur important.

7.3.1.5 Tarification

On parle souvent du débit maximal offert par le GPRS et l'UMTS. Néanmoins, il faut signaler qu'il est important que les systèmes mobiles offrent une granularité de débit et une tarification en fonction du débit demandé afin que des prix accessibles favorisent le développement du marché. On peut imaginer également, comme cela est disponible sur les réseaux fixes dans certains pays, que la tarification dépende également du niveau de qualité de service.

Il est également important que le GPRS et l'UMTS autorisent une tarification au volume, bien mieux adaptée à des services de navigation que la tarification actuelle GSM basée sur le temps de connexion. Aujourd'hui on paye pour le réseau mais pas pour le service. Il faudrait mettre en place des architectures kiosque comme celles disponibles sur le minitel.

Le coût de l'offre de services de navigation par GPRS est inférieur à celui de l'offre de ces services sur le GSM. Grâce aux nouvelles technologies, les opérateurs devraient donc pouvoir distribuer les marges avec les fournisseurs de services et de contenu de manière à favoriser le développement de ces derniers et à enclencher une dynamique gagnant-gagnant. Des architectures permettant de mettre en place une tarification différenciant la partie réseau de la partie service, telle quelle existe dans le minitel, doivent être déployées..

7.3.2 Quel avenir pour l'Internet mobile ? Un déploiement en deux étapes

Suite au boom du GSM et de l'Internet, il y a eu un grand enthousiasme autour de l'Internet mobile et donc de l'UMTS. Le prix des licences n'a pas été estimé trop déraisonnable au départ puisqu'il a été inclus dans des business plans qui prenaient en compte les marges des services du GSM appliquées à un contexte d'explosion du trafic Internet. Malheureusement, un facteur important a été négligé : on ne connaît pas de services Internet garantissant les marges des services GSM. Même si les idées de nouveaux services sont nombreuses (voir le chapitre 9), leur succès commercial n'est pas a priori garanti. S'agissant de services innovants, il faut du temps pour que leur marché se développe. Nous avons l'expérience du GSM : démarrage en '91, accélération en '94/'95 explosion seulement en '96/'97. On pourrait imaginer que les clients étant déjà habitués au mobile, le marché UMTS pourrait se développer plus vite. Malheureusement, l'utilisation des nouveaux services se fait à travers des interfaces homme-machine complètement différentes et requiert également des comportements et même parfois des modes de vie différents. En un mot, le passage de l'usage des services téléphoniques et de leurs dérivés à l'usage de services de données n'est pas évident chez l'utilisateur. On trouvera également dans le contexte UMTS un phénomène connu dans le GSM : il faut du temps pour réaliser une couverture significative et la valeur du service vis-à-vis du client augmente avec cette couverture. Le marché devrait s'accélérer uniquement à partir d'un certain niveau de couverture qui lui-même dépendra de la vitesse de développement du marché, d'où l'incertitude qui existe aujourd'hui sur l'avenir du marché UMTS.

Le succès des services mobiles au Japon ne devrait pas être pris comme référence. En effet, il y a, d'une part, une importante différence culturelle, notamment par rapport aux relations que les individus ont avec les nouvelles technologies et, d'autre part, parce qu'au Japon l'Internet fixe est bien plus cher qu'en Europe³⁴. De plus, l'offre japonaise présente une plus grande diversité de services ainsi que des terminaux avec une certaine ergonomie d'usage. Nous reviendrons dans la section 7.3.3 sur le cas japonais.

³⁴ Cela est lié à des problèmes de saturation des accès.

Le passage aux services de données mobiles ne s'est pas fait à travers le WAP sur GSM. La plus forte pénétration du WAP se trouve en Norvège (11%). En Espagne, le taux de pénétration est de seulement 3%. Plus inquiétant, une analyse réalisée par l'entreprise CIA Sensor, montre que, dans les 11 pays européens analysés plus les Etats Unis, 90% des personnes interrogées n'a pas envisagé d'avoir un accès aux services de données sur leurs mobiles.

En France, il existe 850 000 clients WAP actifs, ce qui représente un pourcentage à peine supérieur à celui de l'Espagne.

Néanmoins, ce chiffre peut être vu de manière optimiste. Depuis le lancement, en un an et demi, 3.5 millions de téléphones WAP GSM ont été vendus. Par rapport à ce chiffre, le taux d'utilisateurs actifs est bien plus important que celui cité. Actuellement, l'immense majorité des téléphones vendus est WAP GSM.

Cela est dû principalement aux problèmes de tarification et d'ergonomie, cités dans la section 7.1, qui n'ont pas permis que les changements comportementaux des usagers se produisent.

Les services UMTS seront nécessairement chers au départ, l'opérateur doit payer le coût du réseau et des licences, l'utilisateur devra payer le terminal. Il faut donc passer par une étape intermédiaire, le GPRS, afin de fournir des services à un prix qui autorise le changement de comportement requis chez les usagers. Il s'agit d'une sorte d'éducation du marché à l'usage des nouveaux services. Une tarification adaptée³⁵, une bonne qualité liée aux débits supérieurs à ceux du GSM, une meilleure ergonomie suite à des interfaces mieux adaptées et des services et contenus intéressants (voir le chapitre 9) peuvent être les éléments clés du succès du GPRS. A partir de là, un saut qualitatif pourrait justifier le passage à l'UMTS. En effet, certaines applications liées à la vidéo ou à l'affichage de cartes gagneraient en qualité grâce aux débits de l'UMTS. Sans doute on pourra concevoir des applications qui permettront d'utiliser tout le débit fourni par l'UMTS. La question qui reste ouverte est de savoir combien les usagers seront prêts à payer pour cette amélioration de la qualité et éventuellement pour des applications liées à la vidéo et si cela justifie un déploiement massif de la technologie. Nous ne croyons pas qu'une réponse puisse être apportée à cette question aujourd'hui.

Néanmoins, un certain optimisme a été apporté par le succès récent du SMS (messages courts), dont le trafic a explosé notamment chez les jeunes. L'événement « Loft Story » a engendré un trafic important même du WAP. Cela a permis à des usagers de comprendre l'intérêt de la technologie, ils ont donc développé un intérêt pour l'utiliser dans d'autres contextes. On comprend donc que le marketing des opérateurs aura un rôle très important dans le succès de ces technologies.

Finalement, pour ce qui est de l'UMTS, il n'est pas clair si les opérateurs auront une logique de masse (volume) ou une logique de rente (prix chers permettant de rentabiliser plus rapidement l'investissement initial, mais s'opposant à la croissance en volume et ne nécessitant donc pas une évolution de la capacité du réseau)

7.3.3 Le cas japonais et la quatrième génération

Le Ministère des Télécommunications japonais se prépare à attribuer 10 000 millions de dollars pour la recherche et le développement dans la 4^{ème} génération de réseaux mobiles. La

³⁵ Possible grâce à l'utilisation d'un mode paquet, comme nous l'avons déjà vu.

quatrième génération devrait, d'une part, offrir des débits de l'ordre de 10 fois supérieurs à ceux disponibles dans la troisième génération et, d'autre part, intégrer l'interopérabilité entre divers systèmes dont les réseaux locaux sans fil et Bluetooth³⁶.

On peut se questionner sur les raisons stratégiques d'un tel investissement ; elle semble être commerciale. Le Japon s'est donné les moyens d'être à la tête dans le marché mobile mondial et semble désirer conquérir ce marché. A titre d'exemple, la compagnie japonaise DoCoMo, deuxième opérateur mobile mondial, vient de signer un accord avec 3 importants opérateurs mobiles européens : E-Plus en Allemagne, KPN Mobile N.V. aux Pays Bas et KPN Orange en Belgique. Le contrat concerne la fourniture de la technologie utilisée aujourd'hui au Japon par cet opérateur, dont le succès de ses services (i-mode) de données mobiles est largement reconnu. Leurs points forts : l'image, des accords avec des fournisseurs de contenu, un système de facturation permettant de facturer pour compte de tiers.

Néanmoins, ce sont les technologies de réseau européennes qui devront être utilisées, ce qui limitera dans le court terme la flexibilité de déploiement de ces services, dont le succès est fortement lié à l'image. Ils ont peu de services sur marque propre, ce qui ne les permet pas de fidéliser facilement leurs clients.

Une offre complète devrait comporter des offres en marque propre, une approche kiosque et une approche navigation type Web.

En ce qui concerne la quatrième génération, le risque serait que la fenêtre temporelle de marché pour la troisième génération se réduise si, basée sur les solutions japonaises, la quatrième génération arrive avant que prévu, empêchant l'amortissement des investissements dans la troisième génération. Reste à voir si les annonces se concrétisent et si les difficultés technologiques sont résolues dans le moyen terme ce qui n'est pas possible de garantir.

