

Les architectures FTTx

La diffusion de données numériques à des débits élevés est l'un des enjeux majeurs de ce début de siècle. Elle s'appuie sur une grande variété de réseaux (locaux, urbains, nationaux, transcontinentaux) et sur des technologies toutes aussi diverses et variées. Le document ci-dessous, élaboré dans le cadre du projet « THD » de Cap Digital (<http://www.capdigital.com/>), n'en présente volontairement que l'une des facettes, celle qui s'appuie sur la fibre optique.

Des débits annoncés par les différents opérateurs ou mentionnés dans les documents ou rapports techniques peuvent recouvrir des réalités différentes : ils sont théoriques et souvent différents des relevés du terrain. Ils pourront varier dans de larges proportions. On le sait, Internet est une longue suite de réseaux et de structures hétérogènes et les débits mesurés en un point seront très différents selon qu'ils correspondent à des transferts locaux à partir des serveurs de son propre fournisseur d'accès ou au contraire à des échanges depuis les antipodes, sans parler de la charge et de l'occupation des serveurs qui peuvent aussi être très variables. D'autres documents seront publiés ultérieurement et développeront les aspects liés par exemple à la « capacité » du chemin suivi ou au très haut débit pour des terminaux mobiles.

Hauts débits, très hauts débits : la frontière est bien difficile à indiquer tant elle reflète des réalités différentes et varie de manière significative en fonction des sources. Un récent rapport de la commission des communautés européennes situe de manière étonnante la barre extrêmement basse quand, dans le second volume de son *Progress Report on the Single European Electronic Communications Market 2007* (13th Report) publié le 19 mars 2008 ([http://ec.europa.eu/information_society/policy/ecomm/doc/library/annualreports/13th/SEC\(2008\)356DTSVol2final.pdf](http://ec.europa.eu/information_society/policy/ecomm/doc/library/annualreports/13th/SEC(2008)356DTSVol2final.pdf)) elle donne pour référence p. 92 dans

la section consacrée aux *Broadband access definitions* : « Broadband capacity: Capacity equal to, or higher than, 144 Kbit/s. » sic ! Soit à peine trois fois plus rapide que les « antiques » modems téléphoniques V90 vieux de plus de dix ans. Pour l'UIT¹, le haut débit est caractérisé par un débit (le total des voies montante et descendante) qui doit être supérieur à 256 kb/s. En France, pays leader en matière d'ADSL, on retient plus volontiers pour définition commune du haut débit ceux permis par cette technologie,

Pour ne pas se tromper dans les zéros !

1 Mb/s : 1 million de bits par sec
1 Gb/s (giga) : 1000 millions de bits par seconde
1 Tb/s (tera) : 1000 gigabits par seconde = 1000 milliards de bits par seconde

Ne pas confondre Gb (gigabit) et GB (GB = Giga Byte en anglais ou Gigaoctet en français où 8 bits = 1 octet)

¹ UIT : Union International des Télécommunications (ou en anglais ITU)

allant jusqu'à 24 Mbits/s ². L'OCDE se situe dans cette perspective quant elle note pour les évolutions concernant ses pays membres : « The average speed of advertised connections increased from 2 Mbit/s in 2004 to almost 9 Mbit/s in 2007. » p. 8 de son rapport *Broadband Growth and Policies in OECD Countries* (<http://www.oecd.org/dataoecd/32/57/40629067.pdf>) présenté à la rencontre ministérielle de Séoul des 17 et 18 juin 2008 sur le futur de l'économie Internet.

Pour les très hauts débits, les références sont aussi floues. De nombreux experts tablent sur 100 Mb/s. Pour l'ARCEP dans son étude publiée au mois de mai 2008, la limite inférieure se situe à 50 Mb/s. Cela semble un minimum compte tenu de l'évolution des technologies audiovisuelles vers la haute définition (la diffusion d'un film en haute définition requiert aujourd'hui des débits compris entre 4 et 8 Mb/s) et des services et des offres commerciales toujours plus nombreux (nécessité pour l'abonné de pouvoir recevoir simultanément plusieurs programmes de télévision, vidéo à la demande, téléchargement de fichiers...)

