

Les télécommunications et la mer Les repères scientifiques, technologiques et historiques d'une triple aventure

Pendant des millénaires, le transport – matériel – des marchandises et celui – moins pesant! – de l'information ont été confondus et l'homme s'en chargeait pour l'essentiel, ce qui limitait à la fois la charge transmise et la vitesse de transmission. La domestication des équidés et l'usage de la roue modifièrent grandement la charge utile, mais pas considérablement la vitesse de transmission, de sorte qu'à la fin du XVIII^e siècle, les progrès par rapport à l'empire romain pour la transmission des ordres et consignes de la puissance publique n'étaient pas spectaculaires : le temps se comptait toujours en semaines ou en jours à l'échelle d'un pays.

Il n'y a donc guère que deux siècles que la situation s'est radicalement modifiée. L'homme est devenu capable de dissocier le transport des marchandises et celui de l'information ; deux découvertes, historiquement considérables, sont venues tout au long du XIX^e siècle, conforter cette évolution : le télégraphe d'abord, puis la machine à vapeur, symbole de la « puissance motrice du feu ».

Le télégraphe optique

Le télégraphe a d'abord été aérien, optique, et le nom de Claude Chappe reste associé à ce progrès majeur, tout à fait daté, et qui marque sans doute une discontinuité dans l'histoire des techniques et de leurs rapports avec la société. Certes on savait que l'optique et la vision permettent d'informer et d'alerter à distance, mais le contenu informatif, tout décisif qu'il fût, était assez pauvre : le phare d'Alexandrie ne signalait guère que l'approche du port et le réseau des tours génoises en Corse l'imminence du danger barbaresque.

La décision de l'Assemblée législative de mettre au point, pour des raisons d'urgence politique et militaire, un dispositif de télégraphie optique opérationnel, marque l'avènement, rapide, d'un « réseau », d'une « administration »

dédiée, et enfin, d'un «statut juridique» encadrant le nouveau service, tous aspects qui perdurent encore nonobstant toutes les évolutions constatées.

C'est de 1792 que date la décision parlementaire, de l'année suivante l'affectation des crédits et la réalisation de la liaison expérimentale (perpétuée dans la capitale par la station de métro «télégraphe»). Avec le soutien de Lakanal, puis de Carnot et de Monge, il ne fallut qu'une année pour ouvrir, en 1794, la première liaison, Paris-Lille. Les progrès furent ensuite plus lents, tributaires de l'intérêt porté par le pouvoir central et les militaires.

On ne contera pas ici l'épopée du télégraphe Chappe, qui reste en fonction jusqu'en 1855 (1859 en Algérie, où il suivit de peu la conquête coloniale). Remarquons toutefois que son réseau préfigure celui, radial, des chemins de fer et qu'il marque bien la puissance du politique et de l'administratif, qu'illustre Stendhal¹. Mentionnons aussi que, dès l'Empire, la Marine avait construit pour ses besoins propres une liaison Paris-Brest.

Le télégraphe optique, largement tributaire des aléas de la météo et d'usage nocturne plus que limité, ramenait, dans des conditions favorables, la durée de transmission d'un message de quelques lignes à environ une heure pour des distances de quelques centaines de kilomètres (cela dépendait du nombre de relais) ; on avait, très rapidement, gagné un à deux ordres de grandeur par rapport à la période précédente, qui avait duré des siècles, sinon des millénaires, cependant que se préparait, dans l'ombre, l'avènement du télégraphe électrique qui allait permettre un nouveau progrès de même importance.

L'essor du courant continu et le télégraphe électrique

Les grandes lois du courant continu et les pionniers

Quelle est la situation dans les sciences physiques au début du XIX^e siècle, qui va être celui de l'électromagnétisme ? L'électricité a quitté les «cabinets» du siècle précédent et Alessandro Volta, à la suite de Galvani, vient de mettre au point la pile qui l'immortalisera (1800). On peut désormais produire des courants permanents, même si la capacité des piles est fort modeste : c'est suffisant pour qu'on imagine, dès 1809, un système à 35 fils (*i. e.* le nombre de lettres et chiffres) susceptible, par un jeu d'interrupteurs (on n'ose pas dire un clavier, mais c'est l'idée !), de transmettre un message alphanumérique...

Mais il faut aussi savoir détecter à distance le passage d'un – faible – courant : ce sera plus aisé quand Ørsted aura découvert, en 1820, l'action d'un courant sur un aimant et quand, l'année suivante, Ampère aura formalisé et vérifié les actions réciproques entre courants et aimants. La boussole

1. Dans *Lucien Leuwen*, Stendhal illustre le rôle que joue le télégraphe dans la «préparation» des élections par le préfet...

devient alors le détecteur du courant modulé par l'interrupteur... Ensuite les phénomènes d'induction (Faraday, 1840) permettent la mise au point de l'électro-aimant, déjà envisagé par Ampère et Arago, puis du «galvanomètre à cadre mobile» qui sera très utile avant d'être, pendant un siècle, un thème classique de problèmes d'examen ou de concours...

Partout en Europe de grands savants se passionnent pour les applications potentielles de ce courant qu'on connaît de mieux en mieux; en Allemagne (Prusse), Gauss et Weber réalisent en 1833 une liaison expérimentale entre deux bâtiments de l'université de Göttingen; en Angleterre, Wheatstone (l'homme du «pont» !) propose avec Cooke de transmettre des signaux le long des premières voies ferrées et, après avoir déposé les brevets qui conviennent, réalise en 1838 une liaison de treize miles...

