

50 ans et plus de télécommunications

Emmanuelle Vivier (ISEP 1996)

Enseignante-chercheur à l'ISEP

L'ISEP a été créé en 1955. Les hommes (télé)communiquaient déjà depuis fort longtemps mais, il faut bien le reconnaître, ces cinquante dernières années connurent une évolution sans précédent dans les technologies de communications, évolution fondée sur les progrès de l'électronique, de l'informatique, des sciences fondamentales mais aussi des sciences humaines.

Du télégraphe aux satellites en passant par les communications mobiles et les réseaux informatiques, cet article aborde, de manière non exhaustive et non chronologique, quelques grandes étapes dans l'histoire des télécommunications. En parallèle, à l'ISEP, l'enseignement des télécommunications a évolué au fil des ans, répondant aux besoins croissants des entreprises dans ce domaine. Cet enseignement est décrit très succinctement dans sa structure actuelle dans un paragraphe qui nous rappelle à tous de bons et vieux souvenirs...

Le télégraphe

Que ce soit à l'aide de signaux visuels ou de signaux sonores, la communication à distance s'est imposée comme un besoin et une nécessité pour l'homme d'assurer une transmission rapide de l'information. C'est sous la Révolution française que naît le premier réseau de communication.

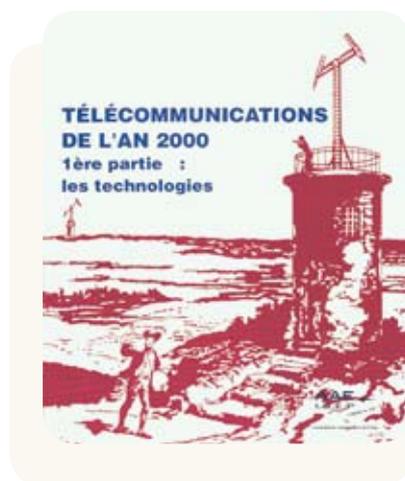
À cette époque, le pouvoir central a besoin d'un système de communication assurant la rapidité et la discrétion de la transmission des informations. C'est dans ce contexte que Claude Chappe (1763-1805) présente, à la tribune de l'Assemblée législative en 1792, son télégraphe optique. La ligne se compose de deux stations terminales, entre lesquelles sont placées des stations intermédiaires. À leur sommet est installé un mât sur lequel pivotent des bras de bois qui peuvent prendre différentes positions. Le système de communication de Chappe réside dans un code préétabli de ces positions. Cet assemblage constitue le premier réseau de télécommunications !

Le télégraphe électrique, lui, est le fruit de plusieurs innovations, recherches et expérimentations. Parmi les plus fondamentales, la pile, mise au point par Alessandro Volta en 1800, pose les bases des techniques électriques.

Puis en 1820, Oersted, Ampère et Arago découvrent l'électroaimant et montrent que l'électricité peut être utilisée pour la communication.

Enfin, Morse, par le biais d'un code simple qui utilise la variation du rythme des impulsions du courant électrique pour traduire une information, réalise, en 1844, la première liaison de télégraphie électrique entre Washington et Baltimore.

Par la suite, le télégraphe connaît un grand développement, notamment grâce à l'ingénieur français Baudot qui, à partir du principe du temps partagé, apporte une plus grande rapidité de transmission.



Couverture de Signaux 87 illustrant le télégraphe de Chappe

Avec le chemin de fer, le télégraphe électrique est intimement lié à la révolution industrielle. Il bouleverse les échanges internationaux, permet l'émergence d'une communication mondiale et accélère la circulation de l'information.

Le télégraphe parlant, ou téléphone

La transmission numérique (le télégraphe) existait donc bien avant la transmission analogique. Alors que l'on savait transmettre des signaux télégraphiques à travers les océans, on ne savait toujours pas transmettre la voix de l'autre côté de la rue.

De nombreux chercheurs eurent l'intuition du téléphone. Bourseul démontre, en 1854, que les vibrations de la voix humaine peuvent être transmises. En Allemagne, Reis réussit à transmettre de la musique. Mais c'est l'opiniâtreté d'un professeur pour enfants malentendants qui a permis de découvrir les principes de la transmission analogique : Alexandre Graham Bell dépose son brevet, le 14 février 1876. Le système est fondé sur le principe de l'induction électromagnétique. Les vibrations communiquées par la voix à la membrane du transmetteur entraînent une variation du flux magnétique d'un barreau aimanté, ce qui provoque des courants électriques, dits d'induction. Theodore Vail aida Bell à commercialiser le téléphone ; il transformera la petite compagnie Bell Telephone en une immense société et il peut être considéré comme le véritable inventeur de l'organisation de la téléphonie en tant que service public et de l'organisation générale des services publics en monopoles, publics ou privés, contrôlés par une autorité. Ce type d'organisation durera jusqu'au 1^{er} janvier 1984, date à laquelle un juge américain décida de démanteler le Bell System, ce qui provoqua la dérégulation dans le monde entier. Néanmoins, l'inventeur officiel n'est pas Graham Bell mais Antonio Meucci, qui a reçu le crédit officiel de l'invention du téléphone en 2002. Il avait en effet déposé le brevet dès 1871, mais celui-ci avait expiré en 1874, faute de moyens.