Il est important de signaler, néanmoins, que les constructeurs japonais (et coréens) ont une avance en ce qui concerne les terminaux avec des écrans de qualité et, dans ce domaine, ils peuvent absorber une partie importante du marché des terminaux de la troisième génération..

³⁶ Bluetooth est une technologie qui permet de communiquer sur des distances de quelques mètres (voir dizaines de mètres) à des débits de l'ordre du Mbit/s. L'application est, entre autre, de faire communiquer entre eux l'ordinateur, le téléphone portable, l'agenda électronique et demain le DVD avec le téléviseur, etc.

8 La voix paquetisée et les NGN

8.1 *Perspective historique*

Historiquement, le trafic de données était négligeable par rapport au trafic téléphonique. De ce fait, même si des réseaux haut débit ATM, permettant le transport de tout type de trafic avec la QoS requise, ont été déployés, le trafic téléphonique a été maintenu sur le réseau téléphonique. En effet, le réseau téléphonique transporte de manière optimisée le trafic de voix à 64 Kbit/s et, ce trafic étant largement majoritaire, les facteurs d'échelle économiques ne justifiaient pas la migration.

Mais cette situation est en train de changer. D'une part, la forte croissance du trafic de données a mené les opérateurs à déployer des réseaux de paquets dont la capacité dépasse, ou dépassera dans un futur proche, celle du réseau téléphonique. De plus, le pourcentage de voix générée à 64 Kbit/s sur le volume total de trafic de voix diminue. En effet, les mobiles génèrent de la voix compressée, les nouvelles applications multimédia permettent la compression de la voix et les entreprises compressent la voix pour diminuer la bande passante qu'elles doivent acheter aux opérateurs dans le contexte d'interconnexion de sites, par exemple.

Le réseau téléphonique n'est pas optimisé pour le transport de la voix compressée et il n'est bien évidemment pas rentable de déployer des réseaux téléphoniques optimisés pour le transport de la voix compressée. La réponse au transport de la voix compressée est la voix paquetisée, autrement dit, le transport de la voix sur des réseaux à commutation de paquets (ATM, Frame Relay, IP, etc.).

Le réseau téléphonique commute (achemine) les octets de voix³⁷ eux-mêmes, tandis qu'un réseau à commutation de paquets commute des paquets, indépendamment de ce qu'ils transportent. De ce fait, les réseaux de paquets sont adaptés, a priori, au transport de tout type de voix, quel qu'il soit l'algorithme de compression et de codage de la voix utilisé.

Dans divers contextes il commence donc à être intéressant de transporter la voix paquetisée. La section suivante présente une synthèse des divers marchés pour la voix paquetisée.

8.2 *Voix et téléphonie sur des réseaux paquet*

On distingue les termes « voix sur paquets » et « téléphonie sur paquets ». Le premier concerne uniquement le transport de la voix et de la signalisation correspondante sur un réseau de paquets (entre un client et un réseau téléphonique ou entre deux réseaux téléphoniques, par exemple). Le deuxième terme concerne l'offre, par un réseau de paquets, de services téléphoniques. Dans ce dernier cas, à partir d'un terminal directement connecté au réseau de paquets, on peut établir des appels téléphoniques et avoir accès aux services à valeur ajoutée, tels que le renvoi d'appel, la messagerie vocale, le double appel, etc.

Les tarifs du trafic téléphonique international ne reflètent pas toujours les coûts. Cela est particulièrement vrai pour le trafic entrant dans des pays où la téléphonie internationale n'est pas en concurrence. Dans ces cas, il est économiquement intéressant pour un opérateur

³⁷ Un octet tous les 125 µs, ce qui est justement le trafic généré par un codeur de voix non compressée (voix MIC). Cela correspond à un débit de 64 Kbit/s, débit qui est à la base de l'architecture des réseaux à commutation de circuits.

généralant du trafic vers un tel pays, d'acheminer le trafic téléphonique entrant sur un réseau paquet jusqu'à une passerelle connectée au réseau national. Il s'agit d'une solution de voix sur paquets.

Dans le VoDSL basé sur l'architecture B-LES (voir la section 4.1.3), l'ATM n'est utilisée que pour transporter la voix entre les IAD³⁸ et la passerelle avec le RTC. Mais le réseau d'accès n'offre aucun service téléphonique. Il s'agit donc également d'une solution de voix sur paquets.

Les solutions de téléphonie sur paquets facilitent la mise en place d'applications convergentes dans le poste de travail. Elles peuvent faciliter à l'opérateur entrant la mise en place d'un bouquet de services intégrant services de voix et de données.

Outre ces exemples, on peut synthétiquement distinguer divers marchés pour la voix paquetisée :

- La voix paquetisée jusqu'au terminal
- L'interconnexion de sites d'entreprise
- La mise en place par un opérateur d'une boucle locale téléphonique
- L'évolution du backbone téléphonique
- L'offre par un opérateur de services téléphoniques et de convergence sur un réseau paquet

8.2.1 La voix paquetisée jusqu'au terminal

Dans ce contexte, la technologie sera de la téléphonie sur IP³⁹. En effet, l'ATM a perdu la bataille du poste de travail.

Le terminal peut être, soit un ordinateur disposant d'un logiciel de téléphonie, soit un ordinateur disposant d'une carte à laquelle on peut connecter un téléphone classique, soit d'un concentrateur disposant de plusieurs ports pour des téléphones classiques et d'un port vers le réseau Ethernet, soit un téléphone IP⁴⁰. Toutes ses options sont aujourd'hui disponibles sur le marché⁴¹. Le logiciel peut être gratuit ; un téléphone IP de qualité acceptable coûte aujourd'hui de l'ordre de 2500 Francs. Ce coût remplace celui du câblage téléphonique dans le cas d'un immeuble à câbler. Mais l'intérêt de la téléphonie sur IP jusqu'au poste de travail est la flexibilité que cette technologie offre pour la mise en place de nouveaux services convergents, dont nous pouvons citer à titre d'exemple :

- La Convergence Téléphonie Informatique (CTI) tel que le « screen pop-up » (quand on décroche, une page fournissant des informations sur l'appelant s'affiche).
- La messagerie unifiée (une seule messagerie pour le téléphone, les méls (« e-mails »), les fax, etc. Ce service peut également intégrer la lecture des méls afin de pouvoir les consulter par téléphone et/ou la reconnaissance vocale pour l'envoi en mode texte des messages vocaux.

³⁸ Un IAD (Integrated Access Device) est un équipement qui offre des ports voix et des ports données côté usager et un port, souvent haut débit (xDSL, BLR, etc.), vers le réseau de l'opérateur.

³⁹ Ce qui n'empêche que l'IP ne puisse être transporté sur ATM dans le réseau d'accès. Il s'agit dans ce cas de la voix sur IP sur ATM et non pas de la voix sur ATM.

⁴⁰ Equipement semblable à un téléphone classique, que l'on connecte directement au réseau de données.

⁴¹ Néanmoins, elles commencent à peine à devenir matures et présentent souvent des problèmes de qualité et d'interopérabilité.

- Un accès simplifié par page Web aux différentes fonctions offertes par le système (renvois d'appel, doubles appels, « click-to-call », etc.).
- Le centre d'appel Web (« Web Call Center ») permettant la gestion évoluée d'appels, dans une réception, par exemple.

Diverses solutions sont disponibles sur le marché pour introduire la téléphonie sur IP dans l'entreprise :

- Les IPBX. Ici le PABX est remplacé par un serveur connecté au réseau local, qui gère la signalisation de contrôle des appels et les services. Les flux de voix sont échangés sur le réseau local directement entre les terminaux, sans passer par le serveur. L'IPBX contient également une passerelle vers le RTC pour les appels sortants vers ce dernier (dans ce cas, les flux de téléphonie le traversent).
- Les PBXIP. Il s'agit d'un PABX classique avec un port lui permettant de se connecter au réseau local. Ainsi, il peut, d'une part, gérer des terminaux IP et, d'autre part, être connecté avec des PBXIP de l'entreprise se trouvant sur d'autres sites (VPN de téléphonie, concept défini dans la section suivante) à travers un réseau de données.
- Le centrex IP. Cette solution ressemble à l'IPBX dans le sens où la signalisation de contrôle des appels et les services sont gérés par un serveur. La différence est que ce serveur appartient à un fournisseur de services et donc les services sont offerts en mode ASP (Application Service Provider, voir la section 9.2.8). Le serveur étant mutualisé, les coûts diminuent, ce qui permet à des petites entreprises de disposer des services évolués comme ceux cités plus haut à un prix accessible.