Le passage au stade opérationnel

Simultanément le génial et entreprenant Samuel Morse, professeur de dessin, met au point à la fois un dispositif opérationnel et le célèbre alphabet qui finira par devenir la norme internationale. Il vient en Europe pour essayer de vendre ses inventions, que boudent ses compatriotes: il est mal reçu tant en Angleterre qu'en Russie et en France, où, malgré l'appui d'Arago, il essuie un échec: on lui préfère le dispositif de Wheatstone... Il retourne aux États-Unis et finit par y être reconnu mais, à l'inauguration de la première ligne (Washington-Baltimore) en 1855, les Anglais ont déjà un réseau de plusieurs milliers de kilomètres; les Français, moins audacieux, ont à la fois mis en œuvre les lignes de Paris à Versailles en 1842 et de Paris à Saint-Germain en 1845, promulgué une loi sur le monopole et fini par vaincre les réticences des tenants du télégraphe optique, dont la fin est désormais inéluctable.

L'époque du Second Empire est celle d'investissements importants partout en Europe et aux États-Unis, avec un leadership incontestable des Anglais: Cooke et Wheatstone ont fondé l'Electric Telegraph Company qui multiplie la pose de câbles, notamment le long des voies ferrées; dès 1840, ils lancent l'idée d'une liaison sous-marine Douvres-Calais et réalisent en 1844 un essai en baie de Swansea. Des découvertes d'ordre technologique (maîtrise améliorée de la fabrication des câbles et de leur isolement grâce à la «gutta») permettent désormais d'envisager l'interconnexion entre les pays, sans que l'obstacle maritime soit considéré comme insurmontable. Le statut des entreprises anglaises et prussiennes leur permet un substantiel «retour sur investissement», cependant qu'on reste en France marqué par la prudence de l'État vis-à-vis de toute «dérégulation».

À l'assaut des mers!

La pose en mer de câbles terrestres est une idée séduisante mais pour laquelle les problèmes d'étanchéité et de résistance à la corrosion sont

des obstacles redoutables, avec la résistance du câble à son propre poids lors de la pose – ou du relevage – par grands fonds : aux fils de cuivre conducteurs, il faut ajouter une âme centrale d'acier et, par ailleurs, armer des navires propres à recevoir puis à dérouler en mer des câbles rigides de très grande longueur... Les déboires sont nombreux et, en règle générale, la première tentative de pose, trans-Manche en août 1852, trans-atlantique en 1865, se termine par une rupture de câble. Mais l'ardeur des ingénieurs, jointe à celle des investisseurs et armateurs, ne se dément pas et le succès vient assez rapidement couronner les efforts : en 1852, la liaison France-Angleterre est une première mondiale et, en 1866, la liaison entre l'Irlande et le continent américain est établie (avec de surcroît la réparation du câble cassé l'année précédente!).

Simultanément la France, absente de la compétition atlantique, se préoccupe de traverser la Méditerranée pour assurer les liaisons avec l'Algérie : en 1863, on crée à Toulon un service des câbles sous-marins, avec atelier de fabrication, mais plusieurs tentatives sont nécessaires avant la connexion, en 1865, *via* la Sicile et Bizerte puis la pose de liaisons directes au départ de Marseille. La France confie au bâtiment britannique *Great Estern* la pose de son premier câble transatlantique entre Brest-Déolen et Saint-Pierre-et-Miquelon (1869) : sa situation géographique vaut à la Bretagne d'accueillir, depuis, les câbles atlantiques, à Déolen pendant près d'un siècle, puis à Penmarch et même, récemment, dans le Trégor.

La « route des Indes » fait l'objet d'une concurrence féroce : la liaison terrestre, par la Turquie, établie en 1865, est concurrencée, dès 1870, par la ligne allemande et russe de Londres à Calcutta et par l'ouverture, la même année, de la liaison maritime Londres-Bombay. En moins de 10 ans, on relie la Chine à l'Inde, la Nouvelle-Zélande à l'Australie, Vladivostok au Japon... et on a créé pour toute cette activité internationale la première organisation internationale, le Bureau international des administrations télégraphiques, localisé en Suisse, comme il se doit!

À la Belle époque et aux temps des colonies!

L'effervescence technique est, aux débuts de la III^e République française, intense partout en Europe et aux États-Unis : en Angleterre, Thomson (Lord Kelvin) apporte des contributions significatives, en France Baudot perfectionne le télégraphe de façon originale, en Allemagne, dans le sillage de Siemens, on développe une industrie et, surtout, aux États-Unis, Bell dépose les brevets décisifs sur le téléphone... dont les débuts français sont modestes, marqués qu'ils sont, pour longtemps, par la méfiance des pouvoirs publics. Ainsi se dessinent les contours d'une concurrence internationale qui durera un siècle : les Anglais dominent le câble (et ils ne manqueront pas l'essor de la radio!), les États-Unis la téléphonie,

les Français sont actifs dans le câble, cependant que les Allemands, puis les Italiens sont des acteurs plus modestes, dont la Grande Guerre va lamener le rôle international.

