

AMBASSADE DE FRANCE AUX ETATS-UNIS

MISSION POUR LA SCIENCE ET LA TECHNOLOGIE

L'EVOLUTION DES RESEAUX DE TELECOMMUNICATIONS AUX ETATS-UNIS		
septembre 2000		

NOTE DE

Laurent de Mercey

Attaché pour la Science et la Technologie
Washington DC

AVEC LA PARTICIPATION DE

Stéphane Raud

Attaché pour la Science et la Technologie
San Francisco

Olivier Goussard

Représentation du CNES à Washington

Résumé

Les réseaux de télécommunications aux Etats-Unis sont actuellement en pleine évolution, marquée par l'explosion du trafic des données liée au phénomène Internet ainsi que par une forte croissance du secteur des mobiles. On assiste également à une nette tendance à la convergence entre les services fixe et mobile et entre les services de voix et de données.

La présente note présente les principales transformations technologiques affectant les réseaux (passage au tout optique, architecture de nouvelle génération), décrit les différents types de réseaux d'accès à Internet à hauts débits (technologies utilisées, acteurs) et conclut par quelques considérations sur les interactions entre téléphonie mobile et téléphonie fixe.

Abstract

Presently, telecommunication networks in the United States are undergoing a period of great evolution, marked by an explosion of data traffic linked to the phenomenon of the Internet as well as by strong development in the sector of wireless communications. One also notes a clear trend towards a merging of wireline and wireless services and voice and data services.

This paper will present the principal technological transformations concerning networks (transition to all optical, next-generation architecture), describe the different kinds of high-speed Internet-access networks (technologies employed, players) and conclude by considering the interactions between wireless and fixed telephony.

Table des Matières

1. Le marché américain des télécommunications : acteurs et enjeux

2. Les principales transformations technologiques

A. Vers le réseau de nouvelle génération

1. le phénomène du « tout optique »
 - a. Le multiplexage optique
 - b. Commutateurs optiques
 - c. Les autres composants optiques
2. la convergence des réseaux et les nouveaux opérateurs

B. Les réseaux d'accès large-bande

1. Le réseau téléphonique
2. Les systèmes DSL
3. Les réseaux câblés
4. Systèmes d'accès à fibres optiques
5. La boucle locale radio
6. Systèmes de transmission de données par satellite

3. Interactions entre téléphonie mobile et téléphonie fixe

Annexe : constellations de satellite et modes alternatifs

L'évolution des réseaux de télécommunications aux Etats-Unis

1. Le marché américain des télécommunications : acteurs et enjeux

a) Comme le montre le tableau ci-dessous, le marché des télécommunications américaines est encore dominé par le service téléphonique traditionnel (communications locales et longue distance), mais on assiste à une croissance très forte du trafic de données Internet et de la téléphonie mobile ainsi qu'à une importante restructuration des acteurs

	CA annuel (en milliards de dollars – 1999)	Taux de croissance annuel (1999)	Concentration du marché
Télécommunications longue distance	100	4 %	ATT, MCIWorldcom et Sprint détiennent 75-80% des parts de marché
Télécommunications locales	115	6 %	Les 4 RBOC détiennent 95% à 97% de parts de marché
Marché du câble	37 68 millions de foyers connectés fin 1999	10 %	Les 7 plus gros câblo-opérateurs détiennent 80% des parts de marché en nombre d'abonnés
Transport de données Internet/Intranet	14	40 %	
Télécommunications mobiles	40 86 millions d'abonnés (fin 1999)	20%	

Les principaux opérateurs

Télécommunications à longue distance : AT&T, MCI Worldcom, Sprint, Qwest

Télécommunications locales : Verizon (Bell Atlantic-GTE), SBC-Pacific Telesis-Ameritech, BellSouth, USWest

Câblo-opérateurs : AT&T Broadband & Internet Services, Time Warner Cable, Charter Communications, Cox Enterprises, Comcast, Adelphia, Cablevision

Communications cellulaires : Bell Atlantic, AT&T Wireless, SBC/Cellular One, Bell South Mobility, Alltel et Sprint

- Depuis le vote en 1996 du Telecommunications Act qui permet à tout opérateur de proposer indifféremment des services de communication filaire locale, longue distance, sans fil et de télévision par câble, le secteur connaît une vague importante de fusions et acquisitions qui affectent l'ensemble des prestataires : opérateurs longue distance (MCI Worldcom/Sprint), opérateurs locaux (Bell Atlantic/Nynex, SBC/Ameritech...), opérateurs de télécoms et câblo-opérateurs (ATT/TCI...). Ces rapprochements sont motivés par la recherche d'économies d'échelle et de plus grande couverture géographique, ainsi que par la possibilité de fournir une offre globale de télécommunications (communications locales et longue distance, téléphonie, données hauts débits, fixe et mobile).

- b) Les enjeux industriels du secteur des télécommunications portent actuellement sur le déploiement des réseaux d'accès à Internet à haut débit (broadband networks). Les infrastructures qui étaient jusqu'à présent essentiellement dédiées à la téléphonie et à la télévision par câble évoluent de façon à offrir de nouvelles méthodes d'accès (en particulier, la boucle locale radio et les accès de type DSL) tout en assurant la convergence technologique, c'est à dire la transmission sur un même support de la voix, des données et de la vidéo.