Des solutions existent sur le marché pour les trois cas de figure. Les solutions IPBX restent pour l'instant chères (de l'ordre de deux fois plus chères qu'un PABX). Les solutions PBXIP utilisent souvent des protocoles propriétaires issus des protocoles de signalisations utilisés par les différents constructeurs dans leurs PABX. Les solutions en mode ASP sont jeunes et pour l'instant elles sont fournies uniquement par des « start-ups ».

8.2.2 L'interconnexion de sites d'entreprise

Un deuxième exemple concerne l'interconnexion des sites d'une entreprise. Historiquement, l'entreprise achetait de la bande passante pour interconnecter ses réseaux de données et en parallèle et de manière indépendante, de la bande passante pour interconnecter ses PABX (centraux téléphoniques). Le coût engendré par cette approche peut être diminué. En effet, en transmettant la voix paquetisée, le trafic téléphonique et le trafic de données sont multiplexés sur la même bande passante engendrant ainsi une réduction de coûts pour l'entreprise. De plus, ce multiplexage est flexible, le partage étant dynamique en fonction des volumes de trafic respectifs à chaque instant.

Plus précisément, les entreprises utilisaient des liaisons louées pour interconnecter leurs sites. Dans un premier temps, deux liaisons louées étaient utilisées entre deux sites, une pour interconnecter les réseaux locaux (on parle de VPN de niveau 1, voir la section 9.2.1 pour plus de détails sur les VPN) et une deuxième pour interconnecter les PABX (centraux téléphoniques). Des solutions sont apparues permettant de multiplexer les deux trafics sur la même liaison louée. Le partage est fixe, une partie de la bande passante étant dédiée à la téléphonie indépendamment du trafic. L'interconnexion des réseaux locaux a évolué vers du Frame Relay (FR). Ainsi, la liaison louée est locale jusqu'à un point de présence d'un fournisseur Frame Relay et le coût global de l'interconnexion diminue (on parle de VPN de

niveau 2). La technologie Frame Relay est remplacée par l'ATM quand les débits sont élevés (cela reste du VPN de niveau 2). Des solutions existent pour multiplexer voix et données sur Frame Relay et sur ATM, avec un partage plus dynamique de la bande passante disponible.

Une autre solution pour le transport de la voix est d'utiliser des PBXIP ou des IPBX et de transporter la voix sur IP sur ATM ou sur FR.

Finalement, quand les VPN de niveau 3 seront disponibles avec la QoS requise, on pourra se passer de l'ATM et du Frame Relay. Tout au plus, les connexions FR et ATM seront locales jusqu'au point de présence d'un fournisseur de services de VPN IP.

8.2.3 Evolution des réseaux téléphoniques d'opérateur, vision d'ensemble et introduction aux NGN.

Dans un réseau téléphonique, on distingue au moins trois types de commutateurs. Les commutateurs d'accès auxquels sont rattachés les usagers⁴², les commutateurs de transit⁴³ qui acheminent les appels entre les commutateurs d'accès et les commutateurs de transit internationaux⁴⁴ qui donnent accès au réseau téléphonique international.

La voix paquetisée peut être utilisée pour :

- Remplacer uniquement le réseau d'accès jusqu'au commutateur d'accès
- Remplacer uniquement le cœur de réseau, c'est à dire les centres de transit
- Remplacer les deux derniers
- Remplacer l'ensemble du réseau, voire construire un nouveau réseau
- Autres

Dans les trois premiers cas indiqués, le commutateur d'accès n'est pas changé. Celui-ci donne ainsi accès à l'ensemble des services existants, y compris ceux du réseau intelligent. On transmet de la voix paquetisée dans certaines parties du réseau, mais l'offre de services ne change pas.

Des changements plus profonds peuvent avoir lieu dans l'architecture du réseau. Un commutateur téléphonique est constitué de deux parties principales. Une partie matérielle (hardware) qui se charge de l'acheminement des octets de voix entre la source et la destination. Une partie logicielle (software) qui se charge de gérer la signalisation et les services. Les deux parties sont historiquement co-logées dans le même équipement ; on peut imaginer de les séparer. La partie logicielle est alors placée dans un serveur qui contrôle plusieurs parties matérielles en même temps (d'où l'intérêt, notamment économique, d'une telle séparation). De plus, la fonction réalisée par la partie matérielle, c'est à dire l'acheminement des flux, peut être fournie par un réseau en mode paquet, ce qui mène vers la convergence voix/données.

Ce type d'architecture est souvent appelée « Next Generation Network » (NGN).

Ainsi, on n'a plus besoin des commutateurs d'accès. On se trouve donc dans le quatrième cas de la liste précédente. En effet, les clients accèdent à la partie logicielle, souvent appelé « soft-switch », pour demander l'accès aux services. Par exemple, quand un client demande une communication vers un correspondant au soft-switch, ce dernier lui indique quelle est l'adresse destinataire dans le réseau de paquets et la source émet donc les paquets transportant la voix vers cette destination. Les flux d'information, la voix notamment, sont véhiculés

⁴² Ils sont également appelés commutateurs locaux et en France on les connaît également comme Centres à Autonomie d'Acheminement (CAA), d'après la terminologie utilisée par France Télécom.

⁴³ Egalement appelés Centres de Transit (CT)

⁴⁴ Egalement appelés Centres de Transit Internationaux (CTI)

directement sur le réseau de paquets (IP par exemple) de bout en bout. Le soft-switch peut implémenter des services autres que les services de voix, on a donc une évolution naturelle vers la convergence des services. Faire de la téléphonie revient à introduire un serveur spécifique dans le plan de service du réseau de paquets. On imagine donc un réseau Internet disposant, outre des serveurs Web, des serveurs « soft-switch » pour faire de la téléphonie.

Une passerelle avec le RTC permet l'interconnexion des deux réseaux téléphoniques (le RTC et le réseau de téléphonie sur paquets).

Ces diverses idées sont déclinées, dans des exemples plus précis, dans les sections suivantes.

8.2.4 La mise en place par un opérateur d'une boucle locale téléphonique

L'architecture B-LES (voir la section 4.1.3), que nous avons introduite dans le contexte des réseaux d'accès xDSL, s'applique à tout type de réseau d'accès y compris la BLR. La seule condition est que l'ATM soit utilisée.

Dans l'architecture en question, le réseau de paquets ne fait que transporter la téléphonie classique entre les usagers et le RTC.

Une deuxième approche consiste à offrir des services téléphoniques sur le réseau de paquets. De la même manière qu'on dispose sur l'Internet de serveurs Web, on peut disposer de serveurs offrant des services téléphoniques. Nous avons vu qu'on les appelle des « soft-switches ». Ils gèrent la signalisation téléphonique et les services associés. Les solutions de ce type sont moins matures et n'autorisent pas aujourd'hui un déploiement de masse. Elles sont utilisées notamment dans le contexte de centrex IP cité dans la section 8.2.1.

8.2.5 L'évolution du backbone téléphonique

On peut également introduire un réseau de données dans le cœur du réseau téléphonique, soit afin de bâtir un réseau, soit parce que le réseau est saturé et qu'on dispose d'un réseau de données qui lui a de la capacité. Les commutateurs locaux ne sont plus interconnectés à travers des centres de transit, mais à travers un réseau de paquets (ATM ou IP, par exemple). Si on veut que la capacité du réseau de données s'adapte dynamiquement aux besoins du trafic téléphonique (ce que l'on appelle le trunking dynamique), une évolution des normes de signalisation de cœur de réseau téléphonique est nécessaire. Les normes sont prêtes pour le cas ATM (norme UIT Q.1901) et en cours de préparation pour le cas IP. Par contre, l'implémentation de ces solutions n'est pas mature.

8.2.6 L'offre par un opérateur de services téléphoniques et de convergence sur un réseau de paquets

L'offre par un opérateur de services téléphoniques et de convergence sur un réseau de paquets requiert le déploiement des soft-switches cités précédemment. La question qui se pose est celle de la migration. Les services existants, fournis par le réseau intelligent (numéros 800, etc.), doivent être maintenus. Donc, les soft-switches doivent pouvoir inter-opérer avec le réseau intelligent et cela n'est pas encore mature dans l'industrie. Comme cité précédemment, les solutions existantes s'adaptent bien à des offres précises comme celle de Centrex IP pour PME/PMI.

8.3 Les architectures de téléphonie sur IP et l'évolution vers les NGN

Les architectures existantes de téléphonie sur ATM ont pour but le transport de la voix et non pas l'offre de nouveaux services au client final. Autrement dit, le client final voit les services téléphoniques classiques, sur des interfaces classiques et sur des terminaux classiques ; l'opérateur utilise l'ATM pour transporter la voix et la signalisation correspondante. Ainsi, la solution, déjà présentée, B-LES de VoDSL, qui est basée ATM, ne fait qu'émuler une boucle locale téléphonique classique, sa présence est transparente aux usagers. Par contre, en téléphonie sur IP, diverses architectures pour l'offre *native* de services téléphoniques sur IP sont disponibles.