La pose de câbles relie aux métropoles les îles proches, dont les réseaux se trouvent raccordés aux opérateurs d'État. En revanche, pour les liaisons internationales, les stratégies politiques et économiques diffèrent, se concurrencent et parfois s'affrontent, d'autant que les trafics augmentent de façon spectaculaire en liaison avec celui du commerce international. La volonté de garder la haute main sur les communications pousse la France à la gestion directe, par l'administration, de tout ce qui touche à l'Empire et à l'encadrement strict par le pouvoir d'État des compagnies concessionnaires des câbles transatlantiques. Dakar devient un centre important pour les liaisons câblières entre les colonies africaines et la métropole ; les Antilles sont connectées aux câbles transatlantiques et l'Indochine raccordée aux câbles d'Extrême-Orient.

La situation au tournant du siècle est la suivante :

– L'Angleterre possède plus de 60 % des 360 000 km de câbles installés (la quasi-totalité relevant de compagnies privées), les États-Unis près de 15 % et la France près de 10 %, soit 85 % pour les trois pays leaders. Le groupe britannique Eastern exploite à lui seul plus de la moitié du parc mondial !

– Il y a plus de 20 câbles transatlantiques, dont la moitié seront utilisés plus de 50 ans, et la France gère plus de 20 câbles trans-Méditerranée.

– La guerre des tarifs s'est achevée avec une baisse d'un facteur 400 en 25 ans !

– La maîtrise du télégraphe est devenue une marque de puissance autant qu'une arme politique : lors de la crise de Fachoda en 1898, les Britanniques n'hésiteront pas à bloquer les liaisons françaises empruntant leurs artères !

Les succès de l'électromagnétisme et de la télégraphie sans fil

Théorie et expériences : Maxwell et Hertz

En même temps que se développent et s'affinent les techniques liées au télégraphe et au téléphone, la physique aborde aussi de nouveaux aspects : depuis une cinquantaine d'années, on a vérifié que courants et aimants ne sont pas indépendants, et même, grâce à l'induction et à Faraday, qu'un courant peut avoir des effets magnétiques. Il revient à Maxwell, en 1864, d'unifier l'électricité et le magnétisme, et de mener la physique classique à son apothéose... juste avant la crise des quanta et l'irruption d'Einstein.

Le nom de Maxwell reste attaché à un ensemble d'équations dont le rôle unificateur est considérable : le champ, à la fois électrique et magnétique,

se propage, comme celui des ondes optiques, et le spectre désormais baptisé électromagnétique comprend la partie optique, où la tradition privilégie la longueur d'onde et les « ondes radio », brillamment mises en évidence par Hertz (1887-88), où l'on parle plutôt de fréquences, d'ailleurs mesurées en Hertz.

Les expériences de Hertz sont simples dans leur principe : grâce à une machine électrostatique, on produit un arc électrique répétitif, qui par le champ rayonné, ionise à distance l'air et crée à son tour un arc entre les électrodes d'un « éclateur » ; elles suscitent un extraordinaire et spectaculaire développement expérimental et il ne faut que dix ans pour passer du laboratoire à l'application.

Les contributions des pionniers et le génie de Marconi

Les expériences de Hertz, comme les liaisons modernes, mettent en jeu un dispositif d'émission, un milieu de propagation et un dispositif de détection : les pionniers s'efforcent donc d'améliorer les équipements d'extrémité. Pour l'émission, le « condensateur à décharge » apporte des progrès significatifs. Pour la détection, on dispose du « cohéreur » de Branly, tube contenant de la limaille de fer sensible au champ magnétique ; l'idée du russe Popov d'utiliser une antenne augmente la sensibilité pendant que le Britannique Lodge apporte d'utiles contributions.

Il revient au génie de Guglielmo Marconi d'utiliser de façon optimale tous ces perfectionnements : en 1897, il réalise une liaison maritime expérimentale et crée une société ! Dès 1899, soit douze ans après le premier mémoire de Hertz, il réalise une liaison entre Douvres et Wimereux dans le Pas-de-Calais, pour laquelle il utilise le Morse, après avoir synchronisé, on disait alors « syntonisé », l'émission et la réception ; la même année, il crée la filiale américaine de sa société, qui sous le nom de Marconi's Wireless Telegraph Company va jouer un rôle considérable jusqu'en 1963 ! Homme de science – il recevra le Prix Nobel en 1907 –, Marconi est aussi un capitaine d'industrie et un visionnaire : il s'intéresse autant à desservir par le radio-télégraphe les flottes civiles et militaires qu'à créer des réseaux internationaux.

Des progrès importants fondent l'essor des « tubes » et de l'électronique : Fleming dépose, en 1904, le brevet de la diode thermoionique et Lee de Forest, en 1906, ceux de la célèbre triode. En Allemagne se développe une industrie performante (Telefunken), cependant qu'en France, Branly, auquel Marconi a rendu hommage, se désintéresse de ces questions industrielles, en laissant à Ducretet le soin de développer des applications dans sa modeste usine. Les militaires, marins et terriens, se passionnent pour les applications potentielles de la radio : le capitaine Ferrié, qui deviendra général, rétablit par radio, en 1902, les communications interrompues entre Martinique et Guadeloupe après l'éruption de la

Montagne Pelée, qui a emporté le câble ; il installe au sommet de la Tour Eiffel un laboratoire et, en 1904, une station de « TSF militaire », dont la présence vaut à la Tour de pas être détruite. Après des essais du matériel Ducretet, sur les côtes de Bretagne, la Marine développe un réseau de stations côtières, cependant que le ministère des colonies imagine les bénéfiques à tirer d'un réseau intercontinental.

