

Les télécommunications, une histoire de coopération commencée il y a longtemps et... de plus en plus actuelle

Claude Rigault

Département informatique et réseaux,
ENST, 46 rue Barrault, 75 013 Paris, France
GET-Télécom Paris ; LTCI-UMR 5141 CNRS
claude.rigault@enst.fr

***Résumé.** L'auteur retrace ici l'histoire des grandes innovations qui ont marqué le développement des télécommunications, puis il essaie de comprendre les changements importants intervenus lors des 20 dernières années dans ce domaine ; enfin il esquisse les enjeux des années futures. Il explique que les télécommunications sont ou vont être l'un des outils privilégiés pour résoudre le problème fondamental du travail coopératif en informatique et même plus généralement de la coopération entre les hommes.*

1- Introduction : les télécommunications, instrument indispensable de la coopération entre les hommes.

Il y a 100 ans, Édouard Estaunié, polytechnicien, ingénieur général des Postes et Télégraphes, homme de lettres et académicien, créait le mot "télécommunication". A cette époque, cela faisait déjà un demi-siècle que les réseaux télégraphiques fonctionnaient et un quart de siècle que les réseaux téléphoniques étaient apparus. En proposant ce mot, Estaunié avait compris que télégraphe et téléphone étaient des aspects différents d'une même technique, qu'il appelait "télécommunications", traitant du partage à distance de l'information indépendamment de la manière écrite ou parlée (ou aujourd'hui visuelle) qui l'exprime. Il accomplissait ainsi l'une des démarches essentielles du scientifique : la recherche du modèle le plus dépouillé et le plus unificateur pour décrire des réalités multiples apparemment différentes.

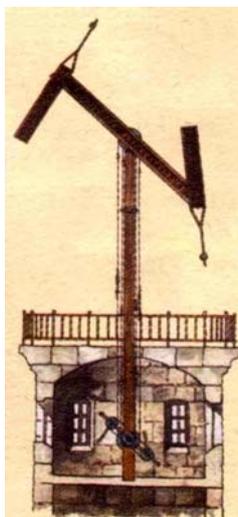
En poursuivant la même démarche, on se rend compte que le partage d'information fait partie d'un problème encore plus vaste et essentiel pour les hommes : la nécessité de coopérer, c'est-à-dire de travailler ensemble, d'égal à égal (peer to peer), sans relation de subordination. Si l'on accepte pour ce mot de "télécommunication" le sens d'outil pour la coopération, il prend une nouvelle envergure, à la pointe de la recherche d'aujourd'hui. En effet, la recherche dont le but premier était de comprendre comment les choses marchent, doit prendre une nouvelle dimension vers la mise au point de moyens permettant aux hommes de travailler ensemble. Les télécommunications qui sont l'un des outils fondamentaux pour partager les informations sont ainsi destinées à jouer un rôle essentiel dans tous les progrès à venir de l'humanité.

Pour essayer de comprendre l'évolution de cette longue marche des télécommunications vers le travail coopératif, je vous propose d'abord de retracer l'histoire des grandes innovations qui ont marqué le développement des télécommunications, puis d'analyser les changements importants intervenus lors des 20 dernières années et enfin d'essayer de définir les enjeux des années futures.

2- Une brève histoire des grandes innovations qui ont marqué le développement des télécommunications

2.1- Les télécommunications : outil stratégique

D'habitude c'est la menace qui contraint les hommes à trouver des moyens de partager leurs informations et le développement des télécommunications doit beaucoup aux activités militaires.



Un télégraphe Chappe

Claude Chappe, un concitoyen de mon petit village de Brulon dans la Sarthe, propose à l'assemblée législative, en 1791, de réaliser un système de télégraphie optique. Le 15 août 1794, une dépêche annonçant la reprise du Quesnoy par les troupes de la République est transmise de Lille à Paris. L'établissement par la France d'un grand réseau de télégraphes optiques est l'un des facteurs qui a permis à Napoléon de garder assez longtemps un avantage stratégique sur les coalisés. Plus tard, en Amérique, au cours de la guerre de sécession, les états nordistes qui disposaient de réseaux télégraphiques électriques beaucoup plus développés que les états du sud ont eu à leur tour un avantage décisif.

Aujourd'hui, il est permis de penser que les réseaux de satellites de télécommunications en orbites basses ont bénéficié des études lancées dans les années 1980 pour l'Initiative de Défense Stratégique. Il serait bien réconfortant de penser qu'un jour, les hommes auront suffisamment progressé pour que ces efforts de coopération ne soient plus la nécessité d'un camp devant la menace d'un autre, mais une réelle volonté de tous travailler ensemble sans que personne n'impose son pouvoir aux autres. Il s'agirait là d'une évolution fondamentale dont les télécommunications seraient l'un des principaux instruments.