La première à être normalisée et la plus déployée est l'architecture H.323, normalisée à l'UIT. Il s'agit de la seule architecture pour laquelle on dispose aujourd'hui d'implémentations matures. Néanmoins, les versions implémentées de cette architecture⁴⁵ sont fortement inspirées de l'approche RTC en termes de signalisation.

L'IETF travaille en parallèle sur une autre approche, basée sur un protocole de signalisation appelé SIP (Session Initiation Protocol). On ne dispose pas d'implémentations industrielles matures de cette solution.

On peut trouver diverses comparaisons entre ces deux approches dans la littérature. Nous ne les considérons pas très pertinentes en ce qui concerne l'analyse de l'évolution du marché. En effet, nous ne croyons pas que le choix final sera basé sur des arguments techniques. De notre point de vue, du fait que le protocole SIP puisse être utilisé comme protocole de signalisation pour tout type d'application et que les concepteurs de nouvelles applications se basent en général sur les piles de protocoles de l'Internet, l'architecture SIP s'imposera à terme, même si elle n'est pas nécessairement la meilleure approche pour faire de la téléphonie.

Dans les deux architectures, on trouve au moins les trois types d'équipements suivants : les terminaux, les serveurs qui ont l'intelligence de gérer la signalisation et les services et les passerelles (souvent appelées selon leur nom en anglais « gateways ») qui permettent l'interconnexion avec le RTC afin que des appels soient possibles entre terminaux de téléphonie sur IP et de téléphonie classique.

Nous ne rentrerons pas ici dans le détail de ces divers équipements. Néanmoins, il est important de présenter un nouveau concept qui, lui, est né de l'évolution de l'architecture des passerelles que nous venons d'introduire.

Imaginons qu'on veuille éviter de subir la tarification téléphonique nationale et internationale. Pour cela, il est nécessaire de déployer une passerelle dans chaque ville. Ainsi, les appels destinés à un téléphone du RTC sont acheminés sur IP jusqu'à une passerelle proche de la destination et seulement une communication locale est établie sur le RTC. Cela requiert le déploiement d'un nombre important de passerelles et représente donc un coût important. Une passerelle est composée de deux parties. Une partie « intelligente » qui se charge de la traduction des signalisations entre la téléphonie RTC et la téléphonie sur IP et une deuxième partie qui se charge du transcodage de la voix⁴⁶. Ces deux parties sont implémentées sur un

⁴⁵ La version la plus souvent implémentée par les constructeurs est la version 2. La normalisation est en cours de finaliser la version 4.

⁴⁶ Le codage de la voix est souvent différent en téléphonie classique et en téléphonie sur réseaux de paquets. Dans ce dernier cas, on fait appel souvent à la compression de la voix. De plus, la manière dont les octets de voix

même équipement. Afin de diminuer le coût de déploiement, il est intéressant de séparer ces deux fonctions et de centraliser la partie intelligente dans un serveur (appelé MGC, « Media Gateway Controller ») qui contrôlera les divers dispositifs responsables du transcodage (appelés MG, Media Gateway) qui eux ne peuvent pas être centralisés ; ils doivent se trouver à chaque point d'interconnexion entre le RTC et le réseau de paquets. Un protocole est donc nécessaire afin que le MGC communique avec les MG qu'il contrôle. Plusieurs propositions de protocoles ont été faites, dont MGCP (Media Gateway Control Protocol) pour lequel on dispose de certaines implémentations. Finalement, suite à un travail commun entre l'UIT et l'IETF, un protocole a été normalisé ; il s'agit de la norme H.248 de l'UIT, connue sous le nom MEGACO à l'IETF.

Ce protocole permet le contrôle de passerelles de tout type. Remarquons qu'un téléphone est une passerelle entre la voix humaine et la voix numérisée sur IP par exemple. Un téléphone peut ainsi être contrôlé par une MGC. Si celle-ci intègre des fonctions lui permettant d'offrir des services évolués (par opposition au simple établissement de connexions), elle devient un soft-switch. Cela représente donc une troisième architecture de téléphonie sur IP (par rapport à H.323 et à SIP). Elle permet d'avoir des téléphones plus simples et moins chers. A titre de comparaison, un téléphone IP H.323 ou SIP ressemble à un téléphone RNIS dans le sens où il traite la signalisation et dispose donc d'une certaine intelligence. Un téléphone contrôlé par H.248 ressemble à un téléphone analogique dans le sens où ce dernier ne dispose d'aucune intelligence, il est contrôlé par son commutateur de rattachement.

Les architectures du type H.248/MEGACO peuvent donc être utilisées en complément de H.323 et de SIP (implémentation des passerelles) ou toutes seules selon les usages. Elles devraient permettre à terme, quand on disposera sur le marché d'implémentations matures et robustes, de réduire le coût de déploiement de la téléphonie sur IP ainsi que celui de certains types de terminaux.

Le terme NGN est aujourd'hui utilisé pour toute architecture utilisant des technologies innovantes, mais, historiquement, il faisait référence aux architectures que nous venons de décrire, basées sur un contrôle centralisé par rapport au contrôle distribué dans les équipements de réseau utilisés dans le RTC.

8.4 Existe-t-il un marché ?

Les architectures de téléphonie sur réseau de paquets se développent plus lentement que prévu.

On observe un usage non professionnel de la téléphonie sur Internet d'ordinateur à ordinateur basée sur des logiciels souvent gratuits. La qualité est très aléatoire, l'usage est donc dans un contexte résidentiel pour des appels considérés comme peu importants ou pour lesquels la perte de qualité se justifie par le prix élevé d'un appel international sur le RTC.

On constate également des déploiements de téléphonie sur IP par des opérateurs pour l'internationale, notamment pour l'acheminement du trafic dans le contexte de certains opérateurs de cartes pré-payées. Cet usage vise une niche de marché qui diminue suite à la baisse des tarifs de téléphonie internationale qui réduit les marges. Souvent des réseaux IP ad-hoc sont déployés pour ne pas subir les aléas de l'Internet en termes de QoS.

sont structurés pour le transport est également différente dans les deux cas. La passerelle est responsable des traductions nécessaires.

Le marché de la téléphonie sur IP commence à se développer également dans les entreprises. Pour l'instant, il se base souvent sur des solutions propriétaires qui n'apportent pas en général une évolution importante en termes de services à valeur ajoutée. Elles permettent une réduction de coût, notamment en ce qui concerne l'interconnexion de sites.

Des solutions en mode ASP apparaissent de nos jours. Elles sont particulièrement intéressantes pour les PME/PMI qui ne doivent pas investir dans des équipements, faire appel à un intégrateur, etc. A partir d'un accès haut débit à l'Internet (xDSL, BLR, etc.), elles se connectent sur une plate-forme de services centralisée et mutualisée qui leur offre de manière convergente l'ensemble des services dont elles ont besoin de manière convergente.

En ce qui concerne la voix à l'accès sur xDSL et sur BLR, des solutions industrielles commencent à apparaître. Le marché semblait décoller aux Etats Unis mais a été retardé par la conjoncture actuelle. Les opérateurs les plus intéressés, c'est à dire les alternatifs, n'ont pas toujours les moyens d'investir dans des nouvelles technologies. En France, ces solutions pâtissent du retard pris par le dégroupage effectif et le déploiement de la BLR. Les opérateurs de BLR vont proposer les services de voix dans un deuxième temps, après l'accès à l'Internet et les liaisons louées.

Même si le marché a été ralenti par rapport aux attentes, de notre point de vue, l'évolution est inéluctable. Cela ne veut, en aucun cas, dire que le RTC va disparaître à moyen terme. Nous aurons de la commutation de circuits dans les réseaux pendant au moins la prochaine décennie. Par contre, les investissements sur cette technologie vont diminuer significativement. Insistons sur le fait qu'on attendait une telle diminution pour cette année et que suite au manque de maturité du marché, certains opérateurs alternatifs décident encore de déployer des réseaux à commutation de circuits.

A plus long terme, plus que d'une évolution d'architecture de réseau, il faudrait parler d'une évolution de la téléphonie telle que nous la connaissons. En effet, les communications de voix seront intégrées dans d'autres applications, dont la plus naturelle est la visioconférence, mais aussi dans des applications de convergence voix/données, comme celles citées dans le chapitre 9. A terme, le réseau téléphonique n'aura plus d'existence propre, il sera intégré dans un réseau plus large, multiservice, afin d'assurer la migration vers l'objectif cité.