On peut rétrospectivement constater, en comparant les stratégies de développement des divers pays, que la France, largement pionnière comme pour les câbles sous-marins, a laissé échapper l'occasion d'une industrie prospère : au moment où Marconi ouvre le trafic commercial entre les rives de l'Atlantique, la France renforce le pouvoir régalién, de surcroît réparti entre plusieurs ministères (guerre, colonies, travaux publics et sous-secrétariat d'État aux postes, télégraphes, téléphones [PTT]). C'est de cette époque que date le service radio-maritime des PTT ouvert à Ouessant et à Porquerolles en 1904 : le dernier message Morse de l'Administration sera émis du Conquet près d'un siècle plus tard.

La guerre, préparatifs et conséquences

Il est bien connu que la « revanche » a été préparée : c'est vrai aussi dans le domaine de la télégraphie ; on a mentionné ci-dessus le rôle de la Tour Eiffel et celui de la Marine, le souci des colonies et de l'Empire ; on pourrait citer, pour toutes les puissances qui vont prendre part au conflit, des aspects similaires, car chaque pays essaye, par des liaisons « captives » de se dégager des contraintes liées au partage des câbles : ainsi l'Allemagne crée, en 1913, une liaison directe entre Berlin et New York.

La préparation puis le déclenchement du conflit entraînent un renforcement des prérogatives gouvernementales et des mesures d'accompagnement : le gouvernement français stimule la concertation interministérielle entre les ministères concernés par la transmission sans fil (TSF), l'administration des PTT renforce ses services techniques, puis transfère à La Doua, près de Lyon sa station parisienne de la Tour Eiffel et développe le programme à destination des colonies. Les États-Unis iront jusqu'à nationaliser les stations étrangères implantées chez eux puis, à leur entrée en guerre, établiront des liaisons à fort débit vers La Doua, Bordeaux et Brest.

Comme il est courant, des progrès techniques et industriels ont accompagné l'effort de guerre, et, dès l'armistice, les États-Unis commencent à disputer le leadership anglais, tandis que les Allemands perdent, avec leurs colonies, leurs réseaux internationaux et leurs navires câbliers, partagés entre les alliés ; la France en profitera pour renforcer, à partir de Brest, ses liaisons sous-marines.

La concurrence entre câbles et radio

Les grandes manœuvres de l'entre-deux-guerres

L'immédiat après guerre est l'objet d'intenses manœuvres diplomatiques – le traité de Versailles démantèle aussi en matière de télécommunications la puissance allemande – et industrielles : pour faire pièce à l'hégémonie britannique, les États-Unis vont jusqu'à nationaliser la filiale américaine de Marconi... pour aider à la constitution des grands acteurs que seront, tant que les lois anti-trusts ne les atteindront pas, l'International et l'American Telegraph and Telephone (respectivement ITT et ATT) ainsi que Radio Corporation of America (RCA). La raison essentielle de cette concurrence internationale est liée à l'essor du téléphone qui permet la constitution de groupes puissants, fabricants ou exploitants, et à la « maturité » des grandes technologies, radio et câble, requises pour les communications à grande distance.

Les besoins économiques, même si en France ils passent après les exigences de l'État et de la diplomatie, croissent de façon spectaculaire, de sorte que les deux grandes techniques rivales sont souvent regroupées dans une même entité – trust, holding ou, comme en France, administration – ; c'est en 1929 qu'est créé Cables and Wireless en Angleterre, dont le destin sera plus brillant que la filiale France Câbles et Radio de l'administration française ; ce type de synergie évitera des affrontements locaux ou des investissements trop peu rentables. La France renonce de fait à une politique ambitieuse dans le câble (une seule liaison trans-Méditerranée dans la décennie trente !) mais poursuit, grâce à la radio, la couverture de l'Empire, notamment en Indochine et à partir de Dakar ; elle assure aussi par la radio l'indépendance de ses réseaux vis-à-vis de câbles relevant des concurrents. Finalement, en 1939, on comptera plus de 600 000 km de câbles sous marins dans le monde, soit le double de 1900 : 30 % relèvent des États-Unis – proportion doublée – et presque 50 % des Britanniques, la France se maintenant avec 10 %, soit autant que tous les autres pays (Allemagne, Italie, Japon, Danemark...) ; malgré cette croissance significative, les radiocommunications auront déjà pris l'avantage dans maints domaines ...

Signalons au passage que c'est de cette époque que datent, d'une part la création du mot « télécommunication », qui n'assurera guère la gloire posthume d'Estaunié, et d'autre part celle de l'Union internationale des télécommunications (UIT) qui siège à Genève et « normalise » le fonctionnement et l'interconnexion des divers réseaux nationaux.

Des progrès techniques qui stimulent la concurrence

L'utilisation du Morse et d'un codage binaire élémentaire permet deux progrès substantiels : d'une part on sait coder et transmettre des images et les « bélinogrammes » (du nom de l'ingénieur français Belin)

apparaissent à la une des journaux, d'autre part on adapte à la radio les techniques télégraphiques, ce qui permet des réseaux mixtes. En 1924, Marconi, une fois encore, se révèle un précurseur en découvrant les « ondes courtes », plus directionnelles, qui rapidement vont devenir plus utilisées et surtout plus efficaces. De leur côté les câbles, grâce à des perfectionnements du diélectrique (le polyéthylène remplace le papier) et à une meilleure compensation des caractéristiques de propagation (on joue sur les capacité, résistance et inductance linéiques), deviennent capables de transmettre les signaux téléphoniques, ce qui est un progrès tout à fait remarquable : le service téléphonique Paris-Londres est ouvert à la fin des années 1920, par câble, mais c'est la radio qui permet, en 1936, l'ouverture du service Paris-New York et la mise au point de la télévision (essais français en 1938 à partir de l'émetteur de la Tour Eiffel).

