

ANDRÉ DUCLUZAUX

L'ÉLECTRICITÉ DÉCOUVREURS ET INVENTEURS

Tome V - Vecteur d'information



André Ducluzaux

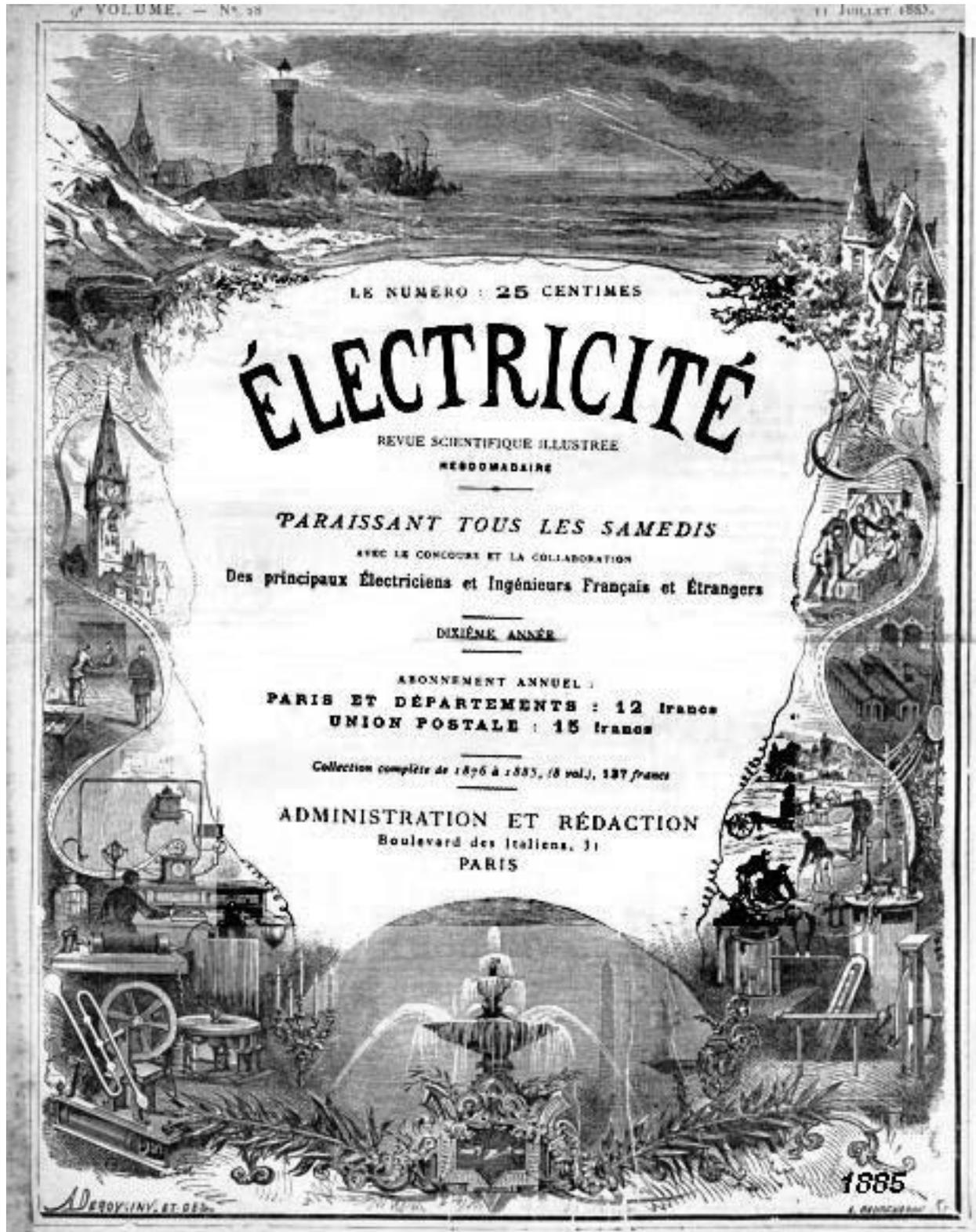
L'électricité

Découvreurs et Inventeurs

Cent aventures de
physiciens, autodidactes,
ingénieurs, techniciens

Tome V

Vecteur d'information



Sommaire

Vecteur d'information

EXTRAITS

-L'électricité, vecteur d'information

1 – Le télégraphe électrique

Télégraphe optique Chappe. Premiers télégraphes. Développements : en G.B., à aiguilles et cadrans Cooke et Wheatstone ; aux E.U., enregistreur Morse ; en France, Bréguet, Morse, Hugues ; en Allemagne, Siemens. Télégraphie sous-marine : sous la Manche, transatlantique. Accroître la capacité de transfert. Transmettre l'image. Les accessoires.

2 – Le téléphone

Reis ouvre la voie avec le téléphone musical. Téléphone de Gray. Téléphone de Bell. Les procès. Microphone à charbons. Développement. Antériorité Meucci. Au XX^e siècle. Épilogue.

3 – Découverte des ondes électromagnétiques

Propagation des phénomènes physiques. Maxwell : les équations, la lumière, l'éther. Les maxwelliens. Découvertes de Lodge, Hertz.

4 – Découverte de l'électron

La matière radiante. Effet Edison. Découverte des rayons X. Le tube de Braun. Découverte de l'électron par J.J.Thomson. Conséquences.

5 – TSF – Radiophonie

Les précurseurs. Expérience de Lodge, 1894. Antenne de Popov. Marconi, premiers succès,. Perfectionnements. Liaison transmanche puis transatlantique. Nouveaux détecteurs. Ondes entretenues. Radiophonie de Fessenden. L'audion de Lee de Forest, la triode.

6 – Télévision

Problèmes. Précurseurs. Systèmes électromécaniques : Rosing, Baird, Barthélémy, Jenkins. Systèmes électroniques : Dissector de Farnsworth, Tihanyl, iconoscope de Zworykin, émitron de EMI.

7 – Découverte de l'effet transistor- semi-conducteurs

Précurseurs. Recherche d'une théorie. Transistor à pointes, transistron, bipolaire à jonction, à effet de champ. Circuits intégrés. Microprocesseurs. Domaines d'applications. Le numérique.

Quelques unes des 196 pages.....

VECTEURS D'INFORMATION PRIMITIFS

La transmission de l'information au loin et rapide a été l'une des grandes préoccupations de toutes les civilisations, pour des motifs politiques, guerriers ou commerciaux ou plus simplement individuels. (1)

Le messenger à cheval était le moyen le plus rapide, jusqu'à 100 km par jour, s'il disposait de bons relais pour changer de cheval et de cavalier (a).

– Le grec Phidippides informa les Athéniens de leur victoire sur les Perses (– 490), en courant sur 40 km depuis Marathon pendant trois heures.

– L'annonce de la victoire de Napoléon à Austerlitz mit 10 jours pour parvenir à Paris à 400 lieues.

– La malle-poste en France roulait à 10 km/h, de jour.

– Pour traverser les mers, le bateau à voile ou à rame était encore plus lent.

– Les pigeons voyageurs étaient utilisés lors du siège de Paris en 1870, et encore par les Anglais au début de WW2.

La transmission optique a été pratiquée depuis l'Antiquité, le jour par fumées, la nuit par feux. La communication militaire entre bateaux ou avec la terre se faisait par sémaphore, une série de fanions hissés sur un mat, dont chacun signifiait un message conventionnel.

La transmission acoustique par la voix aurait été pratiquée dans l'empire Perse, d'après l'historien Diodore, sur des distances de 2000 km de Suse à la Grèce ; les hommes-relais étaient disposés à plusieurs km et transmettaient les messages, sans doute avec des porte-voix ; la distance franchie en un jour équivalait à 30 journées de marche.

– La suprématie d'Alexandre le Grand dans les batailles venait peut-être aussi du *tuba stentorophonica*, porte-voix qui lui permettait de donner ses ordres et d'exhorter ses troupes à quatre lieues de distance, dans une langue inconnue des ennemis.

– Dans les vallées montagneuses, les habitants échangeaient par la voix ou le cor des informations simples, codées.

– Dans les forêts africaines, l'arrivée des explorateurs était signalée longtemps à l'avance par le tam-tam.



a en 1750, le courrier mettait 15 jours de Paris à Marseille

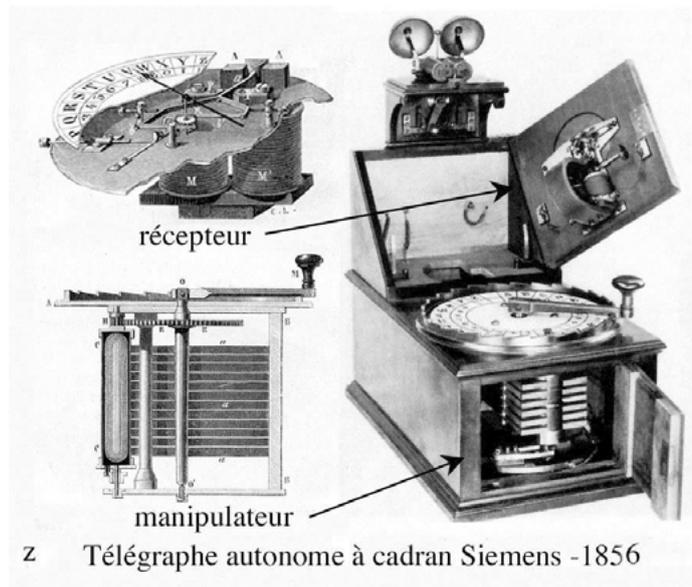
Télégraphe optique Chappe

Le rappel de ses caractéristiques permet de situer ses possibilités restreintes par rapport à son futur concurrent électrique. Ce système français original, simple et assez efficace, ne s'est développé que partiellement dans d'autres pays limitrophes. Il correspondait au besoin spécifique de cette nation en guerre avec presque tous ses voisins, suite à sa révolution de 1789. Les troupes étaient aux frontières, à des centaines de km de Paris, donc à plusieurs jours de cheval pour la réception des informations militaires et la transmission des ordres

Les frères Chappe envisageaient d'installer un appareil dans une station à la fois réceptrice et émettrice, un relais, située sur des tours existantes, ou à construire sur les points hauts du relief, environ tous les 10 à 15 km.

L'invention de Siemens fut de concevoir un **relais polarisé** qui pouvait fonctionner dans les deux sens de la ligne.

Par ailleurs, les chemins de fer bavarois souhaitaient un télégraphe autonome fonctionnant sans pile. Il reprit l'idée de Steinheil d'intégrer dans son appareil une petite machine magnéto-électrique genre Pixii, dont une courte rotation à la main générait un courant comparable à celui d'une pile. Mais il alla beaucoup plus loin et repensa complètement la construction magnétique de sa machine pour lui donner une meilleure efficacité. Le résultat dépassait l'objectif initial et Siemens réalisa par surcroît la meilleure dynamo à courant continu de l'époque (1856) en redressant, avec un commutateur à bague, le courant naturellement alternatif du modèle utilisé dans le télégraphe. (II-3)



z Télégraphe autonome à cadran Siemens -1856

Sur la photo (z) figure à gauche le détail du manipulateur et celui du récepteur, à droite l'appareil complet avec au-dessus la sonnerie d'appel.

La rotation de la manivelle du manipulateur d'un cran sur la roue à rochet à 26 crans, fait tourner le cylindre portant l'enroulement induit de juste un demi-tour. L'inducteur est une série d'aimants permanents. Cette courte impulsion de courant, de sens inverse à chaque demi-tour, est envoyée sur les électros du récepteur, lesquels par un système de fourchette font tourner l'aiguille d'une lettre.

Télégraphie sous-marine

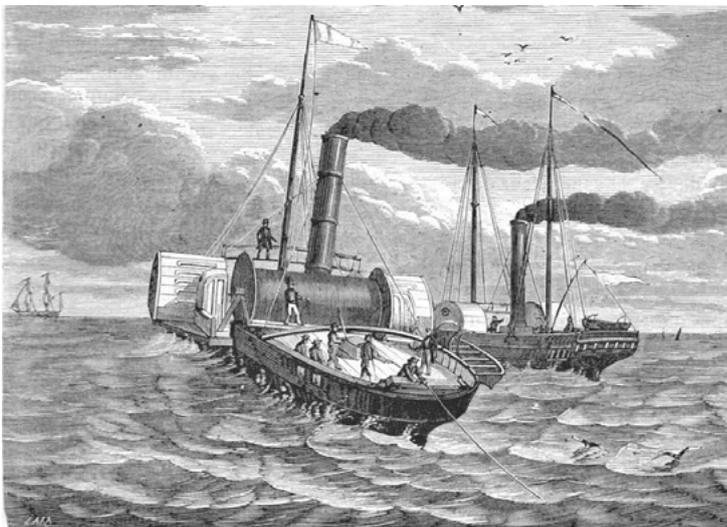
Sur terre, transmettre l'information plus vite qu'avec un cheval au galop ne nécessitait plus que de minces fils de bronze, suspendus à des poteaux en bois.

Mais pour traverser l'Atlantique en moins des quatre ou cinq semaines nécessaires aux navires, il fallait immerger les fils au fond de l'eau, fabriquer des câbles bien isolés et résistants. L'immersion de ces longs et lourds câbles aux grandes profondeurs allait nécessiter des navires spéciaux. Quant aux signaux électriques de quelques volts envoyés ainsi à des centaines et milliers de Km, arriveraient-ils au bout sans perturbation, sans relais? Depuis le premier essai de Schilling à travers la Néva, plusieurs expérimentateurs avaient immergés des câbles télégraphiques isolés sur de courtes distances, validant la faisabilité du procédé.

Le câble sous la Manche -1851

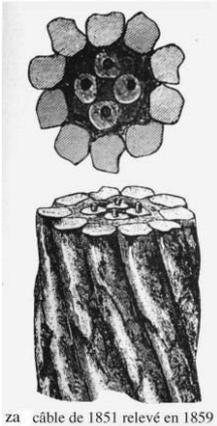
La première traversée remarquable d'une mer fut celle du Channel, entre Angleterre et France, proposée par Wheatstone en 1840 et réalisée en 1850 par Jacob Brett. Le câble, un fil de cuivre gainé avec 6 mm de gutta-percha, était enfilé dans un tube de plomb aux deux extrémités d'*atterrissement*. Le 28 août, le vapeur anglais Goliath, à roues à aubes, quittait la côte près de Douvres en laissant filer le câble de 40 km enroulé sur une large bobine fixée sur le pont (z2). A 8 h du soir il était tiré à la station française du Cap Gris-Nez et le premier message en partait, accueilli par la joie de la foule sur le quai de Douvres ; mais au bout de quelques heures, la communication était coupée, on détecta la rupture sur les côtes françaises.

Un pêcheur de Boulogne montrait un morceau d'une algue étrange avec de l'or au milieu, le cuivre du câble qu'il avait relevé avec son ancre près de la côte.



z2 Pose du câble Douvres-Calais le 28 août 1850

La solution évidente était qu'il fallait assurer la résistance mécanique du câble par une solide gaine en torons d'acier ainsi que l'enterrer au fond près des côtes. Une autre société anglaise fut constituée pour reprendre le projet avec un câble amélioré, quatre conducteurs de cuivre isolé à la gutta-percha, serrés par des torons de chanvre imprégné de suif, le tout cerclé de fils d'acier donnant un diamètre final de 32 mm. (za). Les 40 km de câble furent enroulés dans les cales du vapeur Blazer suivant une méthode qui fut généralisée pour les immersions suivantes. La pose se terminait le 31 décembre 1851 avec les premiers échanges de messages officiels.



za câble de 1851 relevé en 1859

Le câble transmis ensuite depuis Calais une décharge de bobine de Rhumkorff, qui amorça la poudre d'un canon à Douvres. Peut-être l'annonce symbolique de la paix que peuvent aussi apporter la science et la technique comme le suggère ce cartoon de *Punch* (zb).

Le succès fut un encouragement pour d'autres immersions de câbles, en particulier l'Angleterre comprit tout l'intérêt de cet exceptionnel moyen de communication pour rompre son isolement d'île. Elle se relia à l'Irlande en 1852, à la Belgique en 1853. Puis la guerre de Crimée nécessita la pose d'un câble de 800 km dans la Mer Noire. De même plusieurs câbles en Méditerranée. Il y eut des déboires, sources de progrès, mais cela n'arrêtait pas le développement du télégraphe sous-marin qui nécessitait pourtant d'importants capitaux.