9 Evolution de l'offre de services

L'évolution de l'offre de services sera l'élément déterminant de l'évolution du marché des télécommunications. Les chapitres précédents montrent que la technologie ne sera pas un point bloquant de cette évolution. Le problème est de savoir quels sont les services qui dégageront les marges nécessaires pour justifier le déploiement des technologies et des architectures présentées.

Nous présentons par la suite des services que nous considérons peuvent être importants dans divers marchés. En particulier, dans la section 9.3 nous présentons des services qui peuvent profiter de la mobilité.

9.1 Besoins génériques

Indépendamment des services eux-mêmes, on peut souligner des besoins génériques des usagers :

- Simultanéité des services : l'usage d'un service ne doit pas bloquer l'usage simultané d'autres services.
- Accès intégré aux divers services sur une même interface avec le réseau.
- Convergence entre services (messagerie unifiée, click-to-dial, etc.)
- Auto-provisionnement : capacité de contrôler le provisionning de services (par exemple, un client peut se créer une nouvelle ligne téléphonique sur VoDSL en cliquant sur une icône).
- Provisionning instantané : dans l'exemple précédent, la ligne est disponible immédiatement.
- Capacité de personnaliser les services.
- Minimiser les équipements matériels requis pour avoir accès aux divers services.
- Au niveau transport : la qualité de service et les VPN (définis plus bas).

9.2 Quels services ?

9.2.1 Services de transport : Evolution des VPN

Le terme français, peu utilisé, pour VPN (Virtual Private Network) est RPV (Réseau Privé Virtuel). Le mot « privé » indique que seuls des membres bien définis d'un groupe peuvent être connectés au réseau (contrairement à un réseau public pour lequel, moyennant l'acquittement du prix de son utilisation, tout le monde a le droit de s'y connecter). Le terme « virtuel » indique qu'il n'y a pas une infrastructure dédiée au réseau. En fait, divers réseaux privés et publics peuvent partager la même infrastructure, mais les membres d'un VPN ont l'impression de se trouver seuls sur le réseau. Les VPN présentent un intérêt particulier pour l'interconnexion de sites d'entreprise.

Historiquement, les entreprises utilisaient des liaisons louées pour interconnecter leurs sites. Ces liaisons étaient déployées par l'opérateur sur la même infrastructure physique que leur réseau téléphonique. L'interconnexion maillée de plusieurs sites nécessite dans ce contexte

d'une liaison louée par couple de sites, ce qui est très coûteux. Cela requiert une interface par site distant dans l'équipement d'interconnexion de chaque site et implique, par ailleurs, une facture de télécommunications élevée. On parle dans ce contexte de VPN de niveau 1.

Suite au déploiement par les opérateurs de réseaux de paquets, tels que Frame Relay et ATM, les VPN de niveau 2 sont apparus. Ici, chaque site client dispose d'une unique liaison louée courte distance ou d'autre moyen d'accès au point de présence de l'opérateur Frame Relay ou ATM. Sur cette liaison unique, il est capable d'établir diverses connexions FR ou ATM vers les sites distants. On dispose toujours de connexions point à point entre les sites à interconnecter, mais ce sont des connexions dites virtuelles (en mode paquet) sur lesquelles on a une grande flexibilité pour allouer de la bande passante. Ces connexions permettent un degré de concentration élevé : les connexions des diverses entreprises n'étant pas utilisées toutes en même temps à leur capacité maximale, l'opérateur peut déployer une capacité inférieure à la somme des débits achetés par les clients. La gestion des diverses connexions peut être lourde.

Avec le déploiement massif de réseaux IP, la notion de VPN de niveau 3 est apparue. Ici, le client requiert uniquement un moyen d'accès au point de présence du réseau IP de l'opérateur et il envoie simplement ces paquets avec un adressage éventuellement privé. Le réseau IP de l'opérateur interprète l'adressage de son client et achemine les paquets vers le site destinataire. Cela simplifie a priori la gestion, elle est automatisée, grâce, notamment, à une évolution des protocoles de routage des paquets IP, concept technique que nous ne pouvons pas décrire ici. Cette solution est moins lourde en termes de gestion ; néanmoins, on perd le degré de sécurité et de qualité de service apportés par une technologie comme l'ATM. La mise en place des réseaux MPLS (voir la section 5.2) devrait à terme palier à faible coût à ces inconvénients. La sécurité peut être traitée au niveau 3 par une architecture dite IPSec qui permet d'authentifier les membres du VPN et de crypter les informations échangées (on parle de VPN sécurisé).

9.2.2 Les services directement liés à la vidéo

On attend depuis de longues années l'explosion du trafic de vidéo et cela n'est toujours pas arrivé.

En ce qui concerne la vidéoconférence, des applications existent depuis longtemps sur le RNIS. Malheureusement, sur les accès de base (2B+D) la qualité a longtemps été très pauvre, elle ne s'est améliorée que très récemment et les clients attendent maintenant des applications sur des technologies de réseau plus innovantes. Sur les réseaux ATM, on dispose d'applications d'excellente qualité, mais les équipements sont chers et les accès à des réseaux ATM rares. En ce qui concerne la vidéoconférence sur IP, le problème majeur est le manque de qualité de service dans le réseau. Des applications de bonne qualité commencent à être disponibles sur le marché. Dès que la qualité de service de l'Internet sera suffisante, le trafic lié à ce type d'applications devrait augmenter significativement. En conséquence, les opérateurs doivent pouvoir mettre en place des services avec différents niveaux de qualité et avec une tarification qui soit fonction du niveau demandé. On devrait voir l'usage de ces applications se multiplier sur les VPN IP avec qualité de service contrôlée.

La distribution de vidéo sur les réseaux de paquets est une réalité aujourd'hui. A titre d'exemple, rappelons que de nombreuses conférences sont aujourd'hui diffusées sur

l'Internet. On retrouve, toutefois, le problème de qualité de service cité. Dans le contexte du projet VTHD⁴⁷ (voir www.vthd.org), une expérimentation de distribution de télévision a été réalisée avec succès.

Nous avons parlé dans la section 4.3 de la NVoD et de la VoD. Nous disions que la NVoD, service de distribution, existe déjà sur le câble. En ce qui concerne la VoD, dès que le taux de pénétration est important, les débits requis sont extrêmement élevés. Le prix des serveurs de VoD, même s'il a baissé, reste élevé. De ce fait, nous ne voyons pas de grands projets de VoD dans le court terme.

Par contre, on peut imaginer d'autres applications de vidéo interactive, avec des séquences courtes (clips) ne requérant pas une importante qualité. Ainsi, on peut imaginer le développement de la vidéo interactive dans le contexte du commerce électronique, par exemple (vente de séjours touristiques, etc.).

9.2.3 Télé-médecine

Diverses applications de télé-médecine peuvent être imaginées. Citons d'abord le diagnostic à distance. Cela requiert une vidéoconférence de qualité, de préférence en vision stéréophonique.

Les images médicales doivent être transmises sans aucune erreur et donc la compression n'est pas possible, on se retrouve donc avec des volumes d'information très importants à transmettre.

Finalement, des recherches sont faites sur le déport du geste médicale. Des systèmes se mettent en place permettant de transmettre la sensation de touché et des robots de support au geste chirurgical existent. Aujourd'hui, les robots sont contrôlés en local, on peut imaginer que demain ils le soient à distance (voir le site VTHD cité précédemment).

Dans certains pays scandinaves l'usage de la télé-médecine, notamment pour ce qui est du diagnostique à distance, est courant.

9.2.4 Télé-enseignement

Des applications permettant de suivre des formations à distance, intégrant la navigation d'un hypermédia avec des animations en réalité virtuelle, des images, vidéo et texte, existent. L'apprenant peut, en cliquant sur une icône, rentrer en communication par vidéoconférence avec un encadrant. Des réunions en vidéoconférence peuvent être prévues pour le travail en groupe (voir VTHD).

9.2.5 Calcul distribué

Il est aujourd'hui bien compris qu'on dispose d'une puissance gigantesque de calcul non utilisée à travers les PC souvent éteints à travers le monde entier. Cela ouvre les portes à des multitudes d'applications.

