

Les communications avec des terminaux fixes

Guy BRUN

Ingénieur en télécommunications

La multiplication des services qui sont proposés au public, téléphone, télécopie, Internet, radio et télévision, est à l'origine du développement des réseaux de communications. L'accès au téléphone et à l'Internet est obtenu généralement en Europe par le réseau de télécommunication classique, l'accès aux chaînes de radio et de télévision est obtenue principalement encore par le réseau hertzien terrestre. Mais d'autres réseaux comme le câble ou les satellites atteignent de plus en plus d'utilisateurs, de nouveaux réseaux tels le LMDS (local multipoint distribution system) ou le MWS (multimedia wireless system) ont été développés par l'industrie et sont à la recherche d'un marché pour être industrialisés et commercialisés ; la boucle locale radio (BLR) qui délivre les services du téléphone et de l'Internet à haut débit, commence à être commercialisée.

Les techniques traditionnelles qui sont mises en œuvre dans les boucles locales classiques pour délivrer tous les services de communications sont principalement la ligne d'abonné en cuivre et le réseau hertzien terrestre, elles sont concurrencées notamment par les nouvelles technologies de radiocommunication. Les utilisateurs sont raccordés à plusieurs réseaux, généralement deux parfois trois, pour recevoir tous ces services; cependant certaines boucles locales telles les réseaux câblés ou des réseaux de radiocommunication délivrent tous les services pour des coûts très inférieurs aux boucles locales traditionnelles, cet article a pour objet de montrer que les structures et les technologies des réseaux actuels sont dépassées et que les nouveaux réseaux, aux structures et aux technologies plus performantes et moins chères, devraient s'imposer à long terme.

1. Les réseaux et les services de communications.

Le réseau de télécommunication de base est le réseau téléphonique, chaque abonné est raccordé au central téléphonique au moyen de sa ligne

bifilaire en cuivre, dans ce cas la boucle locale présente une structure étoilée. Les nouveaux services que proposent les opérateurs de télécommunications utilisent cette boucle locale, ce fut le cas du Minitel, c'est le cas de la télécopie et de l'Internet à bas débit. L'augmentation des débits dans une même voie téléphonique est obtenue par l'amélioration des modems, on est passé de quelques kilobits/seconde pour Minitel à quelques dizaines de kilobits/seconde pour l'Internet à bas débit. L'ADSL (Asymmetrical Digital Subscriber Line) permet d'atteindre quelques centaines de kilobits/secondes et donne accès à l'Internet à haut débit en s'affranchissant de la voie téléphonique mais en utilisant toujours la ligne bifilaire en cuivre.

Le réseau de télévision qui atteint le plus grand nombre de téléspectateurs est encore le réseau hertzien terrestre, il permet de diffuser six programmes de télévision analogique et il pourrait être étendu à une trentaine de programmes de télévision numérique, mais il est en régression devant la montée du câble et du satellite : le nombre d'abonnés aux réseaux de télévision par câble croît en France de 7 à 8% par an, celui aux chaînes satellitaires de près de 20% par an, selon l'Aform (Association française des opérateurs de réseaux multiservices) ils atteignaient à la fin de l'année 2001 respectivement 3.25 et 2.95 millions sur un nombre total de ménages qui s'élève à 24 millions. Toutefois le développement des réseaux câblés s'effectue dans les zones à forte densité de population, le satellite en revanche couvre l'ensemble du territoire, il diffuse des chaînes nationales ou supranationales, mais n'est pas adapté à la diffusion de chaînes locales ou régionales.

L'étude du développement des réseaux et des services serait simple si elle s'arrêtait là : d'un côté le réseau de télécommunications permettant l'accès au service téléphonique et à l'Internet, de l'autre trois réseaux de télédiffusion en compétition l'hertzien le câble et le satellite permettant la réception des programmes audiovisuels. Mais la technologie des réseaux câblés change, autrefois entièrement en câble coaxial, elle évolue vers une structure mixte, le réseau de transfert prend une structure étoilée et passe en fibre optique, le réseau de distribution de structure arborescente reste en câble coaxial. Sur ces réseaux HFC (Hybrid Fibre Coaxial) il est possible d'implanter tous les services de communications : le téléphone, l'Internet à haut débit et la radio-télévision. De même les réseaux de radiocommunication tels le LMDS ou le MWS, entièrement développés par l'industrie mais pas encore déployés en Europe, permettent aussi l'accès à tous les services de communications, ils présentent des fonctionnalités comparables à celles de la boucle locale radio mais délivrent en plus l'accès aux services audiovisuels ; ils sont bien adaptés à l'équipement des zones à moyenne et faible densité de population.

Les réseaux HFC, LMDS, MWS sont de bons exemples qui illustrent ce qu'il est convenu d'appeler la convergence des réseaux de communications.

2. Question de fond

Le téléphone et la radio-télévision sont des services publics au sens traditionnel du terme et constituent des Services d'Intérêt Economique Général au sens du droit européen¹. De manière générale tous les pays reconnaissent que ces services de communications sont indispensables à leurs développements et leurs attachent une importance particulière.

Pour qu'ils servent l'Intérêt général, il est indispensable que ces services respectent les principes et les missions qui leurs sont assignés. D'abord, le service universel a pour objectif d'assurer pour tous un service de qualité à un prix abordable, son contenu doit être défini par chaque Etat ; le téléphone et certains programmes de radio et de télévision en font évidemment partie, mais cette notion est évolutive et il est probable que dans un avenir proche, l'accès à Internet en fera aussi partie.

Mais les services publics doivent de plus respecter les principes d'égalité, de continuité et d'adaptabilité. Le principe d'égalité donne le droit à chaque citoyen d'un pays, qu'il habite dans les villes ou dans les zones rurales, dans la plaine ou à la montagne, d'avoir accès pour le même prix aux services publics. Ce service doit être délivré avec une garantie de qualité minimum de manière continue. Et il doit être adaptable, c'est à dire que les progrès de la technologie et des gains de productivité doivent concourir à l'amélioration de la qualité de service et à la diminution des coûts pour les opérateurs et par voie de conséquence pour les usagers ; l'introduction de nouveaux services dans le service universel est effectuée aussi en référence au principe d'adaptabilité.

Les développements technologiques récents devraient permettre d'une part de diminuer les coûts d'établissement des réseaux et de faciliter ainsi l'accès de tous les habitants d'un pays aux services d'intérêt général, d'autre part d'autoriser tous les habitants d'accéder non seulement au téléphone et à la radio-télévision mais aussi à l'Internet à haut débit.

3. Structure générale des réseaux

Nous allons nous concentrer dans cette partie d'une part sur les trois réseaux de communication qui sont actuellement les plus développés, à savoir : le réseau téléphonique, le réseau Internet et le réseau de radio-télévision, d'autre part plus particulièrement sur la structure de la boucle locale c'est à dire le réseau qui est à proximité de l'abonné, auquel il est raccordé.

¹ *Communication de la Commission : les services d'intérêt général en Europe. Luxembourg : Office des publications officielles des Communautés européennes, septembre 1996.

La boucle locale représente la part des investissements d'un réseau la plus importante, cette part peut s'élever à 80% de l'ensemble.