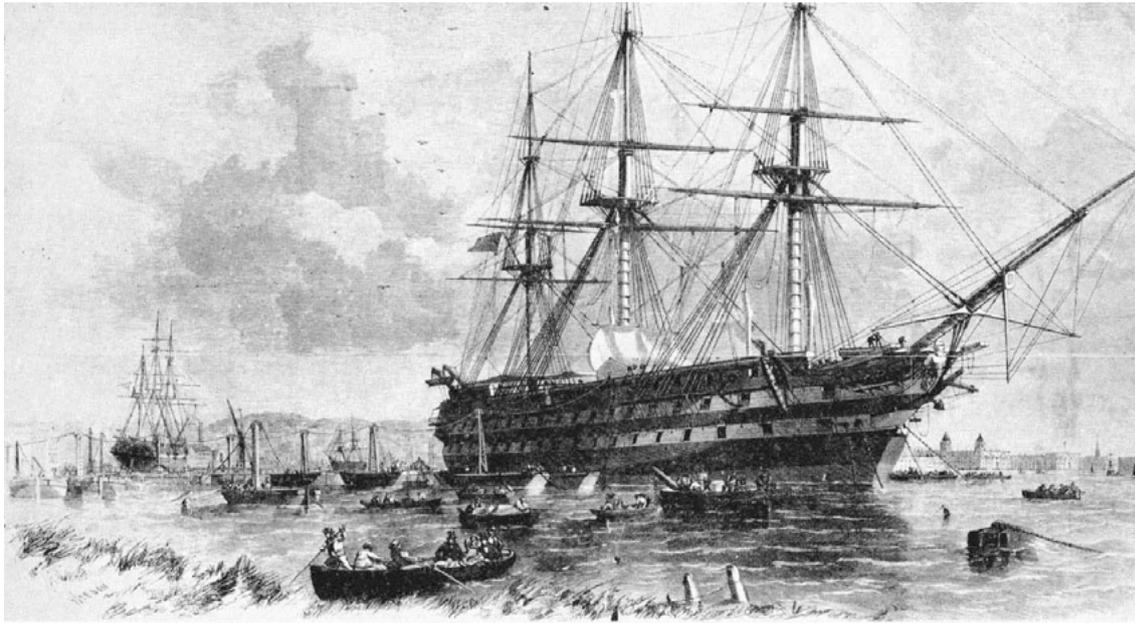
Le câble transatlantique de 1858

Un riche Américain, Cyrus Field, décida en 1854 de réaliser ce rêve anglo-américain. Le parcours le plus court, 3100 km se situait entre Valentia en Irlande et St Jean à Terre-Neuve. Il fonda la *Compagnie transatlantique*, après avoir consulté les meilleurs spécialistes et fait établir une cartographie des fonds par des navires équipés de sondeurs profonds. Le maximum de profondeur était à 3700 m. Pour réunir les capitaux, il rencontra plus d'enthousiasme dans le public et le gouvernement anglais qu'en Amérique.

La structure du câble fut longuement étudiée et essayée, puis il fallut concevoir les machines pour le fabriquer en Angleterre à partir de février 1857.



zb



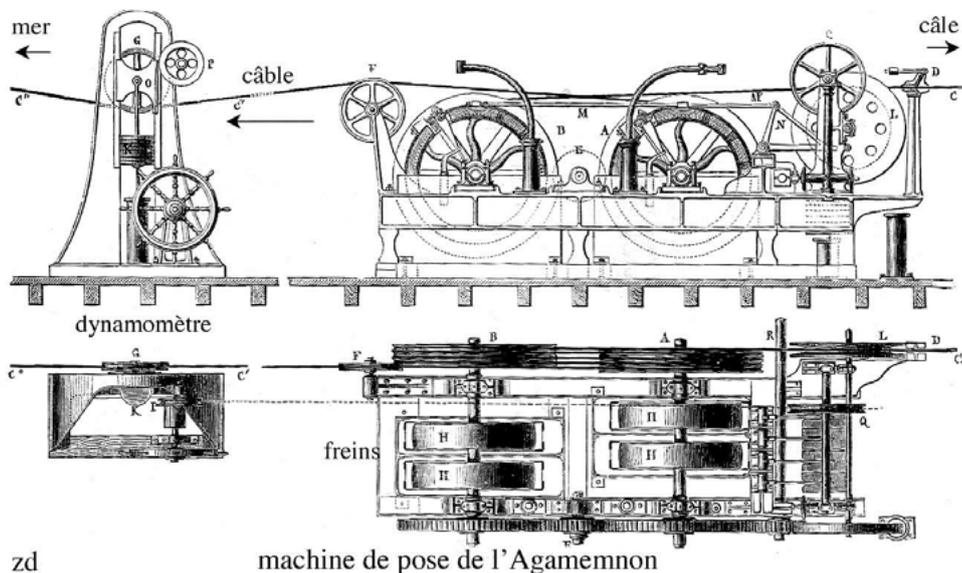
zc

Chargement du câble transatlantique sur l'Agamemnon - 1857

Le câble de 4000 km fut réalisé en deux tronçons, aucun navire n'étant capable de le contenir en entier. Il pesait 634 kg au km, dont 475 kg d'armature pour 26 kg de cuivre.

Sa résistance mécanique à la traction était de plus de 4 tonnes. Le câble fut chargé pour moitié sur le *Niagara*, le plus grand bateau des États-Unis et l'autre moitié sur la frégate anglaise, l'*Agamemnon*. (zc). Trois autres navires participèrent à l'opération de déroulement prévu l'été, période des calmes en Atlantique. Le *Niagara* commença la pose depuis l'Irlande le 7 août 1857. Après une première rupture accidentelle sur le navire, 450 km de câble avaient été immergés ; la mer était forte lorsqu'un courant sous-marin insoupçonné le fit brusquement dévier et une manœuvre trop brutale du frein de dévidement provoqua la rupture.

Il fallut tout recommencer l'année suivante, avec diverses modifications et une autre méthode, en posant le câble à partir du milieu de l'Atlantique. Les deux navires s'y retrouvèrent avec difficulté le 26 juin 1858, après seize jours de tempête, pour souder les deux extrémités du câble que portait chacun et commencer la pose l'un vers Terre-Neuve, l'autre l'Irlande. En quelques jours trois ruptures survinrent entraînant la perte de 300 km de câble.



zd

machine de pose de l'Agamemnon

Il fallut rejoindre l'Irlande pour reprendre du câble prévu pour cette éventualité.

Le 29 juillet les deux navires recommençaient l'immersion et après nombre d'incidents heureusement résolus, l'Agamemnon touchait l'Irlande le 4 août et le Niagara Terre-Neuve le 5 août, mission accomplie ; la communication télégraphique entre les deux navires restait établie en permanence par le câble. (zd)

La nouvelle de la réussite se propagea aussitôt en Europe et en Amérique. Cet événement mondial allait rapprocher instantanément des millions d'hommes séparés par 4000 km d'océan. Partout ce fut l'explosion de joie du public et l'organisation de manifestations festives, sans compter celle plus discrète des politiques, amiraux, financiers et hommes d'affaires anglais dont cet outil allait complètement transformer les activités.

Comme il se devait, l'échange des premiers messages entre la Reine d'Angleterre et le Président des États-Unis, J. Buchanan eurent lieu le 18 août.

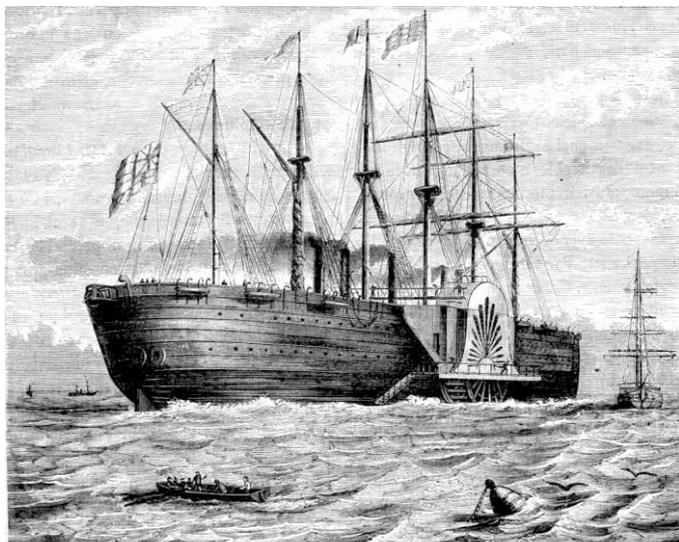
Pourtant un nouveau problème d'ordre électrique freinait un peu l'enthousiasme des spécialistes, le message de la Reine de 99 mots nécessita 67 minutes pour être transmis, c'était étrangement lent. Les 20 jours suivants 400 télégrammes furent transmis dans les deux sens, mais le 5 septembre le courant faible ne passait plus, le câble était hors service pour une cause difficile à détecter. Peut être un claquage à la suite de l'augmentation de la tension, afin de remédier à l'extrême lenteur de la transmission.

La consternation fut générale.

Le gouvernement anglais fit nommer une commission de 43 experts qui rendit son rapport en 1860. Les enseignements furent nombreux, tant pour les marins, les mécaniciens, les câbliers que les télégraphistes. Les Anglais étaient décidés à recommencer, mais la guerre de Sécession des États-Unis reportait le projet à plus tard.

Les câbles de 1865 et 1866

Avec l'expérience de l'échec, ajoutée à celle d'autres câbles plus courts posés les années suivantes en Méditerranée, un câble amélioré fut prêt en mai 1865, mais Il fallait un très gros navire moderne en acier, capable d'embarquer la totalité de ce câble. Un géant des mers, long de 209 m, lancé en 1858 pour transporter 3000 personnes, le *Great-Eastern*, était en attente d'utilisation sur la Tamise. Comme les navires de l'époque, il était mixte, à voile et vapeur, ce qui lui donnait une bonne mobilité pour les manœuvres difficiles ; huit machines totalisant 2600 ch assuraient la propulsion à la fois par des roues à aubes, et une hélice. On le transforma pour y installer trois grandes cuves contenant les 4000 km de câble nécessaires (ze).



ze

Le Great Eastern

Il appareilla de Valentia en Irlande le 3 juillet 1865 vers Terre-Neuve, à six nœuds, restant en liaison télégraphique permanente avec la terre par le câble en cours de déroulement. Après 150 km un défaut d'isolement se produisit déjà, deux autres plus loin et le 2 août au bout de 2200 km il y eut rupture, le câble gisait par 3600 m de fond. Après plusieurs jours de manœuvres, les grappins ne purent le récupérer. Ce fut le retour en Irlande après avoir largué une bouée à l'endroit de la rupture.

Le 13 juillet 1866, le *Great-Eastern* quittait à nouveau Valentia avec un câble modifié. Avec beaucoup de chance cette fois il atteignait la baie de *Hearts-content* le 27 juillet.

La nouvelle parvint aussitôt en Europe par le câble télégraphique. Mais le programme prévoyait en plus le relèvement du câble de 1865 au milieu de l'Atlantique, avec l'aide de deux autres navires. L'opération ne réussit qu'au quinzième essai, l'ancien câble s'avéra correct en isolement, une nouvelle longueur fut soudée et le 8 septembre le déroulement réussi jusqu'à Terre-Neuve s'achevait. (zf)

C'était un exploit extraordinaire, autant sur les plans technique et industriel que maritime. L'épopée en a été racontée par nombres d'auteurs ; le vulgarisateur scientifique, Louis Figuier y consacre une centaine de pages dans ses *Merveilles de la Science*

Deux câbles reliaient maintenant l'Europe et l'Amérique - vingt ans plus tard, il y en avait dix.

« L'année 1866 s'appellera dans l'histoire, l'année du câble transatlantique. La réussite de cette grande entreprise affirme de nouveau la souveraineté de la science, et fait honneur aux deux nations qui ont eu assez de foi et d'espérance pour la mener à bonne fin. Il est inutile d'insister sur toutes les conséquences qui résultent de cette victoire du génie humain sur les éléments. En supprimant l'Océan pour la pensée, on fait avancer d'un pas immense la cause du progrès et de la civilisation.

Henri de Parville - *Causeries scientifiques* – 1867 » (4)

La technique télégraphique très délicate

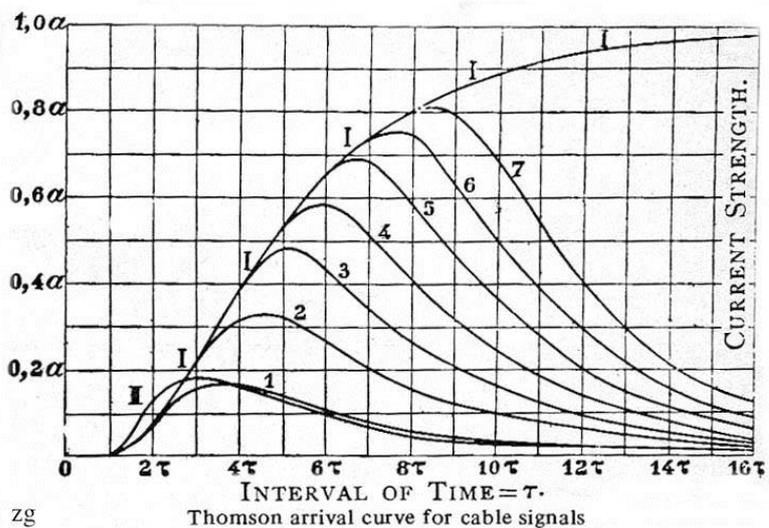
Dès les premiers messages transmis entre l'extrémité du câble en cours de déroulement depuis le navire assurant la pose et l'autre extrémité à terre, les télégraphistes constatèrent l'extrême lenteur, près de trois secondes, de la transmission des impulsions électriques recueillies à l'arrivée avec un galvanomètre sensible. La vitesse de l'électricité dans les fils n'était pas encore connue.

L'explication fut rapidement trouvée, le câble immergé se comportait comme une gigantesque bouteille de Leyde, un condensateur ; l'une des armatures était le conducteur intérieur en cuivre, séparé par un isolant de l'armature extérieure, constituée par les fils d'acier de protection immergés dans l'eau de mer.

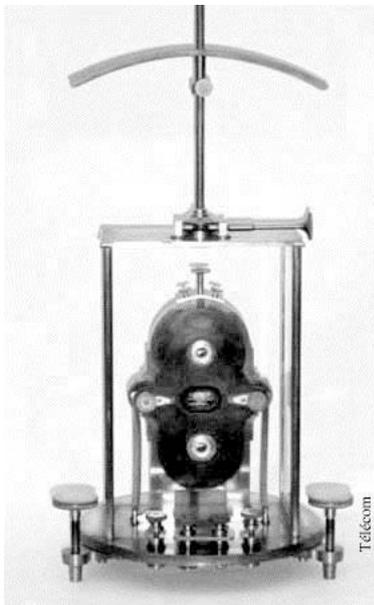
Lorsque l'on reliait le conducteur intérieur à une polarité des piles, l'autre polarité aux câbles d'acier de protection en contact avec l'eau de mer, un courant circulait, mais pas instantanément, il augmentait lentement jusqu'à sa valeur finale en plusieurs secondes. Les courbes (zg) illustrent ce courant croissant de charge d'un condensateur, suivi de sa décharge exponentielle lorsque la liaison avec les piles est coupée.

Problème élémentaire pour les actuels débutants en électricité, mais une découverte à l'époque. Encore que les télégraphistes ne comprenaient pas, sinon intuitivement, que cela correspondait à l'accumulation d'énergie dans la capacité, suivie de sa décharge.

