

---

# Bulletin de l'Union des Physiciens

Association des professeurs de Physique et de Chimie

---

## Histoire des systèmes de télécommunication

par Claude NOWAKOWSKI\*  
93110 Rosny-sous-Bois

---

Les premiers appareils de télégraphie et de téléphonie sont décrits en détail, à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, dans les revues de vulgarisation scientifique et surtout dans les cours de physique, comme des applications très performantes de l'électricité dynamique et de l'électromagnétisme. Dans ces beaux livres abondamment illustrés de fines gravures, dans ces cours d'enseignement secondaire, après les classiques descriptions des piles et du principe de l'électroaimant, les appareils télégraphiques de Breguet, Morse, Hughes... et le téléphone apparaissent sous la forme de schémas électriques, de dessins précis représentant les organes essentiels et aussi d'explications permettant de bien comprendre leur fonctionnement. Il est étonnant de constater que de nombreux concepts de base des systèmes de télécommunication se retrouvent ainsi sous une forme très accessible. Alors, le suivi de l'évolution des

---

\* Claude NOWAKOWSKI (avec Alain ROUX) est l'auteur d'un ouvrage «Histoire des systèmes de télécommunication» qui vient de paraître aux Éditions Tec et Doc - Lavoisier et dont on trouvera une analyse dans ce bulletin à la page 603.

appareils permet de comprendre progressivement les techniques qui se sont développées pour aboutir aux systèmes contemporains.

Pour les procédés faisant appel à l'électromagnétisme, tout commence en 1820, évidemment avec la découverte d'Ørsted, la curieuse relation entre l'électricité (galvanique) et le magnétisme. Cette expérience est tellement simple à réaliser qu'il est surprenant que cette découverte fondamentale ait eu lieu près de vingt ans après l'invention de la pile de Volta.

A partir de cet événement, le télégraphe électrique semble rapidement pouvoir remplacer avantageusement le télégraphe aérien, comme celui de Chappe en France qui avait fait ses preuves depuis 1793 et qui avait démontré l'intérêt de communiquer sur de grandes distances.

Le fonctionnement des appareils télégraphiques repose sur l'emploi de signaux binaires ; les variations du courant, à l'émission, sont discontinues. Le transmetteur comprend essentiellement un interrupteur. Le récepteur utilise un électroaimant pour produire une action mécanique. Si ce principe est simple, la technique se complique pour la transmission d'informations qui passe alors par un codage. En 1837, Cooke et Wheatstone réalisent la première liaison télégraphique avec un appareil utilisant cinq aiguilles aimantées, chacune étant soumise à l'action magnétique produite par un multiplieur, l'ancêtre de la bobine (le conducteur passe plusieurs fois au même endroit pour multiplier les effets magnétiques du courant qui le traverse). Pour ce système, la ligne télégraphique nécessite donc six conducteurs ; la transmission est effectuée en mode parallèle. La déviation simultanée de deux aiguilles désigne par l'intersection de deux rangées, une lettre de l'alphabet.

En 1838, Morse met au point un système de transmission en mode série au moyen d'un code bien connu, qui présente l'avantage d'être très performant par le choix du nombre de traits et de points en fonction de la fréquence d'utilisation des caractères : une première approche du compactage des données.

Toujours en mode série, les appareils à cadran, assez rudimentaires, comme l'appareil de Breguet, conduisent à une famille d'appareils imprimeurs qui aboutit finalement aux systèmes asynchrones, avec signaux «start-stop», comme ceux utilisés actuellement par le Télec.

En outre, ces mécanismes à échappement toujours commandés par un électroaimant sont à l'origine des commutateurs rotatifs utilisés dans les centraux téléphoniques. La télégraphie s'améliore avec deux appareils très performants et, eux aussi, à l'origine de deux grandes

familles. Le télégraphe imprimeur de Hughes (exploité en France de 1856 à 1948), effectue une transmission, toujours en mode série, mais de façon synchrone : le transmetteur, à clavier rappelant celui d'un piano, fait appel à un dispositif tournant, le code du caractère étant défini par un angle ; le récepteur possède une roue portant sur la périphérie les caractères à imprimer (on retrouve donc l'angle du code). Ces deux organes tournent simultanément pour que le caractère sélectionné au transmetteur se trouve, au récepteur, en position d'impression. Il est évident que l'invention du mécanisme assurant le parfait synchronisme est une contribution significative.