3.1. Les services

3.1.1. Le téléphone

Le réseau téléphonique offre un service bidirectionnel et symétrique, l'utilisateur doit pouvoir émettre et recevoir, parler et écouter, et les signaux qu'il émet et qu'il reçoit sont de la parole, ils ont donc les mêmes caractéristiques. La boucle locale comporte une voie descendante et une voie montante identiques dont le débit peut atteindre 64 kbits/s au maximum.

La structure de base de la boucle locale du réseau téléphonique est étoilée, elle remplit d'abord une fonction de concentration et éventuellement une fonction de commutation.

Chaque usager est raccordé au concentrateur par une ligne, composée d'une paire de cuivre, qui lui est dédiée. Cette ligne est occupée seulement pendant les conversations téléphoniques. En supposant qu'un nombre N d'abonnés soit raccordé à un concentrateur, il n'est pas nécessaire de disposer en amont du concentrateur d'une liaison dont le débit dans chaque sens serait égal à $N \times 64$ kbits/s, il faut seulement disposer de liaisons capables d'acheminer les conversations des usagers qui sont en communication.

Lorsque le nombre d'abonnés raccordés au concentrateur est grand, le calcul de la capacité de la liaison amont obéit à la loi des grands nombres, en pratique il faut raccorder de 250 à 500 abonnés à un même concentrateur pour que cette loi joue, et une liaison amont de 30 à 60 voies dans chaque sens permet en pratique d'acheminer les conversations de tous les abonnés ; la capacité de la liaison amont dépend des caractéristiques de la population desservie, le trafic ne sera pas le même selon que la population est jeune ou âgée, aisée ou gênée, professionnelle ou résidentielle.

En amont du concentrateur se trouve le commutateur téléphonique qui permet d'établir des circuits entre deux abonnés quelconques. Ces deux fonctions, concentration et commutation, sont souvent intégrées dans les mêmes centraux téléphoniques ; cela est toujours le cas dans les zones urbaines où la densité de population est grande. En revanche, en zone rurale où la densité est faible, ces deux fonctions sont généralement séparées.

Chaque usager est donc relié au concentrateur par une ligne qui lui est propre, le réseau local se présente sous la forme d'une étoile dont le centre est le concentrateur.

Lorsqu'un usager appelle un autre usager, un circuit bidirectionnel et symétrique est physiquement établi entre eux deux, sur un itinéraire physiquement déterminé. Le circuit est mis en œuvre grâce aux commutateurs.

3.1.2. L'Internet

Il y a deux types de services qui peuvent être mis en œuvre sur le Réseau Internet : les services de correspondance privée et les services de communication au public.

Les premiers demandent en général l'établissement de liaisons à faibles débits, quelques kbits/s à quelques dizaines de kbits/s, elles peuvent relier deux usagers quelconques du Réseau au moyen de liaisons bidirectionnelles et symétriques.

Les deuxièmes mettent en œuvre des liaisons bidirectionnelles asymétriques pour permettre à des usagers d'accéder à des serveurs ou des sites où sont présentes des informations destinées au public en général. La voie descendante dans le sens serveur vers usager est à fort débit, sur le réseau téléphonique ordinaire elle n'excède pas 64 kbits/s, mais par l'ADSL (Asymmetrical Digital Subscriber Line) elle pourra atteindre théoriquement de 1.5 à 8 Mbits/s ; la voie remontante est à plus faible débit, elle est de quelques kbits/s sur le réseau téléphonique, elle se situera théoriquement entre 16 et 640 kbits/s sur le réseau ADSL. Le réseau Internet est interactif.

Comme les usagers à l'Internet utilisent le Réseau pendant des durées limitées, les liaisons sont établies pendant un faible pourcentage du temps, et il est possible, comme pour le téléphone téléphonique, de concevoir l'architecture du Réseau, notamment au niveau de la boucle locale, en tirant partie de la concentration de trafic.

Les signaux transitent sur le réseau Internet sous forme de paquets, lorsqu'une communication est établie il n'y a pas de circuit et d'itinéraire concrètement définis. Les paquets d'information ne sont pas transmis à une cadence fixe et à un débit garanti et ils peuvent changer d'itinéraire.

3.1.3. La Radio-Télévision

La radiodiffusion, qui dans la terminologie de l'Union Internationale des Télécommunications (UIT) signifie, télédiffusion de toutes sortes de messages qu'ils soient sous forme de données de sons ou d'images, consiste à diffuser par voie radioélectrique un même contenu à tout récepteur se trouvant dans la zone de couverture du réseau d'émission. La diffusion est effectuée par voie radioélectrique pour des raisons technico-économiques, car lorsque la radio est née, c'était le moyen le moins onéreux pour atteindre un très grand nombre de personnes et lorsque la télévision est née, c'était le seul moyen capable de télédiffuser un signal à large bande comme le signal de télévision. Mais par la suite sont apparus les réseaux câblés et les satellites qui dans certaines conditions peuvent remplir le même rôle que les réseaux d'émission terrestre par voie radioélectrique.

Nous dirons donc qu'un réseau de télédiffusion est un réseau qui est capable de diffuser, en temps réel, un même contenu à une multitude de personnes.

Alors que dans un réseau téléphonique le récepteur doit être identifié parce que le message est personnalisé, il est émis par une personne identifiée et il est destiné à une autre personne elle-même bien définie, dans un réseau de télédiffusion, le message est seulement personnalisé par ceux qui en sont à l'origine, mais il est anonyme quant à son destinataire. Cela a des conséquences sur la structure même du réseau. D'abord le réseau est unidirectionnel et ensuite il n'est pas nécessaire d'identifier le récepteur. C'est pourquoi les réseaux de télévision par câble les plus simples sont de structure arborescente et non étoilée comme dans le cas de la boucle locale du réseau téléphonique, et de plus ils ne comportent pas de voie de retour.

Cependant une différence importante avec le réseau téléphonique est qu'ils sont à très fort débit : un signal de radio stéréophonique d'excellente qualité, à la norme Musicam, correspond à un débit de 192 kbits/s environ, un signal de télévision à la norme MPEG2 à 4 ou 5 Mbits/s environ. En télévision hertzienne on pourra diffuser une trentaine de programmes, un satellite ou un réseau câblé transmettent environ 300 programmes de télévision. Cela montre que les réseaux de télédiffusion sont à large bande.

Un réseau de radio ou de télévision est un réseau cellulaire, le modèle de cellule le plus souvent utilisé est hexagonal, la couverture du territoire se présente sous forme de nid d'abeille, les stations d'émission étant situées au centre de chaque cellule. A l'origine ils ont été conçus afin de minimiser le nombre de centres d'émission ; la technologie des tubes d'émission qui a été développée au cours des années soixante a permis de développer des émetteurs principaux dont la portée atteignait 60 km.

3.2. Différents types de boucles locales.

3.2.1. Les boucles locales de Télécommunications

Le réseau existant des opérateurs historiques de télécommunications est à couverture globale, *les lignes en cuivre* raccordent la quasi-totalité des abonnés, seuls les abonnés isolés dans la montagne, comme ceux des refuges, sont raccordés par voie radioélectrique. La stratégie des opérateurs historiques est donc d'exploiter au maximum ce réseau.