Les différentes offres d'accès à Internet pour les particuliers (fin 1999)

Type d'accès	Nombre d'abonnés	Possibilité de haut débit
Modem 56 kb/s	80 millions d'utilisateurs 25 millions de foyers connectés	Non
RNIS (lignes numériques) - 128 kb/s	Qq centaines de milliers d'utilisateurs particuliers ; qq millions d'entreprises connectées	Non
Modem câble bidirectionnel - 2 à 10 Mb/s	1100000	Oui
DSL 640 kb/s à 7.1 Mb/s	500000	Oui
Boucle locale radio (LMDS) - 200 kb/s	Qq milliers d'utilisateurs	Oui
Satellites 400 kb/s	150.000 utilisateurs	Oui

2. Les principales transformations technologiques**a) Vers le réseau de nouvelle génération**

Les facteurs suivants contribuent à l'évolution des réseaux actuels vers les réseaux de nouvelle génération :

- le phénomène du « tout optique »

Les fibres optiques constituent aujourd'hui la principale ossature des réseaux des opérateurs longue distance américains en offrant de très hauts débits de point à point. A chacun de ces nœuds, le signal est ensuite commuté, traité, filtré après une conversion électronique qui limite le débit global au téraoctet par seconde. Pour franchir cette barrière, la mise en place du réseau « tout optique » est nécessaire en modifiant ces nœuds électroniques avec des systèmes travaillant à la vitesse de la lumière. La réalisation optique des fonctions de reconfiguration, de commutation, de sécurisation du réseau,

associée aux techniques de multiplexage dense par division de longueur d'onde ou DWDM (Dense Wavelength Digital Multiplexing), permettront non seulement d'augmenter les débits mais également de réduire les coûts d'opération, d'améliorer la qualité du service, de gagner en flexibilité en agissant directement sur chaque longueur d'onde.

Selon RHK¹, le marché mondial des équipements de transmissions optiques (systèmes DWDM, réseaux optiques, commutateurs, équipements de transmission numérique Sonet/SDH...) serait de 44 milliards de dollars en 2000, en progression de 40% par an, et atteindrait 90 milliards en 2003.

Le multiplexage optique

L'idée consiste à multiplier les ondes porteuses voyageant au sein d'une fibre optique afin d'accroître le volume de l'information acheminée. La capacité des réseaux en fibres optiques déjà installés s'en trouve augmentée, sans nécessiter de travaux de génie civil. Le multiplexage présente aussi l'avantage d'être indépendant des protocoles (ATM, SONET/SDH, IP...) et du débit de données entrant. Il offre une flexibilité de gestion du réseau (reconfiguration rapide dans le cas d'une demande accrue de bande passante). Par ailleurs, les systèmes DWDM sont aujourd'hui conçus pour intégrer des évolutions à venir en terme de nombre de longueur d'onde.

Aux Etats-Unis, certains dispositifs en cours de test sur les réseaux longues distances, atteignent 400 Gigabits par second par fibre (technologie LUCENT : 40 longueurs d'onde ; OC-192). Le Canadien NORTEL, le leader du domaine a annoncé² des développements permettant la transmission de 6,4 téraabits par second, soit 3000 fois plus qu'il y a quelques années. Autre exemple, la start-up AERIE a récemment annoncé le déploiement de 20000 miles de fibres pour relier 194 villes américaines. Chaque ville recevra 432 fibres (soit 17280 canaux de données) utilisant les technologies de multiplexage les plus récentes.

Les fournisseurs de service locaux souhaitent également développer la technologie DWDM sur les réseaux métropolitains (Metro DWDM). De nombreuses start-ups (Alidian Networks ; Astral Point Communications, Qeyton...) se concentrent sur les technologies adaptées. Selon Pioner Consulting, le marché nord américain incluant la prochaine génération de SONET, l'intégration du DWDM et du protocole Internet « optique » sur les réseaux métropolitains sera de 1,15 milliards de dollars en 2000 et 8,3 milliards de dollars en 2004.

Les différents composants utilisés pour le DWDM connaissent aujourd'hui une activité de recherche florissante en milieu académique et industriel aux Etats-Unis qui sera détaillée dans un chapitre suivant.

¹ L'Usine Nouvelle ; 7 Sep 2000 ; p30

² Red Herring ; février 2000, p180

Commutateurs optiques

Les fonctions de commutation généralement réalisées électroniquement après conversion du signal optique sont variées : reroutage lors de la panne d'un câble, reconfiguration de réseau... Aux Etats-Unis, les opérateurs tels que *AT&T*, *SPRINT* et *QWest*, sont les principaux utilisateurs des commutateurs optiques, qui leur permettent de modifier la géométrie de leurs réseaux de fibres optiques. ElectronicCast estime le marché total de la commutation optique à 761 millions de dollars en 2003 et plus de 4 milliards en 2008.

Application	1998	2003	2008
Commutateurs Optiques	119,1	761	4112
Télécommunications	30,2	424	2833
Longue distance	24	318	2105
Opérateurs locaux	4,8	78	514
Opérateurs locaux alternatifs	1,5	27	214
Réseaux de données privés	20	50	225
Télévision par câble	1,8	13	52
Militaire / Spatial	31	137	540
Spécifique / Instrumentation	36,1	137	462

Marché des commutateurs optiques, en millions de dollars (source : *ElectroniCast Optical Switching Report, 1999*).

Un commutateur optique dédié aux signaux multiplexés, peut aujourd'hui traiter des débits d'environ 10 Gbit/s mais atteindra très prochainement 40 Gbit/s par longueur d'onde³ pour un total de 16 longueurs d'onde et 16 fibres soit un capacité total de l'ordre du terabits/s.

Plusieurs technologies de commutation optique concurrentes sont aujourd'hui à des stades de développement variables. Le **commutateur optomécanique** redirige un signal en déplaçant la fibre d'entrée vers la fibre de sortie appropriée. Il est aujourd'hui largement utilisé en des lieux à faible demande en commutation, pour sa simplicité et son coût très compétitif. Les **MOEMS** (Micro-Opto-Mechanical Systems) sont des systèmes réalisés à partir des microtechnologies empreintées à l'industrie des semiconducteurs, basés sur des réseaux de micromiroirs activés par rotation ou extraction pour réfléchir ou non un rayonnement incident. Les Bell Labs ont réalisé un réseau prototype de connecteurs optiques croisés (optical cross-connect ; OXC) avec 112x112 miroirs. Avec l'aide de financements de la DARPA (Department of Defense), Texas Instrument associé avec Astrate prévoit de tester sur le fin 2000, un nouveau prototype de connecteur optique croisé. Des matrices de commutateurs à charnières sont également développées par les laboratoires de *AT&T* (256*256) et la start-up *Optical Micromachines*. Les MEMS optiques ont particulièrement intéressé les capitaux risqueurs en 1999. Les **switchs électro-optiques** sont des puces physiques sans pièces en mouvement utilisant les techniques de guide d'onde commuté par un champ électrique faisant varier l'indice de réfraction. Cette technologie relativement mature nécessite la combinaison de

³ The Center for Mulidisciplinary Optical Switching Technology ; Université de Santa Barbara, Californie

plusieurs switchs pour commuter sur plusieurs sorties. Les autres alternatives utilisent les **cristaux liquides** ou les « **bulles guide d'onde** ».