2.2- Le télégraphe et le calcul symbolique

Dès le début des années 1800, des systèmes de télégraphie électrique avaient été développés, souvent le long des voies de chemin de fer. Mais ils étaient peu pratiques et surtout complètement anti-économiques puisqu'ils nécessitaient plusieurs fils. Le grand mérite de Morse est d'avoir inventé une sorte de transmission série ne nécessitant qu'un seul fil avec retour par la terre, marquant ainsi les vrais débuts de la communication électrique commerciale. Le 24 mai 1844, Morse envoie de la cour suprême des États-Unis à la gare de

Baltimore le fameux message : "What hath god wrought"¹ Très vite de nombreuses compagnies se créent pour construire des réseaux télégraphiques et dès 1858, l'Américain Cyrus Field pose un premier câble télégraphique transocéanique. Comme sur de telles longueurs la déformation des signaux est très grande, l'ingénieur Heaviside invente un peu empiriquement le calcul symbolique, une manière de calculer la déformation des signaux après une transmission sur fils. Plus tard, les mathématiciens justifieront ce calcul en utilisant la transformation de Laplace.

2.3- Le téléphone, Bell, Vail, le service public des télécommunications

La transmission numérique (le télégraphe) existait donc bien avant la transmission analogique. Alors que l'on savait transmettre des signaux télégraphiques au-delà des océans, on ne savait toujours pas transmettre la voix de l'autre côté de la rue. C'est l'opiniâtreté d'un professeur d'enfants sourds qui étudiait les mécanismes de la production des sons qui a permis de découvrir les principes de la transmission analogique. Alexandre Graham Bell, dépose son brevet le 14 février 1876, une heure avant qu' Elisha Gray, directeur technique à la Western Union, dépose un brevet similaire.



Le téléphone original de Bell

Bell et son beau-père Hubbard, échaudés par le refus de la Western Union d'acheter leur brevet, se trouvent obligés de commercialiser eux-mêmes le téléphone. Ils obtiennent, pour cela, l'appui d'un manager de génie, philosophe visionnaire : Théodore Vail. C'est Vail qui saura transformer la petite compagnie Bell Telephone en une immense société, la plus grande du monde, vénérée du public parce qu'elle n'avait licencié personne pendant la grande dépression. Vail sera aussi 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, mais contrôlés par une autorité (d'élus aux USA). Ce type d'organisation, re-précisé par la suite, durera jusqu'au 1er janvier 1984, date à laquelle le juge Green prendra la décision de démanteler le Bell System, décision qui sera suivie par une dérégulation dans le monde entier.

¹ "De quels bienfaits Dieu ne nous a t'il pas gratifié"

2.4- 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 commutateurs. En janvier 1878 le premier central téléphonique (manuel) est réalisé, reliant 21 abonnés. Après cela c'est l'explosion ! Des centraux manuels s'installent partout, tous les jours. Au début, les opérateurs sont des garçons, anciens télégraphistes. Très rapidement, on préfère confier cette tâche à des femmes. En général celles-ci, compte tenu de l'éducation de l'époque, s'exprimaient plus poliment et étaient plus disciplinées que les garçons. En 1891, Almond B. Strowger, entrepreneur de pompes funèbres à Kansas City, dégoûté de rater des affaires parce que l'épouse de son concurrent était opératrice au central téléphonique, invente un système de commutation automatique qui sera généralisé dans de nombreux pays : le système "Strowger" ou Système "Pas à Pas". La France, et curieusement les États Unis, préféreront une autre philosophie de commutation qui ne sera développée que vingt ans plus tard : le contrôle commun, avec l'avantage d'un plan de numérotation fermé et du routage avec débordement.

2.5- Le problème de la portée

La grande difficulté du téléphone a été sa portée. Rappelons que 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 pouvait porter à des dizaines de kilomètres. Au-delà de cette distance le signal téléphonique était en effet couvert par une friture épouvantable. On doit à Carty, un jeune télégraphiste de 18 ans, la découverte du principe de la transmission en mode différentiel sur deux fils. Avec la transmission différentielle, des portées de quelques centaines de kilomètres devenaient réalisables, surtout depuis qu'en 1900 le physicien Pupin avait compris qu'en insérant, tous les 1,8 km, des bobines en série dans la ligne on pouvait diminuer l'affaiblissement dû à la capacité parasite répartie. Mais bien sûr, il n'était toujours pas possible de faire des communications téléphoniques transcontinentales.



Une triode TM1



Un répéteur

2.6- L'électronique, Lee de Forest, la triode, les répéteurs

Il fallait pour cela inventer l'amplification électronique. Les premiers pas dans cette direction sont faits par Edison avec la découverte de la thermo-émission conduisant aux diodes à tubes. Mais c'est Lee de Forest qui découvre, en 1906, comment on pouvait contrôler la thermo-émission par la charge d'espace créée par une grille, dans une triode. Toutefois, les ingénieurs n'arrivent pas à maîtriser le dispositif. Arnold, un élève de Milikan, ainsi que Langmuir, comprennent qu'il faut faire le vide dans la triode. Les progrès sont alors très rapides, la société Bell développe des répéteurs. La première liaison téléphonique transcontinentale est réalisée en 1915 à l'occasion de la foire California-Pacific qui marque la renaissance de San Francisco après la terrible catastrophe du tremblement de terre. Le défi suivant devient la téléphonie transocéanique. Mais, alors que le premier câble transocéanique télégraphique est posé en 1858, ce n'est que presque 100 ans plus tard, en 1956, que l'on réussit à poser le premier câble téléphonique entre l'Europe et l'Amérique. En attendant que ce problème extrêmement difficile de la téléphonie transocéanique par câble soit résolu, c'est à la radio que l'on fait appel pour la communication inter-continentale.