Le premier service autre que le téléphone utilisant ce réseau a été la télécopie, puis maintenant il y a en plus Internet. Mais la connexion à Internet utilise la voie téléphonique située entre 300 et 3400 Hz, pour atteindre dans cette bande des débits de 45 kbits/s environ il faut utiliser des modems numériques sophistiqués. Le réseau numérique à intégration de service (RNIS) permet d'atteindre 64 kbits/s, mais pour l'utiliser il faut louer une deuxième ligne à l'opérateur.

L'Internet à haut débit correspond à des débits de l'ordre de 512 kbits/s et plus. Les opérateurs historiques proposent la technique ADSL qui utilise aussi la ligne d'abonné. Mais alors que la paire de cuivre permet d'acheminer la parole sur plus de dix kilomètres, elle ne permet pas de dé-

passer plus de 3.5 km pour l'ADSL. Les zones à densité de population faible, 10 à 20 habitants au km², ne pourront pas être atteintes.

Mais l'opérateur historique France-Télécom a décidé d'équiper seulement les zones à forte densité, en effet les zones urbaines concentrent sur 25% du territoire 75% de la population environ. C'est pourquoi l'Autorité de Régulation des Télécommunications a décidé de développer en France *la boucle locale radio (BLR)*, d'abord pour mettre en place un réseau alternatif faisant concurrence à celui de France-Télécom même dans les zones urbaines, ensuite pour que les usagers situés en zones rurales soient aussi desservis, enfin pour éventuellement couvrir les zones à très faible densité de population.

L'ARTa organisé un appel à candidature au cours de l'année 2000 afin de désigner les opérateurs de la boucle locale radio en France. Deux opérateurs nationaux ont été choisis Firsmark et Fortel, et deux autres opérateurs par région. Comme l'indique le tableau suivant deux bandes de fréquences ont été déterminées l'une autour des 3.5 Ghz pour les liaisons à longue portée, l'autre à 26 Ghz pour les liaisons à moyenne portée.

	Bande des 3.5 Ghz	Bande des 26 Ghz
Définition des bandes de fréquences	3.4 ; 3.6 Ghz	
Portée maximum	30 km	une dizaine de kilomètres.

3.2.2. La boucle locale en radio-télévision

Il existe en radio-télévision quatre types de boucle locale en concurrence : l'hertzien terrestre, le satellite, le câble, le MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Service).

Le réseau hertzien terrestre.

Un réseau de télédiffusion a pour fonction de diffuser des programmes de radio et de télévision, à partir des régies finales des différentes sociétés de programmes, sur les zones déterminées par chacune de ces sociétés. La régie finale est constituée de différents équipements, studios, magnétoscopes, mélangeurs, codeurs, etc., afin d'assembler les différents éléments d'un programme pour qu'il soit prêt à être diffusé.

Les réseaux de télédiffusion comportent deux fonctions essentielles : le transport et l'émission.

La couverture du territoire, sur lequel est située la population à laquelle est destiné le programme, est effectuée par un ensemble d'émetteurs radioélectriques dont la juxtaposition des zones de service couvre l'ensemble du territoire visé.

L'acheminement du programme lui-même de la régie finale jusqu'à chacun des émetteurs est réalisé par un réseau de transmission point à multipoint appelé aussi réseau de transport.

Lorsque le programme est destiné à une population située sur une grande superficie, tel un programme national français, le réseau de transport le plus économique est un système à satellite qui comporte autant de stations de réception qu'il y a d'émetteurs à alimenter, quelques centaines à quelques milliers pour un territoire comme celui de la France. En revanche, la diffusion de programmes de proximité destinés à une population locale est réalisée au moyen d'un nombre limité d'émetteurs. Le transport est effectué par un réseau large bande à fibre optique ou par des faisceaux hertziens.

Le réseau d'émetteurs principaux des 1^{ière}, 2^{ième} et 3^{ième} chaînes pour lesquels les puissances d'émission de l'image et du son sont chacune de 25 kW, couvrent 80% de la population située sur 50% du territoire environ. Cette couverture est complétée par celle d'un réseau secondaire desservant 19% de la population environ. Le 1% de la population qui reste, correspond à des zones à faible densité de 15 à 20 habitants par km² dont la superficie représente de 10 à 15% du territoire et que les sociétés de programmes n'acceptent généralement pas de couvrir. Les réémetteurs qui sont installés dans ces zones sont pour la plupart financés par les collectivités territoriales. Mais les populations situées dans ces régions ne sont pas privées de télévision car elles peuvent toujours recevoir les programmes nationaux par satellite, elles sont simplement privées des programmes régionaux et locaux.

Dans l'ensemble des bandes de fréquences attribuées à la télévision, six réseaux nationaux de télévision ont été planifiés dans la plupart des grands pays européens. En télévision analogique un programme occupe entièrement un canal de largeur 8 Mhz, le passage à la télévision numérique permettra de mettre 5 à 6 programmes dans le même canal. Il est prévu également, six réseaux de télévision numérique permettant de diffuser au total entre 30 et 36 programmes de télévision dans la même bande de fréquences, leurs réceptions pouvant se réaliser sur des téléviseurs portables.

La réception de ces programmes en numérique comme en analogique est effectuée sur des antennes ayant la forme d'un râteau, elle peut être soit individuelle soit collective, dans ce deuxième cas l'antenne est branchée en aval sur un réseau câblé desservant les logements de l'immeuble collectif.

Les réseaux satellitaires.

La couverture d'un grand pays européen réalisée grâce à un réseau comportant plusieurs centaines voire plusieurs milliers de centres d'émissions de programmes de radio et de télévision, peut être effectuée au moyen d'un seul satellite situé sur l'orbite géostationnaire. L'antenne de réception étant constituée d'une parabole, de 60 cm de diamètre, dirigée vers le satellite. La différence, en terme de service, entre le réseau terrestre et le réseau par satellite, réside dans le fait que la réception satellitaire des programmes de radio dans les mobiles n'est pas possible, et qu'un satellite est plus destiné à des couvertures nationales que régionales.

Un système de diffusion par satellite comprend une station de connexion qui transmet au satellite l'ensemble des programmes de radio et de télévision et le satellite lui-même dont la vocation est d'émettre par voie radioélectrique dans des bandes de fréquences comprises entre 10.7 et 12.75 Ghz, tous les programmes analogiques et numériques à destination du territoire visé.

Le satellite situé à une altitude de 35786 km sur l'orbite géostationnaire semble immobile par rapport à la terre, il est secouru par un satellite identique et comporte notamment une charge utile comprenant des antennes de réception et d'émission ainsi que les organes de traitement des ondes radiofréquences transmises. Par exemple le satellite Stelcat qui doit succéder au satellite Télécom 2B possèdera 40 répéteurs de 100 watts chacun. Sachant que dans chaque répéteur il est possible de diffuser 9 à 10 programmes de télévision, les performances d'un réseau par satellite supportent facilement la différence avec celles d'un réseau d'émetteurs terrestres.

Les réseaux câblés.