Les commutateurs contrôlés entièrement optiquement sont bien entendus l'objectif à long terme.

Malgré les problèmes de niveau élevé de lumière absorbée pour certaines de ces technologies ou de manque de standard à cette industrie, les perspectives sont très prometteuses.

Les autres composants optiques

La diode laser à 1,5 micron est l'émetteur le plus utilisé dans le domaine des communications optiques. Cependant, la mise au point d'un laser à cavité verticale accordable (VCSEL : *Vertical Cavity Surface-Emitting Laser*) grâce à un micromiroir courbe et orientable devrait également bouleverser le monde des communications optiques. A titre d'exemple, le transmetteur VCSEL accordable sur plus de 1800 longueurs d'onde dans le domaine 1520-1570 nm, chacune portant 2,5Gbits, présentés par la start-up Coretek⁴ en 1999 (collaboration avec UC Berkeley; financement DARPA) constitue une percée importante pour le domaine du multiplexage dense par division de longueur d'onde (DWDM). Les perspectives pour cette technologie sont fabuleuses puisqu'elle évite l'empilement de laser nécessaire pour le DWDM, réduisant ainsi considérablement le coût de production de ces composants.

L'utilisation de techniques de filtrage passif par réflexion au cœur de la fibre est également une clé du succès du réseau tout optique. Les alternatives utilisent soit le filtrage de Bragg gradué, soit des films diélectriques ou des systèmes de Fabry Perrot. Le succès d'une de ces technologies sera conditionné par le coût et l'acceptation d'un plus grand nombre de longueur d'onde.

Des fibres en polymères à très bas coût sont également en cours de développement. Elles ne peuvent transmettre que sur quelques centaines de mètres à cause de leur faible transparence. Le projet Plastic and VCSEL Network (PAVNET) de la DARPA développe un réseau expérimental avec les fibres plastiques de la société *Boston Optical Fiber*.

Ces innovations technologiques modifient la stratégie des opérateurs et fabricants de composants américains. Ceux-ci investissent directement dans des programmes de recherche souvent soutenus par des financements fédéraux (ex : DARPA) et depuis fin 1999 s'associent ou rachètent des start-ups et leur savoir-faire.

⁴ Laser Focus World, Juin 1999, p 88

- la convergence des réseaux et les nouveaux opérateurs

La déréglementation des télécommunications, l'explosion du trafic de données lié à Internet et le foisonnement des nouveaux services conduisent les opérateurs à revoir la l'architecture de leurs réseaux en vue de la fourniture des services de téléphonie et de données. En effet, les prévisions indiquent que les données utiliseront 90% de la bande passante totale en 2003. Dans le secteur de la téléphonie, qui devrait représenter plus de 380 milliards de dollars de chiffre d'affaires aux Etats-Unis en 2002, la concurrence accrue et les avancées technologiques se conjuguent pour entraîner à la fois le déclin des revenus des services traditionnels de transport (100 milliards de dollars prévus en 2002) et la croissance de services innovants, à haute valeur ajoutée. Cette évolution amène les opérateurs historiques, dans un souci de rentabilité, à réduire le nombre de leurs plates-formes de réseau superposées, à migrer vers une infrastructure convergente et à fournir des services intégrés de téléphonie, de vidéo et de données.

Le réseau téléphonique commuté public (RTCP) actuel à multiplexage temporel (TDM) avait été conçu pour la transmission de la voix non compressée, avec des services à valeur ajoutée comme la messagerie vocale et l'identification de l'appelant. Le multiplexage/démultiplexage du trafic de téléphonie fonctionnait correctement dans un environnement relativement statique et dominé par les services vocaux.

A partir des années 1990, cependant, la croissance rapide de l'informatique répartie et de l'Internet a contraint les opérateurs à renforcer la capacité du RTCP, opération coûteuse compte tenu du coût élevé des commutateurs de circuits (entre 1 et 3 millions de dollars chacun) et des répartiteurs numériques (entre 100000 et 250000 dollars), pour du trafic leur fournissant peu de revenus additionnels.

Les opérateurs ont ensuite rapidement concentré leurs efforts sur des architectures mieux adaptées au transport des données, à savoir la commutation de paquets avec des réseaux à relais de trame, ATM et IP, la plupart de ces réseaux reposant sur ATM comme technologie de base. La spécialisation des réseaux existants par application (voix, données) a amené les opérateurs à maintenir un grand nombre de réseaux superposés, qui exigent chacun des systèmes de gestion et des protocoles différents.

La très forte demande de service de données liée à Internet et la mise en concurrence de l'opérateur longue-distance AT&T ont incité plusieurs nouveaux opérateurs comme MCIWorldCom, Sprint, Qwest, Leel3, IXTC et Willians à construire rapidement des réseaux de données IP. Il y a actuellement plus de 40 fournisseurs d'infrastructures Internet aux Etats-Unis, et six nouveaux réseaux (d'un coût total estimé à 18 milliards de dollars) doivent entrer en service dans les deux prochaines années. La croissance est si rapide que des entreprises comme MCIWorldCom connaissent des taux de croissance annuelle de trafic d'environ 800 %, tandis que le trafic de téléphonie ne croît que de 4% par an en moyenne. Toutefois, il est important de noter que les services vocaux fournissent encore 80 % des revenus des opérateurs. Ceux-ci, tout en construisant les infrastructures nécessaires aux nouvelles applications, doivent continuer à maintenir un service téléphonique de haute qualité qui génère l'essentiel de leurs revenus.