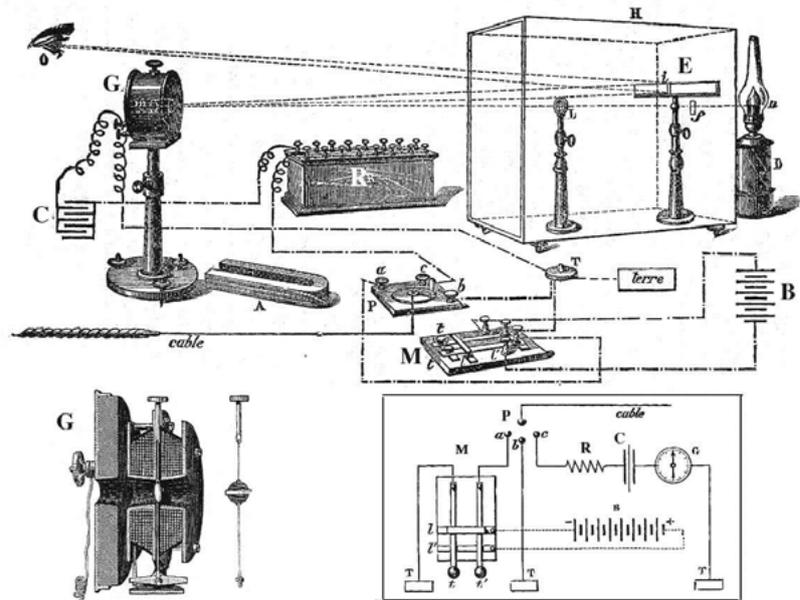
Ils constatèrent que cela ne servait à rien, c'était même néfaste d'après Thomson, d'augmenter trop la tension, c'est-à-dire le nombre de piles en série pour obtenir un courant plus fort. Ce qui avait été fait en 1865 et probablement la raison de claquage de l'isolant. D'ailleurs, le promoteur américain Cyrus Field avait démontré qu'une pile rudimentaire, quelques gouttes d'acide dans l'eau d'un dé à coudre en argent où trempait un morceau de zinc de quelques grammes, permettait d'envoyer un message en Europe.



L'anglais **Whitehouse** trouva une solution résolvant partiellement le problème en envoyant dans le câble des courants alternativement de sens contraire, neutralisant ainsi rapidement le courant précédent. Un autre, Varley supprima des courants parasites dû au magnétisme terrestre en mettant un condensateur en série avec le câble, à chaque extrémité. Une valeur optimale de la capacité semblait être celle de 50 milles nautiques du câble.



zh Galvanomètre de Thomson



zj Transmetteur-récepteur avec galvanomètre Thomson

Les récepteurs Morse ne pouvaient fonctionner car la réception des faibles signaux nécessitait des appareils de haute sensibilité, les appareils à aiguilles. William Thomson, reprenant l'idée de Gauss et Weber, conçut un galvanomètre à miroir très sensible (zh).

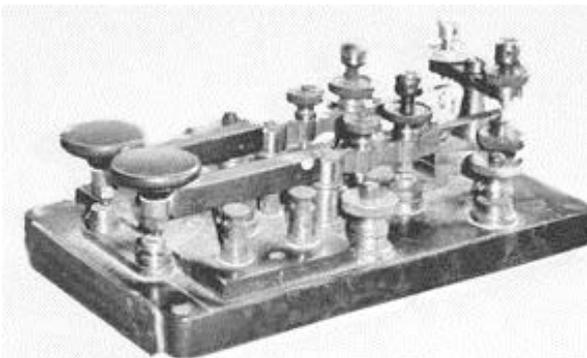
La figure (zj) montre l'ensemble du dispositif et son schéma :

Le commutateur P aiguille le câble soit vers le manipulateur pour émission d'un message, soit vers le galvanomètre pour réception, ou au repos vers la terre.

– À l'émission, le manipulateur à deux lames envoie l'impulsion du courant de la pile dans un sens ou un autre avec contact à la terre entre les deux (zk).

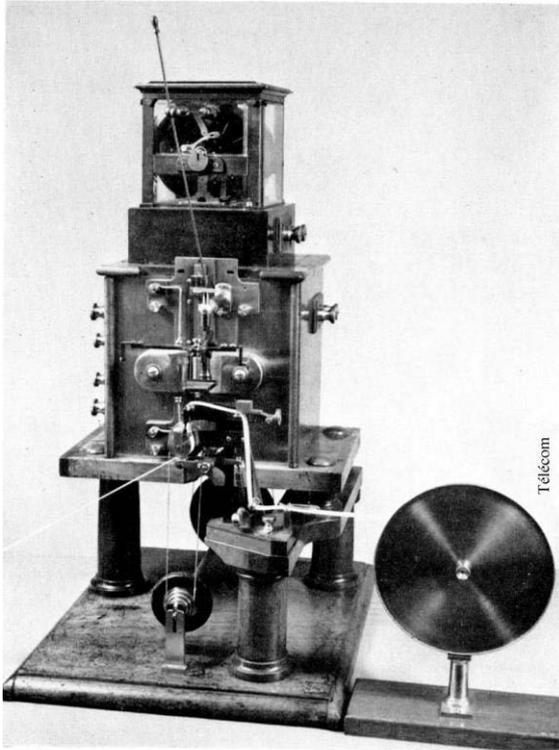
– À la réception, le signal arrive au galvanomètre en traversant la forte résistance R ajustable en fonction de la longueur et le condensateur C. Une lampe à huile envoie sur le miroir du galvanomètre un faisceau de lumière, concentré par la lentille L ; la déviation dans un sens ou l'autre est constatée par l'oeil O sur l'écran E.

Après nombre d'améliorations, de 3 mots par minute on arrivait à transmettre jusqu'à 10 mots, chaque lettre nécessitant en moyenne trois signaux visualisés sur l'écran.



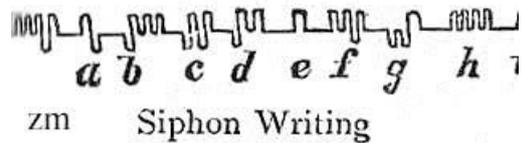
zk manipulateur double pour télégraphe sous-marin

Le système ne permettait pas d'arrêter l'émission s'il y avait un incident ou incompréhension, il fallait attendre la fin. L'observation permanente de l'écran nécessitait beaucoup d'attention de l'observateur, d'où une fatigue rapide, source d'erreurs. Enfin, comme pour les autres procédés visuels, il n'y avait pas de trace des messages reçus.



zl Siphon recorder de Thomson

William Thomson, sommité scientifique de cette époque, concepteurs d'appareils de mesure à haute sensibilité, réalisa un appareil enregistreur adapté à ce difficile problème. Cet *Ink spitter* ou cracheur d'encre était aussi connu comme *Siphon recorder*. La photo (zl) donne une idée de la complexité de l'appareil. Un petit tube capillaire en forme de S prenait l'encre dans un réservoir, la projetait par décharge électrostatique sur une bande de papier se déroulant. Un système électromagnétique très sensible déplaçait le siphon au-dessus ou au-dessous de sa position de repos en fonction du sens de l'impulsion reçue et traçait sur le papier la ligne ondulée (zm). Les impulsions d'une polarité inscrivaient les points supérieurs, représentant les points du morse ; les traits étant inscrit en dessous de la ligne moyenne.



L'appareil n'était guère plus rapide que le galvanomètre, 10 mots par minute, portés ensuite vers 15 mots/min, mais ses avantages le firent généraliser pour toutes les transmissions sous-marines. Il est peu probable que Thomson ait pris un brevet sur cette invention capitale ; la reine Victoria l'a ennoblé en Lord Kelvin. (5)

Ligne indo-européenne

Il était important pour la Grande-Bretagne de pouvoir communiquer avec sa vaste colonie des Indes, plus rapidement qu'en trois mois, par les bateaux ; mais 11 000 km séparaient Londres de Calcutta.

Une première tentative de 1856 avait été la pose de plusieurs tronçons de câbles sous-marins depuis la Méditerranée, puis la mer Rouge et l'Océan Indien pour ensuite longer partiellement les côtes en lignes aériennes. Ce fut un échec, les câbles étaient rapidement détériorés et les techniques n'étaient pas au point. (zn),



zn Tirage à terre du câble au golfe Persique

En 1862, un second projet conduit par Charles Bright utilisait les lignes aériennes européennes, puis traversant la Turquie, Bagdad jusqu'au golfe Persique où un câble sous-marin rejoignait Karachi. Achevée en 1865, cette ligne fonctionnait assez mal, avec de nombreuses interruptions dues au vandalisme et à la négligence du personnel local assurant le fonctionnement des trop nombreux postes intermédiaires qu'imposait le système morse.

C'est finalement en 1867 qu'un nouveau projet terrestre est élaboré passant par Berlin, Varsovie, Odessa, Téhéran et Karachi.

Pages 33-41 non reproduites

Suite .../...



Musée des Télécommunications
Rhône-Alpes

2 - Téléphone

Charles Bourseul, inspecteur des télégraphes, proposait dans l'*Illustration* de 1854 la possibilité de transmettre la parole au moyen de courants électriques.

Nombreuses sont les inventions précédées par ce genre d'annonce, non suivies d'une première réalisation. Il est peu probable que ces prophéties classiques aient vraiment inspiré les inventeurs, sinon la NASA et von Braun, auraient dû remercier Tintin d'avoir envoyé une fusée sur la lune avant eux.

Alors que nous considérons aujourd'hui le téléphone, même à fil, comme un moyen de communication majeur, bien supérieur à l'archaïque télégraphe ; ce ne fut pas le cas en 1876 à sa naissance. Pour les uns le téléphone était une curiosité scientifique intéressante, pour d'autres un *gadget*, pourtant il connut un développement rapide, comme complément du télégraphe, plutôt que concurrent. Il anticipa même la radio, mais avec fil.

Sur le plan scientifique et technique, ce ne fut pas aisé de transformer les sons de la parole en courant électrique, mais plus facile de transformer à nouveau ce courant en sons intelligibles à l'autre bout d'une longue ligne de fils télégraphiques.

On sait que les sons sont des vibrations élastiques de l'air, compressions et dépressions, à des fréquences audibles entre 250 et 8000 Hz environ. Les jeunes, certains animaux, perçoivent les fréquences jusqu'à 15000 Hz.

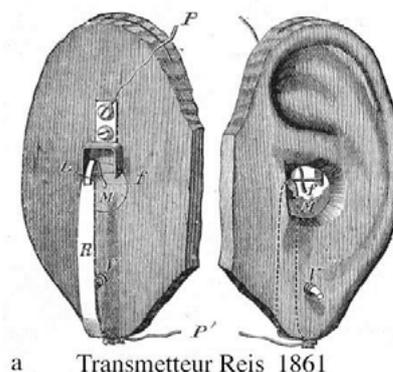
Il fallait donc transformer ces oscillations mécaniques de l'air en un courant oscillant aux mêmes fréquences. Pour nous, un simple courant alternatif sinusoïdal à haute fréquence mais pour les gens du XIX^e, un courant inconnu et non mesurable, si ce n'est par imagination, qu'ils ont dénommé pulsatoire, vibratoire ou ondulatoire.

Reis ouvre la voie du *téléphone*

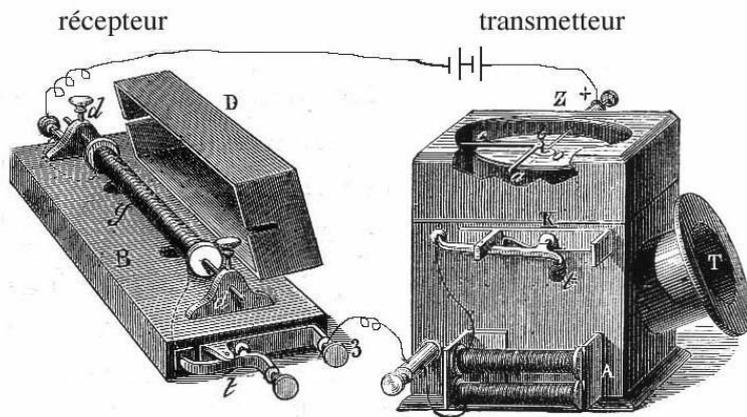
Le physicien Page, en 1837, et d'autres avaient constaté que des variations rapides de magnétisation et démagnétisation du noyau en acier d'un électro-aimant produisait un son, une *Galvanic Music*, ce que nous appelons la *magnétostriction*.

Philippe Reis, professeur à l'institution Garnier de Friedrichsdorf près de Hombourg, songeait comme d'autres à transmettre aussi des sons et la voix humaine. Il cherche à imiter le fonctionnement de l'oreille, capable de traduire avec des os et le tympan, les compressions et décompressions mécaniques de l'air à haute fréquence résultant de la transmission du son.

En 1861, il construit et présente à la Société de physique de Francfort-sur-le-Main un premier appareil répondant à peu près au problème. (a) Le courant électrique d'une pile traverse un émetteur qui va le transformer en courant haché, à la fréquence du son à transmettre, vers un récepteur qui retransforme ce son en vibration de l'air.



L'émetteur, une sorte d'oreille en bois réaliste, porte en son centre une membrane en collodion sur laquelle s'appuie un fin stylet courbé, dont l'autre extrémité provoque un train de ruptures et fermetures d'un contact à la fréquence du son.



b
Téléphone musical de Reiss 1863

Transmis au récepteur, ce courant pulsé traverse le bobinage d'un électro-aimant, dont l'axe en fer vibre et restitue le son, amplifié par la caisse de résonance d'un violon.

Les sons musicaux, relativement purs sont assez bien reproduits avec un éloignement de 300 pieds entre les deux appareils, mais les paroles sont presque incompréhensibles.

Par analogie avec le télégraphe, Reis l'appelle le *téléphone*.

Après perfectionnements, il réalise un appareil définitif et le présente en

1863 à la Société de physique où il est remarqué et fait l'objet d'articles dans la presse locale (b). Le principe du transmetteur repose sur la *modulation* du courant de la pile, suivant notre terminologie, obtenue par des interruptions à la fréquence du son, mais par un moyen plus sensible. Une petite feuille de platine collée sur la membrane vibrante est reliée à une borne de l'appareil par un mince ruban de cuivre. Une pièce semi mobile pliée en V, transmet les oscillations de la membrane à des contacts de rupture, reliés à l'autre borne de sortie de l'appareil.

Le récepteur est toujours un électroaimant dont la vibration du noyau en fer, associée au phénomène de magnétostriction, est amplifiée par une caisse de résonance en bois. L'appareil transmet bien des sons musicaux de piano, des mélodies chantées, mais la compréhension de la parole est difficilement audible, les voyelles passent assez bien mais pas les consonnes. Il était possible d'acheter cet appareil à un constructeur local ; quelques physiciens l'ont ainsi expérimenté, par exemple l'anglais Ladd. La gravure (b) figure sur le prospectus que distribuait Reis.

Son défaut, ne pas bien transmettre la parole, seulement la musique, le fit un peu oublier, mais il avait ouvert la voie. L'inventeur était conscient de son importance que certains considéraient comme un jouet. Il écrivait : " *j'ai montré au monde le chemin d'une grande découverte, à d'autres d'aller plus loin* ". Il mourut en 1874 juste avant d'avoir vu son projet perfectionné par d'autres.

À la recherche du téléphone parlant

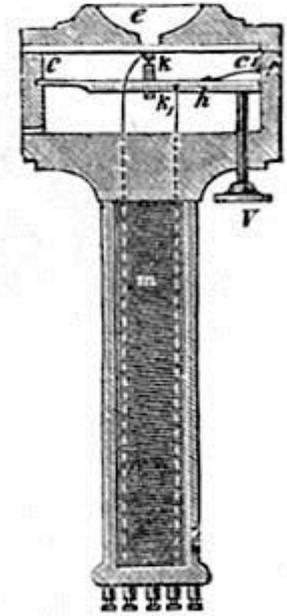
L'appareil de Reis fut classé comme un *téléphone musical*, pas encore un *téléphone parlant*. Il avait en effet déjà résolu l'un des deux problèmes :

– le principe du **récepteur** à électro-aimant, dont le noyau vibrait sous l'effet du courant pulsatoire traversant la bobine ; sa vibration était transmise à une caisse de résonance qui amplifiait le son. Les successeurs l'adopteront, avec des améliorations, essentiellement le remplacement du noyau en fer par un aimant permanent mettant en vibration une membrane en acier. Aujourd'hui la majorité de nos écouteurs ou haut-parleurs fonctionnent sur ce principe.

-- pour l'**émetteur** par contre, la génération d'un courant intermittent à la fréquence du son par des interruptions d'un courant continu était très délicate à réaliser et ne transmettait que les sons assez purs de musique, mais pas les bruits multifréquences de la parole.

Plusieurs télégraphistes ont essayé d'améliorer l'émetteur de Reis : Wright, Varley, Wray, Van der Weyde, Pollard et Garnier.