Un poste à galène

2.7- De la radio à la télévision

Prédites par Maxwell en 1864 dans son célèbre article "A dynamic theory of the electromagnetic field", les ondes électromagnétiques sont mises en évidence par les expériences de Heinrich Hertz en 1887, que mon professeur de physique de terminale reproduisait devant nous ! Dès 1896, Marconi, à Pontecchio, invente les antennes et la même année le russe Popov à Saint Petersburg transmet le premier message radio : "Heinrich Hertz". La communication télégraphique par radio se développe avec des alternateurs électromécaniques produisant du 50 KHz (6 Km de longueur d'onde !) et les premières communications transatlantiques par radio en Morse sont réalisées en 1901 par Marconi. Ce type de transmission sert beaucoup pour les communications avec les navires. En 1906, un

professeur de Harvard a l'idée de mettre un microphone en série entre l'alternateur et l'antenne (ce micro devait chauffer très fort !) et se met à transmettre de la voix et de la musique au grand étonnement des officiers radio des navires qui, tout d'un coup, entendent de la musique au lieu des "tit" "tat" Morse habituels ! Mais c'est après l'invention de l'électronique dans les mêmes années que la radiodiffusion, on disait alors la TSF (Téléphonie Sans Fil), se développe avec un succès extraordinaire auprès du public, chez qui la construction de postes à galène devint un dada très apprécié ! (Je dois moi-même à cette activité ma vocation scientifique : je ne suis pas prêt d'oublier mes battements de cœur quand j'ai entendu mes premiers sons dans les écouteurs du poste qu'à 12 ans j'avais fabriqué de toutes pièces)

En 1915 J. R. Carson de la Bell invente la BLU (Bande Latérale Unique) Le même Carson devait publier un papier un peu malencontreux en 1924 expliquant que le principe de la FM n'avait pas d'intérêt et concluant : "Noise, like the poor is here to stay with us" ² Ces conclusions (sur le bruit) étaient exactes pour une FM à bande étroite, mais dix ans plus tard Armstrong réalisait la FM à bande large avec le succès que l'on connaît ! La première guerre mondiale eut pour effet un formidable développement de la radio. La première triode que j'ai possédée était une TM1 (Télégraphie Militaire 1) datant de cette époque. Toutefois les postes utilisés étaient des récepteurs à amplification directe ou des détectrices à réaction. Le jeune Américain Armstrong, envoyé en France en 1917 avec le Signal Corps, invente le superhétérodyne dont il dépose le brevet depuis la France le 30 décembre 1918. Cette invention géniale marque l'essor de la radio vraiment pratique ! Les livres disent que c'est parce que la sélectivité est faite sur une fréquence fixe, donc avec la possibilité d'obtenir économiquement des coefficients Q très élevés. C'est évidemment vrai, mais un autre avantage, jamais cité dans aucun ouvrage, est tout aussi déterminant : l'amplification est faite à une autre fréquence que celle de l'étage d'entrée, on peut ainsi avoir une forte amplification et donc une grande sensibilité, sans re-bouclage parasite et par conséquent sans oscillation ! Les années 30 consacrent le perfectionnement de la communication analogique avec les inventions du contrôle de gain et de la contre-réaction. Armstrong, encore lui, apporte un progrès décisif en mettant au point la FM (en bande large) et donc la radiodiffusion en haute fidélité avec très peu de bruit. Également dans ces années le voyage automobile se démocratise et les routes dans les déserts sont longues ! Pas étonnant qu'une société de l'Arizona réalise une radio pour les autos. Cette société prendra plus tard le nom de Motor-Ola ! On peut dire qu'à la fin des années 30 tous les progrès de la radio analogique sont acquis. Mis à part le progrès apporté par les transistors dans les années 60, nous en sommes toujours là, en attente de la radiodiffusion numérique promise depuis longtemps et qui ne vient toujours pas ! En revanche, dans les années 40 c'est la télévision et donc la transmission de l'image qui devient le problème important. Les ingénieurs des années 20 n'arrivaient pas à choisir entre des systèmes de balayages mécaniques ou électroniques. Le développement dans les années 30 de l'électronique à très haute fréquence et aussi de la technique des tubes cathodiques a permis de régler ce dilemme, permettant du même coup le développement des radars et la transmission de l'image ... en mode diffusé. La visiophonie est une autre histoire dont les vraies modalités restent encore à trouver. Dans le reste de cet exposé nous restreindrons le mot télécommunications à l'activité "réseaux", et nous laisserons donc volontairement de côté des activités pourtant passionnantes que sont les radars et les communications particulières avec les sondes spatiales à des millions de kilomètres.

² *"le bruit, c'est comme la pauvreté, on ne peut pas s'en débarrasser"*

2.8- La communication numérique

C'est en France, en 1938, que l'Anglais Alec Reeves qui travaillait pour l'entreprise LMT (Le Matériel Téléphonique), dépose le brevet du MIC (Modulation par Impulsions Codées), qui devait éliminer presque complètement le bruit. Malheureusement, à cette époque, la technologie de l'électronique à lampes ne permettait pas de réaliser économiquement de tels procédés de transmission. Dans les années 50, le numérique apparaît comme une conséquence de la nouvelle industrie des ordinateurs dont le développement a été rendu nécessaire par la deuxième guerre mondiale.