Dans la mesure où la taille et l'étendue des réseaux de commutation de paquets avoisinent maintenant celles du RTCP, les opérateurs traditionnels ont commencé à faire converger leur trafic de voix et de données, à la fois pour réduire les coûts internes et pour fournir davantage de services à valeur ajoutée dans un environnement de plus en plus concurrentiel. Une étude récente montre en effet que le coût des équipements de transmission et de traitement des données est inférieur de 70% environ à celui des équipements analogues pour la téléphonie, et que la maintenance des réseaux de commutation de paquets coûte 50% de moins que celle des réseaux de commutation de circuits. La technologie ATM, avec sa qualité de service garantie pour la transmission de la voix, apparaît actuellement comme la meilleure solution pour assurer une migration rapide et efficace du trafic téléphonique du RTCP vers les réseaux de commutation par paquets.

b) Les réseaux d'accès large-bande

Dans un contexte de déréglementation du marché des télécommunications et de montée en puissance de l'accès large-bande à l'Internet, les réseaux d'accès (le dernier « mile » avant d'atteindre l'utilisateur) représentent aujourd'hui, davantage que l'infrastructure de transport, un enjeu majeur pour les opérateurs et les fournisseurs de services. De nombreuses solutions technologiques sont aujourd'hui possibles pour offrir de nouveaux services dans la boucle locale. Les solutions réutilisant les infrastructures existantes sont bien sûr les plus économiques, mais ne s'adressent qu'aux opérateurs historiques, qui en sont les propriétaires.

Les techniques sans fil séduisent un grand nombre de nouveaux opérateurs dans la mesure où la mise en place des systèmes radio est extrêmement légère. Enfin, les arbres optiques passifs apparaissent, pour leur part, comme la solution non seulement la plus coûteuse, mais aussi la plus pérenne, si l'on considère les potentialités gigantesques apportées par la technique WDM.

- Le réseau téléphonique

Le moyen d'accès de loin le plus répandu reste la ligne téléphonique traditionnelle constituée d'une paire de cuivre torsadée, appelée boucle d'abonné, qui raccorde chaque foyer ou entreprise à son commutateur de rattachement en lui fournissant les services téléphoniques. La boucle d'abonné est en train d'évoluer pour devenir un réseau d'accès large-bande capable de fournir des services de données à haut débit et d'autres services de télécommunications à valeur ajoutée. Les technologies analogiques existantes de la boucle locale limitent le débit entre l'abonné et le commutateur local à 56 kbit/s, mais l'intégration des technologies DSL, détaillées plus loin, permet des services de données à un débit de l'ordre du Mb/s.

La variété numérique du téléphone (RNIS, Réseau Numérique à Intégration de Service) offre des débits de 144 kb/s (accès de base) et 1,54 Mb/s (accès primaire) pour la

transmission des données, de la voix et de la vidéo, en utilisant les paires de cuivre existantes. Toutefois, le déploiement du RNIS aux Etats-Unis reste plus faible qu'en Europe et au Japon avec près de 1% des lignes téléphoniques équipées pour le RNIS. Celui-ci est maintenant considéré pour l'accès à Internet comme une technologie intermédiaire entre le téléphone analogique d'une part, et le DSL et les modems câble d'autre part.

- Les systèmes DSL

DSL désigne une famille de technologies disponibles commercialement depuis 1998 qui réutilisent la boucle locale en cuivre du réseau téléphonique et autorisent, sur une paire téléphonique et pour des distances de 2 à 6 km, des débits de l'ordre du Mb/s, asymétriques (ADSL, Asymmetric Data Subscriber Link) ou symétriques (HDSL, High Speed Data Subscriber Link).

Initialement conçue pour offrir des services de vidéo à la demande, la technologie DSL est aujourd'hui principalement utilisée pour l'accès à Internet à haut débit.

L'accès DSL connaît actuellement un développement très rapide aux Etats-Unis, avec près de 500000 abonnés fin 1999 et 2 millions prévus pour fin 2000, et devrait dépasser le câble en nombre d'abonnés d'ici deux ans.

L'investissement initial de l'utilisateur du DSL est comparable à celui du câble, soit 200 à 300 dollars. La plupart des utilisateurs choisissent des services descendants (du réseau vers le client) avec des débits compris entre 250 et 600 kbit/s.

Contrairement aux réseaux câblés, qui nécessitent des mises à niveau coûteuses pour la transmission de données, la majorité des paires de cuivre du réseau téléphonique permettent l'accès DSL large-bande, moyennant l'adjonction d'un équipement à chaque extrémité de la liaison.

	Débit montant	Débit descendant	Distance maximale du central téléphonique	Téléphonie	Remarques
ADSL Asymmetric DSL	176 kb/s 640 kb/s	1,54 kb/s 7,1 Mb/s	6 km 4 km	oui	
DSL Lite	384 kb/s	1 Mb/s	6 km	oui	Plus facile à installer (filtre sélectif non nécessaire)
HDSL High bit-rate DSL	1,54 Mb/s	1,54 Mb/s	4 km	non	Nécessite 2 paires de cuivre

VDSL Very high bit-rate DSL	640 kb/s 3 Mb/s	13 Mb/s 52 Mb/s	1,5 km 300 m	oui	Prolongement optique rendu nécessaire par la faible portée Installé par US West pour l'accès à laTV numérique et à Internet
SDSL Symetric DSL	Jusqu'à 1,1 Mb/s	Jusqu'à 1,1 Mb/s	8 km	non	Proposé par MCI Worldcom directement et via des opérateurs entrants comme Northpoint

La technologie HDSL (High bit rate DSL), développée aux Etats Unis, est la plus mûre des technologies DSL. Technique de transmission bidirectionnelle et symétrique, elle a été conçue essentiellement pour des besoins professionnels. Elle permet de fournir des accès T1 (1,544 Mbit/s) sur 2 ou 3 paires de cuivre symétriques (sa variante SDSL n'utilise qu'une seule paire de cuivre avec une portée réduite à 3 km).

Ces caractéristiques sont typiquement destinées à des applications d'entreprise comme le courrier électronique, les transferts de fichiers, et même la vidéoconférence, pour lesquels la quantité de données émises et reçues est à peu près la même.