L'appareil de Janssen (c) était intéressant sur plusieurs points : le courant de la pile était interrompu par la séparation de deux contacts en charbon qui anticipaient le futur microphone à charbon. Le hachage du courant, à la fréquence de vibration du diaphragme en acier cc', se faisait ainsi par séparation du contact en charbon k fixé à cc' de l'autre contact charbon k1 fixé sur une pièce réglable par la vis V. Le courant haché traversait l'enroulement d'une bobine d'induction m, dont l'autre transmettait le courant amplifié au fil relié au récepteur, procédé proche *de la baignoire* de Gray (ci-après). Sur le plan pratique, la bobine constituait un manche pour tenir l'appareil, anticipant la forme de l'appareil de Bell. Les recherches des finalistes, Gray, Bell, Edison, Berliner, Hugues et autres ont abouti sur un autre principe d'émetteur, traduisant correctement les sons en courants *ondulatoires* et non en courants intermittents ou *pulsatoires*. D'abord en utilisant une résistance variable à liquide, puis le système électromagnétique de Bell avec ou sans pile, pour revenir ensuite à des résistances variables solides tel le charbon du microphone.



c. Emetteur téléphonique de Janssen

L'invention finale du téléphone présentait une particularité souvent rencontrée, en ce qu'elle résultait des travaux menés vers un tout autre objectif, simultanément par deux hommes, Gray et Bell, différents par l'expérience, la méthode et l'approche scientifique. L'un d'eux, Bell, devint l'inventeur officiel en Amérique, ayant déposé un brevet deux heures avant l'autre. Pourtant, leurs deux solutions pour concevoir l'émetteur ou transmetteur seront rapidement abandonnés pour celle du microphone à charbon. L'historien américain David A. Hounshell a analysé comparativement les recherches de Gray et Bell, apportant sur le sujet un éclairage nouveau.(1)

Les deux inventeurs avaient au départ pour objectif de trouver un système multiplex permettant la transmission simultanée, sur la même ligne télégraphique, de plusieurs messages. Stearns avait imaginé le premier système duplex, amélioré par Edison, puis mis en service en 1872 par la *Western Union* ; il permettait cette transmission, mais en sens opposé par les deux postes à chaque extrémité de la ligne. Vu le succès rapide du procédé, l'enjeu financier d'un nouveau système multiplex était élevé. Aucun des deux n'y parvint pratiquement, mais seul Bell eut l'intuition qu'une retombée de leurs travaux, le téléphone, allait devenir un succès.

Le téléphone de Gray

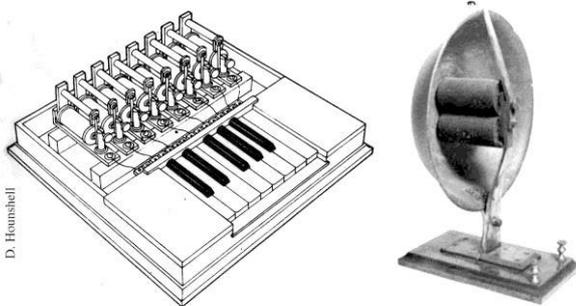
Elisha Gray, originaire de l'Ohio, débuta jeune dans la télégraphie en 1867 par l'invention d'un relais spécifique qui intéressa la puissante *Western Union Telegraph Company*. Avec l'aide financière de cette firme, il créa en 1870 à Chicago une importante société de matériel télégraphique pour cet unique client. Comme d'autres, il cherchait à améliorer le système multiplex basé sur des relais et fut mis sur la voie en 1874 par une simple expérience de son neveu.

Dans la salle de bains, celui-ci avait installé une pile alimentant la lame vibrante d'une sonnerie. Cette lame portait un autre contact qui amorçait et coupait, à la fréquence de vibration, le circuit primaire d'une bobine d'induction alimenté par une autre pile. Une borne du circuit à haute tension était reliée à la baignoire en zinc, l'autre dans une main. Si l'on passait l'autre main sur la baignoire, cela provoquait un son identique à celui du vibreur. Étonné Gray modifia la fréquence du son de la lame, le son sur la baignoire se modifiait aussi. La bobine d'induction transformait le courant intermittent du vibreur par un courant ondulé qu'il dénomma *vibratoire*, sinusoïdal pour nous.

Il pensa que ce système permettrait de transmettre simultanément sur une ligne télégraphique plusieurs signaux de courants vibratoires de fréquence différente.

Il réalisa des appareils et vérifia qu'il était assez simple de faire un émetteur générant plusieurs fréquences ; le récepteur, un simple électroaimant faisant vibrer une lame en acier reproduisait bien le son, mais d'une seule fréquence, il ne pouvait dissocier des signaux de plusieurs fréquences.

À défaut de réaliser sur ce principe un système multiplex à fréquences variables, faute d'un récepteur approprié, il était possible de transmettre de la musique, un véritable télégraphe musical (supérieur à celui de Reis), ou encore transmettre la voix, pour lequel le récepteur à électro-aimant était bien adapté. Il fallait alors trouver un émetteur multifréquence.

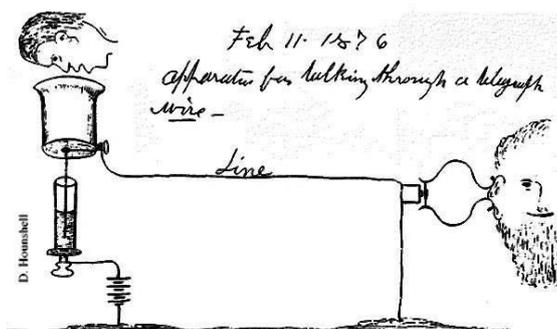


d Transmetteur et récepteur musical de Gray 1874

Gray présenta les possibilités de ces courants vibratoires à divers spécialistes du télégraphe. Ils jugèrent que le télégraphe musical n'avait pas plus d'intérêt que celui de Reis et la transmission de la voix serait une curiosité scientifique, sans plus.

Découragé il réalisa pourtant, pendant l'été 1874, un transmetteur musical capable d'émettre les notes sur un octave et le récepteur un électroaimant adapté sur une bassine à linge. C'était précisément l'ancêtre de nos pianos électroniques ou synthétiseurs et le récepteur celui de nos haut-parleurs (d).

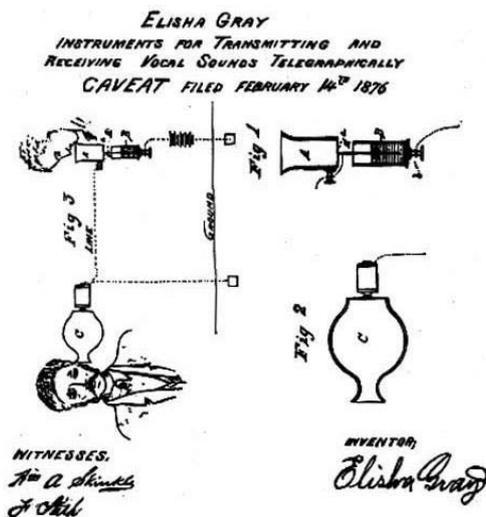
Gray reprit ses recherches sur le multiplex et prit plusieurs brevets. En 1875, au courant des recherches de Bell plus orientées vers la transmission de la voix que le multiplex, il écrivait à son agent de brevets : « Bell semble dépenser toute son énergie sur le télégraphe parlant. Si l'on ne peut en nier l'intérêt scientifique, les débouchés commerciaux de cette invention sont quasiment nuls ».



e Croquis de Gray pour son caveat du 14/02/1876

Néanmoins, il revenait de temps en temps sur cette transmission de la voix pour laquelle il avait un bon récepteur à électroaimant ; pour le transmetteur, un autre appareil mécanique essayé précédemment avait montré par hasard, qu'en modifiant la pression sur un contact mécanique, donc sa résistance, il modifiait le son émis. Plusieurs années auparavant il avait fabriqué pour la Western Electric un rhéostat liquide dont la résistance variait en enfonçant plus ou moins une tige dans un liquide à forte résistivité, de l'eau par exemple, pas très pure ou légèrement salée.

Gray, trop occupé par le multiplex, son objectif prioritaire, ne se décida à breveter à tout hasard ce système qu'en février 1876. Il en fit un croquis (e) le 11 février, pour déposer seulement un *caveat*, car ne l'ayant pas essayé, il ne pouvait être sûr qu'il fonctionnait. Ce dépôt provisoire était prévu par le *Patent Office* pour permettre à



f caveat Gray 14/02/1876

l'inventeur de mettre en pratique son appareil puis de déposer avant trois mois le brevet définitif (2).

L'agent d'affaires de Gray le déposa le 14 février (f), mais quelques heures après le dépôt d'un brevet de Bell. Le préposé lui signala alors qu'il aurait alors intérêt à transformer son caveat en brevet d'ici le lendemain, cela permettrait de déclencher le processus d'interférence prévu par la loi. Une expertise permettrait ensuite de déterminer quel était le premier inventeur d'un appareil fonctionnant,

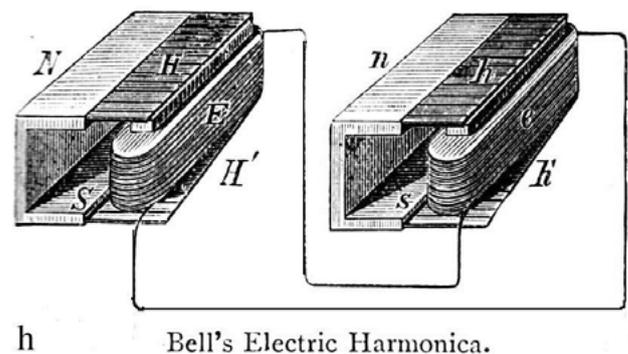
et non le premier déposant, mais c'était une procédure longue et coûteuse. Gray abandonna, ce télégraphe parlant n'étant pas sa priorité. Ce fut une grave erreur. Il ignorait que le système déposé par Bell ne marchait pas, de même que le sien aurait bien fonctionné s'il l'avait seulement essayé, ce qui lui donnait toutes les chances de gagner le procès. Pour un détail toute l'histoire du téléphone aurait été complètement changée.

Une fois encore, dans une invention, l'expert compétent n'a pas eu pour son invention l'intuition de l'amateur obstiné.

Le téléphone de Bell

Alexander Bell, professeur d'élocution à Édimbourg était célèbre par sa méthode d'apprentissage pour les malentendants. Son fils Graham avait ainsi travaillé sur la nature des sons de la voix. Le phonéticien Ellis lui signala que le physicien allemand Helmholtz avait déjà fait ces recherches entre 1859 et 1862, consignées dans un traité que Bell arriva à se procurer en 1870, *Théorie de la perception des sons*. Il y était décrit la reconstitution des sons en faisant vibrer des diapasons accordés sur chaque note par des électro-aimants. La famille émigra au Canada en 1871 et Graham devint enseignant à l'institut des sourds-muets de Boston. Il rencontra divers spécialistes de ces problèmes de sons, ayant repris les expériences d'Helmholtz.

En 1872, le succès financier du télégraphe duplex de Stearns et le quadruplex d'Edison incita Bell à faire mieux avec un système de diapasons pouvant produire un courant *ondulatoire*. Avec ce genre d'harmonica (h), équivalent à plusieurs diapasons de fréquence différente, il pensait transmettre plusieurs messages télégraphiques sur la même ligne. Ce télégraphe multi harmoniques était l'ancêtre des futurs systèmes de multiplexage en fréquence. Mais il fallait trouver un système capable de sélectionner les différents messages à l'autre extrémité de la ligne.



Bell's Electric Harmonica.

Début 1874, Bell entendit parler des travaux du télégraphiste Gray sur les courants vibratoires. Cela le stimula, mais il n'était qu'un amateur, peu capable de réaliser des montages complexes et sans grandes connaissances électriques. Sa chance fut la rencontre avec Hubbard, passionné de télégraphie qui l'avait engagé comme précepteur pour sa fille devenue sourde et lui fournissait de l'argent pour engager un électricien et un professionnel en instruments, afin d'atteindre son objectif, le multiplex. Il rencontre alors en mars 1875 Joseph Henry, la sommité scientifique en Amérique, qui le pousse à travailler sur la transmission de la parole, ce qui rejoint ses préoccupations professionnelles.

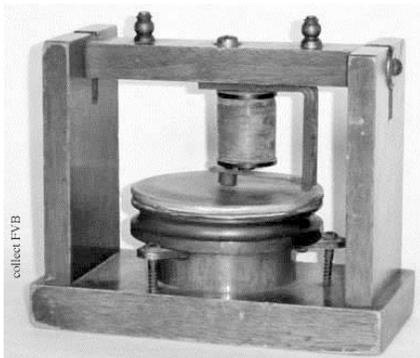
Son projet de téléphone intéresse fortement les financiers et le 27 février 1875 un accord est conclu avec Sanders et Hubbard pour financer ses travaux en échange d'une part dans la future société d'exploitation de son procédé. Il embauche alors un assistant, Thomas Watson, et conduit ses recherches dans les deux directions parallèles, celle du multiplexage par fréquences, décidé par son financier Hubbard et celle du téléphone, où le pousse Henry comme sa passion instinctive de transmettre la voix, puisque Reis avait déjà transmis les sons musicaux.

L'invention germe

En mai 1875, il écrit à Hubbard qu'il avait trouvé un moyen de transmettre électriquement la parole *en faisant en sorte que les vibrations déterminées par le transmetteur puissent provoquer dans la résistance du circuit des changements proportionnels aux vibrations*. C'était la solution à laquelle Gray était aussi arrivé, il ne le savait pas, et ce fut la solution finale concrétisée par d'autres, trois ans plus tard, avec le microphone à charbon.

Gray utilisait une résistance liquide très peu pratique, le microphone utilisera la résistance de contact de grains de charbon, toujours actuelle. L'originalité du système Bell était dans le procédé pour obtenir cette variation de résistance, en adoptant intuitivement le phénomène électromagnétique d'induction. Il expliquait alors cette variation de *résistance* comme se produisant : *sous l'influence des extra-courants qui résultaient des rapprochements et éloignements de l'armature vibrante*. Ce n'était pas tout à fait faux.

Il construisit sur ce principe un premier appareil dont la reproduction (j) montre les deux composants : une membrane souple circulaire en parchemin vibrant sous l'effet de la voix et transmettant cette vibration à un ergot solidaire de la palette mobile d'un électroaimant.



j Premier téléphone Bell -1875

Le récepteur était un appareil identique. Les bobines des deux appareils étaient reliées dans un circuit *voltaique* comprenant une pile. Le courant continu de la pile devenait *ondulatoire* sous l'effet des vibrations de la palette de l'électro émetteur ; en traversant la bobine de l'électro du récepteur, ce courant reproduisait inversement la vibration de sa palette sur une membrane

En fait, dans notre langage, il superposait au courant continu de la pile un courant alternatif oscillant à la fréquence du son, généré par la variation d'inductance de l'entrefer variable du circuit magnétique de l'électro.

Pour un amateur, peu initié aux questions électriques, c'était étonnant, mais le plus surprenant fut la deuxième phase de son raisonnement. Il pensait que le courant continu de la pile ne devait servir qu'à aimanter les noyaux en fer des deux électros. Donc il pourrait obtenir la transmission des sons sans pile, en remplaçant le noyau de fer des électro-aimants précédents par un noyau d'acier aimanté (un aimant permanent).

C'était très original, il paraissait être sur une bonne voie, mais les appareils marchaient mal, et transmettaient des *sons vocaux*, pas vraiment des paroles. Néanmoins il écrivait : avoir *obtenu des résultats tellement encourageants, qu'il pouvait croire le problème bien près d'être résolu*. Peu averti du fonctionnement magnétique délicat d'un électro-aimant, il lui fallut des mois, en avril 1876, pour réaliser que son électro *boîteux*, à palette articulée, n'était pas bien adapté au problème.

Le brevet

Bell pensait tenir une grande invention et craignait la concurrence de Gray, plus professionnel, mais ignorait que ce dernier n'attachait pas grande importance au téléphone, seulement au multiplex. Il note « *Toutefois, les résultats que j'obtins avec cet arrangement ne furent pas satisfaisants et il me fallait encore entreprendre bien des essais* ». Malgré cela il envisagea de breveter cet *arrangement* en demanda à Brown, Premier ministre du Canada, de faire le dépôt en Angleterre et en Europe. Après y avoir rencontré des scientifiques, dont l'avis était très dubitatif sur le fonctionnement et l'intérêt du système, ce dernier ne fit pas ce dépôt.