Plus concrètement, on peut citer une application industrielle de calcul distribué. Certaines applications, comme le calcul d'images, peuvent requérir une puissance de calcul que la

⁴⁷ VTHD (Vraiment Très Haut Débit) est un projet RNRT (Réseau National de la Recherche en Télécommunications), financé par le Ministère de l'Industrie dont les partenaires sont France Télécom R&D, le GET et l'INRIA. Il concerne le déploiement en France d'un réseau IP sur WDM auquel les sites partenaires (une quinzaine) accèdent à un débit de 1 Gbit/s et sur lequel diverses applications innovantes, dont certaines sont citées dans ce chapitre, ont été déployées.

plupart des entreprises ne peuvent pas payer. On peut donc imaginer un fournisseur de puissance de calcul et un deuxième fournisseur de mise en forme d'images. Ainsi, une entreprise cliente envoie un calcul à faire à un fournisseur de puissance de calcul qui envoie l'image calculée à un troisième acteur pour sa mise en forme, ce dernier envoyant l'image demandée au client. Dans les expérimentations VTHD, des débits de 700 Mbit/s ont été générés par des applications de ce type. Nous voyons donc que les besoins de débit peuvent être très importants. On arrivera vraisemblablement toujours à remplir les tuyaux des réseaux de télécommunications, aussi larges soient-ils.

9.2.6 Réalité virtuelle

Le travail en groupe par CAO en utilisant des espaces virtuels, dans lesquels des membres du groupe de travail agissent sur un espace virtuel commun, sont aujourd'hui une réalité en laboratoire (voir VTHD pour un exemple dans le contexte de l'industrie automobile).

De même, la qualité des galeries marchandes virtuelles s'est beaucoup améliorée les dernières années. Ces galeries permettent à un usager de se promener et de rencontrer dans un espace virtuel ceux qui se trouvent dans le même magasin que lui. Il peut ainsi, par exemple, discuter avec un vendeur et acheter les produits présentés.

9.2.7 Commerce électronique

Nous venons de citer une application innovante de commerce électronique. Le commerce électronique est en croissance y compris en France, même si le retard est important par rapport aux attentes. La peur de la fraude est souvent mise en avant pour justifier ce retard. Néanmoins, quand on regarde les statistiques récentes en France, on observe que le commerce électronique se développe surtout dans l'achat de billets de train ou d'avion, voir de livres ou CDs. La croissance est très concentrée sur ces marchés, ce qui laisse penser que le problème n'est pas tellement le manque de confiance par rapport aux problèmes de sécurité, mais qu'il s'agit plutôt de la vitesse de changement de comportement et de mode de vie des acheteurs qui préfèrent naturellement une approche d'achat « plus conviviale ». Le commerce électronique se développe également là où il apporte une valeur ajoutée claire : l'achat de séjours de vacances à la dernière minute à des prix extrêmement bas, par exemple.

9.2.8 L'offre de services de télécommunications en mode ASP

Un grand nombre de services et d'applications pour lesquels usuellement une entreprise aurait besoin de ressources spécifiques, peuvent être offerts en ligne à travers d'une plate-forme mutualisée entre plusieurs clients.

Dans la section 8.2.1, nous avons donné l'exemple du centrex IP que nous détaillons ici. Usuellement, une entreprise a besoin de téléphonie. Elle doit donc acheter ou louer un PABX dont le prix augmente avec les fonctionnalités offertes (telles que la messagerie vocale). Elle a également besoin d'Internet et donc des accès et, éventuellement, des serveurs correspondants. Elle doit donc s'adresser à un opérateur de télécommunications et à un ISP pour les accès. Aujourd'hui, elle peut avoir accès à tous ces services en ligne, y compris la téléphonie. Il suffit de disposer d'un accès à l'Internet haut débit afin d'atteindre une plate-forme de services d'un ASP Télécom qui offrira tous ces services en ligne et de manière convergente (messagerie unifiée, screen pop-up, re-direction automatique des appels, convergence avec le gestionnaire de contacts de l'entreprise, l'agenda partagé, etc.). Un membre de l'entreprise aura l'impression d'avoir son bureau là où il se trouve, il suffit pour cela qu'il dispose d'un accès au réseau.

Les divers exemples de services présentés dans les sections précédentes montrent qu'il est possible de mettre en place un large spectre d'applications à forte valeur ajoutée qui nécessitent des nouvelles technologies présentées dans ce document. La question est de savoir si le marché va se développer pour ces applications et à quelle vitesse.

9.3 Les services qui tirent profit de la mobilité

Certains services sont particulièrement intéressants dans un contexte de mobilité, nous en donnons ici quelques exemples qui peuvent favoriser le développement du marché du GPRS dans un premier temps et, éventuellement, de l'UMTS dans un deuxième temps.

9.3.1 Services liés à la géolocalisation

La géolocalisation concerne, par exemple, l'obtention d'informations qui sont pertinentes selon l'endroit où on se trouve. Cela peut correspondre à des services de proximité : recherche d'une pharmacie, d'un hôpital, d'un bureau de police, etc.

On peut imaginer qu'un usager puisse définir un profil à travers le Web sur un poste fixe ou mobile. Par exemple, il indiquera qu'il aime visiter des châteaux et le système l'informerait à chaque fois qu'il passe à proximité d'un château.

Egalement, la recherche d'un chemin peut se faire sans avoir à indiquer le point de départ.

L'intérêt est donc d'avoir accès partout et à tout moment (notion de mobilité) à des informations adaptées à la localisation.

9.3.2 Messagerie unifiée, multimédia

La messagerie unifiée concerne notamment la possibilité de recevoir ces courriers électroniques sur le mobile et, éventuellement, que ces messages soient lus par synthèse vocale. La messagerie pourrait être multimédia, intégrant des séquences vidéo (cela requiert des terminaux équipés d'une caméra pour émettre, d'un écran adapté et d'une capacité de traitement importante).

Ces services doivent être pris sérieusement en compte, on observe que 50% des usagers du WAP utilisent cette interface pour lire leurs mails. Il est important de disposer des règles de filtrage efficaces.

9.3.3 SMS CB (Cell Broadcast)

Ce service consiste en la diffusion par messages courts (SMS), sur des cellules localisées, d'une information donnée. En fait, il s'agit de multicast, l'information est diffusée uniquement à ceux qui se sont abonnés à un canal. Suite à la réception du SMS l'utilisateur peut avoir la possibilité de se connecter à un service de vente en ligne.

9.3.4 M-commerce, Mobile commerce.

Depuis deux ans, on peut commander des articles et payer par CB sur des terminaux mobiles disposant d'un lecteur de cartes.

Dans le futur (fin 2002 début 2003), on pourra effectuer des transactions sécurisées avec échange de clés permettant l'authentification et la certification entraînant des transactions non répudiables (PKI Mobile trust).

Un autre exemple est la commande en ligne sur des comptes prépayés. Aujourd'hui, cela s'applique uniquement à la vente en ligne, mais il est possible de mettre en place des portefeuilles électroniques. Aujourd'hui, le service est disponible seulement pour des micro-achats parce que les achats sont répudiables.

9.3.5 Amélioration des services WAP actuels

Des services existants, comme la recherche d'une route, seront disponibles à travers des interfaces de meilleure qualité. Pour l'exemple cité, les images seront meilleures et on pourra entrer des informations telles que le point d'arrivée en cliquant sur l'écran. Le guidage pourrait être fait par commande vocale.

9.3.6 Jeux

Les jeux en ligne peuvent être des jeux de groupe et peuvent prendre en compte la localisation. Cela pourrait être un produit d'appel pour habituer les clients à l'usage des services mobiles à valeur ajoutée.

9.3.7 Téléchargement

Le téléchargement de musique devient d'autant plus intéressant que l'on dispose aujourd'hui des lecteurs MP3 intégrés dans certains mobiles de dernière génération.

9.3.8 Groupware

Notamment, la synchronisation avec l'agenda partagé de l'entreprise, l'accès au gestionnaire de contacts, le screen pop-up, etc.

9.3.9 SMS interactif

Le récepteur d'un SMS requérant une réponse immédiate peut répondre instantanément (OK ou pas sur une alerte boursière, par exemple). Cette approche est moins flexible que le WAP mais ne requiert pas une connexion.

9.3.10 Services avec tiers parties

On peut imaginer de nombreux services offerts en ligne par un tiers. Donnons un exemple lié à l'industrie automobile. Actuellement, les voitures doivent passer des contrôles périodiques. Cela ne semble plus nécessaire. La voiture pourrait envoyer des informations sur diverses mesures à un serveur centralisé qui déciderait le moment où un contrôle est nécessaire. Lié à la géolocalisation, un tel service pourrait déclencher automatiquement des actions en cas de panne ou accident.

9.3.11 Quel besoin pour l'UMTS ?

On observera que le débit disponible sur le GPRS est suffisant pour un grand nombre des services et des applications cités. Certes l'UMTS apportera une amélioration dans la qualité (des images de guidage, par exemple) et permettra la mise en œuvre des applications faisant

appel à la vidéo, mais il n'est pas clair que les usagers soient prêts à payer pour ce saut technologique dans le court terme.