La technologie VDSL (Very high bite rate DSL) est une nouvelle génération xDSL, permettant d'atteindre de très hauts débits sur le cuivre. Elle est identique à la technologie ADSL avec une portée très limitée, quelques centaines de mètres. Cette contrainte restreint considérablement le nombre d'abonnés pouvant être raccordés directement via le réseau de distribution, mais le prolongement, via une paire de cuivre, des transmissions hauts débits entre un réseau d'accès fibre optique et le terminal de l'abonné (résidentiel ou professionnel) rend tout son intérêt au VDSL.

Aux Etats-Unis, les principaux opérateurs téléphoniques locaux (Verizon, SBC Communications, BellSouth, US West), les opérateurs de réseaux de transport tels MCI WorldCom, des opérateurs entrants (Covad, Rhythms NetConections, NorthPoint Communications...) proposent des services DSL permettant un accès rapide à Internet. Toutefois, l'accès DSL reste souvent indisponible dans les zones rurales, pour des raisons techniques (les installations téléphoniques éloignées du commutateur local sont munies de charges (selfs), au détriment des fréquences hautes nécessaires au large bande).

- Les réseaux câblés

Avec plus d'un million d'utilisateurs de modems câble début 2000 (et près de dix millions prévus en 2004), le câble coaxial reste aux Etats-Unis le moyen d'accès le plus répandu à l'Internet large bande.

La largeur de bande utile fournie par le câble est d'environ 1 GHz et désormais la grande majorité des modems câbles installés sont bidirectionnels.

D'une manière générale, l'infrastructure du câble aux Etats-Unis, dédiée initialement au seul transport des signaux de télévision analogiques, est de moins bonne qualité qu'en Europe, où les réseaux câblés, plus récents, ont été conçus pour fournir les services téléphonique et large bande en plus de la vidéo. Les industriels du câble doivent investir 21 milliards de dollars pour pouvoir offrir le service large-bande bidirectionnel à la moitié des foyers américains et 31 milliards supplémentaires pour l'offrir à la totalité des foyers.

La plupart des réseaux câblés développés actuellement ne sont pas conçus pour fournir de l'accès large-bande à l'ensemble de leurs abonnés. En règle générale, le large-bande est accessible à partir d'un nœud desservant de 500 à 1000 foyers, dans l'hypothèse où seule une partie des abonnés demande simultanément le service.

Par ailleurs, la portée du service large-bande à partir d'un nœud est limitée. Afin de maintenir la qualité des signaux de télévision, le signal doit être réamplifié tous les 600 mètres à partir du nœud. Chaque amplificateur apporte du bruit et des distorsions qui ont peu d'effet sur la qualité du signal de télévision, mais peuvent dégrader fortement les performances du modem câble. Par conséquent, le nombre d'amplificateurs en présence d'un modem câble doit être limité à huit, ce qui réduit la portée à 5 km environ.

Le câble peut théoriquement véhiculer des débits descendants de plusieurs Mbit/s. Selon le standard DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification) récemment adopté par les industriels, les utilisateurs partagent des débits descendants de 27 Mb/s et montants de 10 Mb/s maximum, mais ces débits ne sont presque jamais disponibles pour un seul utilisateur donné. Pour éviter des variations de performance trop importantes, de nombreux systèmes restreignent le débit maximal disponible pour un utilisateur, à un pourcentage (10% ou moins) du débit total.

En plus de ces facteurs, la performance du câble dépend de la qualité du réseau câblé et de l'équipement de l'utilisateur. Il est donc très difficile de donner des ordres de grandeurs pour le débit de transmission de données sur le câble. Un utilisateur peut bénéficier de débits compris entre 500 kbit/s et 1,5 Mbit/s en fonction de l'architecture du réseau et de la charge de trafic.

Afin d'offrir des services intégrés large-bande bidirectionnels de télévision, téléphone et accès à Internet, les câblo-opérateurs ont entrepris de mettre à jour leurs systèmes en remplaçant l'infrastructure en câble coaxial par de la fibre optique. La configuration hybride fibre-coaxial (HFC) qui en résulte offre de meilleures performances, une largeur de bande plus importante et une maintenance réduite grâce à l'élimination des chaînes d'amplificateurs. Elle dessert actuellement près de 10 millions de foyers aux Etats-Unis.

Les câblo-opérateurs continuent à créer de nouveaux services en ligne tels Excite Home, Road Runner, Optimum Online, PowerLink et Charter Pipeline.

Les principaux fournisseurs de modems câble sont Cisco Systems, Toshiba, 3Com, General Instruments, Nortel Networks et Motorola.

- Systèmes d'accès à fibres optiques

Technologie encore émergente, les réseaux d'accès optique constituent la forme la plus achevée de l'accès large-bande, grâce à des débits pouvant atteindre plusieurs Gbit/s, donc très supérieurs à ceux obtenus par les autres moyens de transmission (paire de cuivre, câble coaxial).

La topologie retenue pour les réseaux d'accès optique, est celle de l'arbre optique passif, désigné par PON (Passive Optical Network), et consistant en une liaison en fibre optique reliant la tête de réseau à un point d'accès individuel (avec éventuellement un prolongement en câble coaxial ou en paire de cuivre pour les derniers mètres). Les PON se déclinent en plusieurs variantes suivant la portée géographique de l'arbre optique : FTTC (Fiber to the Curve), FTTB (Fiber to the Building) ou FTTH (Fiber to the Home), selon que le réseau en fibre optique arrive au niveau d'une sous-répartition, au pied des immeubles ou directement dans chaque foyer. Une norme ITU-T a été adoptée en 1998, définissant un service de connexions ATM de bout en bout sur une architecture PON de type FTTC.

L'inconvénient majeur du réseau d'accès optique reste son coût. Le coût typique d'un équipement terminal d'abonné, qui était d'environ 1500 dollars en 1997, a baissé depuis, mais reste supérieur à celui des équipements DSL ou modem câble (500 à 600 dollars par abonné). La connexion d'un utilisateur à un réseau d'accès optique représente donc un investissement sensiblement supérieur à celui de la mise à niveau d'un réseau câblé ou d'une installation téléphonique existante.