Pour les très hauts débits, de nombreux pays font des offres commerciales avec des débits de 100 Mb/s, d'autres sont plus généreux, ainsi à Hong Kong où les habitants peuvent disposer depuis avril 2005 d'un débit de 1 Gb/s. NTT au Japon annonce 1 Gb/s par abonné pour 2010.

Face à ce risque de confusion, la FCC américaine a récemment proposé une clarification en distinguant sept niveaux (cf http://www.fcc.gov/WCB_031908_open_meeting_slides.pdf de mars 2008) :

FCC' New Speed Tiers	
1 st generation data	200 kbps to 768 Kbps
Basic broadband Tier 1	768 Kbps to 1.5 Mbps
Broadband Tier 2	1.5 Mbps to 3 Mbps
Broadband Tier 3	3 Mbps to 6 Mbps
Broadband Tier 4	6 Mbps to 10 Mbps
Broadband Tier 5	10 Mbps to 25 Mbps
Broadband Tier 6	25 Mbps to 100 Mbps
Broadband Tier 7	Greater than 100 Mbps

² Pour rappel, l'ADSL2+ largement déployé dans tout le pays ne permet pas plus de 24 Mb/s dans le sens descendant pour les abonnés situés au plus près de central téléphonique, avec une décroissance rapide ensuite avec la distance (plus que 15 Mb/s à 1,5km) et 1 Mb/s dans le sens montant. Les limites de ces technologies sont sans cesse repoussées : un chercheur australien annonce avoir mis au point une technologie ADSL permettant de disposer à domicile d'un débit de 100 Mb/s (disponibilité annoncée : 3 ans). Dans la même lignée, la technologie DSM (Dynamic Spectrum Management) proposée depuis février 2008 par Alcatel-Lucent dans certains de ses équipements permettraient dans certaines conditions un gain de 30% au niveau de la bande passante.

Dans ce qui suit, nous nous référerons à la couche 6 de la FCC pour qualifier le Très haut Débit (THD), rejoignant ainsi la définition proposée par l'IDATE³ dès 2006 : «la principale application mise en avant quand on examine les opportunités des accès très haut débit pour les résidentiels est la Télévision Haute Définition (HDTV) et la diffusion de multi-canaux de télévision par foyer (HDTV ou SDTV) ... les technologies se doivent de supporter des débits supérieurs à ceux offerts aujourd'hui par la technologie ADSL 2+ déployées en France, et si besoin de manière symétrique» pour permettre des services de type échanges de fichiers P2P, visioconférence...

1. La fibre optique

A travers le monde, le déploiement de réseaux à très hauts débits se développe de manière importante. Différentes technologies permettent la diffusion des données à des très hauts débits, mais toutes ne sont pas utilisables dans le contexte d'un déploiement à l'échelon d'une agglomération, d'un département ou d'une région. Un seul support répond à ces exigences, c'est la fibre optique.

C'est un support qui n'est pas nouveau et qui est utilisé depuis de nombreuses années pour les liaisons à très longues distances (liaisons nationales mais aussi intercontinentales). Ce qui est nouveau, c'est son application dans des réseaux avec une desserte jusqu'au domicile même des abonnés⁴. En verre ou en dérivé plastique, du diamètre d'un cheveu, la fibre optique permet le transport de données numériques à la vitesse de la lumière soit 300 000 km/s. Le principe de fonctionnement est simple : une source lumineuse - un laser – est placée à une extrémité de la fibre et est modulée par les données à transmettre, les rayons lumineux se propageant par réflexions sans pertes à l'intérieur de la fibre. A l'autre extrémité, un récepteur recueille les informations lumineuses en informations électriques puis numériques.