Actuellement tous les Français qui le désirent peuvent recevoir facilement six programmes de télévision analogique pour un investissement faible, une antenne de réception individuelle coûte environ 1500F et une antenne de réception collective coûte de l'ordre de 500F par usager. Mais les téléspectateurs qui le souhaitent, peuvent s'équiper en paraboles pour recevoir plus de six programmes, mais ils doivent s'acquitter d'un abonnement car les programmes diffusés par satellite sont payants. La prolifération des paraboles sur les toits montre qu'il existe un marché. Dans les zones urbaines, à forte densité de population, les réseaux câblés peuvent être compétitifs par rapport au satellite, c'est pourquoi des câblo-opérateurs ont investi dans cette technologie en espérant que la durée du retour sur investissement ne sera pas excessive.

On peut distinguer deux types de réseaux câblés, les petits réseaux qui sont entièrement en câbles coaxiaux et les plus grands qui sont hybrides et qui sont réalisés en fibre optique et en coaxial, ce sont les réseaux HFC (Hybrid Fibre Coaxial).

Les réseaux câblés comportent trois fonctions essentielles :

- Une station de tête qui a pour fonction de recevoir les différents programmes de télévision et de radio par voie hertzienne ou par satellite et de distribuer ces programmes sous forme de multiplex dans la voie descendante. Le site de réception peut être déporté par rapport à la station de tête. Dans le cas des réseaux HFC qui possèdent une voie de retour, la station de tête doit assurer l'interconnexion avec le réseau de télécommunication.
- Un réseau de transfert qui achemine dans le sens descendant le multiplex de radio et de télévision vers le réseau de distribution. Dans le cas des petits

réseaux le réseau de transfert est en câbles coaxiaux, dans le cas des réseaux HFC il a une structure étoilée et il est en fibre optique.

- Des réseaux de distribution qui sont toujours en câbles coaxiaux et de structure arborescente se terminent sur la prise d'abonné. Ils comportent une voie descendante située entre 87.5 et 862 Mhz qui a pour rôle de distribuer le multiplex de radio et de télévision. Dans le cas des réseaux HFC, ils comportent une voie de retour qui est située au-dessous de 87.5 Mhz dont la largeur est au plus de 60 à 70 Mhz, et qui associée dans la voie descendante à une bande de fréquences de même largeur, rend le réseau interactif et permet de proposer des services de télécommunications aux usagers. Les réseaux de distribution des réseaux HFC présentent de 250 à 500 prises d'abonnés. L'interface de ces réseaux avec le réseau de transfert optique, appelée « point de desserte optique » (PDO), assure le traitement des signaux dans les sens descendant et retour.

Compatibilité câble-satellite

Les programmes de télévision analogique reçus par satellite dans des canaux de 39 Mhz de large sont distribués sur le câble en modulation d'amplitude à bande latérale résiduelle (MABLR) dans des canaux de 8 Mhz de large. La modulation numérique normalisée pour les satellites est une modulation de phase (QPSK), elle utilise les mêmes canaux qu'en analogique et elle permet la distribution d'un multiplex de 9 à 10 programmes de télévision à un débit de 36 Mbits/s. Sur le câble la modulation numérique est une modulation d'amplitude et de phase à 64 états (MAQ64) qui peut distribuer aussi un débit de 36 Mbits/s dans les mêmes canaux qu'en analogique. Ainsi l'organe de conversion de la norme satellite vers celle des réseaux câblés ne peut pas être plus simple, puisqu'il se réduit en un démodulateur QPSK et en un modulateur MAQ64 sans toucher au flux d'informations numériques.

Fonctionnement des équipements de télécommunications

Le réseau de distribution ayant une structure arborescente, l'utilisateur ne peut pas être identifié par son câble de raccordement comme c'est le cas sur le réseau téléphonique actuel, mais le nombre d'utilisateurs raccordés à ce réseau, 250 à 500, correspond au nombre nécessaire pour que l'on puisse mettre en œuvre un concentrateur de trafic au niveau de l'interface POD.

Le système fonctionne ainsi : les voies téléphoniques qui sont affectées aux abonnés qui sont en communication sont des intervalles de temps ; du fait qu'il est possible de concentrer le trafic, il suffit de trente à soixante voies téléphoniques ou intervalles de temps pour permettre aux 250 à 500 abonnés pour communiquer. Ce dispositif fonctionne en accès multiple par répartition dans le temps (AMRT). Par ailleurs, il suffit d'un ou de deux multiplex de 30 voies correspondant respectivement à deux ou quatre Mbits/s, pour acheminer le trafic du POD vers la station centrale. L'Internet

qui est un système bidirectionnel mais asymétrique fonctionne selon le même principe. Mais pour qu'un tel dispositif ait un avenir, il faudra que le téléphone fonctionne aussi sous IP (Internet Protocol) ; c'est dans ce sens que les câblo-opérateurs qui proposent sur leurs réseaux le service téléphonique et l'Internet à haut débit, s'orientent.

Il est donc possible sur un seul réseau d'offrir les services de communication les plus importants : le téléphone, l'Internet à haut débit et les programmes de radio et de télévision. Les réseaux câblés sont les premiers réseaux à réaliser la convergence entre les télécommunications l'audiovisuel et les nouvelles techniques de l'information.

Le MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Service).

Alors que le réseau hertzien terrestre est limité par le nombre de programmes de télévision diffusés, des bandes de fréquences ont été attribuées au MMDS, afin d'offrir par voie radioélectrique les services proposés par le câble.

La dimension des zones de couverture du MMDS est, pour des raisons économiques, fonction du type d'habitat desservi. En zone rurale, la superficie couverte doit être importante et la portée des émetteurs doit dépasser la dizaine de kilomètres, en zone urbaine ou périurbaine, au contraire, elle peut être de quelques kilomètres. Le choix des bandes de fréquences est important car d'une part l'affaiblissement du notamment à la pluie augmente lorsque la fréquence croît, d'autre part la technologie limite la puissance des émetteurs à un niveau qui diminue lorsque la fréquence augmente. Pour compenser ces inconvénients de la montée en fréquences, il a été convenu de choisir les normes de modulation du câble (MAQ64) pour les systèmes fonctionnant dans les bandes de fréquences inférieures à 10 Ghz, et les normes de modulation du satellite (QPSK) pour ceux fonctionnant au-dessus de 10 Ghz.

Il existe actuellement deux bandes de fréquences destinées au MMDS :

La bande 3.6, 3.8 Ghz

Cette bande de fréquences est bien adaptée aux zones rurales, mais elle présente deux inconvénients importants, d'abord en France elle est partagée avec celle attribuée aux faisceaux hertziens, du moins pendant une phase intermédiaire car elle est destinée au MMDS, d'autre part il n'existe pas un consensus européen pour l'attribuer au MMDS.

La bande 40.5, 42.5 Ghz

Les équipements ayant déjà été développés ont une portée de 3 à 4 kilomètres, cela permet de couvrir des zones urbaines et périurbaines. Toutefois, comme dans ces zones existe la concurrence du câble, les systèmes qui sont proposés par l'industrie sont interactifs et devraient délivrer tous les

services de communication: téléphone, internet, radio télévision. Ces systèmes appelés MWS (Multimédia Wireless System) sont déjà développés par l'industrie, notamment par Thalès.