La transmission télégraphique se faisait sur un seul fil avec retour du courant par la terre. En reproduisant, pour le signal analogique, ce qui avait été fait pour les signaux numériques du télégraphe, on ne pouvait pas dépasser quelques kilomètres de portée (alors que le télégraphe portait à des dizaines de kilomètres). Au-delà de cette distance, le signal téléphonique était en effet couvert par une friture épouvantable. Mais Carty, un jeune télégraphiste, découvrit le principe de la transmission en mode différentiel sur deux fils. Dès lors, des portées de quelques centaines de kilomètres devenaient réalisables...

La naissance de la radio

En 1870, Maxwell démontre que les ondes électromagnétiques voyagent aussi bien dans le vide que dans la matière, à la vitesse de la lumière. Il ouvre la voie aux futures découvertes en radiotélégraphie, en radiotéléphonie puis, plus tard, en radiodiffusion. Hertz prolonge l'idée de Maxwell et montre, en 1887, comment fabriquer des ondes... hertziennes bien entendu ! En 1890, Branly, professeur de physique à l'Institut Catholique de Paris, bien connu des ISEPiens (au moins de nom !), découvre les propriétés de



Eugène Édouard Désiré Branly a été le tout premier homme au monde à effectuer une liaison radio. À l'époque, on décrivait cette découverte comme une action à distance sur un mécanisme, sans n'importe quel lien matériel.



Le laboratoire d'Édouard Branly dans les bâtiments de l'ISEP

la limaille de fer et invente le cohéreur, appareil qui détecte les ondes électromagnétiques. En 1892, à Oxford, Lodge perfectionne le cohéreur de Branly et parvient à émettre à quelques dizaines de mètres. L'année suivante, le russe Popov met au point un récepteur amélioré grâce à une antenne verticale.

En 1894, Marconi tente ses premières expériences. Son idée est de reprendre les ondes hertziennes pour transmettre des signaux. En 1895, il réussit, à Bologne, la première transmission radiotélégraphique sur plusieurs centaines de mètres, au-delà de la ligne d'horizon. En juillet 1897, son système est breveté. En 1897 également, Eugène Ducretet réussit la première liaison entre la tour Eiffel et le Panthéon. En 1899, il effectue la première liaison à travers la Manche.

Cependant, le débit des informations est faible et, même à courte distance, la réception est très mauvaise. Après améliorations, la première liaison transatlantique est établie entre les Cornouailles et Terre-Neuve à la fin de l'année 1901. Puis Fleming, en 1904, dépose le brevet d'une lampe à deux électrodes détectant les ondes électromagnétiques. Deux ans plus tard, Forest améliore la sensibilité de ce récepteur en ajoutant une troisième électrode. Cette lampe permet d'amplifier les signaux de faible intensité. Cette invention, la triode, permet des liaisons longue distance de bonne qualité en téléphonie.

Lorsque la guerre de 1914 se termine, la production de matériel de TSF est déjà industrialisée et la qualité améliorée des transmissions permet d'offrir au grand public un nouveau média : la radio. En 1931, ce sera au tour de la télévision d'apparaître en France.

Dans l'espace

Les progrès techniques accomplis au cours des années 1950-1960 permettent au téléphone, un siècle après le télégraphe, de traverser à son tour l'Atlantique. Le premier câble transatlantique est installé en 1956. À la même époque on envisage la transmission de communications téléphoniques par satellite. Après plusieurs expériences menées par les américains au cours des années 1950, un premier satellite de télécommunications (de défilement) est lancé en 1962 : Telstar.

En juillet 1962, les premiers échanges d'images ont lieu entre Andover, aux États Unis, et le CNET (Centre National d'Études des Télécommunications) à Pleumeur-Bodou, en Bretagne. Peu après, on inaugure les communications téléphoniques intercontinentales via satellites. À partir de 1965, sont lancés des satellites géostationnaires. L'ère des télécommunications spatiales et de la mondiovision est désormais ouverte. En 1984, le premier satellite de télécommunications français Télécom 1A est lancé.

On peut mentionner aussi les développements des communications avec l'espace « profond », permettant aujourd'hui de récupérer les informations émises par des sondes spatiales et demain de dialoguer en direct avec des astronautes en mission vers Mars. La construction d'un Internet interplanétaire même s'il semble du domaine de la science fiction est néanmoins un sujet de recherche actuel !

Les réseaux

L'invention de Bell ne permettait que des liaisons spécialisées point à point. Pour donner à un abonné l'accès à de nombreux correspondants, il faut des centraux de commutation et organiser un vrai réseau téléphonique. En 1878, un premier standard téléphonique commercial reliant 21 abonnés est mis en service, aux États-Unis. Au début, les opérateurs sont des garçons, anciens télégraphistes. Très rapidement, on préfère confier cette tâche à des femmes qui ont en général, compte tenu de l'éducation de l'époque, une façon plus polie de s'exprimer et sont plus disciplinées (et toc !). En réalité, ce sont des motifs économiques qui ont motivé une telle mutation, puisque les femmes étaient bien moins rémunérées que leurs homologues masculins... À l'aube du 20ème siècle, le téléphone devient le signe de la modernité. Il envahit les bureaux et modifie considérablement la vie quotidienne à la ville comme à la campagne.