10 De l'IPv4 vers l'IPv6

Le protocole réseau utilisé actuellement dans les réseaux IP et donc dans l'Internet est l'IPv4. L'IETF a spécifié en 1995⁴⁸ une évolution de ce protocole, l'IPv6⁴⁹. Cette spécification a été améliorée en 1998⁵⁰. Cette évolution vers une nouvelle version du protocole IP fut motivée par le risque d'une famine d'adresses. En effet, un des points les plus forts de l'Internet est le fait d'être global (cette globalité est due au protocole IP). Mais cela implique un nombre très important d'équipements terminaux qu'il faut distinguer à travers une adresse unique. Les adresses en IPv4 ont une longueur de 4 octets et, historiquement, une structure qui ne permettait pas d'allouer les adresses avec une granularité fine⁵¹ aux organismes qui en demandaient⁵². En 1990, on a estimé que le réseau ne pourrait pas dépasser l'année 1994. Les adresses en IPv6 sont sur 16 octets, ce qui résout le problème. Mais, finalement, deux concepts ont été introduits qui ont retardé l'échéance. Ces deux concepts sont le CIDR et le NAT. Aujourd'hui, on estime qu'il n'y aura pas de famine d'adresse en Europe avant 2005 et aux USA avant 2010. Le premier concept a permis une allocation des adresses avec une granularité plus fine⁵³. Le deuxième a permis la réutilisation d'adresses. En effet, certains postes des entreprises n'ont pas pour vocation à être visibles et donc accessibles de l'extérieur de l'entreprise. On peut donc leur allouer une adresse privée qui peut être réutilisée par une autre entreprise sur un poste qui également n'est pas visible de l'extérieur. Le NAT permet à ces postes de pouvoir s'adresser à des équipements avec des adresses publics (vus par tout l'Internet), par exemple à des serveurs Web, grâce à un mécanisme de traduction d'adresse. Se pose donc la question du besoin du passage en IPv6. Ce protocole présente de nombreux avantages par rapport à son prédécesseur : simplification de la configuration des équipements grâce à des mécanismes d'auto-configuration, simplification de l'entête permettant un traitement plus rapide et facile à implémenter en hardware, introduction d'un champ qui facilite la mise en œuvre de services à qualité de service garantie, architecture de sécurité obligatoire, simplification des architectures de mobilité, simplification du routage grâce à une hiérarchisation des adresses, etc. Néanmoins, aucun de ces points n'est bloquant dans le contexte des services actuellement utilisés massivement et donc le coût de la migration n'a pas été justifié. Mais cette situation est en train de changer. En effet, des services comme la téléphonie ne coexistent pas bien avec les NATs, les nouvelles technologies de réseau mobile favorisent l'usage de la macro mobilité entre réseaux, ce qui devrait être mieux géré en IPv6, la téléphonie sur IP et la mobilité accroît de manière significative la vitesse à laquelle augmente le besoin de nouvelles adresses.

Il existe un réseau IPv6 expérimental international appelé le 6Bone dont les différents nuages sont interconnectés par des tunnels IPv4. Divers constructeurs ont introduit l'IPv6 dans leurs équipements. Par contre, la migration ne se fera que progressivement et, aujourd'hui, il n'est toujours pas évident comment cette migration va se faire. En effet, il faut qu'un équipement terminal IPv6 puisse continuer à dialoguer avec un serveur Web qui est resté en IPv4 et réciproquement. On peut imaginer que les équipements terminaux implémentent les deux protocoles où qu'il y ait des passerelles de conversion. Certains constructeurs proposent

⁴⁸ Document IETF, RFC 1883

⁴⁹ Il eu également une version 5 liée aux besoins du multicast qui finalement ne verra pas le jour.

⁵⁰ Document IETF, RFC 2460

⁵¹ Nombre d'adresses adapté aux besoins du demandeur.

⁵² Les adresses pouvaient être allouées soit en blocs de 256 soit en blocs de 65536.

⁵³ En blocs de multiples de 256 adresses.

aujourd'hui des équipements pour faciliter cette migration qui est aujourd'hui très lente et ne devrait pas s'accélérer avant 2003/2004.

11 Conclusion

11.1 Une vision prospective

Dans l'annexe B, nous citons quelques pronostiques célèbres. Il est clair qu'il faut être très prudent, surtout dans le domaine des nouvelles technologies, quand on essaye de prévoir les évolutions, même à court terme.

Nous présentons donc ici ce que nous considérons être une cible dans le monde des télécommunications, sans pour autant prétendre que se soit la seule évolution possible.

A terme nous considérons qu'il n'y aura plus de distinction entre réseaux de télécommunications et l'Internet. En effet, les services seront convergents, la voix sera intégrée dans d'autres applications et la notion de service téléphonique telle que nous l'entendons aujourd'hui aura disparue.

On disposera d'une infrastructure de réseau haut débit de bout en bout, majoritairement en fibre optique. Cette infrastructure en fibre arrivera souvent jusqu'aux clients finaux pour ce qui est du fixe. La radio ne sera utilisée que pour la mobilité et, dans le contexte des satellites, dans les zones où d'autres types de couverture ne sont pas possibles. Le cœur du réseau sera unique. Le protocole réseau sera vraisemblablement l'IP avec un plan de contrôle MPLS et la commutation sera tout-optique. Il y aura un nombre limité d'opérateurs de réseaux au monde (quelques dizaines) et les réseaux seront vus comme un service de base (comme l'énergie ou l'eau). Il y aura par contre une explosion de fournisseurs de service et de contenu. Le coût du réseau sera vraisemblablement intégré dans le prix d'utilisation des services et le réseau deviendra transparent aux usagers qui ne seront même pas conscients de son existence, comme on n'est pas conscient de l'existence du réseau électrique.

Les clients pourront construire et personnaliser leurs services à travers d'interfaces très ergonomiques. Cela sera possible grâce à une séparation claire entre le plan réseau et le plan service.

Nous avons cité une liste d'applications dans le chapitre 9, dont certaines pouvant avoir un impact fort sur le comportement et le mode de vie de la société.

11.2 Les technologies de la migration

La migration vers la cible décrite précédemment requiert d'abord une augmentation de la capacité des réseaux existants pour faire face à la croissance du trafic. Dans le cœur du réseau, le choix porte sur le déploiement de fibres optiques et de la technologie DWDM. A l'accès, dans les pays développés, pour les résidentiels et les SOHO, les technologies xDSL et le câble se partageront la majorité du marché. En France, il semble que le xDSL prend le dessus sur le câble. Pour les grandes entreprises, l'accès se fait en liaisons spécialisées dont le besoin en débit augmente. La fibre jusqu'au client se développe, par exemple, dans certaines zones avec une forte concentration d'entreprises demandant de très hauts débits. Les nouvelles technologies de réseaux métropolitains, comme le Metro-DWDM et la SDH de nouvelle génération, facilitent cette évolution. La boucle locale radio peut avoir un intérêt

pour le marché PME/PMI mais son taux de pénétration ne sera pas trop élevé, il ne s'agit pas d'une technologie déterminante dans la migration, ce qui semble également être le cas du satellite.

Pour ce qui est de la commutation, l'ATM est en train d'être poussée à la frontière du réseau, à l'accès. Des cœurs MPLS commencent à se déployer, mais encore avec des fonctionnalités limitées. La commutation tout-optique est encore une technologie prospective.

La bande passante longue distance est déjà bon marché en France. Reste à augmenter le débit au niveau de l'accès et, souvent, également au niveau métropolitain ainsi qu'au raccordement du réseau métropolitain au réseau longue distance. Les investissements sont lourds et souvent pas rentables à moyen terme, ce qui implique le besoin de subventions qui commencent à se mettre en place. Il semble que cette démarche requiert une spécification plus claire des objectifs et, éventuellement, d'une réflexion sur l'évolution de la réglementation au niveau des collectivités locales.

La concurrence au niveau de l'accès a du mal à se mettre en place. Elle s'oriente dans un premier temps vers la concurrence sur les services existants, ce qui rend difficile la concurrence avec France Télécom. Une intervention plus active de l'ART, notamment en ce qui concerne les contrôles tarifaires, est souhaitée par les opérateurs alternatifs. Par ailleurs, il serait intéressant que la concurrence se montre plus dynamique dans l'évolution de son bouquet de services.