4. Etudes technico-économiques

Cette partie est consacrée à la comparaison des montants d'investissement qu'il faut consacrer au déploiement des différentes boucles locales. Dans le chapitre précédent traitant de la structure des réseaux, il apparaît qu'il existe actuellement deux grandes catégories de boucles locales, celle relative au réseau de télécommunications et celle relative au réseau de radio-diffusion. Mais les données économiques sur les nouvelles boucles locales BLR ou MMDS ne sont pas établies de manière certaines, car ces nouveaux réseaux sont encore très peu développés.

Des études technico-économiques sur les boucles locales de radio-télévision et de télécommunications qui sont aujourd'hui implantées seront donc développées dans un premier temps. Puis il sera examiné comment les nouvelles boucles locales de radiocommunication, BLR et MMDS, pourraient se positionner par rapport à celles qui sont actuellement déployées. Enfin dans le cadre de la convergence des télécommunications, de l'audiovisuel et des nouvelles technologies de l'information, il sera étudié comment les boucles locales pourraient évoluer, y-aura-il une seule boucle locale distribuant tous les services ?

4.1. Cas du réseau de télédiffusion.

Un réseau de télédiffusion audiovisuelle se compose de deux réseaux, le réseau principal comprenant des émetteurs à forte puissance et couvrant la plus grande partie de la population, en France 80% environ, et le réseau secondaire comprenant des réémetteurs de plus faibles puissances et couvrant presque tout le reste de la population, 19% en France, la faible partie restante soit n'est pas couverte soit est pris en charge par les collectivités locales. Mais les populations desservies respectivement par le réseau principal et par le réseau secondaire occupent chacune la moitié du territoire environ. C'est pourquoi les coûts d'investissement et de fonctionnement de chacun de ces réseaux sont sensiblement les mêmes.

Au début de la télévision, on avait pensé qu'un réseau formé d'un nombre faible d'émetteurs de forte puissance reviendrait moins cher en investissement et en fonctionnement qu'un réseau formé d'un nombre important d'émetteurs de faible puissance, l'expérience a montré qu'en ce qui concerne les coûts cela semblait indifférent et que les charges correspondant aux émetteurs de très faible puissance, comme ceux appartenant aux collectivités locales, ramenées à l'unité de superficie couverte étaient équivalentes à celles relatives aux émetteurs de forte puissance. Un tel résultat qui

s'applique aussi aux nouveaux réseaux de télévision numérique, permettra de comparer par exemple les coûts par usager d'un réseau terrestre d'émetteurs hertziens et d'un réseau de télévision par câble ou d'un réseau par satellite en fonction de la densité de population.

Les études technico-économiques qui ont été effectuées concernent les réseaux de bout en bout, ils comprennent les infrastructures les équipements d'émission et les équipements de réception, les antennes individuelles ou collectives ou les réseaux câblés. Différents types de réseaux peuvent être déployés, satellites, hertzien, MMDS ou câble.

La conception d'un réseau dépend non seulement des caractéristiques géographiques des territoires couverts mais aussi du nombre et de la nature des programmes diffusés. Par exemple un pays qui ne peut pas, pour des raisons économiques, développer des programmes locaux ou régionaux de radio-télévision, devrait avoir largement recours aux satellites, à l'inverse la diffusion des programmes locaux ou régionaux nécessitera la mise en œuvre des réseaux hertziens ou MMDS.

La conception d'un réseau dépend aussi des habitudes de la population en matière de réception, est-ce que les individus préfèrent regarder seuls ou en groupe un programme de télévision?

L'optimisation des coûts par usager d'un réseau de télédiffusion, montre que même dans les zones à forte densité de population, l'installation d'antennes collectives dans les immeubles ou les quartiers pavillonnaires revient moins cher que la mise en place de réseaux câblés. Les réseaux en concurrence sont donc la télévision numérique terrestre, le MMDS et le satellite, les deux premiers pouvant diffuser au maximum une trentaine de programmes de toute nature, y compris des programmes régionaux ou locaux, le dernier seulement des programmes nationaux ou internationaux mais en très grand nombre, jusqu'à 300.

Un pays qui considérerait le développement de la télévision nationale comme prioritaire devrait impérativement participer à un programme de télévision par satellite. Le coût de son réseau par récepteur et le mode de réception en fonction de la densité de récepteurs au km² ont été évalués dans le cas de la diffusion d'une trentaine de programmes nationaux ou internationaux et sont résumés dans le tableau suivant :

Diffusion de programmes nationaux et internationaux par satellite

Nombre de récepteurs au km ² 0900260010000			
Coût du réseau par pt de réception 380€ entre 230€ et 380€ 230€			
Type de réception	individuelle	mixte	collective

Si la politique de ce pays est aussi de développer la télévision locale ou régionale, il devra aussi mettre en place des réseaux terrestres, tels la télé-

vision numérique terrestre (TNT) ou le MMDS dont les coûts sont comparables, afin de diffuser les programmes locaux ou régionaux, les autres programmes étant diffusés par satellite. Dans ce cas, le coût du réseau ramené à un récepteur et le mode de réception en fonction de la densité de récepteurs au km² sont résumés dans le tableau suivant :

Diffusion de programmes locaux, nationaux et internationaux

Nombre de récepteurs au km ²				
	01.4900	2600	10000	
Coût du réseau par point de réception.	> 780€	Entre 380 et 780€	Entre 230 et 380€	230€
Type de réception	Individuelle avec parabole + antenne rateau	Individuelle avec antenne rateau	Mixte, individuelle et collective	Collective

Les coûts ont été évalués dans l'hypothèse où seraient diffusés une trentaine de programmes nationaux et/ou internationaux et deux programmes locaux ou régionaux.

Dans les pays développés la situation se présente différemment dans la mesure où un public de plus en plus important souhaite recevoir de très nombreux programmes, plusieurs centaines, et qu'une demande en programmes locaux et régionaux apparaît ; il est donc nécessaire de développer deux réseaux de télédiffusion, l'un par satellite pouvant diffuser jusqu'à trois cents programmes, l'autre terrestre pour les programmes locaux et régionaux. Dans ce cas il est nécessaire de développer les réseaux de télévision par câble pour distribuer au public tous les programmes, car les antennes collectives ne possèdent pas une capacité de transmission suffisante.

4.2. Cas des réseaux de télécommunications

Comme il a été mentionné dans la partie traitant de la structure des réseaux, aujourd'hui la boucle locale du réseau téléphonique se présente exclusivement sous forme d'une paire de cuivre, chaque usager étant raccordé en étoile à un concentrateur par sa ligne d'abonné. La quasi-totalité des foyers sont raccordés de cette manière au réseau téléphonique. Mais, à la différence de la radio-télévision, la boucle locale du téléphone fixe n'emprunte presque jamais la voie satellitaire et très peu de boucles locales utilisent les ondes radio.

Toutefois, lorsque la boucle locale radio se développera, la problématique de segmentation du marché telle qu'elle a été abordée en radio-télévision, se posera dans les mêmes termes. En effet le coût du réseau local est inversement proportionnel à la racine carré de la densité de population, il revient donc très cher en zone rurale. Afin de réduire le coût des investisse-

ments de ce réseau, les habitations isolées seront raccordées à long terme au moyen d'une boucle locale radio (BLR).