Les avantages de la fibre sont nombreux : des débits très élevés (plusieurs Gigabits/s, même si les propositions commerciales au niveau des abonnés peuvent être limitées à des valeurs beaucoup moins élevées, 50 ou à 100 Mb/s par exemple), une atténuation du signal en fonction de la distance très faible (ce qui permet des liaisons directes de plusieurs centaines de kms), une insensibilité totale aux perturbations extérieures. Son principal inconvénient est son coût, coût intrinsèque d'abord mais aussi coût des interfaces. Suivant les applications souhaitées, différents types de fibres ont été développés : fibres multimodes, fibres monomodes...

³ http://www.ist-bread.org/regional_projects.asp?page=135

⁴ Une tentative précédente à Biarritz dans les années 80 avait abouti au fiasco du plan câble et des ses réseaux 1G.

débit possible	Distance
2,5 Gb/s	6000 km
10 Gb/s	400 km
40 Gb/s	25 km

Exemple des performances de fibres développées par Lucent Alcatel (source www.telcite.fr)

Par construction, on regroupe généralement plusieurs fibres optiques dans un même câble : 6 fibres par exemple pour les câbles les plus petits destinés aux dessertes terminales ; jusqu'à 1440 fibres dans un câble de 30 mm de diamètre pour les liaisons principales (source Arcep). Aujourd'hui, le record de vitesse est détenu par la société Alcatel avec un débit de 25 Tb/s soit 25 000 Gb/s sur 3 tronçons de 80 Kms (ce qui théorie permet la transmission du contenu de 600 DVD par seconde !)

2. Les architectures THD adoptées aujourd'hui

Deux architectures sont principalement déployées de par le monde. Si elles s'appuient toutes les deux sur la fibre optique pour la majeure partie du réseau, elles se différencient simplement par la nature même du support utilisé dans la partie terminale, « le dernier kilomètre » ou les dernières dizaines de mètres, au niveau du raccordement des utilisateurs, qui ne sera pas nécessairement réalisé en fibre optique. Ces architectures sont désignées par l'acronyme FTTx (pour Fiber to the ...), la lettre x désignant la localisation du point terminal de la fibre optique).

(a) FTTH (fiber to the home)

La fibre optique est déployée de bout en bout du réseau, jusqu'au domicile même de l'utilisateur final. Elle ne fait appel à aucune autre technologie intermédiaire. C'est la technologie la plus intéressante en termes de débit pour l'abonné (pas de partage) mais la plus onéreuse en termes de coût de déploiement pour l'opérateur.

Dans ce cas de figure, deux options sont principalement utilisées qui ne diffèrent que par l'architecture de la liaison terminale en fibre optique. Ici aussi, on découvrira pléthore d'acronymes divers et variés qui recouvrent parfois des notions identiques.

– **point à point (Point to Point ou P2P) :**

La fibre optique est véritablement déployée de bout en bout depuis les locaux de l'opérateur (OLT = Optical Line Termination) ou depuis un nœud de son réseau (NRO = nœud de raccordement optique) jusqu'au domicile de chacun des abonnés. Inconvénient pour les opérateurs, chaque fibre étant dédiée à un abonné, il y a autant de fibres que d'abonnés, un handicap lorsqu'il y a peu de place dans les fourreaux ou dans les NRO déjà existants. Un NRO peut en effet recevoir plus de 10 000 lignes. C'est une solution avantageuse au niveau de la sécurité de transfert puisque les données des différents utilisateurs sont séparées.

Différents protocoles pour le transport des données peuvent être utilisés mais le plus souvent c'est Ethernet qui est choisi. Ces solutions sont alors dénommées Ethernet P2P ou Ethernet Direct Fiber. Elles permettent des débits de 10 Gb/s avec le standard IEEE.802.3ae. Commercialement, les débits sont limités à des valeurs moindres, par exemple 100 Mb/s symétriques.