Toutefois, dans une optique de rentabilité à long terme compte tenu des perspectives offertes par l'accès optique en terme de débits, la plupart des opérateurs locaux (BellSouth, SBC...) ont commencé à déployer des PON. On estime qu'en 1999, près de 65 millions de kilomètres de fibre optique ont été installés aux Etats-Unis, dont 70% dans les réseaux métropolitains des opérateurs locaux. La quantité de fibre déployée par les nouveaux opérateurs locaux devrait plus que doubler entre 1999 et 2002.

Le déploiement de la fibre optique jusqu'à l'abonné pourrait se développer à grande échelle et entraîner une baisse des coûts d'infrastructure et d'équipement d'abonné, à condition que la demande de bande passante porte de façon significative sur des niveaux supérieurs aux capacités du modem câble et de l'accès DSL – typiquement, ceux de la télévision haute-définition (20 Mb/s).

- **La boucle locale radio**

Les nouveaux opérateurs locaux ne disposant pas de boucle locale filaire tels Winstar Communications, Teligent, Advanced Radio Technologies, AT &T et Nextlink Communications, utilisent l'accès sans fil à haut débit pour éviter des déploiements coûteux d'infrastructures filaires jusqu'à l'abonné.

Les systèmes de boucle locale radio peuvent être

- point à point : chaque antenne du réseau ne dessert qu'un seul utilisateur, typiquement un grand utilisateur professionnel, avec un débit pouvant atteindre 100 Mbit/s. L'utilisation de fréquences hautes, jusqu'à 40 GHz, permet d'obtenir une largeur de bande importante, au prix d'une couverture réduite (2 à 3 km) en raison de la sensibilité aux phénomènes météorologiques.
- point à multipoint : chaque antenne du réseau dessert plusieurs utilisateurs, qui partagent la bande passante, disponible à la demande, selon des protocoles similaires à ceux utilisés pour les systèmes de télévision par câble HFC.

Le Multipoint Multichannel Distribution Service (MMDS), connu comme le « câble sans fil », assure la transmission de données bidirectionnelle avec des fréquences en deçà de 3 GHz et une portée avoisinant les 60 km.

Le MMDS, qui a fait l'objet d'expérimentations sur site avec des débits descendants de 10 Mb/s et montants de 128 kb/s, est déjà déployé dans plusieurs régions des Etats-Unis. Ainsi, MCIWorldCom et Sprint ont investi conjointement 3 milliards de dollars pour acquérir des licences MMDS dans des régions comptant au total plus de 50 millions d'habitants.

Le Local Multipoint Distribution Service (LMDS), connu comme l'équivalent sans fil de la fibre optique, offre des débits de transmission supérieurs à ceux du MMDS, mais avec une portée réduite à kilomètres en raison de la fréquence de fonctionnement élevée (28 GHz). La quantité de spectre importante attribuée aux opérateurs LMDS en 1998 et 1999 permet à certains d'entre eux d'offrir des débits supérieurs à 150 Mb/s.

Le LMDS est déployé principalement dans des zones urbaines, pour des clients professionnels : New York (opérateur : Cellular Vision USA), San Francisco (World Wide Wireless), ouest des Etats-Unis (Highspeed.com).

- **Systèmes de transmission de données par satellite**

Les satellites géostationnaires offrent actuellement une alternative pour l'accès Internet à haut-débit. Malgré le retard de transmission accumulé du fait de la distance, la possibilité d'utiliser un seul récepteur pour la télévision et l'accès à Internet constitue un avantage indéniable. De plus, le développement est considérablement moins onéreux que pour les

constellations de satellites en orbite basse puisqu'il suffit de 3 ou 4 satellites pour couvrir la quasi-totalité des zones habitées.

Pour ces satellites géostationnaires (DirecPC sur Hughes (Etats-Unis), Cidera sur GE-Americom (Etats-Unis et Europe)), la technologie utilisée est unidirectionnelle : la voie ascendante utilise le réseau terrestre (le réseau téléphonique supporte aisément les requêtes montantes et facilite le repérage et la facturation) et la voie descendante, celle qui nécessite un débit important, passe par le satellite, en atteignant un débit maximal de 400 kb/s. Déjà 150 000 utilisateurs en bénéficient aux Etats-Unis.

Les constellations de satellite qui entreront en service dans les prochaines années sont décrites en annexe.

3. Les interactions entre téléphonie mobile et téléphonie fixe

La différenciation traditionnelle entre les réseaux de terminaux fixes et les réseaux de mobiles s'estompe aux Etats-Unis comme dans le reste du monde. L'idée de rapprocher fixe et mobile correspond à un objectif qui s'exprime facilement en terme de service : les mêmes services doivent être obtenus par tout poste, qu'il soit mobile ou fixe. Cette intégration suppose une signalisation commune et cela pose des problèmes importants de convergence, étant donné la forte différence actuelle entre les réseaux de signalisation.

Les évolutions vont d'abord se concentrer sur la boucle locale où la convergence s'exercera au sens des capacités d'accès et des services plutôt que des techniques d'accès : l'objectif aujourd'hui est d'atteindre l'utilisateur avec un débit de l'ordre de 2 Mb/s, permettant de faire passer des canaux vidéo ainsi qu'une quantité importante de données informatiques légèrement compressées.

Si la solution pour les environnements fixes est déjà en cours de déploiement avec les modems DSL et câble, la mise en place d'un réseau hertzien pour les mobiles avec un tel débit pose encore des problèmes de faisabilité. La norme de troisième génération IMT 2000 devrait permettre aux mobiles de communiquer jusqu'à 2 Mb/s en faible mobilité.

Les opérateurs qui tentent de percer le marché des réseaux d'accès, tel AT&T, prévoient de connecter des équipements de la boucle locale radio aux commutateurs de leur réseau fixe, afin d'offrir des services fixes à leurs clients reliés par voie radio.