Commutateurs électroniques

Une nouvelle électronique voit le jour où l'on ne parle plus d'amplificateurs, de circuits intégrateurs ou dérivateurs, mais où l'on parle de flip-flops, de portes, d'algèbre de Boole. Claude Shannon établit la théorie de l'information et les idées théoriques sur la communication numérique sont développées. Malgré tout, ces idées restent cantonnées à des systèmes très coûteux à cause de la technologie à lampes. C'est l'invention du transistor en 1947 par William Shockley, John Bardeen et Walter H. Brattain, trois physiciens des Bell Labs, prix Nobel en 1956, qui va changer la donne. Très certainement l'une des premières applications est le clavier DTMF de nos téléphones ! Produire 1 fréquence parmi 4, plus 1 fréquence parmi 3 aurait demandé au moins deux lampes d'après l'équation de Van der Pol ! Les "commutants" n'hésitaient pas à utiliser des signaleurs à lampes pour la signalisation entre centraux, mais comment caser un tel dispositif dans un téléphone ! Avec deux transistors, alimentables par le courant de la ligne, le problème devenait complètement différent !

Il fallut cependant attendre l'apparition des circuits intégrés à la fin des années 60 pour que l'électronique, jusque-là cantonnée aux systèmes de transmissions analogiques à multiplexage fréquentiel, puisse sérieusement s'étendre à la transmission numérique et à la commutation. Les multiplex numériques sont d'abord utilisés comme systèmes de gain de paires pour la transmission entre les centraux analogiques. Puis on passe de la programmation câblée à la programmation enregistrée en pilotant les commutateurs par des ordinateurs. Le dernier pas à franchir est de remplacer les matrices de commutation analogiques par des matrices numériques. Ce sont les Français qui, au cours des années 1970, précèdent tout le monde dans ce domaine, d'abord les ingénieurs du CNET avec le système E10, puis les ingénieurs de LMT avec le système MT20. Le reste du monde, pris de court, est obligé de suivre... en grinçant des dents à cause des investissements faits dans l'analogique.

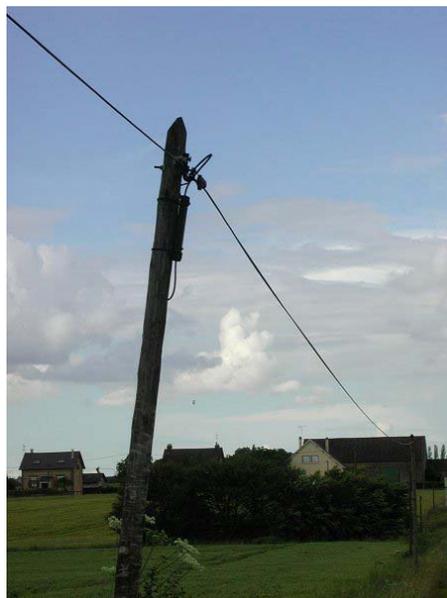
3- Les grands changements des vingt dernières années

3.1- Les progrès invisibles

Les années 1980 sont des années d'immenses progrès, dont le public et même beaucoup de spécialistes ne réalisent pas vraiment l'ampleur. Dans les années 1970, il était pratiquement hors de question d'équiper chaque foyer d'un téléphone, chaque petite route de France aurait été bordée d'immenses nappes de fils ! Les meilleurs modems fonctionnaient à 9600 bits par seconde, et encore sur liaisons spécialisées de qualité supérieure très coûteuses. Les ingénieurs annonçaient doctement que compte tenu de la limite de Shannon, on ne pourrait jamais aller au-delà de 15 Kbit/s sur une ligne téléphonique ! Lorsque l'on appelait Nice depuis Paris, on avait une tonalité d'acheminement pendant 10 à 20 secondes ! Une ou deux décennies plus tard, tout cela a bien changé sans avoir l'impression qu'il y ait eu de découvertes scientifiques fondamentales.



Avant



et après

les concentrateurs distants

En fait, si. Trois progrès techniques fondamentaux ont complètement bouleversé la situation.

- Il est d'abord devenu possible de piloter des concentrateurs à distance. C'est ce progrès technique, peu reconnu, découlant de la signalisation sémaphore qui explique que nous avons pu raccorder tous nos foyers, tout autant que l'immense investissement du plan ΔLP (Delta des lignes principales) consenti par la France à la fin des années 1970. Les concentrateurs distants ont changé le paysage de la France. Le long des routes, les grandes potences en bois soutenant les nappes de lignes ont été remplacées par des petits poteaux en acier portant un câble noir contenant plusieurs MICs. Du fait des concentrateurs distants, les lignes sont devenues beaucoup plus courtes, permettant ainsi de raccorder tout le monde !
- La limite de Shannon s'est trouvée considérablement augmentée, tout simplement parce que le réseau d'aujourd'hui a un bien meilleur rapport Signal/Bruit. Ce progrès est essentiellement dû à la généralisation de la fibre optique. On ne trouve plus de cuivre aujourd'hui que sur les derniers kilomètres, tout le reste est en verre avec une qualité de transmission et une immunité au bruit extraordinaire. Un autre facteur favorable est l'augmentation de la vitesse des processeurs de traitement du signal. Le bruit n'est pas que du bruit blanc Gaussien aléatoire, il y a beaucoup de diaphonie que l'on sait traiter.