Comme pour l'instant il n'existe pas, dans ce cas-là, l'équivalent des antennes collectives pour la radio-télévision, la discussion technico-économique se limite à la comparaison entre les réseaux de paires de cuivre et le réseau de radiocommunication constitué par la BLR. Les données économiques relatives à la BLR étant mal connues, il est difficile d'effectuer une étude aussi détaillée qu'en radio-télévision ; mais il est facile de prévoir que dans le centre des agglomérations, c'est la boucle locale traditionnelle qui sera la plus économique et que dans les zones à habitat dispersé l'avantage se situera sur la boucle locale radio.

4.2.1. Comparaison entre le réseau bifilaire en cuivre et le réseau de câble coaxial.

Il s'agit de comparer un réseau en forme d'étoile raccordant 250 à 500 postes téléphoniques à un concentrateur, à un réseau en forme d'arbre raccordant le même nombre de postes téléphoniques au concentrateur. Une évaluation sur des modèles montre que le rapport entre les longueurs totales de lignes des deux réseaux est compris entre dix et vingt. Mais le diamètre et le coût linéaire des lignes bifilaires sont moins importants que ceux d'un câble coaxial ; toutefois l'accumulation de lignes vers le concentrateur a pour conséquence que les tranchées et les alvéoles seront de plus grandes dimensions. Ainsi le fait que les usagers puissent communiquer par accès multiple par répartition dans le temps (AMRT) sur un même câble coaxial, a pour conséquence la réduction des coûts du cuivre et des infrastructures de génie civil. Or ce qui revient le plus cher dans les investissements de télécommunications c'est d'abord le génie civil, ensuite le cuivre, enfin l'électronique, le génie civil représente plus de 50% du coût total. De plus, les investissements dans la boucle locale sont beaucoup importants que ceux dans le réseau de transport à grande distance, d'où l'importance d'optimiser la boucle locale.

La mise en place de réseaux coaxiaux arborescents dans les zones urbaines permettrait de diminuer de façon importante le coût moyen à la prise d'abonné, il pourrait descendre au-dessous de 300€, équipement d'abonné non compris, pour des zones où le nombre postes téléphoniques au km² est supérieur à 1600.

Il apparaît que si l'objectif des opérateurs de télécommunications est de réduire les coûts afin de répercuter ces coûts sur les tarifs ils devraient reconverter peu à peu leurs réseaux locaux, car non seulement cela diminuerait les coûts d'amortissements dans des proportions très importantes, mais encore ils pourraient proposer en plus des services actuellement fournis comme le téléphone et Internet, les services de radio-télévision.

4.2.2. Comparaison des coûts d'investissement des réseaux câblés et différents réseaux de radiocommunications.

Alors que les réseaux câblés peuvent délivrer au public tous les services de télécommunications et de radio-télévision, il n'en est pas de même pour le satellite et le réseau hertzien numérique terrestre qui sont des supports de télédiffusion ou de la boucle locale radio qui est un support de télécommunications.

Des évaluations technico-économiques montrent que dans les zones de faible densité de population, dans lesquelles il y a moins de 600 postes téléphoniques et de micro-ordinateurs au km², la BLR correspond à des investissements moins élevés que ceux relatifs aux réseaux câblés.

Le tableau suivant donne les intervalles de coût par usager, terminaux compris, de la BLR pour les zones à faible et à forte densité d'équipements.

Boucles locales de télécommunications pour les services téléphoniques et Internet à haut débit

Nombre d'usagers au km ² pour chaque service 0 600 10000		
Type de réseau	Boucle locale radio	Réseaux câblés
Coût du réseau par usager terminaux compris.	>760€	< 760€

4.3. Cas des réseaux intégrés

Sur la BLR utilisant la bande de fréquences 3.4 3.6 Ghz, seuls les services de télécommunication, téléphone et d'Internet à haut débit, ont été prévus, mais la bande voisine 3.6 3.8 Ghz a été attribuée aux services de radio-télévision. Par conséquent, on peut offrir tous les services dans la bande 3.4 3.8 Ghz. Les ondes fonctionnant à ces fréquences sont peu affaiblies par la pluie et peuvent se propager sur des distances importantes pouvant atteindre 30 kilomètres. Toutefois la bande de fréquences attribuée à la radio télévision est de largeur limitée à 200 Mhz qui peut être décomposée en 25 canaux de 8 Mhz. Comme il faut au moins 4 canaux pour planifier un réseau en MAQ 64, 6 réseaux au maximum pourront être déployés, soient 57 programmes de télévision au maximum.

Seuls les services de télécommunication ont été prévus dans la bande des 26 Ghz, en revanche, dans la bande 40,5 42,5 Ghz il a été décidé de faire du MWS au moyen duquel tous les services peuvent être offerts. Les ondes fonctionnant à ces fréquences sont fortement affaiblies par la pluie et se propagent sur des distances faibles n'excédant pas 5 kilomètres. La modulation choisie dans cette bande de fréquences est la QPSK dont le canal a une lar-

geur de 40 Mhz. La largeur de bande de 2 GHz est décomposée en 48 canaux de 40 Mhz. Comme il faut au moins 3 canaux pour planifier un réseau en QPSK, 16 réseaux au maximum pourront être déployés, soient 152 programmes de télévision au maximum. Il ne sera donc pas possible de diffuser autant de programmes de télévision par les réseaux LMDS ou MWS que par le câble ou par le satellite.

Par conséquent il existe des réseaux sur lesquels il est possible d'implanter tous les services de télécommunications : les réseaux câblés de type HFC, le MWS et le LMDS. Mais un nombre limité de programmes de télévision peut être planifié et diffusé par le réseau LMDS, dans le cas où les téléspectateurs demanderaient un très grand nombre de programmes, le LMDS devrait donc être complété par un autre réseau au moyen duquel seraient diffusés les autres programmes.

Une comparaison technico-économique a été effectuée entre les trois dispositifs suivant :

- un réseau câblé de type HFC offrant tous les services dont 33 programmes de télévision,
- un réseau radiofréquences MWS ou LMDS offrant les mêmes services,
- un réseau LMDS offrant le service téléphonique, l'Internet à haut débit et deux programmes de télévision régionaux ou locaux, associé à un réseau satellitaire diffusant 31 programmes de télévision.

Les résultats résumés dans le tableau suivant ont été obtenus :

Nombre d'usagers au km ² pour chaque service. 0 1150010000			
Type de réseau	LMDS + satellite	MWS ou LMDS	Câble de type HFC
Coût du réseau par usager, terminaux compris.	> 1700€	Entre 760 et 1700€	Entre 570 et 760€.

Réseau intégré offrant tous les services de télécommunications et de télédiffusion

Si le taux de pénétration des services est très important, le déploiement de réseaux de type HFC s'impose dans le centre des agglomérations. Dans les zones à très faible densité de population le vecteur le moins coûteux pour diffuser les programmes de télévision nationaux et internationaux est le satellite, les autres services, téléphone, Internet à haut débit et programmes de télévision locaux et régionaux étant mis à disposition de la population par un réseau LMDS fonctionnant dans la bande de fréquences 3.4 3.8 Ghz. Dans les zones de densité de population moyenne, les réseaux intégrés de radiocommunications, le LMDS ou le MWS, sont les plus économiques.