Le brevet de la modulation par impulsions codées est déposé en France en 1938. Ce type de modulations élimine presque complètement le bruit. Dans les années 1950, Claude Shannon établit la théorie de l'information et les idées théoriques sur la communication numérique sont développées. Mais toutes ces idées restent cantonnées à des systèmes très coûteux à cause de la technologie électronique à lampes.

En 1947, William Shokley, John Bardeen et Walter H. Brattain, des Bell Labs, inventent le transistor. La création du premier micro-processeur, en 1971, permet la miniaturisation des matériels informatiques et leur pénétration dans les réseaux de télécommunications.

Au cours des années 1970, les ingénieurs du CNET et de LMT (Le Matériel Téléphonique) sont les premiers au monde à remplacer les matrices de commutation analogiques par des matrices numériques. La numérisation permet de véhiculer simultanément plusieurs communications sur une même ligne et assure également l'intégration des services, en transmettant sur une même ligne des informations de natures différentes : voix, image, écrit, données. En 1981, à Biarritz, était expérimenté le visiophone ; cette même année, la fibre optique est testée comme support de transmission.

Disposant d'un réseau bien implanté et techniquement performant, il est désormais possible de proposer autour du téléphone une gamme étendue de produits et de services nouveaux. C'est ainsi que la France propose dès la fin des années 1980, des connexions numériques sur

tout son territoire et commercialise, sous le nom de Numéris, le premier Réseau Numérique à Intégration de Services (RNIS).

Cette année-là toujours, le CCITT (Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique) définit le modèle OSI (Open Systems Interconnection) à 7 couches pour mettre un peu d'ordre dans la jungle des protocoles propriétaires de transmissions.

De la convergence des télécommunications et de l'informatique, naît la télématique et, en 1983, le Minitel. Sa mise en service a permis d'initier les Français à la communication électronique devant un écran et un clavier. Son mode de fonctionnement est relativement simple : il va chercher de l'information sur un serveur, l'information ensuite rapatriée sur un écran.

Parallèlement se développait, dans la communauté scientifique et par extension, dans le monde universitaire américain, le réseau ARPANet (Advanced Research Project Agency network), mettant en relation plusieurs ordinateurs répartis sur plusieurs sites et permettant l'échange de courriers électroniques...

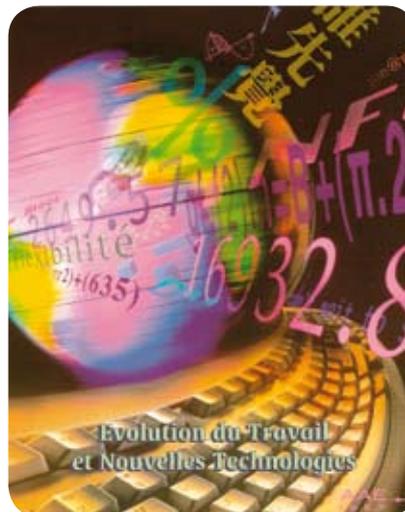
En 1971, la mise au point du protocole TelNet ouvre la voie à une extension du réseau, puis le protocole de transfert de fichier FTP (File Transfer Protocol) permet de mettre en commun différents fichiers sur plusieurs types de machines.

Les recherches sur la commutation de paquets, lancées aux Etats Unis par la DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency), aboutissent à la définition du « Transmission Control Protocol » (Vinton Cerf...) qui est à l'origine des protocoles TCP/IP. Un Internet est alors défini comme un ensemble de réseaux interconnectés et l'Internet en tant que tel se définit comme l'ensemble des réseaux interconnectés à l'aide du protocole TCP/IP.

En 1990, au CERN, laboratoire européen de physique des particules à Genève, deux ingénieurs créent le WWW (World Wide Web), la branche multimédia de l'Internet. Trois ans plus tard, des étudiants de l'Université de l'Illinois mettent au point un programme graphique simplifiant l'emploi de l'Internet : avec une souris, on pointe sur des icônes...

Les communications mobiles

Dans les années 1980, de multiples systèmes nationaux de radiocommunications avec des terminaux mobiles sont mis au point au Japon, en Italie, en Allemagne, aux Etats-Unis, en Norvège-Suède-Finlande, etc.



Le monde au bout des doigts.
Couverture de Signaux 90 illustrant la révolution Internet

En France, l'opérateur national France Telecom est alors en situation de monopole ; en 1986, il fait développer le système Radiocom 2000. Pour favoriser la croissance de la radiotéléphonie par la concurrence, une autorisation d'exploitation est accordée en décembre 1987 à un second opérateur : la Société Française de Radiotéléphone SFR. Un second réseau est donc développé en France, commercialisé sous le nom de « Ligne SFR ».