En ce qui concerne les mobiles, il est clair que les modèles d'affaires pour l'accès multiservices doivent être très différents de ceux que nous avons connus pour la téléphonie. Le temps requis pour l'évolution des comportements et le développement de nouveaux usages, pour atteindre des niveaux de parcs de terminaux importants et dans le cas de l'UMTS, pour atteindre une couverture significative, doit être pris en compte. Le passage par la génération 2.5 est obligatoire. En effet, avec des coûts faibles on pourra démarrer le processus qui devrait mener à faire prendre conscience aux usagers de l'intérêt de ces nouvelles technologies. Une fois cette étape franchie, ils décideront peut être de faire le pas vers l'UMTS, pour lequel les prix seront conditionnés par les coûts des licences, du déploiement du réseau et des terminaux. Il faudra que les services et le contenu proposés justifient l'augmentation de prix liée au changement de technologie. Il est donc impossible de donner un pronostic sur le temps nécessaire pour avoir des taux de pénétration de l'UMTS importants. Pour le GPRS, les premiers services devraient être ouverts pour la fin de l'année. Néanmoins, il nous semble important qu'un bouquet comportant des services propres aux opérateurs, des services en mode kiosque et des services de navigation de type Web soit proposé. Le deuxième type de service requiert des systèmes de facturation qui ne sont pas encore prêts.

Nous observons une évolution timide vers la convergence voix/données et fixe/mobile. Des solutions sont disponibles pour des marchés de niche, comme le centrex IP pour les PME/PMI. Mais les technologies permettant une évolution rapide des réseaux d'opérateur dans ce sens ne sont pas encore matures. Par contre, le transport de la voix paquetisée se développera vraisemblablement, notamment à l'accès suite à la mise en place du dégroupage. L'approche VoDSL montre une évolution intéressante : dans l'approche « dial-up » le RTC est utilisé pour accéder à l'Internet, dans le VoDSL, le réseau de données est utilisé pour accéder au réseau téléphonique.

On peut dire que pour l'instant les opérateurs continuent à développer plusieurs réseaux pour pouvoir fournir l'ensemble des services. Néanmoins, on observe bien une évolution des réseaux « Voice centric » vers les réseaux « Data centric »⁵⁴.

Nous voudrions en conclusion rappeler que, en termes de revenus, la voix reste le service le plus important sur le marché global des télécommunications et que, de ce fait, il ne faudrait pas la négliger lors de la mise en place de la concurrence à l'accès. Le service téléphonique de base (POTS : Plain Old Telephony Service, en anglais), peut s'avérer, dans certains modèles d'affaires, la si recherchée « killer application ».

Dans divers passages de ce rapport, nous avons insisté sur le besoin de faire évoluer le comportement des usagers si on veut que le marché des télécommunications se développe grâce aux nouvelles technologies.

En dehors des subventions permettant le déploiement des infrastructures, l'administration public pourrait aider le marché des télécommunications en favorisant ces changements de comportement, comme cela a été fait dans certains pays scandinaves. Cela peut être réalisé en stimulant l'usage des nouvelles technologies, notamment à travers la mise en ligne de l'administration publique sur l'Internet. Quelques exemples choisis au hasard : accélération du remboursement des frais de maladie quand la déclaration est faite en ligne, acceptation de délais supplémentaires de déclaration des impôts si cela est fait en ligne. Il serait éventuellement intéressant de familiariser les futurs membres de l'administration publique à l'intérêt et à l'importance de l'utilisation de nouvelles technologies au niveau de leur formation.

Pour finir, nous voudrions rappeler que le succès de l'Internet n'est dû à aucune révolution technologique. Il est dû aux services offerts qui ont trouvé l'accueil favorable que nous connaissons. La raison du succès de ces services semble simple, ils ont été conçus par des usagers cherchant à répondre à un besoin propre. Cela inclut en particulier le « peer-to-peer »⁵⁵ et notamment l'exemple de Napster. Le monde Internet et le monde des télécommunications ont suivi des routes très différentes, mais aujourd'hui ils se rejoignent, on parle maintenant de Télécom-Internet. Nous espérons que les acteurs, et notamment les opérateurs, qui prennent en main cette évolution convergente de l'Internet n'oublie pas ce qui a été à la base du succès de ce dernier et qui sera sûrement l'élément clés des évolutions futures : une innovation dans le contexte des services et des applications proche des usagers finaux.

⁵⁴ Autrement dit, on passe de réseaux conçus pour transmettre de la voix qui transportent des données à des réseaux conçus pour être optimaux dans un contexte dans lequel les données sont le trafic majoritaire.

⁵⁵ Le modèle WEB est un modèle client-serveur. Dans le modèle « peer-to-peer » les terminaux communiquent en jouant à la fois le rôle de client et de serveur. Il s'agit d'un système mémoire distribué.

12 Annexe A : Glossaire

ADM	Add Drop Multiplexer
ADSL	Asymmetric DSL
ANSI	American National Standards Institute
ASP	Application Service Provider
ATM	Asynchronous Transfer Mode
B-LES	Broadband - Loop Emulation Service
BLR	Boucle Locale Radio
CAA	Centre Autonomie d'Acheminement
CIDR	Classless Inter Domain Routing
CPE	Customer Premise Equipment
CT	Centre de Transit
CTI	Centre de Transit International
CTI	Convergence Téléphonie Informatique
DLC	Digital Loop Carrier
DOCSIS	Data Over Cable System Interface Specification
DSF	Dispersion Shifted Fiber
DSL	Digital Subscriber Line
DWDM	Dense WDM
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FDD	Frequency Domain Duplex
FR	Frame Relay
FTTx	Fiber To The x
GSM	Global System for Mobile Communications
HDSL	High data rate DSL
HFC	Hybrid Fiber Coax
IAD	Integrated Access Device
ICW	Internet Call Waiting
IETF	Internet Engineering Task Force
IP	Internet Protocol
IPBX	IP Branch Exchange
ISP	Internet Service Provider
LEO	Low Earth Orbit
LMDS	Local Multipoint Distribution Service
LSR	Label Switched Router
MEO	Medium Earth Orbit
MG	Media Gateway
MGC	Media Gateway Controller
MGCP	Media Gateway Control Protocol
MIE	Multiplexeur à Insertion Extraction
MMDS	Multipoint Multi-channel Distribution Service
MPLS	Multi-Protocol Label Switching
MVNO	Mobile Virtual Network Operator
NAT	Network Address Translation
NGN	Next Generation Networks
NVoD	Near Video on Demand
PABX	Private Automatic Branch Exchange

PBXIP	Private Branch Exchange IP
PLC	Power Line Communication
PON	Passive Optical Network
PoS	Packets over SDH
PT	Paire Torsadée
PTS	Point de Transfert de Signalisation
QoS	Quality of Service
RAS	Remote Access Server
RNIS	Réseau Numérique à Intégration de Services
RPR	Resilient Packet Ring
RPV	Réseau Privé Virtuel
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SDSL	Single line DSL
SHDSL	Symmetric High bit rate DSL
SIP	Session Initiation Protocol
SMS	Short Message
SOHO	Small Office Home Office
TDD	Time Domain Duplex
TDM	Time Division Multiplexing
UAP	User Agent Profile
VDSL	Very high data rate DSL
VoD	Video on Demand
VoDSL	Voice over DSL
VPN	Virtual Private Network
VSAT	Very Small Aperture Terminal
WAP	Wireless Application Protocol
WDM	Wavelength Division Multiplexing
WLL	Wire-Less Loop

13 Annexe B : Sur la valeur des pronostiques

"Ce "téléphone" a beaucoup trop de défauts pour qu'il puisse un jour être considéré comme un outil de communication. Cet équipement n'a donc aucune valeur à nos yeux."

- Mémo interne de la Western Union, 1876.

"Il n'y a aucune raison valable pour que quiconque ait envie d'avoir un ordinateur chez lui."

- Ken Olsen, président et fondateur de Digital Equipment Corp., 1977

"La « boîte à musique sans fil" n'a aucune valeur commerciale imaginable : Qui donc accepterait de payer pour recevoir un message qui n'est envoyé à personne en particulier ?"

- Les associés de David Sarnoff, en réponse à ses demandes urgentes d'investir dans la Radio dans les années 20.

"Les ordinateurs du futur ne devraient pas peser plus de 1.5 tonnes."

- Popular Mechanics, commentaires sur l'avancée des sciences, 1949

"Je pense qu'il y a un marché pour peut-être 5 ordinateurs dans le monde."

- Thomas Watson, président d'IBM, 1943

"Mais...à quoi cela peut-il bien servir ?"

- Un ingénieur de la division "Systèmes de Calcul Avancé" d'IBM, 1968, en commentant l'invention de la puce électronique.

"Mais qui diable voudrait entendre les acteurs parler ?" - H.M.

- Warner, Warner Brothers, 1927.

"Nous n'aimons pas leur son, et, de plus, la musique à la guitare est passée de mode".

- Decca Recording Co. refusant de signer un contrat aux Beatles, 1962.

"Des machines volantes plus lourdes que l'air sont IMPOSSIBLES".

- Lord Kelvin, président, Royal Society, 1895.

"640K, ce devrait être assez pour tout le monde."

- Bill Gates, 1981