L'augmentation de la vitesse des microprocesseurs a des conséquences fabuleuses. Vers 1985, époque de la conception du RNIS, l'accès de base était limité à 144 KBits/s utiles parce que l'horloge du microprocesseur qui faisait l'annulation d'écho n'était que de 2 MHz. Aujourd'hui les microprocesseurs tournent au moins 100 fois plus vite et c'est pourquoi nous pouvons faire l'ADSL 100 fois plus rapide !

- Quant à la généralisation de la signalisation sémaphore, elle a d'abord considérablement accéléré le fonctionnement du réseau, puis elle a aussi rendu possible les progrès des années 1990.

3.2- Des réseaux mobiles et intelligents

Les années 1990 ne sont plus des années de progrès invisibles, ce sont des années de rupture, des années de toutes les audaces. La numérisation du réseau n'était pas encore digérée, le RNIS n'avait pas encore démarré, et les ingénieurs se lançaient dans l'aventure incroyable du raccordement des abonnés en radio-numérique. On aurait pu croire que le mur de la complexité était atteint, tant du point de vue technique que financier. La technique de la radio est intrinsèquement très difficile, s'y ajoutaient les problèmes de signalisation, d'architecture de contrôle, de développements logiciels. De son côté, l'aspect financier semblait insurmontable puisqu'il fallait investir des milliards avant que l'on puisse espérer gagner le moindre centime.



station de base mobile



et poste

Pourtant le succès du GSM est l'un des meilleurs exemples de ce que l'homme peut faire en coopérant. D'abord la normalisation réalisée par l'ETSI a été remarquable. Le système a été formidablement conçu et de manière collective. Aujourd'hui les réseaux mobiles sont les seuls réseaux multi-constructeurs complètement inter-opérables et qui respectent scrupuleusement une norme unique. Ensuite 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. Comme toute vraie "Killer Application", ce sont les plus humbles d'entre nous qui en profitent le plus car c'est pour eux un véritable instrument de productivité. Dans les pays en développement, le mobile est très largement majoritaire par rapport au fixe qu'il cannibalise. En même temps se développe un autre concept, celui du réseau intelligent. L'idée que le réseau ne pouvait fournir que les services qui étaient programmés dans les ordinateurs des centraux téléphoniques devenait intolérable. Il fallait trouver un moyen de rendre le réseau plus coopératif pour exécuter des services que des sociétés tierces pourraient programmer, et exploiter commercialement, dans des plates-formes extérieures. Ce but ultime n'est pas

encore complètement atteint mais l'on s'en rapproche, et d'ores et déjà les services "réseaux intelligents" constituent en bien des pays plus de la moitié du revenu des opérateurs. En Amérique du Nord c'est le cas des numéros 800.

Dans beaucoup d'autres pays, en particulier dans les pays en développement, ce sont les services prépayés qui deviennent majoritaires. C'est ainsi que nous nous orientons maintenant vers le GPRS prépayé, merveille de technologie puisqu'il combine à la fois le réseau mobile, les réseaux Data, la signalisation du mobile et la signalisation du réseau intelligent. (CAMEL phase 3)

3.3- La montée des réseaux informatiques. De nouveaux paradigmes de communication

A l'origine, l'informatique était centralisée. C'était le règne des Main Frames et messieurs les informaticiens, tels les grands prêtres antiques, étaient leurs serviteurs bénéficiant d'un statut privilégié. Ils imaginaient que leurs oracles allaient révolutionner, à leur profit, l'industrie, la société, les styles de vie.

Dans la vague iconoclaste de 1968, quelques dangereux révolutionnaires, peu soucieux de se laisser déposséder dans leurs métiers par ces nouveaux seigneurs, imaginent l'informatique distribuée basée sur le modèle client-serveur. En réalité ce modèle reste en grande partie un modèle centralisé, l'essentiel est dans le serveur, unique, et la cosmétique est dans le client.



Un mini VAX

Petit à petit les Main Frames sont remplacés par des minis, par définition moins puissants, mais propriété des entreprises qui peuvent ainsi garder le contrôle de leur destin. Toutefois la contrepartie de la faiblesse, c'est l'obligation de coopérer. Il fallait donc relier ces mini-ordinateurs entre eux pour qu'ils puissent partager les informations. Les opérateurs de télécommunications, bien installés dans leur rôle de service public et soucieux de satisfaire les besoins de leurs "usagers", conçoivent des réseaux publics de données pour relier tous ces mini-ordinateurs. C'est ainsi que naissent Transpac et plus généralement la norme X25.