À leur apogée en août 1994, ces deux réseaux français totalisaient 460 000 abonnés, soit un taux de pénétration de 0,83 %. Ce taux était tout à fait modeste en comparaison des autres pays européens (8 % dans les pays nordiques). Dès le milieu de l'année 1995, le système de deuxième génération GSM, numérique, supplantera les réseaux analogiques en France. Les principales différences entre les systèmes de première génération et les systèmes de deuxième génération sont les suivantes :

- ◇ l'utilisation d'une modulation numérique dans les systèmes de deuxième génération,
- ◇ la montée dans les fréquences utilisées pour les systèmes de deuxième génération, qui permet l'implantation de systèmes à plus haute densité,
- ◇ l'utilisation d'une bande de fréquences commune à plusieurs pays voisins, qui fut libérée en 1982 par la CEPT (Conférence Européenne des Postes et Télécommunications),
- ◇ un accès multiple à répartition dans le temps TDMA (GSM) ou dans les codes CDMA (IS-95) pour les systèmes de seconde génération, et non plus en fréquence comme pour les systèmes de première génération,

- ◊ une normalisation, par l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute) en ce qui concerne l'Europe, des systèmes de deuxième génération, qui permet aux différents réseaux nationaux de s'interconnecter.

L'origine du GSM remonte à 1982 quand la CEPT crée un groupe d'étude, le Groupe Spécial Mobile - l'acronyme GSM sera réinterprété plus tard - qui a pour rôle de spécifier un système cellulaire européen pour 1990. En France, ce groupe d'étude est présent au CNET où est lancé le projet MARATHON : Mobiles ayant Accès au Réseau des Abonnés par Transmission Hertzienne Opérant en Numérique. En 1987, le GSM entérine le choix de la transmission numérique avec multiplexage temporel et fréquentiel ; le type de modulation, le codage de canal et le codage de la parole sont également choisis et permettent de fixer les bases nécessaires à une élaboration rapide des spécifications.

En mars 1991, un arrêté ministériel donne l'autorisation aux deux opérateurs français des réseaux analogiques, France Telecom et SFR, de déployer un réseau GSM. Les premiers réseaux pilotes ouvrent à la fin de l'année 1991 et dès 1992, des réseaux ouvrent dans toute l'Europe avec la référence au sigle GSM qui perd alors sa signification française pour l'appellation nettement plus évocatrice de « Global System for Mobile communications ».

En 1991, les spécifications GSM sont adaptées de façon mineure pour permettre de développer des systèmes dans la bande des 1800 MHz. Ces systèmes sont désignés par le terme DCS 1800, Digital Cellular System. En septembre 1994, Bouygues Telecom est sélectionné pour déployer un réseau DCS 1800 sur les grandes villes de France. Le réseau ouvre commercialement en mai 1996.

Alors que les deux types de réseaux GSM 900 et DCS 1800 imposaient l'utilisation de terminaux différents, on voit apparaître sur le marché des terminaux bi-bandes GSM 900/DCS 1800. Dès lors, en 1999, l'Autorité de Régulation des Télécommunications décide de mettre à la disposition des trois opérateurs français des fréquences supplémentaires dans la bande DCS 1800 pour leur permettre de faire face à la forte croissance du marché et de permettre à Bouygues Telecom de disposer de fréquences GSM 900 là où elles sont le plus utiles, à savoir en zones rurales.

Dans le monde, on comptait environ 220 millions d'abonnés GSM-DCS en novembre 1999 et plus de 400 millions en 2001. Début 2004, il y a plus d'un milliard d'abonnés mobiles (toutes technologies confondues) ; en septembre 2005, il y en a 2 milliards. En France, en octobre 2001, le nombre d'abonnés mobiles (34,6 millions) dépasse le

nombre d'abonnés fixes. En 2005, les 3 opérateurs gèrent au total 45 millions d'abonnements, tandis que dans les pays scandinaves, le taux de pénétration dépasse 100 % !

Bien que concurrencé par le PDC et le PHS au Japon, l'AMPS, l'IS-136 ou l'IS-95 en Amérique et en Asie, le succès du GSM-DCS est tel qu'il reste une référence au niveau mondial tant sur le plan des concepts que du vocabulaire : le système a été formidablement conçu et de manière collective. Les services de voix, de données, de fax, de messagerie, etc. sont proposés, et aujourd'hui les réseaux mobiles sont les seuls réseaux multi-construc-teurs complètement interoperables. Comme le souligne Claude Rigault, de l'ENST, « le GSM est une vraie Killer Application en ce sens qu'il transforme la façon dont l'homme travaille. Avant le GSM, l'homme travaillait en boucle ouverte, sans possibilité de correction. Il ne cessait d'aller à des rendez-vous où l'autre ne pouvait venir, de se heurter à des portes dont il n'avait pas le code. Depuis le GSM, l'homme travaille en boucle fermée, il peut corriger en temps réel sa fonction d'erreur ».