– **point à multipoint**

Les contraintes citées précédemment, ont favorisé le développement d'une seconde option, de type point à multipoint. A la source, les données des différents utilisateurs sont émises les unes à la suite des autres. Le schéma consiste à globaliser la partie la plus importante du réseau (on utilise une même fibre optique commune pour N abonnés), puis sur la partie terminale, à partir d'un coupleur optique (appelé également « splitter »⁵) à créer des dérivations en fibre optique en direction de chacun des usagers finaux (ce qui revient alors sur cette partie terminale, à déployer une fibre par usager). Le flux lumineux dans la fibre optique principale est simplement rediffusé et « éclaire » simultanément chacune des fibres terminales : les données transmises sur la partie commune du réseau depuis l'OLT (Optical Link Termination) de l'opérateur sont donc diffusées vers la totalité des équipements optiques terminaux (ONT = Optical Network Termination, parfois également appelés ONU = Optical Network Unit), chacun d'entre eux n'exploitant que les données qui concernent l'utilisateur qui y est raccordé. Ces coupleurs optiques sont des composants passifs de faible coût et d'encombrement réduit. Ce type de réseau est souvent désigné sous le terme de PON (Passive Optical Network ou Réseau optique passif), le terme de passif s'appliquant au splitter qui ne comporte aucun élément électronique (par opposition à des réseaux ayant une architecture semblable mais qui seraient actifs (AON = Active Optical Network), car comportant des commutateurs électroniques qui nécessitent donc une alimentation électrique). Aujourd'hui, on ne dépasse pas 64 utilisateurs par splitter (en pratique, plutôt 32).

⁵ de l'anglais to split = diviser

Différents protocoles pour le transport des données peuvent être utilisés : APON, BPON...mais les deux principaux sont :

- le GPON (G pour Gigabit), normalisé par ITU (International Telecommunication Union) en 2005 sous la référence G984. Il permet des débits descendants de 2,5 Gb/s et 64 abonnés au maximum pour chaque port OLT. Il s'appuie pour la couche transport sur un nouveau « Generic Encapsulation Method » (GEM) permettant le transport en natif d'autres protocoles comme l'ATM, Ethernet, TDM...

- l'EPON (Ethernet PON) ou GE-PON (Gigabit Ethernet PON) sont deux acronymes différents pour une même spécification. Il s'agit d'un standard proposé cette fois-ci par l'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), qui a été ratifié en juin 2004 sous la référence 802.3ah et qui autorise un débit de 1,25 Gb/s maximum symétrique sur des distances d'une vingtaine de km, à partager entre les 32 utilisateurs possibles pour chaque arbre. Ce protocole s'appuie en natif sur une version du protocole de transport Ethernet (Ethernet in the first mile ou EFM).