Cependant le modèle X25 ne correspond pas vraiment à l'attente de nos nouveaux adeptes de l'informatique distribuée. En effet, les opérateurs, en concevant X25, s'étaient basés sur le même modèle (on dit aujourd'hui paradigme) de communication que celui dont ils avaient l'habitude en téléphonie. Dans ce paradigme, dit conversationnel, un circuit, fût-il virtuel, est connecté préalablement au dialogue et doit être explicitement déconnecté à la fin du

dialogue. Dans l'informatique client-serveur, où la session de communication ne dure que le temps d'une requête et de sa réponse, il n'y a pas vraiment de dialogue. Le paradigme conversationnel ne convient donc absolument pas à l'informatique client-serveur. Peu satisfaits de ce que leur offraient les opérateurs de télécommunications traditionnels, quelques professeurs américains décident de créer un autre type de réseau, mettant en œuvre un autre paradigme de communication, dit paradigme "requête réponse", adapté au client-serveur et donc sans connexions. Dans un tel réseau, il n'y a pas de routage préalable. A chaque paquet, le commutateur doit refaire à nouveau sa décision de routage. Pour cette raison ces commutateurs "sans mémoire", on dit aujourd'hui "stateless", sont appelés "routeurs". Ce nouveau réseau, qui relie d'abord quelques universités américaines, est à l'origine de l'Internet que nous connaissons aujourd'hui et les paquets qu'il transporte sont appelés "paquets IP" (pour Internet Protocol). Le succès phénoménal de l'Internet est, dans un sens, celui de l'architecture client-serveur, d'abord mise en œuvre par les mini-ordinateurs des entreprises, puis reprise pour les PC... de tout le monde. La réussite de l'Internet n'est pas uniquement une réussite technique, grandement facilitée par le fait que l'Internet est très majoritairement mono-source, contrairement aux réseaux GSM ou aux réseaux X25. C'est surtout la victoire d'un nouveau modèle économique de la communication, certainement pas gratuite, mais faisant intervenir une concurrence entre fournisseurs d'accès.

3.4- La dérégulation

À la fin des années 1970, le modèle d'entreprise des télécommunications, basé sur un service public monopolistique dans une zone géographique donnée, imaginé par Théodore Vail presque 100 ans plus tôt, arrive à son terme. Dans ce modèle économique une péréquation tarifaire était instaurée entre les services non rentables (le raccordement d'un fermier isolé, les tarifs "résidentiels" très bas) et les services rentables (tarifs "entreprises"). Dans le contexte de l'inflation à deux chiffres résultant de la guerre du Vietnam, les péréquations financières ne sont plus à l'ordre du jour. Le 1er janvier 1984, après un procès fleuve de 8 ans, le juge Green décide la "divestiture", c'est-à-dire le démembrement du Bell System, la plus grande société mondiale, à l'origine de beaucoup des grands progrès techniques du 20ème siècle. Dans un premier temps, de nouvelles sociétés, les "baby Bell" indépendantes les unes des autres, sont créées, sans toutefois remettre en cause la notion de monopole local. Mais le mouvement est lancé, le nouveau modèle économique démontré par le succès de l'Internet semble attractif. En 1996, une nouvelle décision met fin aux monopoles des télécommunications. Désormais, de nouveaux modèles sont à trouver pour les services de télécommunications. Les opérateurs, historiques et nouveaux entrants, sont libres de se concurrencer les uns les autres sur la téléphonie fixe comme sur la téléphonie mobile et les données.

3.5- Téléphonie sur IP, communication multimédia et NGN

Enhardis par le succès des réseaux IP pour la communication entre ordinateurs, et leurs nouveaux modèles économiques, certains se mettent à rêver d'acheminer par commutation de paquets IP, non seulement les données des ordinateurs mais aussi la voix des personnes humaines et encore même les images fixes ou animées. On se met donc à parler de "réseau multimédia" pour parler d'intégration voix données images sur un transport paquet alors que pour la même intégration sur un transport circuit on parlait de RNIS (Réseau Numérique à Intégration de Service). Cela n'est pas si facile à faire compte tenu de plusieurs différences fondamentales entre les machines et les humains. Les machines s'accommodent très bien d'un léger délai, le cerveau humain en est incapable. En cas de délai, il provoque un phénomène

intempestif de bégaiement, de bafouillement... voire de mutisme. Pour une conversation humaine, il faut donc mettre en place dans le réseau de transport par paquets, un mécanisme garantissant un délai. On qualifie ces mécanismes de "mécanismes de QoS" (Quality of Service). La mise en place d'une QoS, pour un appel donné est assimilable à une connexion. Dès que nous faisons communiquer des humains, nous sommes nécessairement dans le paradigme conversationnel où il faut mettre en place un environnement de communication (pages mémoires, mécanismes de QoS) avant tout dialogue et relâcher explicitement cet environnement à la fin du dialogue. Ce paradigme conversationnel de la téléphonie nécessite un plan contrôle (l'ensemble des fonctions nécessaires pour établir l'environnement de communication préalablement au dialogue) alors que le paradigme requête-réponse de l'architecture client serveur ne nécessite rien de tel. A priori, l'Internet conçu pour cette architecture n'est donc pas approprié pour la communication humaine. Il faut, pour le multimédia, re-concevoir un autre réseau, doté de plusieurs plans : un plan transport en mode paquet avec des mécanismes de QoS, un plan contrôle, un plan service. Ce réseau, en cours d'élaboration, s'appelle le NGN (Next Génération Network). Il est fort probable que plusieurs solutions de NGN (IP sur ATM, MPLS,...) coexisteront pour un temps, avant que les technologies se stabilisent.

4- Une approche des grands enjeux des années futures

4.1- Vers la fin du règne de l'architecture Client-Serveur ?