Les normes du GSM ont évolué afin de permettre aux abonnés de se connecter à des services de données à de plus hauts débits. Dans l'ordre chronologique, les évolutions furent les suivantes :

- ◊ Tout d'abord un service HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) fut défini. Ce service, fonctionnant en mode circuit comme le GSM, permet aux mobiles de transmettre et de recevoir des données jusqu'à un débit théorique de 57,6 kbits/s.
- ◊ Puis le WAP (Wireless Application Protocol, spécifié en 1998) a fait son apparition, avec le succès que l'on connaît, permettant au mobile de se connecter à l'Internet grâce à un nouveau langage applicatif, dérivé de la syntaxe HTML. Le standard japonais i-Mode utilise quant à lui un sous-ensemble du HTML destiné à fonctionner sur des navigateurs mobiles allégés. Il fut introduit sur le marché japonais par l'opérateur NTT DoCoMo en février 1999 et remporta un vif succès.
- ◊ Enfin l'accès paquet, offert dans un premier temps par le service GPRS (General Packet Radio Service), permet d'atteindre des débits théoriques de 170 kbits/s, mais en pratique de l'ordre de 60 kbits/s pour les abonnés. Dans un deuxième temps, l'EDGE (Enhanced Data for GSM Evolution), a été défini de manière à permettre une transmission des données environ 3 fois plus rapide que le GPRS, c'est-à-dire théoriquement plus de 400 kbits/s.

Depuis 1985, l'UIT (Union Internationale des Télécommunications) réfléchissait à un système de troisième génération (3G), initialement appelé FPLMTS (Futur Public Land Mobile Telephone System), puis IMT 2000 (International Mobile Telecommunications). L'idée fondatrice du système 3G était d'intégrer tous les réseaux de deuxième génération du monde entier en un seul réseau et de lui adjoindre de réelles capacités multimédia. Le principe du système est souvent résumé dans la formule anyone, anywhere, anytime, signifiant que chacun doit pouvoir joindre ou être joint n'importe où et n'importe quand. Pourtant, à l'issue d'une féroce bataille technologique, juridique et politique, ce sont trois normes différentes qui composent le paysage technologique et industriel de la 3G dans le monde. Ces normes sont les suivantes : le WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access), le CDMA2000 et le TD-SCDMA (Time Division Synchronous Code Division Multiple Access).

La norme WCDMA est développée par le 3GPP (3G Partnership Project) dont fait partie l'ETSI et a donné naissance au réseau UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) que l'on connaît en France. Le standard CDMA2000, aussi connu sous le nom de IS-2000 constitue une évolution du CDMA-One (IS-95). L'avantage principal du CDMA2000 sur le W-CDMA réside dans sa compatibilité avec les réseaux 2G de même technologie, ce qui a largement facilité la conversion des abonnés 2G en utilisateurs 3G sur certains marchés (Corée et Japon en particulier).

La norme TD-SCDMA (Time Division Synchronous Code Division Multiple Access) est le résultat d'une bataille politique. Premier marché mondial pour les communications mobiles, la Chine a encouragé ses industriels à former une alliance avec les autorités du pays pour promouvoir une norme 3G domestique.

Le premier service 3G à être lancé fut supporté par un réseau CDMA2000 en octobre 2000 par SK Telecom en Corée du Sud, suivi un an plus tard par l'opérateur japonais NTT DoCoMo avec son service FOMA (Freedom Of Multimedia Access, norme WCDMA). En mai 2005, environ 150 opérateurs dans 66 pays proposaient déjà à leurs abonnés des services 3G, dont une soixantaine d'opérateurs de services WCDMA.

Tous réseaux confondus (WCDMA et CDMA2000), on comptait près de 180 millions d'utilisateurs de services 3G dans le monde à la fin du premier trimestre 2005, dont quelques 25 millions pour la norme WCDMA. En ce qui concerne la répartition géographique des utilisateurs, c'est

l'Asie qui tire la croissance de ce marché avec près de 30 millions de clients au Japon et autant en Corée du Sud.

À l'heure où d'autres technologies radios comme WiFi¹ (Wireless Fidelity) et Wimax² (Worldwide Interoperability for Microwave Access), mettent en avant leurs qualités, les enjeux de ces évolutions, appelées déjà parfois 3.5G, apparaissent incontournables pour l'avenir des opérateurs de télécommunications mobiles tels que nous les connaissons aujourd'hui.

L'ère de la convergence

On constate actuellement un développement très rapide des réseaux locaux sans fil, les WLAN, (Wireless Local Area Network), combinant des points d'accès radio (aux normes 802.11a, b, g...) à des connexions haut débit, par exemple, l'ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) au domicile ou l'Ethernet Gigabit dans un bureau. Il faut aussi replacer ce développement dans le contexte de la démocratisation des ordinateurs portables, offrant la nomadicité à des coûts de plus en plus raisonnables. WLAN et ordinateurs portables changent donc considérablement la donne des communications mobiles. Pourquoi ne pas utiliser son ordinateur pour faire de la téléphonie sur IP ? Et tant qu'à faire de la vidéo-conférence avec des interlocuteurs situés à l'autre bout du monde ? L'explosion des services de messagerie instantanée mêlant texte, son et image mais aussi la croissance de sociétés de téléphonie sur Internet comme Skype témoignent de cet engouement. De plus, l'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), l'instance de normalisation des réseaux locaux sans fil, étend son spectre d'investigation aux réseaux de type cellulaire. Par exemple, Wimax est originellement dédiée aux transmissions point à point (entre des points d'accès fixes) mais évolue pour offrir un support de mobilité.