La concurrence prend parfois des formes ou des détours imprévisibles ou inattendus :

– la crise de 1929 n'est certes pas sans conséquence, mais le tremblement de terre de Terre-Neuve, le 18 novembre de la même année, entraîne la coupure de 13 des 21 câbles qui passent dans la région et certaines compagnies ne s'en relèvent pas.

– Le développement du téléphone entraîne des progrès dans la façon de transformer les vibrations sonores de la parole en signal électrique ; le perfectionnement des microphones et des haut-parleurs, associé aux progrès des tubes électroniques, favorise la radiodiffusion autant que les liaisons radio-téléphoniques (service créé en 1927 en France).

– Le développement de l'aviation et de la « postale » entraîne une importante baisse du trafic des particuliers vers l'Amérique, cependant que les affaires croissent.

La deuxième jeunesse du câble est retardée par la guerre

Le câble, de télégraphique devient téléphonique... mais au lieu de paires de fils de cuivre, en nombre croissant, enroulées autour d'une âme d'acier assurant la rigidité, on a affaire désormais à un câble coaxial, dont le conducteur central est en plomb ; le manque de rigidité qui en résulte en limite d'abord l'usage aux liaisons terrestres ou marines de faible profondeur, comme en Manche. Après la liaison Paris-Londres, la France pose ainsi dans les années 1930 les câbles Paris-Metz et Paris-Strasbourg, qui seront piratés par la Résistance des PTT et permettront l'écoute des liaisons allemandes... Le début du conflit entraîne la coupure par les militaires de très nombreuses liaisons, et la capture préventive des navires câbliers, ce qui met en sommeil l'essentiel de l'activité câblière, même si les Anglais font, en 1943, le premier essai de « répéteurs » immergés afin d'assurer, par la régénération périodique du signal, une qualité de service largement améliorée ; la station de Brest-Déolen reste inactive pendant

cinq ans, le matériel étant simplement entretenu par une équipe de techniciens. L'usine câblière de Calais est détruite par les bombardements de 1944, ce qui retarde la remise en route pourtant rapide des réseaux.

Grâce aux répéteurs et une fois la tenue mécanique assurée, les liaisons câblières téléphoniques se développent très rapidement dans les années 1950 : la liaison Marseille-Alger, entièrement française (construction, pose, exploitation) en 1957 est contemporaine du premier câble transatlantique téléphonique (*transatlantic telephone*, TAT 1), de conception américaine, posé en 1956 avec une quarantaine de circuits ; TAT 2, de même technologie, est posé en 1969 et marque l'avènement de la station de Penmarch, dans le sud Finistère. Inutile de préciser que tous les câbles télégraphiques se trouvent rapidement déclassés ; la station de Brest-Déolen est définitivement fermée après quelque quatre-vingt-dix ans d'activité. En 1960 il ne reste que des liaisons téléphoniques et, de 1950 à 1985, le câble connaît une activité intense – sa deuxième jeunesse! –, avec des capacités croissantes (plus de 1 000 circuits à partir de 1970, 2 500 à partir de 1980, plus de 4 000 pour TAT 6 et 7 en 1976 et 1983...). Le Japon est très actif en Extrême-Orient, la France dans le bassin méditerranéen, et les Américains concurrencent les Anglais sur l'Atlantique ; des liaisons Europe-Japon ou Europe-Australie sont établies, avec de nombreuses ramifications.

Mais déjà la troisième aventure des télécommunications intercontinentales a commencé avec le lancement du premier satellite artificiel en octobre 1957, cependant que les « faisceaux hertziens » permettent un débit équivalent à celui des meilleurs câbles (la première liaison Angleterre-France de télévision, le 2 juin 1953, célèbre le couronnement de la Reine).

L'arrivée du satellite

La guerre, à nouveau, a stimulé le développement technologique!

L'électronique s'est beaucoup développée pendant la guerre, en particulier sous la pression des nécessités stratégiques (radio, radar...) ; l'industrie correspondante des « tubes » permet l'essor rapide de la télévision, en même temps que celui des câbles électroniques (répéteurs immergés) ; c'est aussi la période de mise au point du premier ordinateur, un « monstre » de 18 000 tubes ! Mais surtout, les Américains ont entrepris un effort considérable dans le domaine de la physique des solides, pour comprendre les phénomènes encore mystérieux qui se produisent à l'interface de solides différents : il en résulte le « transistor », puis les circuits de plus en plus complexes qui les rassemblent sur le même support, permettant de réaliser, sous un volume et pour un poids réduits, des fonctions et traitements de complexité croissante.

La mécanique, pour les structures, et la chimie, pour les combustibles, ont directement bénéficié de l'effort de guerre, de sorte que les fusées deviennent réalité ; l'URSS et les États-Unis, chacun pour son propre compte, récupèrent les progrès de l'Allemagne nazie et les agrègent à leurs propres réalisations. Sur le plan théorique même, les retombées sont notables : Alan Turing, l'un des pères fondateurs de l'informatique, a mis avec succès son génie au service des « casseurs de codes » britanniques, ce qui entraîne les progrès de la cryptographie ; à la même époque, Shannon formule les lois et principes relatifs au codage de l'information, en présence de bruit, si bien que deux fondements essentiels des systèmes modernes de communication sont désormais assurés : le codage, qui protège contre les erreurs de transmission et même les corrige, et le cryptage, qui assure la confidentialité².