Il faut noter que dans les pays en développement où le taux de pénétration des services est moyen ou faible, les performances des réseaux MWS devraient suffire pour couvrir le centre des agglomérations.

4.4. Comparaison des deux scénarios de développement des réseaux de communications

Le premier scénario concerne le développement et l'optimisation séparés des réseaux de télédiffusion et des réseaux de télécommunications, le deuxième scénario consiste à développer et optimiser des réseaux intégrés.

La modernisation du réseau offrant les services fixes de télécommunications à savoir le téléphone et l'Internet à haut débit peut être obtenue au moyen des technologies existantes : câble HFC pour les zones à forte densité de population, boucle locale radio pour les zones à faible densité. Cette modernisation permettrait de diminuer le montant des investissements dans un rapport trois environ. Le réseau de téléphone fixe coûte environ 22 milliards d'euros, le nouveau réseau conçu à partir de câbles coaxiaux, fibres optiques et liaisons radio devrait coûter de 7.5 milliards d'euros environ. Le réseau de télédiffusion actuel délivrant six programmes de télévision analogique coûte environ 1.5 milliards d'euros. Il est possible de diffuser en numérique pour le même coût de 30 à 36 programmes de télévision. Mais le système à satellite Stelcat, successeur de Télécom2, possède 40 transpondeurs, il pourra diffuser 360 à 400 programmes de télévision et il coûte seulement 450 millions d'euros. Le réseau de télédiffusion optimisé équivalent au réseau de télévision numérique terrestre devrait être constitué par trois ou quatre transpondeurs du satellite Stelcat transmettant de 27 à 36 programmes nationaux ou supranationaux et un réseau de télévision numérique terrestre diffusant partout 5 à 6 programmes régionaux ou locaux et il coûterait seulement 300 millions d'euros soit un rapport de 5 par au coût du réseau actuel.

S'agissant du réseau intégré tel qu'il est décrit dans le troisième cas, la part de la télédiffusion devient marginale par rapport à celle des télécommunications. Mais l'intégration des deux réseaux permet d'abord de mutualiser toutes les infrastructures : tranchées, pylônes, énergie et route d'accès, ensuite de mutualiser certains éléments radioélectriques, émetteurs et antennes d'émission, enfin de minimiser les investissements des usagers en leur permettant de recevoir tous les services sur les mêmes équipements radioélectriques.

Comme le montre le tableau suivant, le réseau intégré comprenant les équipements d'utilisateur est d'un coût bien moins élevé que la somme des coûts des réseaux de télédiffusion et de télécommunications.

Comparaison des coûts par abonnés des réseaux séparés et du réseau intégré

Nombre d'usagers au km ² pour chaque service. 01600 150010000			
Réseaux séparés	BLR+TNT+satellite	BLR+TNT	Réseau câblé +TNT

Coût par abonné aux trois Services.	>2200€	Entre 1400 et 2200€	Entre 800 et 1400€	Entre 650 et 900€
Réseau intégré	LMDS+satellite	LMDS ou MWS		Réseau câblé
Coût par abonné aux trois services.	>1900€	Entre 760 et 1900€		Entre 580 et 760€

L'étude montre que pour des densités d'usagers au km² comprises entre 1 et 600 la différence des coûts par abonné aux trois services vaut de 400 à 500€ ; pour des densités comprises entre 600 et 1500 elle vaut de 130 à 400€ et pour des densités comprises entre 1500 et 10000 elle vaut de 70 à 140€.

Alors qu'il est possible, grâce aux nouvelles technologies d'optimiser séparément les investissements relatifs au réseau de télécommunications et au réseau de télédiffusion, les réseaux intégrés permettent d'obtenir un gain supplémentaire et substantiel sur les coûts d'investissement.

4.5. Conséquences pour l'aménagement du territoire dans un pays comme la France.

4.5.1. Modèle de l'INSEE

L'INSEE a établi un descriptif de répartition de la population² sur tout le territoire métropolitain. Les villes et leurs zones d'influence sont réparties en 361 aires urbaines regroupant près des trois quarts de la population.

De plus en plus les Français travaillent en ville et habitent à la campagne ou réciproquement ; il existe donc un peuplement diffus dans les zones rurales à proximité des agglomérations, ce phénomène appelé « périurbanisation » a commencé il y a une trentaine d'années en région parisienne et il s'est étendu à la plupart des villes françaises.

Ce nouveau descriptif de l'espace, proposé par l'INSEE, permet de mieux appréhender le territoire polarisé par les villes et la façon dont la population s'y répartit. Les aires urbaines sont composées des pôles urbains et de leurs couronnes périurbaines. Les pôles urbains sont constitués par les villes les plus importantes et leurs banlieues. L'influence de chaque pôle sur son aire est mesurée par son attractivité en matière d'emplois. La couronne périurbaine comprend les communes dont 40% ou plus des résidents ayant une activité vont travailler dans l'aire urbaine. Au-delà des couronnes périurbaines certaines communes sont partagées entre les influences de plusieurs pôles urbains, ce sont les communes multipolarisées.

Un ensemble constitué d'aires urbaines et de communes multipolarisées, contiguës les unes par rapport aux autres forme un espace urbain.

² Pôles urbains et périurbanisation. Le zonage en aires urbaines. INSEE PREMIERE n° 516, avril 1997.

Le reste du territoire est l'espace à dominante rurale. Cet espace est très vaste, il représente 71% de la superficie totale avec 13 millions d'habitants, il regroupe près d'un quart de la population.

Le tableau suivant présente les pourcentages de population et de territoire correspondants aux espaces à dominante rurale, aux communes multipolarisées, aux couronnes périurbaines, et aux pôles urbains, ainsi que les densités de population qui les caractérisent.

Densité de population en habitants/km²
06671 84 20000

	Espace à dominante rurale	Communes multipolarisées	Couronnes périurbaines	Pôles urbains
% de la population	24%	3%	12%	61%
% du territoire	71%	5%	17%	7%

Modèle de l'INSEE

4.5.2. Conclusions relatives à un pays comme la France.

L'étude technico-économique figurant dans les paragraphes précédents montre que le coût des réseaux câblés à large bande sera le moins élevé dans le noyau des pôles urbains où la densité de population est supérieure à 3700 hbts/km², que le coût des satellites associés au réseau intégré LMDS sera le plus faible dans les zones où la densité de population est inférieure quelques habitants au km², de 1 à 12 hbts/km², et que le réseau intégré MWS sera adapté aux zones à densité intermédiaire.

Les résultats obtenus avec le MWS correspondant à des couvertures telles que : $12 < d < 3700$ hbts/km sont sans doute optimistes, car ce système existe en un nombre faible d'exemplaires et ses coûts sont mal connus. En effet la superficie à couvrir correspondrait à 88.5% du territoire et couvrir une telle superficie avec des cellules de seulement 5 km de rayon, semble ne pas être réaliste. Cependant le MWS est probablement bien adapté à la couverture des couronnes périphériques des aires urbaines telles que : $66 < d < 3700$ hbts/km² de superficie représentant 28.5% du territoire, sur laquelle habite 44% de la population.