Le télégraphe de Baudot (exploité en France de 1870 à 1955), transmet également les codes, en mode série et de façon synchrone ; mais, un dispositif mécanique commande le multiplexage, le partage du temps pour transmettre sur une même ligne, plusieurs messages apparemment en même temps.

C'est l'évolution de ces petites merveilles électromécaniques qu'il faut bien regarder pour retrouver le fonctionnement de nombreux appareils, y compris les imprimantes des systèmes informatiques actuels.

Pour transmettre le son par des lignes électriques, il faut employer des signaux continus, c'est d'ailleurs ce qui a conduit G. Bell à l'invention du téléphone en 1876. Comme en télégraphie, la course aux distances commence dès le début, mais la répétition des signaux téléphoniques ne peut plus se faire de la même façon qu'en télégraphie. Pupin en 1900 invente un système de compensation des lignes pour augmenter les distances, mais les limites sont telles que les liaisons intercontinentales sont impossibles alors qu'à cette époque, le télégraphe faisait le tour du monde.

Le téléphone est destiné au public et les réseaux desservent de nombreux abonnés ; là intervient une opération particulière : l'aiguillage des communications ou plus exactement la commutation. Cette branche peu connue des télécommunications, s'est continuellement développée pour aboutir au téléphone automatique, ne faisant plus appel aux célèbres opératrices.

Ces premiers systèmes de télécommunication qui permettent de nombreux échanges d'informations utilisent des fils conducteurs ou lignes de transmission. Hertz, en vérifiant les théories de Maxwell en 1888, met en évidence les ondes électromagnétiques. Et les fils de ligne ne sont plus nécessaires !

Mais, les premières applications à la télégraphie, n'ont pu être réalisées qu'après la découverte des phénomènes de radio-conduction par

Édouard Branly en 1890. En effet, c'est au moyen du tube à limaille de fer ou cohéreur que les premières liaisons radio sont effectuées sur quelques mètres, quelques kilomètres, puis à travers la Manche par Marconi en 1899. Et la télégraphie sans fil ou T.S.F. démarre avec ce détecteur rudimentaire, mais efficace et dont on ne connaît pas encore très bien tous les phénomènes intervenant dans son fonctionnement.

C'est la recherche d'autres détecteurs qui a mené Fleming à l'invention de la «valve» en 1904, puis Lee de Forest à l'«audion» en 1907. La valve est dérivée de l'ampoule électrique au filament de carbone (en bambou du Japon !), mis au point par Edison ; une électrode est ajoutée pour constituer la diode, ne laissant passer le courant que dans un sens, exactement ce qu'il faut pour «redresser» le courant haute fréquence reçu par l'antenne du récepteur, pour détecter les signaux transmis par les ondes électromagnétiques.

L'audion comprend en plus une «grille» interposée entre le filament et la plaque (anode). Cette électrode supplémentaire contrôle le flux d'électrons émis par le filament (cathode). Au début, l'audion est réalisé par un fabricant de guirlandes électriques, cela signifie que le vide obtenu dans l'ampoule n'est pas très poussé. Encore une curiosité de cette histoire : Fleming n'avait pas pensé à ajouter la grille qui apporte deux nouvelles fonctions à cette lampe, l'amplification et la génération d'oscillations électriques. Alors, la téléphonie sans fil devient plus facile qu'avec les systèmes à arc, et pendant la guerre de 1914-1918, les progrès ont été très rapides. En France, la lampe TM (Télégraphie Militaire) est une triode universellement employée dans tous les montages : émetteur, récepteur, amplificateur, ondemètre... La triode est également utilisée pour l'amplification des signaux téléphoniques et les distances de liaison augmentent considérablement (la première liaison téléphonique entre New-York et San Francisco en 1915 comportait douze relais amplificateurs). Cependant, les communications intercontinentales sont effectuées par des postes émetteurs-récepteurs à ondes dirigées, telles que Marconi les avait expérimentées.

La téléphonie sans fil connaît vers 1920 une nouvelle application : la radiodiffusion, un émetteur pour desservir un grand nombre de postes récepteurs, une application grand public. Cette époque correspond donc à la naissance d'une nouvelle industrie. Et, pendant des dizaines d'années, le matériel bénéficie d'améliorations successives et de nouvelles applications, comme la télévision, voient le jour.