Des progrès fulgurants et des applications rapides!

Après le lancement du premier Spoutnik en octobre 1957³, les progrès de la conquête spatiale vont bon train : la rivalité russo-américaine et les arrière-pensées militaires y sont certainement pour beaucoup mais, dès le 12 juillet 1972, grâce au satellite Telstar et à la station de Pleumeur-Bodou, des images télévisées arrivent des États-Unis : il n'aura fallu que neuf ans pour passer, en matière de télévision, de la liaison trans-Manche par faisceaux hertziens à la liaison transatlantique par satellite et le « radôme » devient un monument qu'on visite, peut-être le plus connu de Bretagne⁴.

Le premier véritable satellite de télécommunications est *Early Bird*, lancé en 1965 : il faut en effet un satellite géostationnaire (altitude : 36 000 km) pour assurer la permanence de la liaison, limitée à vingt minutes environ avec un satellite de basse altitude (quelques centaines de kilomètres) qui fait le tour de la Terre en 90 mn. Avec ses 240 circuits pour desservir les pays européens intéressés, « Early Bird » n'est pas en état de concurrencer à lui seul les liaisons sous-marines et pose de surcroît des problèmes inédits de diplomatie et/ou d'exploitation ; une nouvelle organisation internationale, limitée aux pays occidentaux et contrôlée par les Américains, Intelsat, est créée en 1964 ; elle constitue ensuite un réseau mondial de plusieurs satellites, puis loue des demi-liaisons (uni-directionnelles) aux pays intéressés.

2. Comment ne pas évoquer ici les découvertes mondialement connues sous le nom de « turbocodes » de Alain Glavieux, hélas décédé, et Claude Berrou, Bretons de l'École nationale supérieure des télécommunications (ENST) Bretagne ; C. Berrou a été lauréat, après Shannon, du célèbre Prix Marconi.

3. L'auteur de ces lignes, alors en « Math élem » à Chateaubriand, se souvient avec précision, et émotion, que son professeur de maths, M. Marseille, sut être à la hauteur de l'événement historique et déroger, pour une brillante leçon improvisée, au déroulement d'un cours que chacun imaginait absolument immuable...

4. Le Mont-Saint-Michel, comme chacun sait ou regrette, est en Normandie... Aujourd'hui, le radôme est devenu Musée de télécommunications et, malgré son intérêt, n'attire plus autant les foules !

Des générations de satellites et d'antennes se succèdent dès lors rapidement ; la deuxième antenne de Pleumeur-Bodou, en 1969, est de conception entièrement française et nettement plus petite et plus performante que le radôme ; à présent, des paraboles d'un mètre de diamètre permettent de capter des centaines de chaînes de télévision ! La France devient, avec la fusée Diamant, ancêtre d'Ariane, la troisième puissance spatiale ; les satellites des séries FR 1 puis Symphonie, les performances de Telspace (groupement entre CIT-Alcatel et Thomson-CSF) en matière de stations Intelsat, les programmes du Centre national d'études spatiales (CNES) – créé en 1962 – confortent cette vocation spatiale.

Pourquoi le câble sous-marin résiste-t-il ?

On peut se demander pourquoi et comment le câble sous-marin arrive à résister, malgré sa deuxième jeunesse, au déferlement et à la concurrence d'une technique aussi novatrice, stimulée de surcroît par l'intérêt que lui portent les militaires et riche d'applications civiles prometteuses.

Les comparaisons ne peuvent être simplement techniques : les aspects économiques et politiques sont rarement absents. Les clients d'Intelsat doivent souscrire à des conditions qui prennent largement en compte les intérêts stratégiques des États-Unis... lesquels doivent tenir compte des pays du Tiers Monde, nombreux aux Nations unies. En simplifiant, on peut dire que le satellite reste sans concurrence possible pour diffuser de la télévision et pour desservir des pays de faible trafic, surtout s'ils sont purement terrestres et enclavés. Mais ils imposent un retard (dû à la propagation) de 600 ms, perceptible, ce qui interdit le « double bond » (utilisation successive de deux satellites) ; les tarifs de location sont relativement indépendants de la distance et de nouvelles installations fixes de réception sont nécessaires à chaque nouveau satellite.

Les avantages du câble sont dès lors faciles à recenser : outre une durée de vie plus longue (25 ans), il se révèle mieux adapté et moins coûteux pour les trafics concentrés de pays ayant une façade maritime et l'expérience ancienne de son exploitation ; il est avantageux pour les liaisons assez courtes (bassin méditerranéen, Angleterre ou Japon avec les continents proches, par exemple) ou au contraire très lointaines (Europe-Asie). Ainsi, l'Angleterre, vieille nation maritime et câblière, investira-t-elle peu dans le satellite.

Moitié par intérêt, moitié par nécessité, les États-Unis, *via* Intelsat, imposent, au nom de la sécurité des liaisons atlantiques, qu'aucune d'elles n'assure plus de 20 % du trafic d'un exploitant, ce qui conduit les opérateurs historiques à l'usage simultané des satellites Intelsat et des câbles, et, partant, à un équilibre institutionnel voisin de 50/50 sur l'Atlantique nord, l'usager-client ignorant comment sa communication a été établie, sauf à avoir l'oreille entraînée à la perception du décalage satellitaire !