En parallèle, les réseaux traditionnels de téléphonie mobile évoluent aussi vers des offres plus riches, non plus limitées à la voix ou aux messages courts mais permettant des débits plus élevés, parfaitement compatibles avec des services multimédia et des transferts de données. Ce sont par exemple les évolutions HSDPA et HSUPA (respectivement High Speed Downlink/Uplink Packet Access) de l'UMTS dont la standardisation est quasiment achevée au sein du 3GPP.

Ainsi, ces deux mondes convergent, bénéficiant chacun de leur passé. Les WLANs qui bénéficient de bandes de fréquences non licenciées, sont adaptés a priori aux

¹ WiFi, nom commercial de la technologie IEEE 802.11b de réseau local Ethernet sans fil, basée sur la fréquence 2.4 GHz et permettant un débit de 2 Mbits/s partagé entre plusieurs utilisateurs

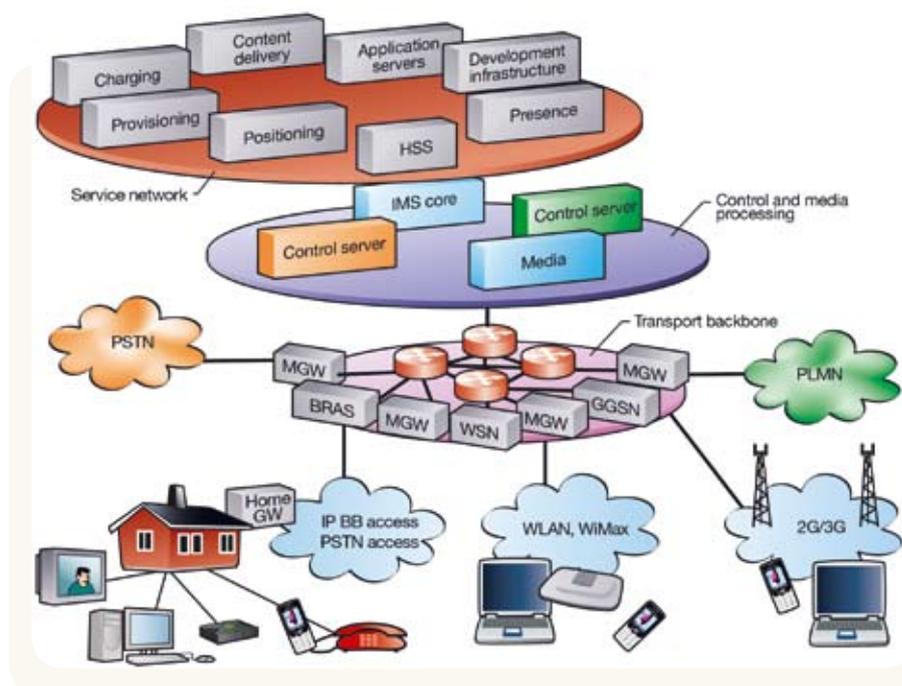
² Wimax (Worldwide Interoperability for Microwave Access), nom commercial de la norme IEEE 802.16 qui permet d'établir des liaisons hertziennes haut débit sur plusieurs dizaines de kilomètres

données, offrent des débits importants mais une mobilité limitée (souvent réduite au nomadisme) et peu ou pas de gestion de qualité de service. Les réseaux cellulaires, opérés dans des bandes de fréquences licenciées, permettent quant à eux une gestion réelle de la mobilité, ainsi qu'une qualité compatible avec la téléphonie, mais ils requièrent des investissements lourds.

Même si ces deux mondes semblent converger vers des offres de services communs et donc être en concurrence totale, il ne faut pas nécessairement penser que les réseaux futurs seront tous WLAN ou tous cellulaires. Il est plus probable qu'ils soient un savant mélange des deux, alliant les avantages de chacun. Par exemple, un opérateur devant densifier sa couverture dans des hot-spots (des zones à très fort trafic tels que des centres urbains, aéroports, centres commerciaux, etc.) préférera utiliser des WLAN plutôt que de déployer en indoor des micro/pico/nano-cellules. Des terminaux bi-modes existent déjà sur le marché, permettant de commuter sans interruption d'une technologie à une autre, et cela d'une manière transparente pour l'utilisateur qui a alors à sa disposition la technologie la plus adaptée à son service.

L'utilisateur prend aussi rapidement l'habitude de pouvoir consulter les données de sa sphère personnelle (messagerie, comptes en banque, photos de famille etc.) quand il veut, où qu'il soit. Cette évolution des usages est un moteur vraisemblable dans ce mouvement de convergence. L'UMA (Unlicensed Mobile Access) est un exemple pratique de cette convergence. C'est le résultat d'un groupe de réflexion (essentiellement formé d'acteurs de la téléphonie cellulaire) permettant de connecter des points d'accès WLAN à un réseau GSM. Typiquement, toutes les procédures du GSM (authentification, gestion de mobilité etc.) sont conservées mais seule la connexion physique entre le terminal et le réseau change, utilisant un « tuyau » WLAN lorsque la couverture le permet. Cette spécification a été adoptée par le 3GPP en décembre 2004, et des produits pré-commerciaux existent dès à présent.