Cas où le marché visé est celui des téléspectateurs désirant moins de 150 programmes

	Réseaux câblés à large bande.	MWS	Satellite + LMDS
<i>Densité de population</i>	$d > 3700$ hbts/km ²	$3700 < d < 66$ hbts/km ²	$d < 66$ hbts/km ²
<i>% de population</i>	32%	44%	24%
<i>% de territoire</i>	0.5%	28.5%	71%

Le tableau ci-dessus présente les parts de population et de superficie de territoire correspondantes à chacun des réseaux cités.

Dans le cas où le MWS ne serait pas industrialisé, la couverture du territoire serait effectuée par le câble dans les zones à forte densité et par le satellite et le LMDS dans les zones à faible densité, comme l'indique le tableau suivant.

Cas où le marché visé est celui des téléspectateurs désirant plusieurs centaines de programmes

	Réseaux câblés à large bande	Satellite + LMDS
<i>Densité de population</i>	$d > 700$ hbts/km ²	$d < 700$ hbts/km ²
<i>% de population</i>	46%	54%
<i>% de territoire</i>	1.3%	98.7%

Les espaces à dominante rurale regroupent les trois quarts des communes de France qui sont des villages présentant généralement deux types d'habitat, un habitat regroupé dans un bourg et un habitat dispersé sur le reste de la commune. Dans ce qui précède, c'est le couple satellite + LMDS qui a été considéré comme optimum pour couvrir ces espaces, mais il est évident que les bourgs qui ont une densité de population importante supérieure à 3700 hbts/km² seront câblés et que seules les maisons réparties dans un habitat dispersé seront couvertes par le satellite et la boucle locale radio de type LMDS.

5. Politique des pouvoirs publics et stratégie des opérateurs historiques

Les scénarios décrits précédemment ne pourront se produire que si les équipements permettant la convergence des réseaux de télécommunications, de l'audiovisuel et de l'Internet sont industrialisés et que les régulateurs favorisent le déploiement de ces réseaux. C'est seulement dans ces conditions que se développeront à long terme des réseaux intégrés permettant globalement aux opérateurs de réduire leurs coûts d'investissement dans des proportions très importantes.

Le coût de la diffusion d'un programme de télévision par satellite est de 14 à 29 fois moins élevé que celui de la diffusion d'un programme par un réseau hertzien terrestre. Cela suffit pour montrer que les satellites dont le taux de pénétration croît en France de 19% par an devraient prendre une place importante du marché de la télédiffusion. Mais les satellites ne sont pas adaptés à la diffusion des programmes locaux ou régionaux. Ce sont les réseaux terrestres qui sont destinés à effectuer une telle diffusion ; il apparaît donc que la télédiffusion numérique terrestre pourrait remplir cette tâche ; mais dans ce cas, les habitants des zones à dominante rurale seraient desser-

vis par trois réseaux : la boucle locale radio pour le réseau de télécommunications, le satellite pour les programmes nationaux et internationaux et la télévision hertzienne terrestre pour les programmes locaux et régionaux.

Or il existe deux bandes de fréquences à 3.4, 3.6 Ghz et 3.6, 3.8 Ghz l'une attribuée à la boucle locale radio, l'autre au MMDS (Multiplex Multipoint Distribution System) qui peuvent effectuer des couvertures dont la portée maximale est de 30 kilomètres. L'utilisation conjointe de ces deux bandes de fréquences permettrait sur un seul réseau d'offrir le téléphone, l'Internet à haut débit et les programmes locaux et régionaux de télévisions dans les zones à espace rural ; cela correspond au LMDS que nous avons cité précédemment. Ainsi les habitants de ces zones seraient desservis par seulement deux réseaux au lieu de trois, ce qui permettrait de faire des économies importantes d'investissement.

Par ailleurs, dans les zones de densité moyenne, l'industrialisation et le déploiement du MWS fonctionnant entre 40.5 et 42.5 Ghz permettrait de délivrer tous les services à leurs habitants. De même que les réseaux câblés délivrent tous les services de communication et de ce fait supplanteront les autres réseaux dans les pôles urbains, de même le MWS devrait s'imposer dans des couronnes périurbaines à densité de population moyenne et le satellite associé au LMDS dans les zones à faible densité.

Ces considérations sont évidemment valables à long terme dans le cas où les systèmes LMDS et MWS seraient industrialisés. A court et moyen termes les réseaux câblés devraient s'imposer dans les zones à habitat concentré et à forte densité de population, le satellite dans les zones à faible densité.

Conclusion

Dans de nombreux pays le droit de l'audiovisuel et celui des télécommunications sont séparés. Le Régulateur de l'audiovisuel est chargé de la régulation non seulement des contenus mais aussi des réseaux hertziens terrestres, en revanche les autorisations relatives aux satellites sont accordées par l'Union Internationale des Télécommunications (UIT). Le Régulateur des télécommunications est chargé de réguler tous les réseaux de télécommunications, c'est à dire ceux qui donnent accès notamment au service téléphonique et à l'Internet.

Si le droit reste en l'état on s'orientera, dans le meilleur des cas, vers une optimisation séparée des réseaux de télécommunications et des réseaux de télédiffusion. Mais les opérateurs dominants s'efforcent de maximiser leurs cash-flows avec les réseaux existants, et ils retardent le développement des nouveaux réseaux, réseaux câblés de type HFC et boucle locale radio pour les télécommunications, réseaux câblés et satellitaires pour la télédiffusion et même l'optimisation séparée des réseaux n'est pas acquise.

L'évolution des législations vise généralement à établir un cadre réglementaire harmonisé pour les réseaux et services de communications électroniques. Les nouveaux dispositifs cherchent à répondre au phénomène de convergence des secteurs en couvrant l'ensemble des réseaux. Leurs champs d'application englobent tous les réseaux terrestres et satellitaires, filaires ou non. Ces nouvelles législations favorisent la mise en place de réseaux intégrés tels ceux mentionnés dans le paragraphe 4.3.

Or les télécommunications et la radio-télévision sont des Services d'Intérêt Economique Général, et l'Intérêt Général ne se partage pas, il n'existe pas en effet, un intérêt général des télécommunications et un intérêt général de la radio-télévision ; si le développement des réseaux intégrés permet à long terme de diminuer les coûts des investissements, de l'exploitation et de la maintenance et d'optimiser l'utilisation du spectre de fréquences, les Ministères de tutelle, culturecommunication et industrie, et les Autorités de régulation, doivent définir une politique de développement des réseaux allant dans ce sens.

Il apparaît aujourd'hui que les opérateurs dominants n'ont pas choisi de renouveler en profondeur leurs réseaux, à cause notamment de l'importance du financement des investissements. Ce renouvellement se réalise déjà grâce à la concurrence des opérateurs alternatifs du câble et du satellite ; il existe par exemple aux Etats Unis autant d'abonnés à l'Internet sur le câble que sur le réseau commuté. Mais il est improbable que les réseaux évoluent à long terme vers l'optimum par le seul jeu de la concurrence, la législation doit aussi les y inciter.

Une politique de développement des réseaux et des services de communications électroniques doit être définie par les pouvoirs publics, pour que ces derniers donnent aux opérateurs un cadre définissant des orientations générales solides auxquelles ils puissent se fier.