En fait, l'informatique distribuée, basée sur le modèle client-serveur n'est pas si révolutionnaire. Elle ne bouleverse pas les ordres établis. Il y a toujours un chef, le serveur. Ce modèle persistera probablement longtemps, et sera peut-être même toujours indispensable pour certains types de problèmes. On commence cependant à entrevoir aujourd'hui qu'une vraie révolution serait une informatique sans chef : "l'informatique coopérative". Dans ce nouveau monde, les processus seraient réalisés par une coopération libre entre entités participantes égales, sans Ordonnanceur suprême. La difficulté, c'est que la science informatique ne connaît pas encore de solution technique pour l'informatique coopérative. C'est un véritable défi pour l'informatique et les télécommunications du futur. Un défi bien difficile à relever. Jusqu'à présent, ce que l'homme sait bien faire, c'est le maître-esclave. Coopérer, c'est une autre histoire. Les équations de la coopération ne sont pas encore connues, et ceux qui les trouveront seront, sans doute, des bienfaiteurs de l'humanité. L'informatique distribuée s'apparente plutôt à une diversion qu'à une vraie solution du problème de la coopération.

Il existe pourtant quelques rares exemples d'informatique coopérative, mais il s'agit en fait de solutions ad hoc, particulières, ne permettant pas d'établir des principes généraux. Le traitement de connexion des centraux téléphoniques est l'un de ces exemples, la gestion MTP3 du réseau sémaphore en est un autre. Il n'est pas étonnant que ces applications informatiques aient nécessité des milliers d'homme×ans de programmation !

C'est en réalité l'ensemble des processus du plan contrôle des réseaux actuels et des NGN qui sont des processus coopératifs ! Il est curieux de constater, alors que beaucoup pensent que les réseaux ressortent de la science informatique, qu'en réalité le paradigme conversationnel nécessite des techniques logicielles pour lesquelles la science informatique est encore loin d'avoir trouvé des solutions génériques !

Toutefois, un peu de réflexion permet d'entrevoir déjà quelques points-clés d'une informatique coopérative. Une telle informatique nécessite de :

- Partager les informations entre entités paires. Ce problème est connu des spécialistes

des télécommunications : le partage d'informations dans le contrôle des réseaux, c'est la signalisation. Nul doute que les mécanismes de signalisation seront l'une des clés des réseaux de l'avenir et de l'informatique coopérative.

- Attribuer à un moment donné l'autorité de décision parmi les partenaires. Il faut bien en effet que des décisions soient prises. Si tout le monde est égal, qui va le faire ? Quel problème difficile, si loin d'être résolu ! C'est ici que l'on comprend que le traitement de connexion du téléphone est très particulier, qu'il ne peut pas être considéré comme une solution générale, puisque c'est chacun à leur tour que les centraux prennent leur décision dans l'établissement d'une connexion. (Si l'on savait comment attribuer les autorités de décision, l'Union Européenne aurait moins de mal à trouver sa constitution !).
- Connaître les modèles comportementaux des partenaires. Il est en effet impossible de prendre une décision sans connaître les comportements des partenaires. C'est le problème des modèles d'appels si nécessaires aux réseaux intelligents ou au couplage téléphonie-informatique. Ceci milite pour des plans contrôle statefull dans les réseaux futurs plutôt que pour les solutions stateless envisagées actuellement.

Dans ces conditions, nous nous rendons compte que nous sommes encore très loin des télécommunications du futur, d'immenses révolutions restent à faire pour que nos futurs réseaux, les fameux NGN conviennent à la fois aux humains et aux machines, fixes ou mobiles, au travail centralisé, distribué, coopératif, à tous les médias. Mais il faut d'abord, pour cela, repenser complètement les modèles d'entreprises des télécommunications.

Accès	Transport	Intelligence
Client d'accès	Client de transport	Client d'intelligence
Fournisseur d'accès	Services de contrôle d'appel	Fournisseur de services d'intelligence
Composants d'accès	Composants de transport	Composants d'intelligence
Réseau d'accès	Réseau	SSP, SVI
Supports d'accès	Supports	

Dégroupage horizontal et dégroupage vertical

4.2- Les dégroupages, et les nouveaux modèles économiques

Nous avons souligné que les années 1990 étaient des années de rupture. Les années 2000 tirent les conséquences aux plans économiques et organisationnels de ces ruptures techniques. Les technologies asynchrones de la commutation de paquet remettent en question le modèle intégré du commutateur téléphonique. Il n'est dorénavant plus nécessaire de mettre toutes les fonctions d'un commutateur au même endroit comme il fallait le faire en technologie synchrone. On peut dès lors se poser la question de "qui fait quoi dans les réseaux téléphoniques ?". Il devient clair que le fameux traitement d'appel d'un commutateur est en fait un traitement intégré (par un maître) de fonctions de natures différentes qu'il serait avantageux de traiter de manières indépendantes par des systèmes coopératifs sans liens de subordination.

Plusieurs groupes de recherche identifient ces fonctions séparables, on dit dégroupables, et proposent de nouvelles architectures de commutation et de services où ces fonctions pourraient être réalisées par des acteurs distincts. Il n'y a donc pas "un" dégroupage, celui de la ligne d'abonné, comme on le pense généralement mais plusieurs dégroupages. Le dégroupage, au sens actuel, est le dégroupage du service d'accès. Mais on peut aussi dégroupier les services intelligents et les services de transport. On obtient ainsi un ensemble

de trois types de services séparables : l'accès, le transport, l'intelligence.