Mais, en 1923, il se produit un événement imprévisible : depuis quelques années, les liaisons radiotéléphoniques sur de très grandes

distances se font au moyen d'usines d'ondes, des stations fonctionnant sur de très grandes longueurs d'ondes (plus de 10 000 m) et comportant des postes émetteurs à arc Poulsen d'énormes puissances (1 000 à 3 000 kW) ; alors, des amateurs réalisent une liaison transatlantique bilatérale sur une longueur d'onde de 110 m avec un émetteur de 500 W seulement. Les spécialistes pensaient que les ondes courtes n'offraient aucune possibilité et ne devaient être destinées qu'aux amateurs. A partir de cette démonstration, les professionnels s'intéressent à ces ondes courtes, puis aux ondes très courtes et ultracourtes, indispensables pour la télévision...

Dès les premiers pas de la télégraphie, des inventeurs ont recherché le moyen de transmettre des textes manuscrits, des dessins, des photographies... et le pantélégraphe de l'abbé Caselli entre en exploitation en 1867 avec succès, pour la télécopie, entre Paris et Lyon, par lignes télégraphiques. Le système a été rapidement abandonné par l'absence de demande. Cependant, pour cet appareil original, le principe de la transmission de documents repose sur la décomposition d'une image en éléments envoyés sur la ligne les uns à la suite des autres. Au récepteur, l'image est reconstituée à partir des éléments reçus, les lignes, exactement comme celles d'une image de télévision. Le principe du balayage était donc inventé.

D'autres systèmes ont été développés et la télévision électromécanique apparaît vers 1920. L'analyse et la synthèse de l'image sont effectuées au moyen d'un disque comportant une série de trous régulièrement espacés, situés sur une spirale. Ce dispositif conçu par Nipkow en 1884 n'a trouvé une application effective que près de quarante ans plus tard ! La transmission nécessite la conversion de signaux lumineux en signaux électriques : la cellule photoélectrique a pour origine la découverte en 1873, des effets de la lumière sur le sélénium, par l'ingénieur des télégraphes anglais May, collaborateur de W. Smith.

La réception nécessite la conversion de signaux électriques en signaux lumineux. La cellule de Kerr assure la modulation de la lumière par variation de l'indice de réfraction d'un liquide sous l'effet d'un champ électrique.

Avec ce matériel rudimentaire, les premières émissions de télévision s'effectuent évidemment, avec des performances très modestes (taille et qualité de l'image), ne permettant pas d'envisager d'applications commerciales. Pour cela, il faut attendre la télévision électronique : l'analyse et la synthèse de l'image se font alors au moyen de nouveaux tubes électroniques. Par la rapidité des mouvements de faisceaux d'électrons, le balayage est beaucoup plus fin, avec davantage de lignes.

Cela entraîne donc la transmission d'un très grand nombre d'informations et l'emploi inévitable d'ondes très courtes dont la propagation est proche de celle de la lumière : pour recevoir la télévision, l'antenne du récepteur doit «voir» ou presque, celle de l'émetteur. Les portées sont en conséquence limitées à 100 km environ.

La prise de vue électronique démarre en 1927 avec le dissector de Farnsworth. Toutefois, c'est l'iconoscope de Zworykin, qui en 1928 marque plutôt le début des tubes électroniques de prise de vue. Mais, avant d'obtenir de bonnes images, des améliorations importantes ont été nécessaires. Pour la synthèse, c'est le tube à rayons cathodiques qui est utilisé ; l'origine de ce tube remonte en 1897, au tube de Braun, destiné à son oscillographe. Mais bien sûr, tout est parti de la découverte des rayons cathodiques, observés dans les tubes à décharge (Geisler 1857, Plücker, Hittorf 1858) et surtout naturellement dans le tube à rayons cathodiques (Crookes 1878). Zworykin met au point en 1928, le kinescope, un tube à rayons cathodiques pour la télévision. Après les expériences du début des années 30, les vraies émissions de télévision commencent en 1933 aux États-Unis avec RCA, en 1934 en Grande-Bretagne avec la Compagnie Marconi et EMI, en 1935 en Allemagne avec Telefunken, en 1936 en France avec la Société Française de Télévision.

En 1941, les États-Unis définissent leur standard : cinq cent vingt-cinq lignes, trente images par seconde. En 1944, démarrent en France, les premières émissions commerciales, en quatre cent quarante-et-une lignes, le standard allemand. En 1948, la France choisit un nouveau standard, huit cent dix-neuf lignes donnant de belles images en noir et blanc.