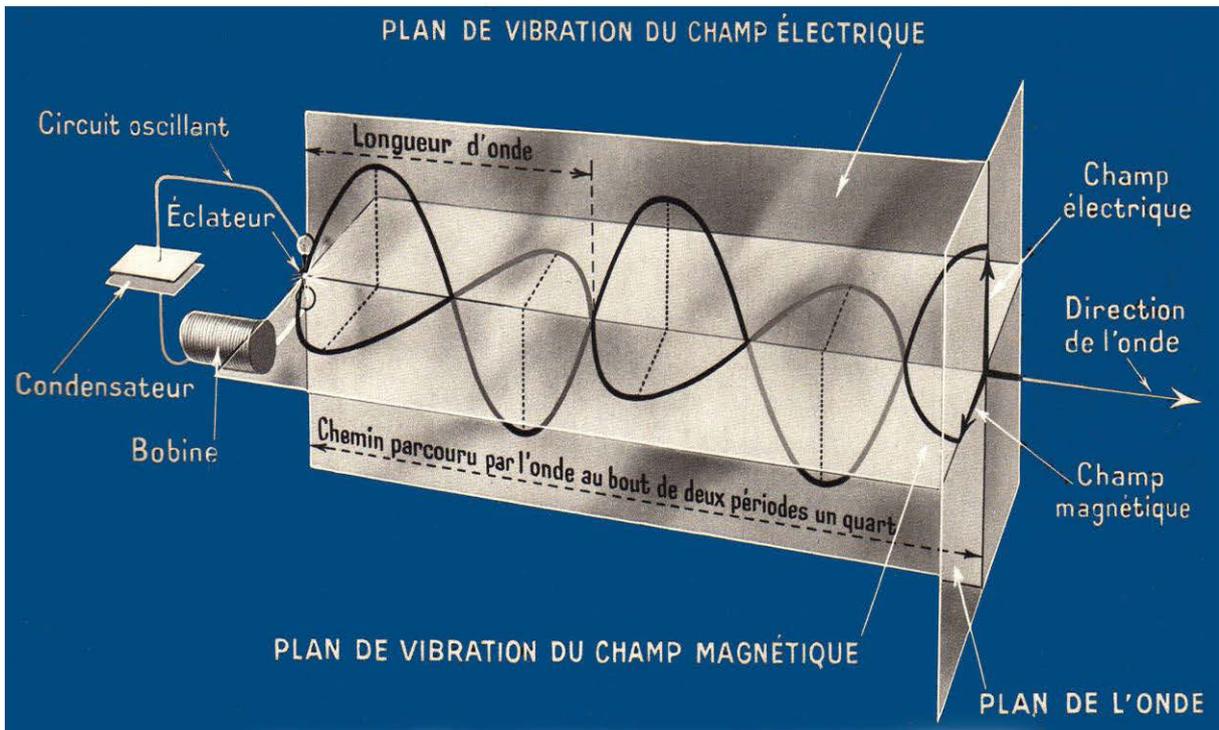
Pour le brevet aux États-Unis, Pollock, représentant juridique de Bell, déposa la demande officielle le 14 février ; le brevet fut publié le 7 mars sous le N° 174465. Normalement, le procédé n'étant pas encore au point, Bell aurait dû déposer un simple caveat, comme l'avait fait Gray.

Le brevet de Bell intitulé « *Improvent in telegraphy* » consiste d'abord en de longues considérations sur les possibilités d'un système télégraphique en multiplex, puis il insiste sur la différence entre les courants hachés (intermittents ou pulsatoires pour Reis) et les courants ondulatoires (ou vibratoires pour Gray) qu'il obtient. Précision importante, il est vrai.

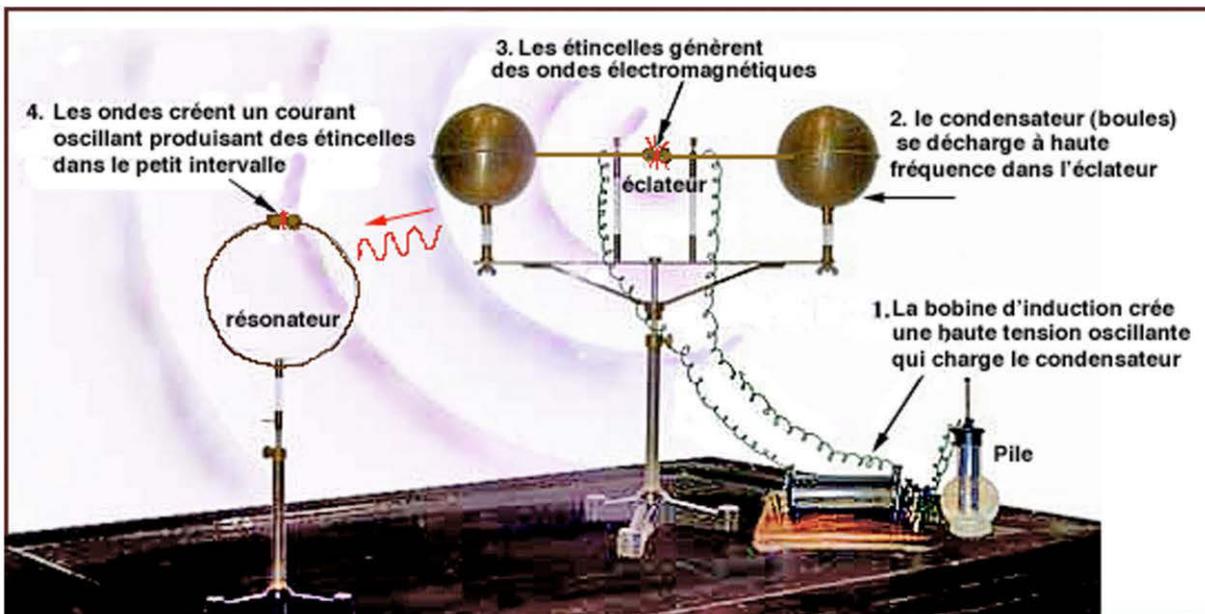
L'appareil breveté (k) comprend deux éléments identiques, les électros de la fig. 5 dont les armatures mobiles articulées sont solidaires d'une membrane vibrante sur la fig. 7. Ce que des auteurs ont dénommé électros « boîteux », parce que asymétriques.

Pages 49-65 non reproduites

Suite .../...



*La lumière consiste en des vibrations transverses du même milieu
qui transmet les phénomènes électriques et magnétiques*
Maxwell



Hertz

3 - Les ondes électromagnétiques

Propagation des phénomènes physiques à distance

Deux siècles avant l'électricité, Newton avait découvert que toute masse attirait une autre masse avec une force se transmettant instantanément dans l'air ou le vide interstellaire. On ne connaît pas encore aujourd'hui le mode de propagation de cette action à distance, la gravitation, malgré les recherches et théories approfondies d'Einstein.

La découverte des ondes électromagnétiques est l'aboutissement de découvertes, calculs et réflexions de mathématiciens et physiciens, pour comprendre comment pouvaient se propager instantanément les phénomènes électriques à distance :

– Au XVIII^e siècle, les physiciens approfondissent les phénomènes naturels du magnétisme et de l'électricité statique, provoquant aussi des actions à distance, que Coulomb mesura et calcula. Ces forces suivaient une formule semblable à celle de la gravitation. Étrange ! On ne se posait pas encore de question sur le processus de transmission de ces forces qu'on supposait instantané, c'est tout.

– 1820, Ampère calcule et mesure la force magnétique s'exerçant entre deux conducteurs parcourus par un courant quelle que soit leur disposition relative. Il suppose que cette force se transmet instantanément comme dans les cas précédents et, sans approfondir, suggère simplement qu'elle était *le résultat des mouvements du fluide qui remplit l'espace*.

– 1831, Faraday découvre l'induction, l'apparition d'un courant dans un circuit, éloigné d'un autre circuit inducteur parcouru par un courant variable. Mais cette fois, pour comprendre comment se transmet cette nouvelle action à distance, qui n'est plus une simple force s'exerçant entre deux éléments, il arrive à l'hypothèse d'une modification de l'espace environnant, caractérisée par des *lignes de force* de ce qu'il ne nommait pas, un champ magnétique, dans un milieu occupant l'espace vide.

Il travaille des années pour comprendre ce mode de propagation à distance qu'il approche qualitativement, mais son inaptitude à se servir de l'outil mathématique, *le langage de la Nature*, lui fait défaut pour le quantifier. En ayant fait avancer la réflexion sur ces actions à distance, dont on ignorait le processus, il devenait lui aussi un poseur de question sans réponse, comme ses prédécesseurs, Galvani, Oerstedt, Arago.

Le successeur de Faraday sur ce problème, James Clerk Maxwell, va donner la réponse, établissant brillamment en quelques années (1861-1873) la fort complexe théorie mathématique de l'électromagnétisme.

Maxwell (1)

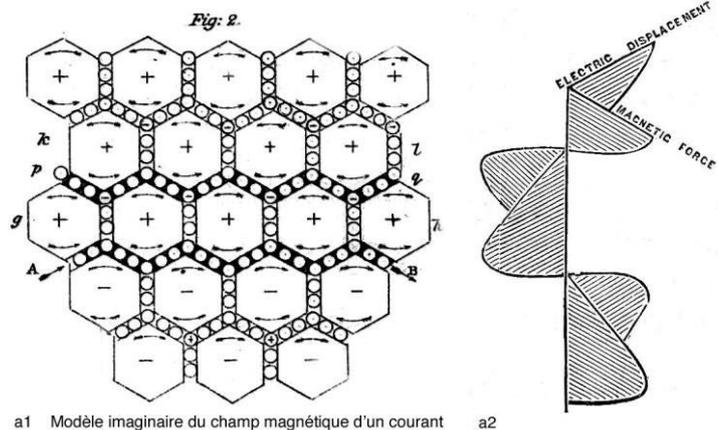
Après des études dans les meilleures institutions britanniques, ce physicien et mathématicien écossais poursuivit une carrière universitaire lui permettant des recherches sur différents thèmes, cependant son objectif permanent a été de trouver par les mathématiques l'explication globale, causes et fonctionnement, de l'électromagnétisme découvert par Ampère et Faraday.

Il y travailla avec une méthode très personnelle et atteignit un résultat théorique qui nécessitera des années pour être rendu accessible par ses suiveurs et ensuite confirmé expérimentalement vingt ans plus tard.

A l'époque de ses travaux au milieu du XIX^e siècle, 1855 - 1879, l'électricité n'était encore qu'adolescente - pas encore d'application énergétique, faute de moyen de production adapté – essentiellement une première grande application en développement dans le domaine de l'information, le télégraphe électrique. On ignorait pratiquement le courant alternatif, qui sera le principal bénéficiaire des travaux de Maxwell, en fin du siècle.

Il précisera d'abord la notion de champ électrique créé par des charges au repos, l'électron qu'on ignorait encore, et de champ magnétique créé par le déplacement de ces charges.

Pour interpréter le champ électromagnétique dans son analyse des lignes de force de Faraday, il se laisse guider par son imagination fertile. Elle lui fait dessiner des modèles mécaniques n'ayant aucun rapport avec une réalité inconnue, mais qui l'aident à raisonner. Ainsi le modèle des tourbillons, (a1) les hexagones du croquis figurent le champ magnétique et les petits roulements qui les séparent, le courant. Après une longue quête, il arrive à formuler mathématiquement le processus de propagation simultanée des forces électriques et magnétiques HF à distance, qui sont alors véritablement entrelacées à 90° dans la même onde (a2). Lorsque qu'une variation brusque affecte ce champ électromagnétique, une perturbation se propage dans le milieu environnant, l'éther, à une vitesse très élevée mais finie, sous forme d'ondes analogues à celles que provoque la chute d'un caillou dans l'eau, ou mieux du son dans l'air.



(a2). Lorsque qu'une variation brusque affecte ce champ électromagnétique, une perturbation se propage dans le milieu environnant, l'éther, à une vitesse très élevée mais finie, sous forme d'ondes analogues à celles que provoque la chute d'un caillou dans l'eau, ou mieux du son dans l'air.

Les équations

Maxwell a réussi à décrire mathématiquement la propagation à distance des phénomènes électriques et magnétiques, par une étonnante synthèse les théorèmes de ses trois prédécesseurs, Gauss, Ampère et Faraday qui décrivaient chacun un phénomène électrique particulier.

Cela nécessita **vingt équations** différentielles à vingt inconnues, nombre élevé résultant de ce qu'un point de l'espace était identifié par ses trois coordonnées dans la formulation du mathématicien Hamilton. Plus tard, Heaviside les réduira à quatre équations en utilisant les notations vectorielles.

Ces équations constituent le socle de l'électricité, elles vont aider à découvrir la constitution de la matière, au début du siècle suivant.

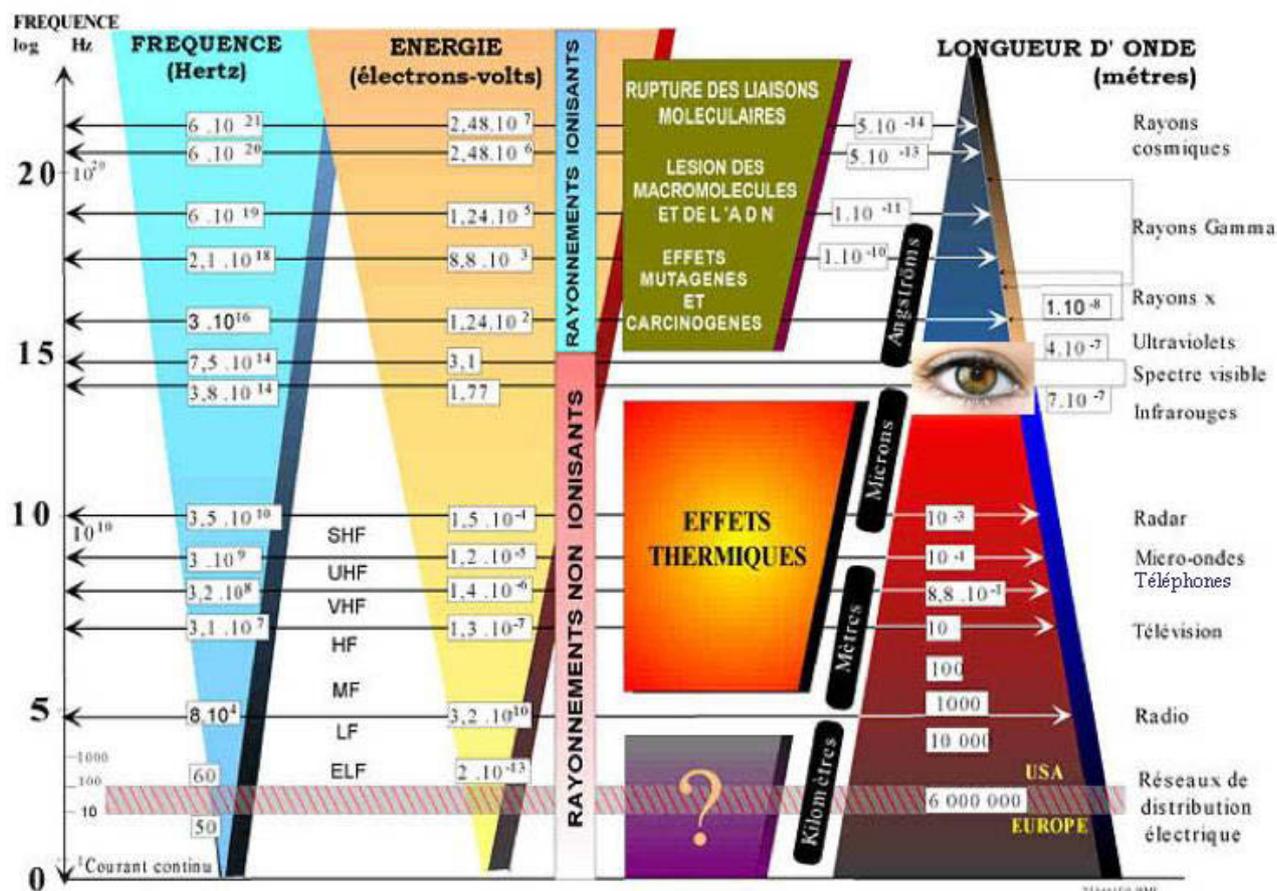
Cependant, elles ne seront que rarement utilisées directement par les électriciens, seulement par les théoriciens, sous la forme de formules pratiques qui en sont déduites, telles que :

- L'énergie accumulée dans un condensateur : $W = \frac{1}{2} C \cdot U^2$
- L'énergie accumulée dans une inductance : $W = \frac{1}{2} L \cdot I^2$
- Le travail d'un courant dans un champ : $dT = I d\Phi/dt$

La lumière est une onde électromagnétique

L'intuition de Faraday l'avait amené à faire, en 1845, une expérience révélant que la *lumière réagissait au magnétisme*, l'effet Faraday, resté sans explication (I-5).