Alternativement, les réseaux cellulaires évoluent aussi pour supporter les services issus du monde IP : bien sûr la voix sur IP, mais aussi les services de messagerie instantanée et les services multimédia tels que le streaming,



La convergence Fixe-Mobile/Voix-Données : Un seul réseau pour tous les services
Dessin de Claes-Göran Andersson - Reproduit de Ericsson Review 2005-1

la notion de présence, etc. Pour cela, le 3GPP a introduit dans la version 5 de l'UMTS ce que l'on appelle l'IMS (IP Multimedia Subsystem), permettant d'interconnecter des réseaux de différentes natures, de supporter tout type de services et donc de se retrouver au cœur de la convergence entre fixes et mobiles, réseaux téléphoniques et réseaux téléinformatiques.

Les réseaux de diffusion s'intègrent eux aussi dans cette dynamique de convergence. En effet, ne voyons-nous pas arriver la diffusion numérique : la Télévision Numérique Terrestre, permettant de diffuser aujourd'hui de la télévision, mais demain, pourquoi pas, n'importe quel contenu numérique ? Inversement, les réseaux de télécommunication traditionnels (fixes ou mobiles) permettent maintenant de transporter avec une qualité suffisante des flux auparavant réservés à la télévision (par exemple, l'ADSL au domicile, ou la 3G sur un mobile). Les technologies évoluent aussi pour répondre au mieux au monde du portable mobile ; ainsi, le DVB-H (Digital Video Broadcasting... Handheld) permet d'accéder à la télévision numérique dans toutes les situations de mobilité.

En conclusion, la convergence des réseaux constitue pour l'utilisateur une simplification des usages : un terminal unique permettant de tout faire, avec une facturation simplifiée (à l'instar des offres « triple-play », téléphonie, internet et télévision en un seul abonnement au domicile). Les services s'adaptent au contexte de l'utilisateur.

Les réseaux s'auto-configurent pour optimiser l'usage de leurs ressources. Cette simplification apparente n'est possible que par des développements de plus en plus complexes au sein des systèmes de télécommunications. C'est l'envers du décor auquel sont appelés à s'atteler en particulier les ingénieurs issus de l'option Télécommunications et Multimédia de l'ISEP !

Les Télécommunications à l'ISEP en 2005

En 2005, l'ISEP veut être une école d'ingénieurs en Télécommunications. « L'ISEP forme des ingénieurs en électronique, informatique et télécommunications et propose un cycle préparatoire intégré. » peut-on lire sur Google. Ces trois domaines correspondent aux trois départements « techniques » de l'École et accueillent une vingtaine d'enseignants permanents répartis dans les 5 étages du bâtiment Branly. Ces enseignants permanents consacrent une partie de leur temps à la recherche, quelle soit sous forme contractuelle ou académique. Dans ce cadre, divers liens ont été tissés avec des universités, en particulier avec le CNAM et l'ENST en ce qui concerne le département Télécommunications.

L'enseignement des télécommunications à l'ISEP vise à donner à tous les étudiants le bagage nécessaire pour répondre à leurs premiers besoins professionnels en télécommunications, qu'ils se tournent vers le développement informatique, la micro-électronique ou les télécommunications ! C'est pourquoi, certains cours sont dispensés à l'ensemble des étudiants, parmi lesquels on peut citer : un cours général d'introduction aux télécommunications et aux réseaux, un cours de traitement analogique puis numérique du signal et un cours de modulations numériques. Le tout est bien entendu assorti de travaux pratiques, qui tiennent toujours une part importante à l'ISEP : environ 85 heures par élève réparties sur les deux premières années d'École. En deuxième année, les étudiants suivent quelques cours pré-optionnels (rebaptisés « électifs » afin de couper court à toute interprétation abusive par les étudiants du terme « optionnel »!) qui les préparent non seulement à leur option mais également à leur stage de fin de deuxième année, voire de fin d'études pour ceux qui suivent les options enseignées au second semestre scolaire. On y trouve en particulier un cours d'introduction aux réseaux cellulaires, un cours d'hyperfréquences et des compléments sur TCP/IP.

Enfin, pour les plus intéressés, deux options de 3^{ème} année, destinées à former des généralistes des Télécommunications, sont ouvertes à l'École depuis 1993 :

« Telecommunications and Wireless Networking », axée sur les systèmes de communication sans fil (systèmes cellulaires et réseaux locaux) et « Télécommunications et Multimédia », axée sur le traitement des données multimédia (son, image, vidéo) et leur adaptation aux réseaux de transmission.



Laboratoire Télécoms - Communications numériques

Ces deux options, enseignées l'une de septembre à janvier et l'autre de février à juin, permettent de répondre au fort intérêt manifesté par nos étudiants dans ce domaine et aux besoins de « stagiaires-télécoms » des entreprises tout au long de l'année. Elles ont une forte composante commune d'enseignements en Communications Numériques, Réseaux et Travaux Pratiques. Pour les lecteurs nostalgiques, les TP (environ 75 heures/étudiant en dernière année) ont toujours lieu dans le bâtiment Branly (dont l'ascenseur, d'origine ou presque !, est toujours interdit aux étudiants), au 3^{ème} étage en ce qui concerne les Télécommunicants...