Quelques années plus tard, les États-Unis expérimentent la télévision en couleur ; RCA met au point en 1949 le tube couleur à masque, celui que nous utilisons encore aujourd'hui. En 1953, les États-Unis définissent le standard NTSC et un peu plus tard en Europe, les procédés SECAM en France, et PAL en Allemagne sont adoptés. Ce sont les codages actuels en attendant ceux de la télévision haute définition.

Dans les années 50, la radio et la télévision mûrissent, la qualité s'améliore, le matériel devenu très performant s'est en quelque sorte stabilisé. Il n'y a plus de grande évolution après la F.M. stéréo et la télévision en couleur. Mais l'histoire ne s'arrête pas là, et il se produit une nouvelle révolution, plus importante que l'invention de la triode : le transistor.

Ce tout petit morceau de germanium est à l'origine d'une nouvelle génération de composants et la famille s'agrandit tous les jours.

Aujourd'hui, nous ne connaissons pas encore la fin de cette révolution ; les technologies évoluent continuellement et nous ne percevons pas encore bien les conséquences. C'est l'ère des semi-conducteurs (germanium, silicium...) et en conséquence, celle des circuits intégrés, les puces, ces petites boîtes noires.

Le transistor résulte de travaux théoriques et expérimentaux, effectués par une équipe, dont J. Bardeen et W. Brattain, dirigée par le Dr W. Shockley, dans les célèbres Bell Telephone Laboratories.

Le premier transistor fonctionne le 23 décembre 1947. Les débuts sont assez difficiles. En effet, la matière première, le germanium très pur, est d'élaboration compliquée, la fabrication du transistor à pointes est délicate, le prix de revient de ce nouveau composant est inévitablement élevé pour des performances limitées, notamment en puissance et en fréquence de fonctionnement. Le transistor à jonction est au point en 1952, il est plus simple à fabriquer, le silicium remplace avantageusement le germanium ; le développement de ces nouvelles technologies s'accélère, l'industrie produit en 1957, trente millions de transistors.

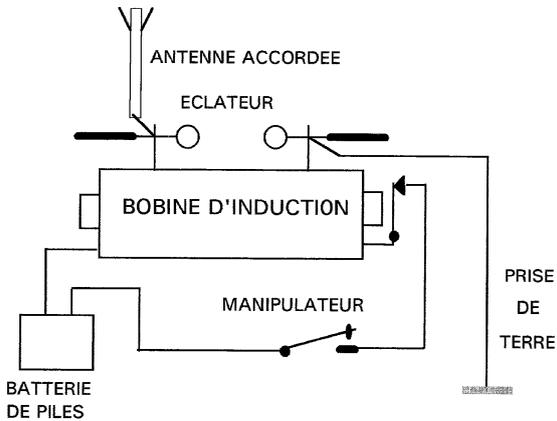
En 1956, à partir du procédé PLANAR, Texas Instrument dépose le premier brevet sur les circuits intégrés, plusieurs transistors et autres composants sur une même petite plaquette en silicium, de quelques millimètre carré. Ensuite, c'est la course à l'intégration, toujours plus de composants, des performances meilleures pour des coûts décroissants. Aujourd'hui, les limites ne semblent pas encore atteintes. Les semi-conducteurs permettent de réaliser aussi bien d'autres composants comme par exemple, les diodes électroluminescentes ou LED, les minuscules lasers pour l'optoélectronique, les dispositifs à transfert de charge...

L'histoire des systèmes de télécommunication n'est pas terminée, la famille s'agrandit, les performances s'améliorent sans cesse. Mais, les grands principes, découverts depuis longtemps, se retrouvent dans le matériel contemporain qui ne comporte que de minuscules boîtes noires contenant l'immense progrès réalisé sur cent cinquante ans.

Comment les systèmes actuels vont-ils évoluer ? Un regard attentif sur le passé peut sans doute nous aider à comprendre les nouveaux systèmes.

Voici le schéma d'un jouet éducatif du début du XX<sup>e</sup> siècle : un poste émetteur constitué essentiellement d'une bobine de Ruhmkorff ; un poste récepteur comportant un tube à limaille de fer et un relais.

## ÉMISSION



## RÉCEPTION