La nature ondulatoire de la propagation des perturbations électromagnétiques découvertes par Maxwell, l'incitait à les assimiler aux phénomènes lumineux (b). Cela devint une certitude lorsqu'il entreprit des travaux dans un tout autre domaine, la définition des systèmes d'unités électriques. Cet épisode mérite une parenthèse, car il montre comment le chemin vers une découverte passe souvent par des travaux dans un domaine différent.



Des unités pour exprimer les grandeurs électriques

La technologie majeure du siècle, la mécanique, avait nécessité d'en définir avec précision les unités de mesure. Elles découlaient de trois unités de base, la longueur en **centimètre**, la masse en **gramme**, le temps en **seconde**. D'où le système **CGS** des physiciens, dont les ingénieurs avaient dérivé des unités pratiques, telle la puissance en cheval-vapeur (ch ou hp)

L'électricité avait permis une application d'importance, la télégraphie, nécessitant la définition d'unités pour les grandeurs électriques. Deux écoles s'affrontaient sur le sujet, les Anglais souhaitant définir des unités « absolues », dérivées des trois unités mécaniques CGS, les Allemands des unités relatives définies par un étalon matériel reproductible très précis. Les premiers étaient dirigés par Thomson, grand maître de tous les problèmes de mesures difficiles, les seconds par les frères Siemens, Werner en Allemagne et Wilhelm en Angleterre.

Une commission est créée en 1861, *Committee of Electrical Standards*, présidée par Thomson et animée par Maxwell, qui venait d'être nommé au *King's Collège*.

L'objectif principal était la détermination de l'étalon de résistance électrique, grandeur essentielle pour le déroulement des câbles télégraphiques transocéaniques, la localisation exacte par une mesure de résistance, d'un défaut survenant sur un câble, long de centaines de milles. Cette mesure consistait à insérer la résistance du câble dans un pont de Wheatstone et de la comparer avec une résistance connue très précisément, car une erreur de quelques pour cent signifiait une erreur de localisation de plusieurs dizaines de milles.

L'équipe du comité fut amenée à concevoir des expériences complexes, mais facilement reproductibles pour définir cette unité absolue, alors que Siemens proposait simplement son étalon de résistance, celle d'une colonne de mercure de hauteur et section définie. Lors du premier Congrès international des Électriciens, de 1881, le problème n'était pas encore bien résolu (III-4).

Mais tous ces travaux donnaient lieu à des retombées intéressantes dans d'autres domaines et Maxwell le comprit bien, car c'était une source d'amélioration et même confirmation de sa théorie électromagnétique en construction.

Dans son article de 1863, reproduit dans le *Treatise* de 1873, il introduisait la **notation dimensionnelle** des lois et équations électriques. Les trois unités fondamentales, longueur, masse et temps étant désignées par **(L)**, **(M)** et **(T)**, les grandeurs physiques figurant dans les équations sont aussi définies par ces mêmes dimensions. Ainsi une vitesse V , une longueur parcourue dans un temps donné sera définie avec ces dimensions : $(V) = (L) / (T)$ ou $(V) = (L) (T)^{-1}$.

Auparavant, Gauss avait montré que l'on pouvait définir deux systèmes d'unités électriques à partir des trois unités mécaniques, longueur, masse, temps, dénommé C.G.S. L'un était basé sur la loi de Coulomb, dit système électrostatique, l'autre sur la force d'Ampère, traduite par la loi de Laplace plus celle de Biot et Savart, dit système électromagnétique. Mais le problème était qu'aucun lien n'apparaissait pour passer d'un système à l'autre, jusqu'à ce que les allemands Weber et Kohlrausch montent en 1856 l'expérience de décharge d'une bouteille de Leyde dans un galvanomètre. Ils constatèrent que le rapport entre la valeur de la charge électrique calculée à partir de la décharge du condensateur et sa valeur mesurée dans le galvanomètre était dans un rapport c de $3,107 \cdot 10^{10}$. Leur collègue Riemann réalisa que c'était très proche de la vitesse de la lumière, mesurée en 1848 par Hippolyte Fizeau à $2,88 \cdot 10^{10}$ cm/s.

Maxwell se demandait si cette coïncidence était purement fortuite, ou bien si au contraire elle découlait de la théorie de l'électromagnétisme qu'il édifiait progressivement. Il projetait plusieurs expériences pour étayer plus à fond cette hypothèse et en 1868 réalisa avec Charles Hockin une expérience complexe pour déterminer l'unité de résistance difficile à définir, qui précisément avait la dimension d'une vitesse dans le système électromagnétique. La moyenne des résultats trouvés était de $2,88 \cdot 10^{10}$ cm/s.

Cette prévision s'est révélée correcte et la relation entre lumière et électromagnétisme fut considérée comme une des grandes découvertes du XIX^e siècle, dans le domaine de la physique. Maxwell concluait ainsi dans son mémoire de 1864, ***A dynamical Théorie of the Electromagnetic Field*** : *L'accord des résultats semble montrer que la lumière et le magnétisme sont deux phénomènes de même nature, et que la lumière est une perturbation électromagnétique se propageant dans l'espace suivant les lois de l'électromagnétisme.*

La découverte n'a ainsi rien d'un cheminement linéaire. Le rapprochement d'une recherche avec des thèmes transversaux très différents peuvent ainsi apporter une preuve importante.

Avec sa certitude mathématique, Maxwell n'envisageait même pas de faire des recherches pour découvrir matériellement l'existence des ondes, pourtant il venait de créer un centre de recherches qui aurait pu se consacrer à ces expériences, le *Cavendish Laboratory*.

Pour lui, la tâche était terminée, à quoi bon essayer de le prouver matériellement ?

Il est remarquable que c'est la première fois dans l'histoire des sciences qu'un physicien révèle l'existence d'un phénomène naturel inconnu, les ondes électromagnétiques, en se basant uniquement sur une démonstration mathématique, alors que ce phénomène n'avait jamais encore été remarqué (2), et aucune expérience tentée pour le découvrir :

La Nature se révèle à l'homme par le langage mathématique.

Jusqu'à-là, ou bien les mathématiques permettaient simplement de quantifier des phénomènes nouveaux, ou bien des spéculations intellectuelles présageaient l'hypothèse de l'existence d'un nouveau phénomène, qui devait alors être confirmé par l'expérience.

Maxwell décédait en 1879, l'année de la naissance de son successeur, Albert Einstein, qui s'appuya sur les découvertes de Maxwell pour aller encore plus loin.

Pages 71-98 non reproduites

Suite .../...

Philadelphie, puis à St Louis : « *On Light and other High Frequency Phenomena* ». D'autre part, il affirmait la possibilité de transmettre sans conducteurs des signaux intelligibles et peut être même de l'énergie. Dans ce but, une source à haute fréquence serait reliée d'une part à la terre et d'autre part à un corps isolé de grande surface produisant quelque action électrique suffisamment puissante pour qu'elle soit perceptible, au moyen d'instruments convenables, en un point quelconque de la surface de la terre. Cela reposait donc sur des bases très hypothétiques, pas encore vérifiées aujourd'hui.

Alors que Tesla ne rapprochait nullement ces effets, d'une action à distance par les ondes électromagnétiques de Maxwell-Hertz, beaucoup y ont vu, après sa mort, l'anticipation de la TSF que Crookes avait déjà suggérée en 1891.

En effet, l'expérience présentée, suivant un témoignage décrit par M. Cheney, ressemblait beaucoup à celle de Hertz. L'oscillateur du transmetteur était un puissant transfo de 5 kW alimentant une batterie de bouteilles de Leyde une bobine et un éclateur. D'une borne de l'éclateur montait au plafond un fil, probablement vers une plaque formant condensateur, l'autre borne était mise à la terre.

Le récepteur était constitué d'une autre batterie, d'une bobine, de condensateurs, mais l'éclateur était remplacé par un tube à décharge de Geissler dans un gaz à faible pression. Celui-ci était relié comme le transmetteur, d'un côté à un fil montant au plafond à une plaque invisible, de l'autre à la terre. Lorsque l'on fermait l'interrupteur du transfo sur une ligne puissante, celui-ci grognait et gémissait, les extrémités des bouteilles de Leyde grésillaient et les étincelles crépitaient sur l'éclateur. A 10 m de là, le tube de Geissler s'illuminait dans l'obscurité où l'on avait plongé la salle. C'était magique. Ainsi la TSF était née, concluait G. Broughton, le fils du témoin, des années plus tard.

Conclusion un peu trop hâtive, celui-ci ignorait peut-être l'expérience de Hertz de 1887 et surtout que des ondes électromagnétiques étaient bien impuissantes à produire les tensions élevées nécessaires pour amorcer un tube de Geissler. Il s'agissait d'induction électrostatique à hautes fréquence et tension, comme dans ses démonstrations précédentes d'éclairage de 1891.

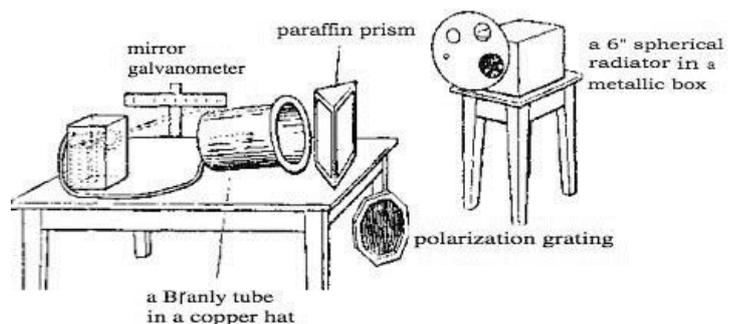
Dans leur enthousiasme, certains supporters ajoutent même que le tube de Geissler, à faible pression de gaz, anticipait la future lampe triode sous vide, de même que les fils qui montaient au plafond de la salle depuis l'émetteur et le récepteur anticipaient l'antenne.

On trouve facilement partout, ce que l'on a envie d'y voir.

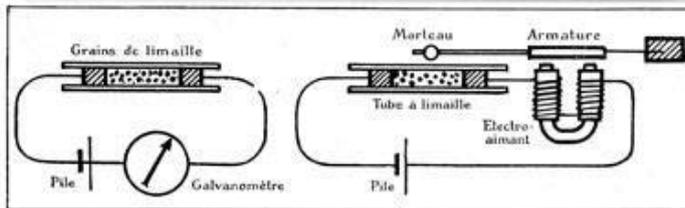
Lodge réalise la première expérience de télégraphie sans fil – 1894

Le 1er janvier, Hertz disparaissait à 36 ans, atteint d'une grave maladie du sang. La seule reconnaissance officielle de sa magistrale découverte fut de donner son nom à l'unité de fréquence en 1930. Lodge est invité par la Royal Institution à présenter en juin 1894, une *lecture* pour rappeler les travaux de Hertz, qu'il étoffa avec ses propres réflexions et travaux. Cette conférence, lecture en Angleterre, se déroula en trois parties :

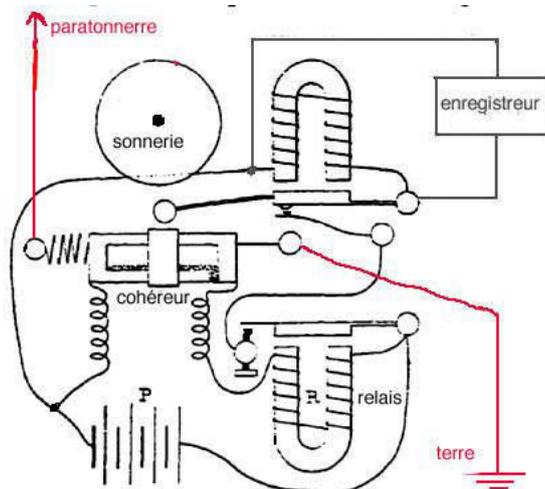
- Le premier sujet concernait la physique, la reproduction des expériences de Hertz avec démonstrations de l'identité de la lumière avec ces ondes, réflexion, réfraction, polarisation. Le matériel utilisé était différent. Sur le croquis approximatif (q), publié par l'Electrician, figure l'oscillateur à bobine de Rhumkorff (*radiator*) particulier, sphérique pour obtenir des ondes courtes de 17 cm, plus pratiques pour une démonstration. Hertz était déjà descendu à 66 cm pour certaines expériences. La différence était le récepteur accordé, un *coherer*, variante améliorée du tube à limaille de Branly, nom que lui avait donné Lodge.



q Expériences de Lodge - Royal Institution - juin 1894 - *The Electrician* 33



r Cohéreur - décohéreur de Lodge -1894

s Schéma du récepteur de Lodge (en noir)
de Popov (adjonction rouge)
d'après G. Ferrié (1909)

C'était la première fois qu'un tel dispositif (r) était utilisé dans le rôle de détecteur d'onde. Cependant il l'a modifié en le complétant d'un petit électro-aimant frappeur de sonnerie, le décohéreur, dont le choc sur le cohéreur le ramenait aussitôt à son état résistant après chaque bref captage d'un train d'onde. Le schéma (s) montre comment la résistance subitement faible du cohéreur entraîne l'excitation du relais, lequel actionne d'une part un trembleur, une sonnerie dont le marteau

frappe le tube qui reprend sa forte résistance, d'autre part un enregistreur. À cette conférence de juin, l'enregistreur devait permettre à l'assistance de visualiser la transmission d'une onde. Lodge adopta un simple galvanomètre à miroir projetant un petit spot sur écran. Le résultat n'était pas très spectaculaire, le spot n'étant pas fixe, sans doute l'influence du trembleur. L'Electrician fit remarquer ce défaut qu'il faudrait supprimer.

- Le second sujet traité concernait la physiologie - *An Electrical Theory of Vision* - Il nous paraît aujourd'hui sans grand intérêt, ce n'était pas le cas pour Lodge. L'identité de nature des ondes hertziennes et de la lumière l'intriguait beaucoup et il cherchait leurs points communs. À l'émission, on ne comprenait pas comment naissait la lumière tant naturelle qu'électrique des lampes à incandescence, à arc ou

tubes à décharge. Au contraire, pour les ondes, on savait depuis peu les produire avec des oscillations électriques, mais pas à la fréquence très élevée des ondes lumineuses. À la réception, l'œil captait la lumière, mais pas les ondes des circuits électriques. Lodge pensait que l'œil se comportait comme un cohéreur multiple capable d'analyser chacune des longueurs d'onde et de les transmettre au cerveau par les nerfs. Avec son assistant Robinson, il conçut un récepteur d'ondes sélectif basé sur le principe du contact à résistance variable et le présenta en 1891 à la *Physical Society*. Quand le tube de Branly fut présenté en Angleterre en 1892, Lodge chercha à l'adapter à ce problème en le modifiant de diverses façons, mais sans succès.

- La troisième partie de la lecture fut une démonstration de transmission à distance. Le *radiator*, émetteur, fut placé dans la bibliothèque et le récepteur, cohéreur et son témoin visuel le galvanomètre étaient restés dans le théâtre à une distance de 40 yards. Les émissions d'onde étaient bien transmises, témoignant que les murs en pierre étaient traversés par les ondes électriques, alors que la lumière capable d'aller beaucoup plus loin dans l'air était bloquée par ces murs.

Lodge n'évoqua à aucun moment que cette transmission à distance sans fil pourrait peut-être s'appliquer à des signaux télégraphiques, si leur portée était augmentée. Ce n'était pas sa préoccupation, centrée sur la démonstration d'un phénomène électrique très curieux. Mais l'un des spectateurs, Alexander Muirhead, ingénieur des télégraphes, anticipait des applications. Il rencontra Lodge pour l'aider à améliorer techniquement dans ce sens sa conférence qu'il devait présenter à nouveau à Oxford au meeting d'août 1894 de la British Association.