D'autre part, les opérateurs américains de PCS, confrontés à la concurrence des autres opérateurs PCS et cellulaires, s'efforcent d'attirer des utilisateurs a priori indifférents à la nature fixe ou mobile du réseau, en leur proposant les services traditionnels des réseaux fixes, à savoir la téléphonie avec qualité de service garantie, la confidentialité des communications, les services s'appuyant sur les réseaux intelligents...

Dans plusieurs cas, les opérateurs PCS sont en fait des opérateurs filaires ayant acheté des licences PCS dans leur zone de service fixe. En intégrant le PCS avec le service fixe

et les réseaux longue distance, ces opérateurs comptent effectuer des économies d'échelle en termes d'équipements d'infrastructure et de commercialisation.

Les opérateurs sans fil aux Etats-Unis sont bien positionnés pour assurer l'intégration des services multimédia fixes et mobiles. Ils doivent rendre pour cela le réseau « invisible » et unifié pour l'utilisateur, quelle que soit la combinaison des services offerts (sans fil/filaires, local/longue distance...) et que l'infrastructure leur appartienne en propre ou soit louée à un tiers.

Annexe : constellations de satellite et modes alternatifs

Raison d'être

Les avancées technologiques en matière de plateformes et de charges utiles ont permis d'entreprendre la réalisation de constellations de satellites en orbites moyenne ou basse à grande échelle, pour toucher différents marchés, autant en types de services qu'en couverture.

La tendance est à l'universalisation et à la standardisation.

De manière générale, les projets, puisqu'il s'agit encore de projets pour la plupart, ont pour objectif de créer un réseau universel de communications, sans discrimination géographique.

La standardisation est en marche grâce à la nécessité, à grande échelle, d'utiliser des protocoles communs pour le transfert de données, impliquant un gain notable d'efficacité, de rapidité et de sécurité.

Les programmes les plus ambitieux assurent une couverture du globe de -70° à $+70^{\circ}$ en latitude, soit la quasi-totalité des territoires habités ainsi que la majorité des routes de navigation maritimes. Ces programmes impliquent tous les types de communications d'aujourd'hui : l'accès à l'Internet bien sûr, la téléphonie et la messagerie..

Outre cette couverture globale, les constellations assurent la qualité de service, aussi bien pour les particuliers que pour les entreprises ou les organisations : à 1500 km d'altitude, le temps de réponse est de 20 millisecondes, soit autant qu'avec un câble coaxial ou optique (contre une demi-seconde pour un satellite géostationnaire à 36000 km).

Techniques de communications

Les techniques de communications utilisées sont toutes des techniques issues des liaisons terrestres.

Les satellites de téléphonie bénéficient de relais en mode PSTN (Public Switch Telephone Network) ou PLMN (Public Land Mobile Network), connectés aux réseaux terrestres.

De même, les liaisons Internet sont réalisées suivant le protocole TCP/IP, avec, de plus en plus, des passerelles ATM (Asynchronous Transfer Mode).

L'information émise ou reçue par un satellite contient plusieurs signaux, séquencés, soit temporellement (TDMA, Time Division Multiple Access), soit fréquentiellement (FDMA, Frequency Division Multiple Access). Une dernière méthode de multiplexage de données est de plus en plus utilisée : le CDMA (Code Division Multiple Access, développé notamment par Qualcomm) transporte tous les signaux élémentaires suivant un code d'« entrelacement » qui, non seulement optimise le débit et réduit les interférences, mais également assure un confort et une sécurité de communication accrue.

Caractéristiques des constellations

Plusieurs types de constellations existent. Elles sont réparties en fonction des fréquences qu'elles utilisent, et ainsi des services qu'elles fournissent :

Bande	Bande passante allouée et débit	Services	Caractéristiques de propagation	Caractéristiques des terminaux
VHF, UHF	137-138 MHz (1 MHz descendant) 148-149.9 MHz (1.9 MHz ascendant) 400.15-401 MHz (0.85 MHz descendant) 9600 - 24000 bps	<u>Little LEOs</u> <ul style="list-style-type: none"> • Terminaux mobiles • Messages non vocaux • Temps de transmission et densité de flux régulés 	<ul style="list-style-type: none"> • Pluie : atténuation négligeable • Bonne pénétration de feuillage • Pénétration de bâtiments et trajets multiples acceptables • Haut bruit de fond 	<ul style="list-style-type: none"> • Terminaux de faible puissance, portables et peu coûteux. (comparables aux unités du marché amateur à \$200-\$500) • Antennes fouet ou hélicoïdale • Faible limitation de lieu et d'orientation

Bande S	1610-1626.5 MHz (16.5 MHz ascendant) 2483.5-2500 MHz (16.5 MHz descendant) 200 kbps	<u>Big LEOs</u> • Terminaux mobiles • Services de type téléphone cellulaire, voix, données	<ul style="list-style-type: none"> • Pluie : atténuation acceptable • Faible pénétration de feuillage • Faible pénétration de bâtiments et trajets multiples possibles • Bruit de fond acceptable 	<ul style="list-style-type: none"> • Terminaux coûteux, de faible puissance, portables (\$200-\$800 : comparable à un téléphone cellulaire mais dépendant des quantités produites) • Antennes hélicoïdales • Haute limitation de lieu et d'orientation
Bande K	17-19.5 GHz (2.5 GHz descendant) 27.5-30 GHz (2.5 GHz ascendant) 2 Mbps	<u>“Mega” LEO & GEO</u> • Terminaux fixes ou mobiles • Tout format de données (haut-débit)	<ul style="list-style-type: none"> • Pluie : grande atténuation • Faible pénétration de feuillage • Faible pénétration de bâtiments et trajets multiples possibles • Bruit de fond acceptable 	<ul style="list-style-type: none"> • Terminaux coûteux, de puissance moyenne à haute • Antennes parabolique ou à commande de phase • Très haute limitation de lieu et d'orientation

Fonctions principales

Ainsi, les constellations auront pour rôle majeur :

- D'instaurer des services de messagerie mondiaux,
- De permettre des liaisons téléphoniques partout dans le monde, soit par mobile, soit par cabine téléphonique reliée au réseau satellitaire,
- DE POURVOIR LES REGIONS A FAIBLE DENSITE DE POPULATION AVEC UNE CONNEXION INTERNET A HAUT DEBIT,
- En zone habitée, de suppléer les réseaux filaires en période de haut trafic.