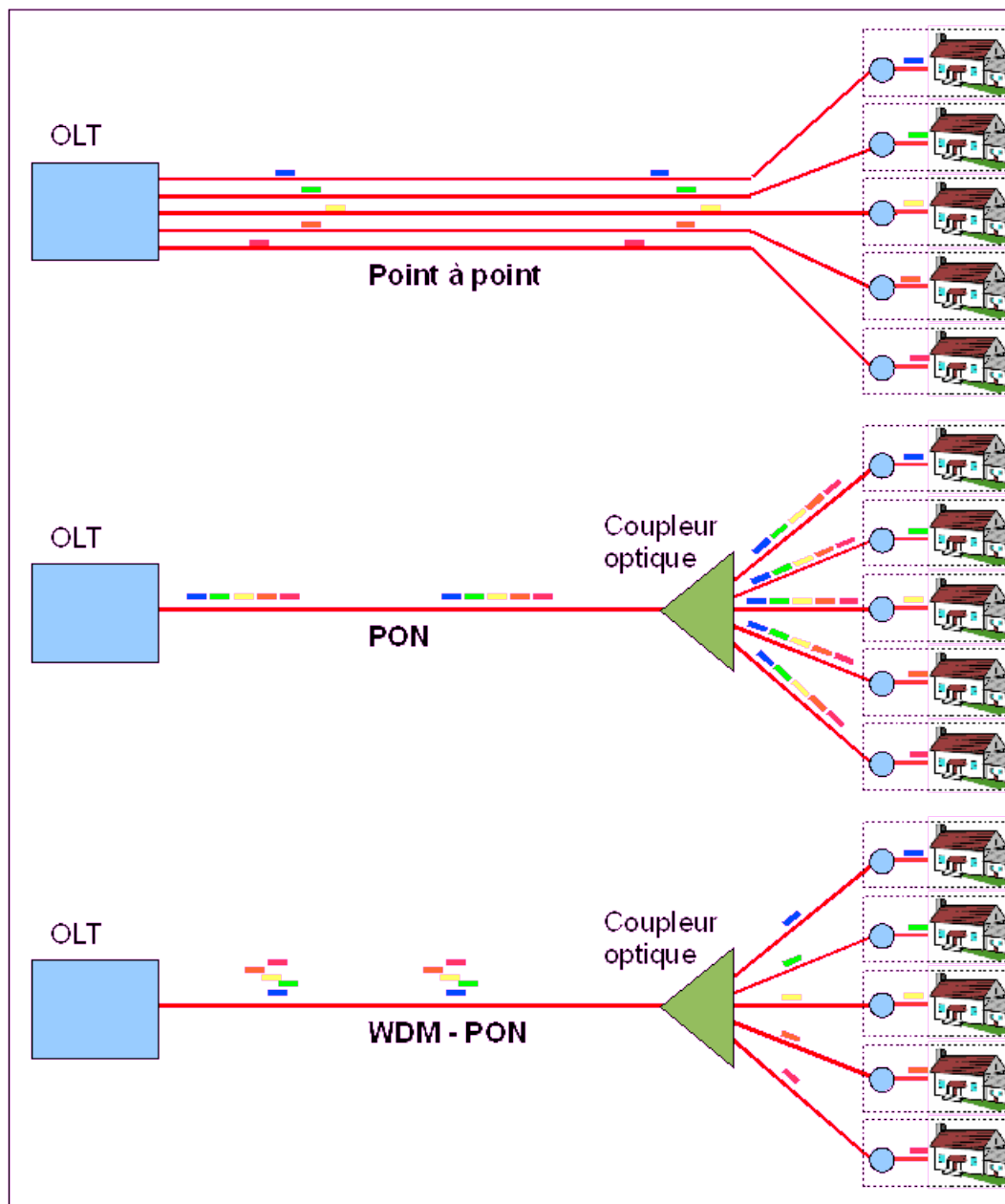
Pour tous ces protocoles, des évolutions sont en cours d'étude, ce qui permettra d'atteindre des débits de 10 Gb/s (10GPON pour l'ITU et 10GEPON pour l'IEEE).

On le voit, avec les technologies PON, le débit sur la fibre principale est divisé entre tous les utilisateurs mais est-ce vraiment un inconvénient compte tenu, d'une part, des potentialités de débits de la fibre, et d'autre part, sachant que, statistiquement, tous les utilisateurs n'utilisent pas simultanément leurs capacités maximum (allocation dynamique de la bande passante en fonction des besoins de chaque utilisateur)⁶.

Les réseaux WDM PON : la technologie WDM (Wavelength Division Multiplexing) consiste à illuminer la fibre optique, non pas avec une seule source laser, mais simultanément avec plusieurs sources en utilisant pour chacune d'entre elles une longueur d'onde différente, ce qui permet le transport en parallèle (et non pas séquentiellement comme dans le PON classique) d'autant de flux de données, chacun d'entre eux avec un débit identique à celui qui serait possible sans cette technologie. L'utilisation de 32 longueurs d'ondes différentes permettra par exemple la desserte de 32 abonnés à partir d'une seule et unique fibre. Le dispositif s'apparente globalement à une infrastructure de type point à point ou P2P avec les avantages inhérents : pas de partage de la bande passante et sécurité des données, chaque élément terminal ne recevant que ses propres données.