L'irruption de l'image

Numérisation et haut débit

Depuis des dizaines d'années, on assiste à une double évolution :

– d'une part, les signaux à transmettre sont de plus en plus fréquemment numérisés ce qui permet le rapprochement historique entre les télécommunications et l'informatique – la quasi-disparition des signaux analogiques dans le domaine de la transmission est désormais acquise – ; toutes les applications, pour le grand public ou professionnelles, sont désormais « numériques » et l'on parle par exemple de « réseau numérique à intégration de services » (RNIS), ou encore de « télévision numérique terrestre » (TNT), sans parler de l'Internet, qui est sans doute le plus bel exemple de ce rapprochement...

– d'autre part, les débits requis par les nouvelles applications, et les demandes sociétales, sont de plus en plus importants : outre l'augmentation du nombre de clients et de leurs consommations (par exemple, on produit actuellement 800 millions de portables par an dans le monde), il faut mentionner l'irruption de l'image sous toutes ses formes, ce qui, en dépit de tous les efforts de codage, correspond à des quantités d'information très fortement croissantes (chaque image numérique de l'un des quelque 100 millions d'appareils photographiques en service nécessite une fraction de Mégabit⁵, tant pour son stockage que pour sa transmission éventuelle).

Tous les systèmes de transmission doivent prendre en compte, et même anticiper, ces évolutions, qu'il s'agisse des câbles, terrestres ou sous-marins, ou des satellites : c'est possible grâce aux systèmes à fibre optique et à l'utilisation systématique de toutes les « fenêtres de transparence » de l'atmosphère en (très) hautes fréquences, ou aux longueurs d'onde de l'infrarouge.

La fibre optique et l'âge d'or du câble

Les systèmes à fibres optiques bénéficient directement des recherches, fondamentales et appliquées, de la décennie 1970, où l'on a développé d'une part les « lasers à semi-conducteurs » émetteurs de lumière, et d'autre part les fibres optiques capables de transmettre, sans trop de pertes, ces flux lumineux, convenablement modulés pour « porter » l'information. Les laboratoires du Centre national d'études des télécommunications (CNET), à Lannion ou en région parisienne, contribuent fortement à la mise au point des nouveaux systèmes et à leur transfert industriel ; simultanément, Alcatel devient le principal câblé mondial.

Il a fallu des efforts considérables pour ajuster les longueurs d'onde d'émission des lasers aux diverses zones de transparence des fibres,

5. C'est-à-dire sensiblement plus que le présent article !

pour améliorer la purification et l'usinage – tréfilage sur des centaines de kilomètres et protection mécanique – de celles-ci⁶, pour imaginer et réaliser des dispositifs détecteurs ou amplificateurs, pour insérer dans des câbles rigides ces fragiles cheveux de lumière dont le diamètre est inférieur à 100 microns, pour assurer l'interconnexion avec les réseaux déjà existants, pour tester les prototypes et passer au stade industriel : toutes ces évolutions ont demandé moins d'une quinzaine d'années et ont nécessité des accords originaux et anticipateurs entre les trois ou quatre grands groupes concurrents, respectivement français, anglais, américain puis japonais. Mais l'enjeu était d'importance et le succès est venu couronner les efforts par la pose du TAT 8, premier câble transatlantique à fibre, mis en service en décembre 1988.

La décennie qui suit cette grande première constitue un véritable « âge d'or ». Des progrès spectaculaires sont réalisés, qui augmentent le débit et la fiabilité : on perfectionne les amplificateurs immergés, qui bientôt seront « tout optique » et ne nécessiteront plus la conversion optique/électrique du signal ; on change, grâce à de nouveaux lasers, les longueurs d'onde utilisées et on augmente les capacités de transmission par des modulations plus « larges ». Surtout, on multiplie le nombre de fibres dans le câble et par un « multiplexage en longueurs d'ondes » on parvient à faire transiter simultanément une quarantaine de faisceaux lumineux, ce qui à chaque fois décuple les capacités (multiplication par 10 000 en moins de 10 ans de l'offre sur l'Atlantique nord). Les pays maritimes avancés au plan technologique (Angleterre, Italie, Japon) reconfigurent leurs réseaux en festonnant leurs côtes de nouveaux câbles ; chaque année ou presque, un nouveau câble transatlantique double au moins les capacités offertes et deux liaisons successives de 40 000 km relient l'Europe à l'Extrême-Orient...

Ce rythme excède celui de la demande, même stimulée par l'Internet, de sorte que le tournant du millénaire s'accompagne d'une crise grave et durable : on désarme des navires, on ferme des usines, on renonce à des projets utopiques... Désormais, les capacités offertes autorisent les débits d'images largement supérieurs aux besoins : pour implanter ce qui sera sans doute l'un des plus grands centres informatiques du monde, Google doit plus se soucier de la proximité de la centrale électrique nécessaire à l'alimentation et au refroidissement des grappes de processeurs que de l'écoulement du trafic généré...