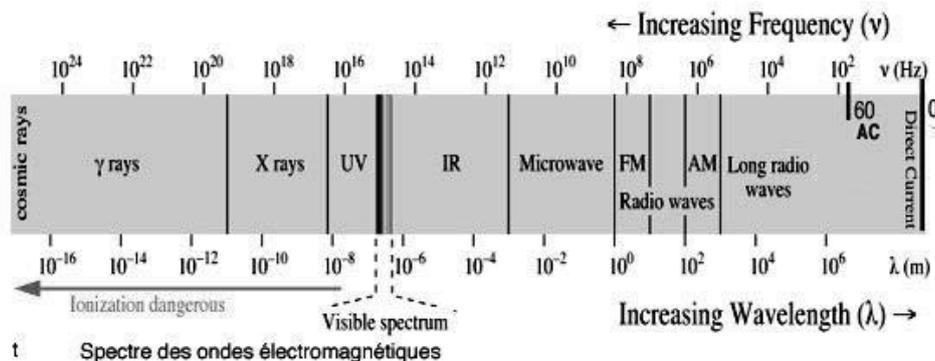
Pour la démonstration de transmission à distance, il s'agissait cette fois d'une véritable transmission télégraphique de points et traits de l'alphabet Morse avec des appareils procurés par Muirhead. L'émetteur commandé par un manipulateur Morse était dans le laboratoire Clarendon et la réception des signaux devant l'assistance regroupée au théâtre du Musée. La distance était de 180 feet, une cinquantaine de mètres. Il est probable qu'il aurait été possible d'aller beaucoup plus loin, mais ce n'était pas l'objectif de cette première expérience.

L'important était de démontrer la possibilité de transmettre des signaux télégraphiques, points et traits, sans fil et à travers des murs.

Le schéma de montage était pratiquement identique à celui de Londres en juin, sauf le galvanomètre à cadre, remplacé soit par un récepteur Morse, soit par un siphon recorder, détecteur très perfectionné conçu par W. Thomson pour recevoir et imprimer les faibles messages télégraphiques transocéaniques. Son intérêt était de visualiser devant l'assistance des lettres reçues en Morse (V-1).

La démonstration de Lodge à Oxford, première transmission télégraphique sans fil, au moyen d'un cohéreur semblable au tube de Branly, était un événement dépassant le petit cercle des physiciens et télégraphistes, pour atteindre le grand public. Il fut amplifié par des articles de *Nature* et de *The Electrician* et peut être considéré comme **la naissance de la TSF**. Ce n'était plus une simple expérience de laboratoire et le monde des télégraphistes réalisa l'importance que pouvait prendre ce nouveau vecteur d'information en le perfectionnant.

Cette année 1894 marqua le départ des recherches et essais pour rendre exploitable cette nouvelle application extraordinaire de l'électricité sous forme d'ondes, se propageant sans aucun fil dans les isolants et l'air. Ce fut alors pendant des décennies une succession de perfectionnement, ponctués de découvertes et inventions, pour arriver à l'exploitation des ondes électromagnétiques à la fin du XIX^E siècle, illustrée en (t)



L'antenne de Popov – 1895-1896

A. Stepanovitch Popov, professeur à l'Ecole de la Marine de Cronstadt, près de St Petersburg faisait des travaux sur l'électricité atmosphérique. Il cherchait un moyen pour étudier les décharges de courant qui se manifestaient dans un paratonnerre lorsque se produisait un éclair lointain, pensant qu'elles étaient oscillatoires, comme Lodge l'avait suggéré. Pour les capter il installa un long fil métallique suspendu au sommet d'un mat de 30 m et relié à la terre comme les paratonnerres et cherchait un moyen de mesure à adapter dans ce fil. Prudemment, il n'expérimentait que si l'orage était assez loin, ne voulant pas suivre son ancêtre Richmann, le premier savant foudroyé un siècle auparavant à St Petersburg pendant la préparation d'une expérience analogue (I-1).

Ayant eu connaissance par *l'Electrician* des expériences de Lodge, il adopta son schéma avec le cohéreur, le relais et le décohéreur, en y ajoutant les éléments figurés en rouge (s). L'enregistreur utilisé par Popov était celui de E. Richard qui notait simplement une impulsion et le cohéreur était relié d'un côté au paratonnerre, de l'autre à la terre pour raison de sécurité. Lorsqu'il recevait une décharge et devenait conducteur, le relais se fermait, l'enregistreur recevait une impulsion, la sonnerie

émettait un son et en retombant, son marteau décohérait le tube redevenant très résistant, jusqu'à la prochaine impulsion.

Notons simplement que cette expérience n'était pas vraiment nouvelle. Un siècle plus tôt, Galvani avait constaté le sursaut, à chaque éclair lointain, de la grenouille attachée comme le cohéreur au fil d'un paratonnerre. C'est normal, l'arc électrique a les mêmes propriétés, qu'il soit produit par une machine électrostatique, la foudre ou une bobine d'induction.

Popov ne pouvait pas enregistrer les courants oscillants comme il le souhaitait, mais avait réalisé un compteur de coups de foudre. Il communiqua ce résultat en mai 1895 à la Société de physique de St Petersburg qui le publia et le recommanda aux stations météorologiques.

Il ne fallut pas longtemps à Popov et aux lecteurs de son mémoire pour réaliser qu'il avait réalisé un capteur très sensible d'ondes produites à des km par les éclairs de foudre, l'antenne. Il déclarait : « *Je pense qu'après des perfectionnements, mon appareil serait applicable à la transmission de signaux à distance, quand un générateur puissant de ces vibrations sera inventé.* » Il pensait, aussi puissant que la foudre.

Il lui fallait essayer si les ondes de Hertz produites avec un éclateur à partir d'une bobine seraient aussi reçues. Ce fut naturellement le cas avec le transmetteur que Popov construisit avec éclateur et bobine comme ceux de Hertz, puis Lodge et autres. Il fit en mars 1896 une démonstration devant la Société de physique à l'université. À une distance de 250 m, séparé par des bâtiments, fut transmis en Morse par télégraphie le mot Heinrich Hertz, premier message transmis par TSF. Une deuxième transmission de télégraphie sans fil en public fut ainsi réussie. Il est probable qu'il ait équipé aussi le transmetteur d'un fil-antenne mis à la terre comme le récepteur.

La découverte de l'antenne a été essentielle pour le développement de la TSF. Comme toujours, il fallait essayer de comprendre son rôle pour optimiser sa réalisation pratique, dans la station de transmission comme de celle de réception. Après quelques années, on comprit qu'elle était théoriquement le support d'une onde stationnaire à la fréquence de l'onde transmise. Il y avait un maximum de tension et un minimum d'intensité au sommet d'une antenne de transmission, avec l'inverse au sol, renvoyant l'onde réfléchi. Slaby démontra que la longueur d'onde était égale à quatre fois la hauteur de l'antenne.

En France, A. Blondel fut l'un des principaux théoriciens. Max Abraham et H. Poincaré firent la théorie complète de l'antenne en partant des équations de Maxwell et l'enseignaient dès 1908 à l'École supérieure des Postes et Télégraphes.

Sur la liste des expérimentateurs, dont les essais moins connus étaient aussi concluants, figurent Rutherford qui réalisa en 1895 une transmission de un mile au Cavendish Laboratory et Henry Jackson, Capitaine de la Royal Navy, qui s'intéressait plus particulièrement au secret des communications avec des essais entre navires.

Au cours du développement de la TSF, puis de la radiophonie, la théorie et l'expérimentation se succédaient ainsi en alternance, avec les travaux de nombreux participants, essayant des améliorations un peu au hasard, pour voir. Une méthode de recherches parfois productive.

Marconi entre en scène – 1896-1897

C'était un jeune Italien de 22 ans, vivant à Bologne, qui va devenir très rapidement le principal développeur de la télégraphie sans fil pendant les premières années.

Guglielmo Marconi, dont la formation scolaire insuffisante, en partie avec des précepteurs à domicile, ne lui avait pas permis d'entrer à l'Université de Bologne, ni à l'École navale ; il se passionna alors en 1894 pour les travaux de Hertz après avoir lu dans le *Nuovo Cimento* la conférence présentée par le professeur Righi, suivant la publication de celle de Lodge dans *The Electrician*.

Dans la grande villa familiale, il construisit un transmetteur à bobine d'induction avec des éclateurs particuliers étudiés par Righi et un récepteur basé sur le schéma de Lodge avec une variante

Pages 103-162 non reproduites

Suite .../...

Cette voie fut suivie entre 1930 et 1935 par Baird et EMI en Angleterre, Fernseh AG et Karolus-Telefunken en Allemagne, de Forest et RCA aux USA. Le système n'était concevable qu'en électromécanique et l'écran était tapissé de 2100 petites lampes.

La réussite du système électronique mit fin à ce rêve, d'ailleurs le tube cathodique ne s'y prêtait vraiment pas. Il faudra attendre 70 ans l'écran plat LCD ou plasma.

Télévision électronique

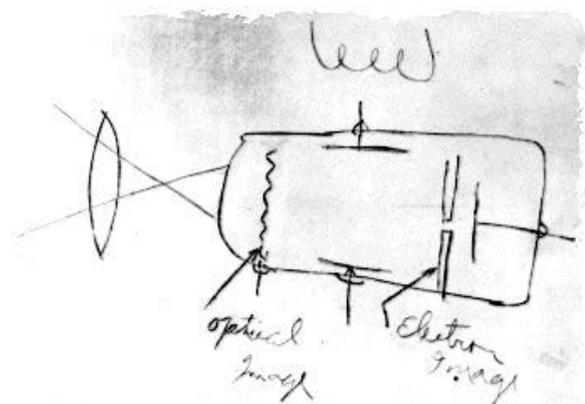
Le grand problème était l'émetteur ou transmetteur ou encore analyseur d'images capable de transformer l'image animée en signaux électriques à haute fréquence, puis en ondes, aujourd'hui la caméra. À la réception, l'écran cathodique était l'adaptation du tube de Braun, déjà proposée par plusieurs.

Trois chercheurs au moins se sont trouvés presque simultanément sur cette même piste, l'Américain Farnsworth réussit le premier avec la solution du dissector, le Hongrois Tihanyi proposa la solution originale du stockage de charges qui fut ensuite développée par Zworykin, émigré russe en Amérique, avec l'icône.

Farnsworth (yr) (2)

Un jeune garçon de ferme, mormon, de l'Idaho, Philo Farnsworth, manifestait des aptitudes précoces pour comprendre l'électricité, acquise par la lecture de revues technologiques découvertes dans un grenier, dont *Popular Science*. Entre autres, il bricola une machine à laver électrique pour sa mère et réparait le générateur électrique en panne de la ferme.

Au lycée de Rigby, il discutait souvent après la classe avec son professeur de sciences J. Tolman des possibilités de transformer les images en faisceaux d'électrons pour les transporter au loin et réunir les deux récentes inventions, radio et cinéma. Ce détail a été révélé lorsque ce professeur a témoigné des années plus tard devant le tribunal, au sujet des brevets. Il a reproduit sur papier l'un des dessins que son élève avait fait au tableau noir pour expliquer ses idées à 16 ans (ys). Ce dessin est bien la première esquisse d'une caméra électronique de télévision. Bien qu'il ne constitue pas une preuve juridique, il a donné une crédibilité décisive à Farnsworth devant les juges.



ys Reproduction du dessin de Farnsworth en 1922, par Tolman

Pour Tolman, Philo était l'étudiant le plus intelligent et précoce qu'il ait rencontré dans sa vie. Là où les scientifiques tentaient de traduire la lumière en électricité avec des disques et des miroirs tourbillonnants, il avait réalisé que cela ne serait jamais assez rapide, il fallait quelque chose de beaucoup plus rapide, l'électron dans le vide, qu'on pouvait diriger avec des forces électriques ou magnétiques.

Quand Farnsworth quitta son guide, Philo lui demanda ses derniers conseils. Tolman répondit : *Suit la voie tracée par Hell et gardes le silence*. L'allemand Hell avait développé un téléscripteur basé sur le tube de Braun.

Il entre à la Brigham Young high School en 1924, où il rencontre Elma Pem Gardner, qui deviendra sa femme et restera toute sa vie son alter ego technique.

En 1926, continuant à réfléchir à son projet, il gagne sa vie comme électricien et dépanneur de radios à Salt Lake City. Il rencontre George Everson et Leslie Gorrell qui mettent \$ 6000 pour installer la *Television Laboratories Inc.* à Los Angeles, afin de construire l'émetteur et le récepteur de télévision suivant ses idées ; mais il fallait plus et Everson obtint aussi \$ 25 000 de la banque Crocker, plus un ancien grenier comme laboratoire.

Farnsworth réunit une équipe de gens compétents et motivés : W.Cummings de l'Université de Californie, H.Metcalf ingénieur radio qui avait une expérience en tube cathodique par l'Université de l'Illinois, deux techniciens radio maîtrisant bien les circuits électroniques, Pem et son frère Clifford Garner, connaissant le soufflage des verres de laboratoire. Les débuts furent financièrement difficiles, ainsi comme matière photoélectrique il lui fallait de l'oxyde de césium, qu'il trouvait en achetant des lampes radio et les cassait pour récupérer cette matière rare.

Invention du dissector

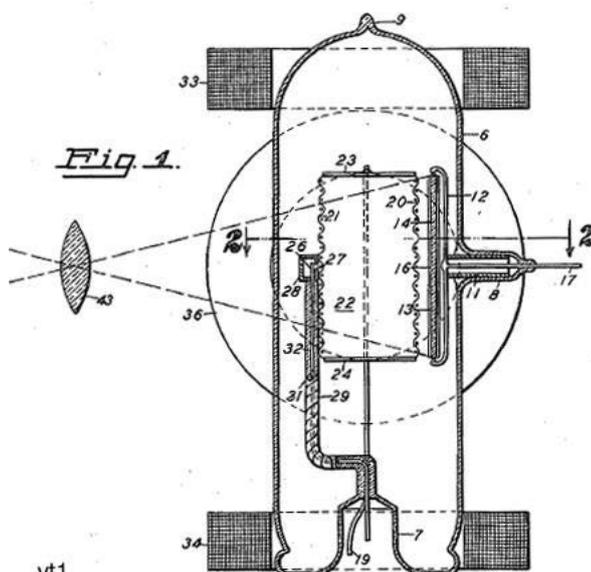
Le 7 janvier 1927, il prenait ses premiers brevets n° 1773980 sur un analyseur et le n° 177398081 sur un récepteur, *Television receiving system*, accordés le 26/4/1930.

Sa démarche inventive était au début de reproduire avec des électrons le système optique de Nipkow ; il ne connaissait probablement pas en Amérique la proposition de l'Anglais Campbell Swinton. Avec le disque, les photons de lumière étaient sélectionnés séquentiellement par la position du trou mobile dans le disque rotatif, puis transformés en signal électrique par la cellule photoélectrique qui les recevait. Il adapta le processus avec les électrons libres dans le vide.

Principe du dissector, l'image optique est projetée sur une plaque revêtue d'oxyde de césium photoélectrique, à l'intérieur d'une ampoule de verre vidée d'air. Cette plaque constituait une sorte de miroir transformant l'image optique en image électronique. Les électrons émis par la surface, proportionnellement à la lumière reçue, sont accélérés par une anode constituée par une grille, qu'ils traversent pour arriver dans un espace équipotentiel. Les électrons émis sont canalisés par deux paires de plaques électrostatiques qui forcent l'image électronique à passer systématiquement devant une petite ouverture dans une structure, cible ou l'image peut être disséquée en éléments. En effet, l'ouverture balaye l'image électronique. Dans la structure, une anode collecte les électrons associés à un élément d'image et transmet le signal électrique à un amplificateur vers la sortie. (3)

Aug. 8, 1939. P. T. FARNSWORTH 2,168,768

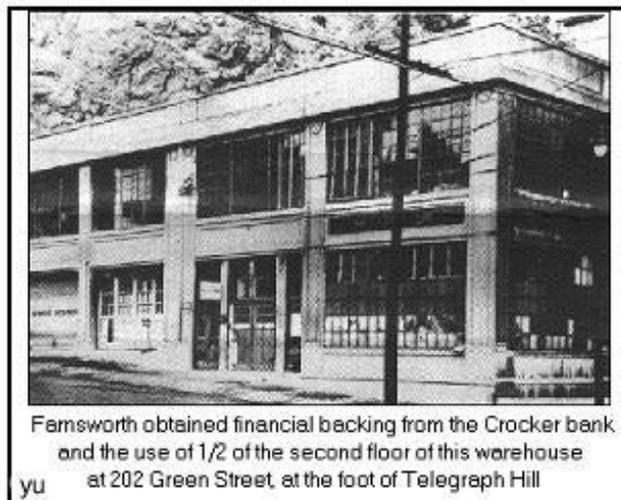
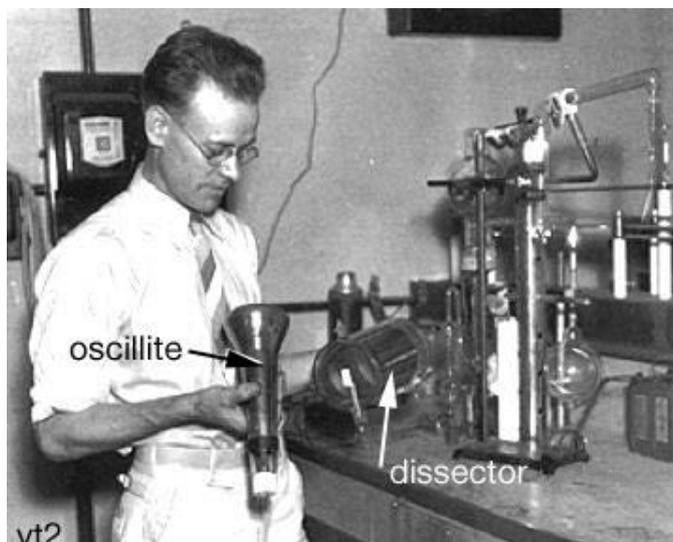
TELEVISION METHOD
Original Filed Jan. 9, 1928



Un croquis du brevet de 1928 donne un aperçu de l'*Image Dissector* (yt1).