⁶ Et même si c'était le cas, un débit principal de 2,5 Gb/s à partager entre 32 abonnés, cela représente encore, en moyenne, 80 Mb/s descendant par utilisateur.

La technologie PON est déployée dans près de 82% des réseaux FTTH/B dans le monde. En Europe, les deux standards dominants sont le GPON et le P2P Ethernet. En France, SFR utilise les deux architectures : plutôt point à point sur la région parisienne, GPON ailleurs (avec pour la partie commune de la fibre, un débit descendant 2 Gb/s, un débit montant 1 Gb/s). Free s'appuie sur la technologie Ethernet point à point, tandis que Orange a opté pour le GPON. Le continent nord américain a majoritairement choisi la technologie GPON alors que les zones Asie Pacifique et Chine se sont orientés vers les technologies EPON.



Les différents modes de diffusion : point à point, ou point à multipoint

a) Les architectures mixtes (FTTB, FTTC...) :

A l'opposé des structures précédentes où la fibre optique était déployée d'un bout à l'autre de la chaîne, ici on ne déroule la fibre optique que jusqu'à proximité du domicile du client final. Les technologies PON décrites dans le chapitre précédent pour le déploiement de réseaux FTTH sont alors tout à fait utilisables. On s'appuie ensuite sur une technologie alternative pour les dernières centaines de mètres du parcours. Toute une série d'acronymes déclinés du précédent sont nés pour caractériser ce type d'architecture. Ils dépendent de l'implantation de la jonction (souvent appelée « street cabinet ») entre les deux technologies : FTTB (fiber to the building, fibre au pied de l'immeuble), FTTC (fiber to the curb, fibre au niveau du trottoir, de la rue), FTTN (fiber to the neighborhood -> fibre déployée jusque dans le quartier...), FTTCab (fibre to the cabinet, c'est à dire fibre jusqu'aux coffrets répartiteurs)...

C'est une solution moins onéreuse pour les opérateurs et plus rapide à déployer que la précédente car elle peut « s'appuyer » pour les derniers mètres sur les supports déjà déployés localement (par exemple, les réseaux en câble coaxial ou en paire torsadée dans les immeubles). Les technologies alternatives choisies, même si elles offrent globalement des performances plus réduites en termes de débits, affectent peu, compte tenu des faibles distances mises en jeu (quelques centaines de mètres) le niveau qualitatif des offres en très haut débit .

Quelques technologies alternatives possibles :

- la paire de cuivre torsadée :

Conçue et déployée à l'origine pour le réseau téléphonique, elle a trouvé une nouvelle jeunesse avec le développement de l'Internet et de l'ADSL. Son avantage est la couverture totale du pays (du moins pour ce qui concerne les pays développés) mais son inconvénient majeur est que les débits maximum possibles décroissent rapidement avec la distance (voir note 2). S'il existe différentes technologies dans la famille xDSL (DSL = Digital Subscriber Line) qui ne diffèrent que par la vitesse de transmission des données, la distance, la symétrie ou non des voies montantes et descendantes (ADSL, ADSL2+, Re-ADSL, VDSL, SDSL...), peu peuvent prétendre à des utilisations à très hauts débits. La technologie VDSL2 (Very high bit rate DSL) a été normalisée par l'ITU en mai 2005 et est l'une des réponses technologiques possible pour la desserte des extrémités d'un réseau en très haut débit avec une bande passante symétrique de 100 Mb/s sur 300 à 500 m sur une paire en cuivre