La diversité des applications satellitaires

Dans le même temps, même si là aussi des désillusions surviennent, notamment concernant les projets de « constellations de satellites », les

6. L'article du professeur Lucas, dans le présent numéro d'*Atala*, contient de précieuses informations sur les fibres, une des grandes applications des verres !

applications satellitaires, d'abord essentiellement militaires, se diversifient et s'enrichissent, grâce à l'augmentation des débits et aux traitements d'images. Que l'on songe, d'une part à la variété des domaines scientifiques couverts (climatologie, télédétection, astrophysique et observation stellaire ou planétaire, géophysique et observation des océans...), d'autre part aux applications sociétales réalisées ou programmées, qui dépassent largement le secteur traditionnel des télécommunications et de la télédiffusion (radiogoniométrie grâce au système GPS ou au futur système européen Galileo, gestion de grands parcs de véhicules automobiles ou ferroviaires, systèmes sécurisés d'échanges de données boursières ou bancaires...)

Conclusions (provisoires!) et perspectives

Il semble bien que les dispositifs de propagation guidée, dont le câble est le symbole, aient, en ce début de millénaire, un avenir moins brillant que ceux utilisant la propagation en espace libre, que la radio symbolise. Peut-on s'autoriser, sur un tel constat, quelques commentaires, voire même des pronostics réalistes?

Les télécommunications intercontinentales sont, grâce aux deux techniques et à leurs avatars technologiques, parvenues à un niveau de performances exceptionnel⁷. Il semble que l'aventure câblière qui n'a, malgré ses succès, jamais atteint à la célébrité auprès d'un large public, ni *a fortiori* suscité le rêve, soit historiquement et techniquement à la fois limitée à des liaisons «point-à-point»; celles-ci sont et resteront indispensables tant le très haut débit est indispensable, ne serait-ce que pour maintenir les perspectives, notamment culturelles, offertes par l'Internet; l'information et l'accès au savoir de l'Humanité ne peuvent se concevoir sans les artères câblières, et tant que les États-Unis et Google gèreront les bases de données les plus considérables de la planète, celles-ci seront très largement sous-marines... Les câbles constituent et constitueront des infrastructures de réseau incontournables, mais sans importance autre que technique, culturelle ou médiatique par exemple...

De leur côté, le satellite et la radio, qui ont souvent suscité le rêve et stimulé l'imaginaire, sont associés et resteront liés directement aux «services»: sans eux, la capacité de joindre chacun, partout, même en mer!, et à toute heure, n'est pas imaginable. Cette capacité de flexibilité et d'ubiquité est leur meilleur atout... et leur avenir paraît sans limite.

Du fait de la puissance publique dans les domaines de la marine puis des PTT, la Bretagne a été, depuis presque deux siècles, associée à des

7. Le tremblement de terre de Noël 2006 au large de Taïwan illustre les forces et faiblesses des systèmes mondiaux de communication: si l'Asie du sud-est a été, temporairement, fortement touchée, l'interconnexion câbles/satellites et les liaisons *via* le Japon ont maintenu ou rapidement rétabli la quasi-totalité du trafic mondial, sans que l'Europe soit affectée par quelque «effet domino».

phases décisives des trois aventures qui ont conduit aux télécommunications intercontinentales contemporaines ; il en résulte une « vocation électronique », qui s'inscrit dans des centres de recherche, dans des Grandes Écoles, dans des entreprises de haute technologie, dans des « pôles de compétitivité » reconnus d'importance mondiale... Puisse cette vocation se perpétuer et les Hommes comme les territoires garder cet esprit pionnier qui est la marque commune des hommes de la Mer et de ceux des Télécommunications⁸.

Bernard AYRAULT

Indications bibliographiques

Deux livres essentiels méritent d'être mentionnés pour la richesse et la variété de leur information, comme pour leur ambition historique; ils fourmillent l'un et l'autre d'anecdotes et d'indications datées, auxquelles l'auteur a recouru avec plaisir et reconnaissance! Ce sont:

Catherine BERTHO, *Télégraphes et téléphones: de Valmy au microprocesseur*, Le livre de Poche, 1981, n° 5581 ; l'auteur de ce livre, malheureusement épuisé, est rennaise.

René SALVADOR, Gérard FOUCHARD, Yves ROLLAND et Alain Paul LECLERC, *Du Morse à l'Internet (150 ans de télécommunication par câbles sous-marins)*, La Seyne-sur-Mer (Var), Association des amis des câbles sous-marins (AASCM), 2006 ; assez technique et très complet, d'une riche iconographie.

Bernard Ayrault est ancien élève du lycée Chateaubriand et de l'École polytechnique. Docteur ès sciences physiques, il a occupé divers postes dans la recherche scientifique et l'enseignement supérieur, puis à la direction générale de France Telecom, celui enfin de directeur de l'École nationale supérieure des télécommunications (ENST) de Bretagne qui, sur ses campus de Brest et de Rennes, accueille 1 100 étudiants (180 doctorants et plus de 400 étrangers issus de 45 pays).

Cet article a été écrit en hommage à son père, André Ayrault (1917-1985), ancien élève de l'École normale supérieure de l'enseignement technique (ENSET), qui fut successivement professeur au collège technique Laënnec, censeur du lycée Joliot-Curie et directeur des études de l'Institut de gestion de Rennes (IGR-IAE).

8. À dessein cet article n'a pas mentionné deux autres aventures scientifiques, toutes deux centenaires et largement associées aux télécommunications et au traitement du signal: l'une – le sonar – est exclusivement maritime, l'autre – le radar – est assez largement, ne serait-ce que par certaines de ses applications. La revue *ATALA* en parlera peut-être un jour...