La première expérience eut lieu le 7 septembre 1927, au laboratoire de San Francisco. Étaient présents, Phil, sa femme Pem, et son associé Everson.

L'objet en mouvement à reproduire était une ligne noire peinte sur un verre dépoli, placé entre le transmetteur, le dissector et une forte lampe à arc. Dans une autre salle, le récepteur, l'oscillite, dérivé du tube de Braun, recevait l'image de la ligne ; d'après certains auteurs c'était un triangle noir. Lorsque Phil tourna la ligne horizontale de 90°, le récepteur reproduisit sa rotation en ligne verticale. Son carnet de laboratoire mentionne seulement : *The received line picture was evident this time.*" (yt2)



C'était gagné, **la télévision électronique était inventée** avec ce dissecteur d'image, capable de fragmenter une image électronique en un grand nombre de points. Une plaque commémore ce souvenir au 202 de la rue verte de San Francisco (yu). À 21 ans, ce jeune Mozart de l'électronique avait réalisé le rêve de ses 16 ans.

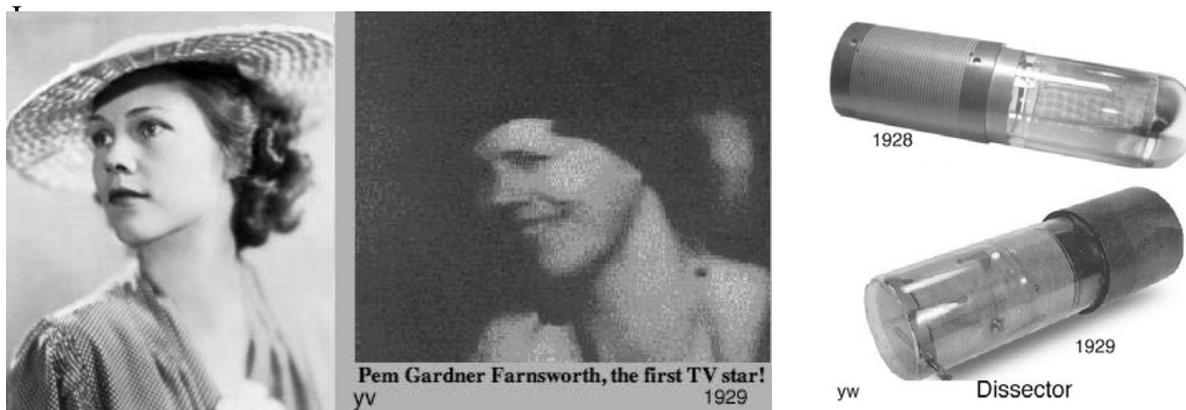
Il restait encore un très long chemin pour rendre le procédé opérationnel. Farnsworth s'était fixé une définition de 400 lignes, les systèmes électromécaniques ne dépassant pas 50 lignes. Mais début 1928, les dépenses elles, avaient dépassé le double de la limite accordée par les investisseurs, \$ 60 000. Everson voulait faire une démonstration pour les rassurer, mais Phil hésitait.

Il la réalise cependant avec une définition de 60 lignes, en reproduisant un billet d'un dollar, suivi de la fumée de cigarettes. L'image comportait 8000 points, renouvelés 20 fois par seconde ; elle apparaissait sur un tube cathodique de 1,25 x 1,5 inches. Le San Francisco Chronicle du 3/09/1928 relatait : « *Deux avancées majeures en matière de télévision ont été annoncées hier par un jeune inventeur qui a développé un système fondamentalement différent de tout autre système en exploitation (Jenkins)... c'est une étrange petite image bleutée, souvent brouillée par des taches ou des zones floues, mais le principe de base est atteint et la perfection est maintenant un problème d'ingénierie.* »

Devant l'ampleur des dépenses à engager pour progresser, Roy Bishop, principal actionnaire, propose de vendre le brevet à de grosses sociétés, capables de développer l'invention, profitant ainsi rapidement d'un beau retour sur investissement. C'est ce que craignait Phil. Il savait qu'il y avait encore un long travail de perfectionnement qui permettrait d'accroître le portefeuille de brevets. Quand le système serait bien au point, un immense marché se présenterait et tous les fabricants viendraient demander une licence des brevets. Il convainquit, provisoirement, les bailleurs de fonds qu'ils auraient bien plus à gagner qu'en vendant maintenant.

Peu après un incendie ravagea tout le laboratoire qui renfermait des produits dangereux. Le *Lab Gang* remit rapidement tout en état. Cette équipe de 9 à 12 personnes très unies et motivées, formant le *Lab Gang*, travaillaient même la nuit.

Après des améliorations de clarté et l'augmentation du nombre de lignes, il présente en 1929 une image de 3,5 pouces, celle de sa femme Pem (yv). Ses yeux sont fermés en raison de l'éclairage très fort nécessaire. Ce problème d'une trop faible sensibilité nécessitant une très forte lumière restera le handicap du dissecteur. Il y avait trop d'électrons perdus, dits secondaires.



Il sera partiellement résolu par des améliorations successives, en particulier par un champ magnétique longitudinal en 1928, puis un multiplicateur d'électrons dont le brevet a été déposé le 3/3/1930 et publié le 7/8/1934 (yw) (4).

Espionnage

En 1930, un ingénieur de Westinghouse, Vladimir Zworzykin, demande à visiter le laboratoire de Farnsworth pour une éventuelle prise de licence, nécessitant une connaissance préalable approfondie du produit. Après trois jours de visite, il déclare à un tiers « *I wish that I might have invented it* ». Mais en quittant, il n'est plus question de licence. Peu après il est embauché par RCA. Farnsworth n'était probablement pas dupe de cet espionnage industriel, mais pensait que la protection par ses brevets récemment publiés était solide. Au départ du visiteur, le soir, il confie à Pem : peut-être j'en ai trop dit.

En effet, avec la radio puis la télévision, les électriciens devenus électroniciens devaient faire l'apprentissage du comportement très particulier des électrons dans les tubes à vide. Avec la radio, ils avaient déjà appris à maîtriser l'électricité à très haute fréquence dans les fils. C'est surtout ce savoir-faire, non mentionné dans les brevets, que tout pionnier essayait de ne pas communiquer ou d'acquérir.

L'année suivante, alors que Phil était parti voir au Bell Labs une nouvelle forme de césium, David Sarnoff, directeur de RCA, qui venait d'embaucher Zworzykin, demande à Everson de voir l'invention. Il lui propose l'achat de sa société pour \$ 100 000, avec la collaboration de l'inventeur. Refus. Deux ans plus tard, RCA sortait un iconoscope conçu par Zworzykin.

En 1931 apparaissait l'opportunité de céder une licence à la petite société Philco Radio Corporation, en échange d'une aide aux progrès techniques en cours. Cela impliquait le transfert de l'équipe Farnsworth à Philadelphie pendant 6 mois, qui durèrent deux ans, avec des problèmes de fond, de fonctionnement et familiaux pour Phil. Cette association se termina par une rupture brutale pour des raisons financières.

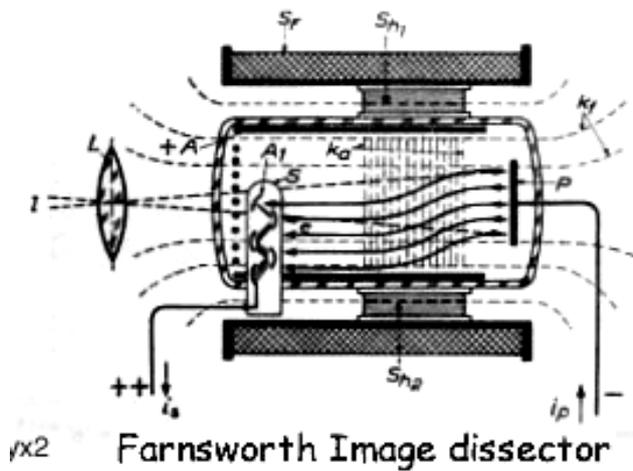
Farnsworth, en difficulté avec ses investisseurs, trouva en 1932 l'occasion inespérée de vendre \$ 50 000 une licence hors d'Amérique, en Angleterre, à Baird dont le système électromécanique ne pouvait plus progresser.

Le succès

Sous le nom de Television Farnsworth Inc., la société reprit ses activités à Philadelphie. Le dissector s'améliorait avec divers perfectionnements concernant la sensibilité et la qualité de l'image jusqu'à 220 lignes (yx1), (yx2).



yx1 Récepteur 1933 et tube dissector



Bien que Phil préférât travailler dans la discrétion, il accepte à l'été 1934 l'invitation du prestigieux Institut Franklin de Philadelphie de présenter une première démonstration publique mondiale de la nouvelle télévision électronique. Il rencontre Russell S. Turner, ingénieur et homme d'affaires qui s'intéresse à l'invention et financera la préparation du matériel adéquat.

Ce fut un réel succès ; la foule faisait la queue pour entrer pendant 15 minutes dans l'auditorium et voir les comédiens, athlètes, politiques ravis d'être « télévisés » en entrant par une première caméra (yy). Une seconde caméra filmait à l'intérieur. Le tout projeté sur des récepteurs (yz). La présentation était prévue pendant 10 jours, elle dura trois semaines.

Des scientifiques venaient aussi de l'étranger, voir ce miracle dans le salon de Phil.

Tout cela stimulait son équipe, le Lab Gang, qui redoubla d'effort pour perfectionner au maximum le procédé et étoffer ainsi le portefeuille de brevets. En 1935, 32 brevets ont été déposés, dont 14 ont été pris au nom du chercheur de l'équipe l'ayant développé. Phil disait : je construis des hommes et non des gadgets.

Mais cette même année, la bataille juridique que lui avait déclarée RCA s'amplifiait (5). S'ajoutant à son travail, ces problèmes l'ébranlèrent, au bord de la dépression. C'était une stratégie des avocats de RCA qui en 1954 poussèrent au suicide Armstrong, inventeur de la modulation de fréquence.

En 1936, pour démontrer que le système était bien opérationnel, Phil aidé par Turner, construit un studio de télévision sur la colline de Wyndmoor, avec une antenne de 100 pieds permettant de couvrir Philadelphie. Il y avait même deux caméras de 441 lignes pour filmer les musiciens, chanteurs et danseurs.

La FFC accorda à la société une licence d'émission, n°W3XPF. Comme trois sociétés expérimentaient dans la région, Farnsworth, RCA et Philco, il y avait quelques dizaines de maisons équipées de récepteurs, chez les techniciens de ces sociétés. Le même phénomène des amateurs passionnés du début de la radio se reproduisait. Ils bricolaient leur récepteur de télévision.

Un article très élogieux parut dans l'hebdomadaire Colliers Magazine. Le service Paramount raconte l'histoire de l'homme qui a fait « *le rêve le plus fantastique de l'humanité sur le point de devenir une réalité.* »



yz Récepteur Farnsworth 1935

En 1938, c'est la création à Fort Wayne, Indiana de *Télévision et Radio Corporation Farnsworth*, où Phil attendant que ses récents brevets soient accordés se lance dans d'autres recherches (za).

Inventeur de la télévision

En mars 1939, c'est la fin du combat de David contre Goliath, les avocats de la puissante RCA capitulent et remettent discrètement à ceux d'un ancien paysan mormon de 33 ans un chèque de \$ 3 millions pour une licence d'utilisation pendant 10 ans, de ses brevets concernant la télévision (6).



C'était la reconnaissance définitive de Farnsworth, inventeur de la télévision, que le tribunal avait déclaré dès 1934, sur laquelle RCA avait fait appel, mais perdu en 1936. En avril s'ouvre l'exposition universelle de New York où Sarnoff, devant le pavillon de RCA, déclare à la seule caméra de télévision de l'exposition :

« *Et maintenant nous ajoutons la vision au son* ».

Il pouvait enfin exploiter son iconoscope, antérieur par les brevets de Farnworth.

Chacun des deux adversaires concluait avec ses propres règles de vie :

– Philo Farnsworth, avec l'esprit religieux des mormons : *Je sais que je n'ai jamais rien inventé. J'ai été un moyen par lequel ces choses ont été donné au savoir des hommes, aussi vite que le savoir pourrait les acquérir. Je donne tout le crédit à Dieu.*

– David Sarnoff, en buisnessman américain, avait fait une sérieuse entorse pour la première fois à sa règle d'or : *RCA ne paie pas de redevance de brevet, nous les recueillons.*

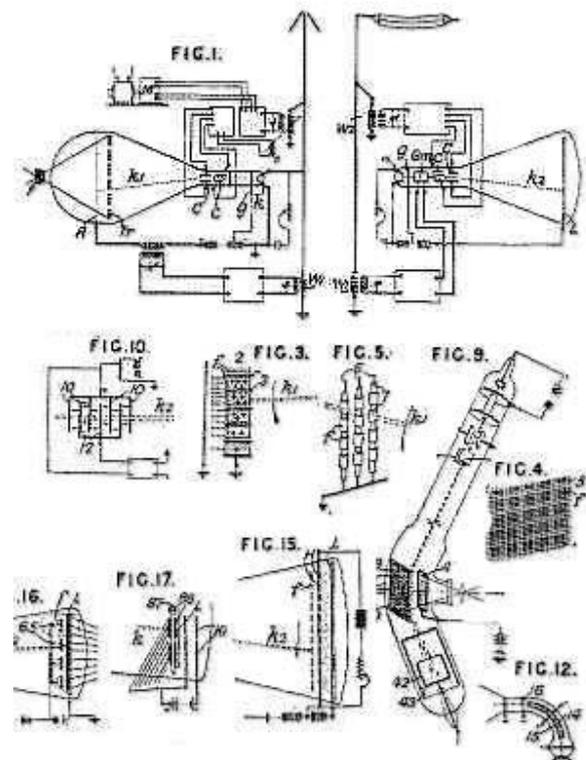
L'autre piste de télévision électronique.

Tihanyi

Ce physicien hongrois Kalman Tihanyi, inventeur productif, s'était aussi lancé sur un système de télévision tout électronique en 1926 qu'il breveta en 1928 en Allemagne, France et Angleterre, puis en Amérique. Le procédé adopté dans son Radioskop, inspiré par l'idée de Campbell Swinton, le précurseur, était une nette amélioration par rapport à celui-ci.

Le signal électrique envoyé au moment du balayage par le faisceau cathodique était plus puissant, par suite d'une accumulation de charges entre deux balayages. Ces charges résultaient d'électrons dits secondaires, phénomène parasite devenant utile (zb). Ce phénomène important fut ensuite dénommé stockage de charges.

Le dissector, procédé différent, utilisait directement comme signal électrique les électrons émis par le matériau photoélectrique. Il en résultait cependant un inconvénient, il nécessitait surtout au début, pour les scènes en studio, un très fort éclairage



zb

Brevet Tihanyi - 1928



ADX

?

Oh, fée électricité ! que ferions-nous sans toi ?

Fin du tome V et du livre

Pages 169 à 191 non reproduites