(sous réserve qu'elle soit de bonne qualité, ce qui n'est pas nécessairement le cas dans les immeubles un peu anciens). Au delà, on observe une décroissance exponentielle du débit maximum possible⁷. La paire de cuivre torsadée peut être aussi le support de technologies réseau informatique de type Ethernet, d'où l'appellation FTTx+LAN pour désigner l'association fibre et réseau filaire Ethernet. Les débits sont symétriques avec des maximums possibles de 100 Mb/s ou de 1 Gb/s (selon les caractéristiques du réseau Ethernet utilisé) mais les distances ne peuvent généralement pas dépasser 100 mètres. La Chine est le leader de la technologie FTTx/LAN avec 17 millions de ligne fin 2008 mais avec des débits bien moindres cependant (2 à 10 Mb/s en moyenne).

- le câble coaxial blindé :

Ce support est très largement déployé dans les immeubles d'habitation pour la distribution de la télévision depuis une antenne collective ou au niveau des agglomérations dans le cadre des réseaux câblés issus du plan câble ou de la loi de 1986. Ces réseaux avaient été conçus à l'origine pour la distribution des programmes de télévision dans les agglomérations. Modernisés, ils permettent désormais l'accès à l'Internet et à la téléphonie sur IP (offres triple ou quadruple play). En France, le câblo-opérateur Numericable, effectue aujourd'hui une remise à niveau de ses réseaux et déploie des fibres optiques entre ses centres et les quartiers à desservir, puis utilise ensuite le câble coaxial déjà déployé dans la quartier ou dans les immeubles, d'où l'appellation de HFC (Hybrid Fiber Coaxial) pour désigner ces réseaux. La première norme DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specifications) a été publiée en 1997. La version 3.0 standardisée en décembre 2006, permet l'utilisation de plusieurs canaux simultanément, et donc des débits pouvant aller jusqu'à 160 Mb/s dans le sens descendant et 120 Mb/s pour la voie montante. Les capacités diffèrent des deux côtés de l'Atlantique du fait des largeurs de canaux différentes sur le continent américain (6 Mhz aux USA, 8 Mhz en Europe).

- les technologies hertziennes :

WiMax (Worldwide Interoperability for MicroWave Access) est une technologie point-multipoint pour la transmission de données par voie hertziennes. Elle opère dans la bande des 3,5 Ghz (fréquences entre 3400 et 3800 MHz en Europe) et permet, à partir d'un point central d'émission, un débit théorique maximum de 70 Mb/s sur une distance théorique de 50 kms. Les débits réels sont bien moindres (12 Mb/s symétrique à 20 kms pour la société Altitude Telecom). Wimax est une

⁷ Selon Idate, en France la distance moyenne entre le domicile d'un abonné et son répartiteur est de 700 m environ (300 m en Allemagne, 420 m au Royaume Uni).

norme (802.16) nécessitant une licence opérateur (fréquences allouées). La transmission est sensible aux obstacles (naturels ou constructions). Tous les utilisateurs placés dans la zone de couverture doivent bien sûr, disposer d'une antenne d'émission / réception. Le Wimax est par exemple déployé en Corée sous le nom de WiBro pour Wireless Broadband.

Dans une moindre mesure les technologies Wifi peuvent être également une réponse, mais sur des distances beaucoup plus courtes. Si les normes actuelles n'offrent aujourd'hui que des performances réduites (50 Mb/s théoriques mais sur seulement une dizaine de mètres avec la norme 802.11a, un peu plus avec la norme 802.11g, 54 Mb/s théoriques sur quelques dizaines de mètres en intérieur, quelques centaines de mètres en extérieur) les derniers développements autour de la norme 802.11n (aussi appelée MIMO multiple input, multiple output) permettent de doubler les débits classiques du Wifi et de dépasser le cap des 100 Mb/s (à terme, le débit théorique pourrait atteindre 600 Mb/s). Cette norme utilise simultanément plusieurs antennes pour l'émission et la réception et exploite les réflexions multiples des signaux hertziens sur les infrastructures et les obstacles pour augmenter ses performances.