Les enseignements de l'option « Télécommunications », présente depuis les débuts de l'ISEP, ont naturellement évolué, incluant avec les avancées technologiques le traitement numérique du signal, les réseaux sans fil, etc. Lors des évolutions majeures des options de l'ISEP, un Comité de Programme est constitué, composé d'industriels et d'universitaires incontournables du domaine concerné. Le rôle de ce Comité est de s'assurer de la cohérence du programme, de valider son adéquation avec les besoins de l'industrie et de suggérer des améliorations. Ainsi, dans l'option « Telecommunications & Wireless Networking », enseignée en anglais depuis septembre 2004, fut ajouté aux 5 thèmes initialement envisagés (Digital Communications & Signal Processing, Broadcasting & Localisation, Wireless Networking, Mobility & Security, Network Planning & Design) un module d'enseignement portant sur les Services, et ce à la demande unanime des membres du Comité de Programme. Ce module détaille le processus de mise au point d'un nouveau service dans un réseau de communication, depuis sa conception jusqu'à sa recette. À ces enseignements s'ajoute un projet de fin

d'études qui consiste à répondre à un appel d'offres sur la fourniture d'un réseau de radio privée professionnelle (PMR). Ce projet s'effectue par groupe de 5-6 étudiants, en partenariat avec des industriels. L'option accueille chaque année une quarantaine d'étudiants, dont environ la moitié d'étrangers (étudiants en échange avec des Universités partenaires de l'ISEP et étudiants du Master of Science (MSc) in Electronics and Telecommunications de l'ISEP).

L'option « Télécommunications & Multimedia » est quant à elle une évolution de l'option Image, présente à l'ISEP depuis 1991, devenue en 1993 Télécommunications et Image jusqu'en 1998. Elle est actuellement composée de 4 grands thèmes d'enseignements : Communications Numériques, Réseaux, Multimédia et Transmissions. Les projets de fin d'étude sont proposés par les enseignants ou les étudiants eux-mêmes, par exemple : la réalisation d'un modulateur OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) ou d'un codec MP3 sur une carte, la démonstration de tatouage d'image, la suppression de la composante chant d'une chanson (réalisation d'un karaoké), la restauration de vieux films, l'éclairage d'une image, etc. L'option accueille chaque année une vingtaine d'étudiants, dont quelques étrangers... francophones!

Enfin, lorsque l'on parle de télécommunications, il est difficile de ne pas mentionner l'option « Réseaux informatiques » de l'ISEP. Dépendant du département Informatique, elle forme les étudiants sur les technologies informatiques en entreprise et l'architecture des systèmes d'information. En particulier, elle se focalise sur les couches hautes du modèle OSI dans l'environnement TCP/IP.

Conclusion

Le rythme des innovations technologiques s'est considérablement accéléré depuis la fin des années 1960. Il a provoqué la convergence des télécommunications, de l'informatique et de l'audiovisuel. C'est pourquoi on parle aujourd'hui des NTIC : les nouvelles technologies de l'information et de la communication. Ces techniques, dans l'ensemble de leur diversité, ont pénétré notre espace professionnel et notre espace privé, notamment par l'intermédiaire de la télématique et du téléphone mobile. Désormais, l'usage prime sur la technique et de nouveaux modèles sont à trouver pour les services de télécommunications, les opérateurs étant libres de se concurrencer les uns les autres sur la téléphonie fixe comme sur la téléphonie mobile et les données.



Laboratoire Télécoms – Bancs de traitement d'images

Afin d'être relativement opérationnels à leur sortie d'École, les étudiants-ingénieurs d'aujourd'hui ont à assimiler en trois années d'études bien plus de concepts qu'il y a 10, 20 ou 50 ans (certes, ils disposent de moyens supplémentaires d'acquisition de la connaissance !); le rôle de leur formation est donc désormais de leur présenter les briques fondamentales qu'ils assembleront par la suite afin d'appréhender les systèmes de demain. Dans ce contexte très évolutif et concurrentiel, les enseignements dispensés à l'ISEP doivent s'adapter pour rester à la pointe de l'innovation, et ce pour répondre en permanence aux nouveaux besoins des industriels.

Emmanuelle Vivier

ISEP 1996, PhD 2004.

Elle a travaillé chez Bouygues Telecom, à la Direction Technique Radio, jusqu'en 1999. Elle rejoint ensuite le Département Télécommunications de l'ISEP où elle est actuellement Adjointe au Chef du Département. Ses activités de recherche concernent l'allocation de ressources radios dans les réseaux sans fil.

Références :

www.enst.fr/telecom-paris/missions/telecoms-histoire-cooperation.php

Histoire des Télécommunications par Claude Rigault, enseignant-chercheur au département Informatique et Réseaux de l'ENST, spécialiste de la commutation numérique et des réseaux intelligents.

www.cnes.fr/html/_107_484_485_.php

Histoire des télécommunications, technologies actuelles et télécommunications spatiales

www.francetelecom.com/fr/groupe/initiatives/savoirplus/histoire/telecoms/

www.clg-leprinceringuet.ac-aix-marseille.fr/objets_lafare/radio.html

www.journaldunet.com/cc/05_mobile/mobile_marche_fr.shtml

www.ipnsig.org

www.skype.com

www.wimaxforum.org

Réseaux GSM-DCS, X. Lagrange, P. Godlewski, S. Tabbane, Hermes 2000