Les rôles de chaque constellation sont dépendants du débit disponible.

Ainsi, les constellations de messagerie seront spécialisées dans le suivi et le contrôle à distance de navires, de camions, de plateformes off-shore, dans l'assurance des transactions et dans la messagerie bi-directionnelle, professionnelle ou personnelle. Elles s'attachent à une niche qui leur permet d'être financièrement compétitives.

Leo One, Orbcomm et Final Analysis ont des déploiements prévus entre 2000 et 2002.

Les constellations de téléphonie (ex. Globalstar, de Loral Space & Communications, déjà utilisée en Corée et au Brésil, New ICO, Ellipso) ont pour but d'assurer une couverture globale et d'instaurer un standard de communications d'ici à 2003.

Pour l'Internet, il s'agit de rendre l'accès aisé aux zones rurales, mais également d'assurer des réseaux internes sécurisés d'entreprises, dont les filiales sont éloignées, ou encore de favoriser le développement d'applications prometteuses telles que la vidéo-conférence ou la télé-médecine.

L'entrée en service de ces constellations (Teledesic, SkyBridge, Spaceway, Astrolink) est prévu de 2002 (Astrolink) à 2004 (Teledesic).

Tableau récapitulatif

Type de système	« <u>Little LEOs</u> »	« <u>Big LEOs</u> »	« <u>Mega LEOs</u> » ou <u>LEOs haut-débit</u>
Fréquences d'opération	Bandes VHF et UHF <500 MHz	bande S: 1.6-2.5 GHz	bande K: 19-29 GHz
Optimisation du système	Données en bande étroite	Voix	Voix, video-conférence et données haut-débit
Services fixe ou mobile	Mobile et fixe	Mobile et fixe	Mobile et fixe
Taille de l'équipement	>160 cm ³	>160 cm ³	Deux antennes paraboliques orientables de 30 cm sur support, terminaux de type ordinateur portable
Coût de l'équipement	\$250 - \$1,000 (aujourd'hui), \$100 - \$500 (futur proche)	\$750 - \$3,000	\$3000 - \$5,000
Coût du service	\$1-\$50 /mois	\$.35-\$3.00 /minute	Similaire aux coûts de services haut-débit filaires.
Coût du système	\$300 - \$600 millions	\$2 - \$5 milliards	\$4 - \$13 milliards

Commercialisation

Deux techniques principales de commercialisation sont envisagées par les possesseurs des services de télécommunications :

Centralisation des abonnements (ex. Teledesic)

L'opérateur américain de la constellation traite directement avec ses clients de par le monde et adopte ainsi un tarif universel pour l'allocation de bande passante ou le temps de communication. Cette gestion s'apparente à une gestion « World Company » mais propose un tarif unique.

Ce marketing en étoile est lié à la technologie Teledesic, une des rares constellations à prévoir des liaisons inter-satellites.

Décentralisation (ex. SkyBridge)

Il s'agit ici de sceller des alliances avec les compagnies de téléphone locales qui assureront la gestion des abonnés. Cette répartition, plus égalitaire dans son principe, pose cependant des problèmes dans les pays en voie de développement où les coûts d'exploitation sont facturés par les compagnies locales, grands maîtres du marché, avec de grosses marges par rapport au coût de revient.

SkyBridge, comme la majorité des constellations, assure le réseau d'accès grâce à ces satellites, le réseau de transport est terrestre, ce qui, par ailleurs, diminue grandement le coût global du système (10 milliards de dollars pour Teledesic contre 5 milliards pour SkyBridge).

Satellites géostationnaires et alternatives

Enfin, l'Internet « atmosphérique » fait son apparition sous deux formes différentes :

1. Des ballons stratosphériques, à 21 km d'altitude, offrant, au dessus des grandes villes et d'ici 2002, un débit variant de 2 à 10 Mbps. Sky Station utilisera la bande 47 Ghz pour offrir un accès internet à quelques cents la minute sur une zone de 100 km ainsi qu'un réseau téléphonique peu coûteux et plus étendu (sur 150 km).
2. Des avions automatiques (se relayant à 3 sur 24h), à 16 km d'altitude, également en zones densément peuplées, opérant à 28 GHz, sur une zone de 100 km de diamètre. HALO, d'Angel Technologies Corporation, assure des débits de 1 à 5 Mbps pour les particuliers et de 5 à 12,5 Mbps pour les entreprises.

Glossaire

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Link
ATM	Asynchronous Transfer Mode
CDMA	Code Division Multiple Access
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specification
DSL	Digital Subscriber Link
DWDM	Dense Wavelength Digital Multiplexing
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FTTB	Fiber to the Building
FTTC	Fiber to the Curve
FTTH	Fiber to the Home
HDSL	High Speed Digital Subscriber Link
HFC	Hybride Fibre-Coxial
ITU	Union Internationale des Télécommunications
IP	Internet Protocol
LEO	Low Earth Orbit
LMDS	Local Multipoint Distribution Service
MMDS	Multipoint Multichannel Distribution Service
MOEMS	Micro-Opto-Mechanical Systems
OXC	<i>Optical Cross-Connect ?</i>
PAVNET	Plastic and VCSEL Network
PLMN	Public Land Mobile Network
PON	Passive Optical Network
PSTN	Public Switch Telephone Network
RBOC	Regional Bell Operating Companies RHK
RNIS	Réseau Numérique à Intégration de Service
RTCP	Réseau Téléphonique Commuté Public
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SDSL	Symmetric Digital Subscriber Link
SONET	Synchronous Optical Network
TDM	Time Division Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
VCSEL	Vertical Cavity Surface-Emitting Laser
VDSL	Very high bite rate Digital Subscriber Link
WDM	Wavelength Division Multiplexing