Cette première séparation, est qualifiée d'horizontale. Mais on peut encore distinguer, dans chacun de ces 3 types de services, d'autres niveaux de séparation conduisant encore à des dégroupages supplémentaires qualifiés de verticaux. Finalement l'offre globale de services de télécommunication peut être structurée en un tableau à deux dimensions donc chaque case est susceptible d'être exploitée par des opérateurs économiques indépendants, libres d'offrir des services, originaux et utiles, mais nécessitant une vraie coopération avec les autres composants du service global. Il s'agit là d'une évolution très importante, nécessitant une coopération effective, qui devrait permettre à des opérateurs d'un nouveau type, spécialisés sur l'une des fonctions mises en œuvre par la communication, de se développer. Cette évolution que l'on voit déjà se mettre en place avec l'architecture softswitch devrait parachever le travail de dérégulation entamé dans les années 1990.

4.3- Architecture softswitch et NGN. La fin de la distinction entre réseaux publics et réseaux privés

L'outil de choix, permettant ces dégroupages plus profonds est la téléphonie sur IP, telle que nous l'avons décrite en parlant de NGN. Jusqu'ici, les commutateurs étaient constitués de concentrateurs, d'un réseau de connexion et d'unités de contrôle. Si l'on utilise pour le transport une technologie asynchrone comme la commutation de paquet il n'est plus nécessaire que les diverses fonctions d'un commutateur soient intégrées. Les concentrateurs sont renommés "Media Gateways" MG, les unités de contrôle sont renommées "Media Gateway Controlers" MGC et ce sont les routeurs du réseau Internet ou du NGN qui se substituent aux matrices temporelles des réseaux de connexions des commutateurs. Cette nouvelle architecture de commutation, appelée "Softswitch" est beaucoup moins coûteuse pour les opérateurs de services vocaux puisqu'elle fait supporter le coût de la commutation proprement dite aux transporteurs Internet. Elle permet de dégroupier les opérateurs de service d'appels, des opérateurs de services supports (Internet). Les opérateurs de service vocaux n'ont plus à faire que leur vrai métier : le contrôle d'appel. Cet aspect éclaté du softswitch permet d'externaliser les commutateurs privés ou PABX. Il n'est dorénavant plus nécessaire pour une PME de posséder son propre PABX. Il suffit que ses téléphones soient des téléphones IP pour qu'ils soient pris en compte par un MGC externalisé faisant fonction de PABX, on dit aussi d'IP Centrex. Peut on dire, dans cette configuration, que l'opérateur du MGC extérieur est un opérateur public ou un opérateur privé ? Cette question n'a plus beaucoup de sens et la distinction public-privé s'estompe complètement.

Les réseaux mobiles, sont à leur tour destinés à devenir des NGN. Il est en effet prévu par le 3GPP (Third Generation Partnership Project) que l'UMTS version 5 utilise une couche transport intégrée en mode paquet et une nouvelle architecture de contrôle dite IMS (IP Multimedia Services) conçue pour la communication mobile multimedia. L'IMS est en fait, avec des sigles différents, une évolution de l'architecture softswitch intégrant l'ensemble des services d'accès, de transport et d'intelligence à la fois pour la voix, la vidéo et les données. Une solution très semblable sera probablement reconduite dans les réseaux fixes suite aux travaux de l'ETSI.

Il semble donc inéluctable que l'architecture Softswitch et ses dérivés s'étendent à tous les réseaux. Les pays émergents où tout est à construire ont déjà opté pour cette solution. A l'heure des nouvelles superpuissances, ce sont des centaines de millions de nouveaux abonnés qu'il faut raccorder. Dans ces conditions, il est probable qu'assez rapidement cette nouvelle architecture, associée au dégroupage beaucoup plus complet qu'elle rend possible, devienne très largement majoritaire au plan mondial, en changeant complètement les modèles d'entreprises sur lesquels étaient fondées les télécommunications jusqu'ici.

5) Conclusion : encore tant de choses à faire !

Je dis souvent à mes étudiants de l'ENST qu'ils ne doivent pas avoir d'inquiétude pour leur avenir : si l'épopée que je viens de décrire paraît considérable, elle est loin d'être achevée. Les progrès les plus importants, ceux qui permettront vraiment à l'homme de coopérer, restent à faire. Nos générations et celles de nos devanciers n'ont fait qu'égratigner la surface de tout ce que nous devons encore inventer. Ce sera l'œuvre de nos jeunes diplômés qui peuvent aborder avec sérénité et enthousiasme la vie d'aventures et d'innovation qui les attend.



Claude Rigault

Claude Rigault, directeur d'études à l'ENST, a reçu son diplôme d'ingénieur ESPCI en 1966. Il a participé de 1969 à 1992 au développement de systèmes de commutation, d'abord chez LMT avec les GCI puis le Metaconta et le MT20, ensuite à la SAT avec les PABX numériques et le RNIS. Depuis 1992, il est chargé de l'enseignement de la commutation à l'ENST, et mène sa recherche dans le domaine de la signalisation et des architectures de service pour les nouveaux réseaux. Claude Rigault est l'auteur du livre "principes de commutation numérique" publié aux éditions Hermes.