

Le photophone de Bell.

La Radiophonie.

Sous le nom de radiophonie on comprend la transmission et la reproduction des ondes sonores par voie téléphonique, au moyen des rayons lumineux. Cette action est basée sur les changements de capacité et de conductibilité électrique qu'éprouve le sélénium selon l'intensité de la lumière à laquelle il est exposé.

C'est le 27 août 1880 que le professeur Grahame Bell, présenté à Boston à l'American Association for the Advancement of Science, un rapport sur les résultats des expériences faites par lui et son ami Summer Fainter sur l'emploi du sélénium dans la téléphonie. Ce rapport peut se résumer ainsi :

On sait depuis longtemps, que du sélénium fondu et vivement refroidi est non conducteur de l'électricité, et prend une couleur vitreuse d'un brun foncé. Mais si l'on refroidit lentement le sélénium après l'avoir fondu, il prend une apparence métallique mate, couleur de plomb, et une structure cristalline; il devient en outre opaque, et, à la température ordinaire, conducteur de l'électricité. Sa résistance au courant électrique augmente toujours dans son passage de l'état solide à l'état liquide, et exposé à la lumière du soleil, le sélénium perd rapidement sa capacité conductrice.

Par suite des nombreuses recherches faites par divers expérimentateurs, on a reconnu que la résistance du sélénium contre le courant électrique varie considérablement suivant les différences de lumière qui le frappent, et en particulier W. Siemens a découvert que certains séléniums, sensibles aux influences de la lumière et de la chaleur, se conduisent tout à fait différemment par rapport au courant électrique, et que certaines plaques de sélénium ne donnent souvent, sous l'action de la lumière, que le cinquième de la résistance qu'elles possédaient dans l'obscurité.

Au lieu de se servir comme les autres chercheurs d'un galvanomètre, Bell, dans ses expériences sur le sélénium, employa un téléphone à l'aide duquel il put se rendre compte par l'ouïe de ces phénomènes, qui suivent les mêmes lois que celles qui régissent l'induction. Par une série de changements rapides de lumière et d'obscurité, il se produisit dans le sélénium des changements correspondants de conductibilité électrique, et l'on peut au moyen du téléphone comparer le nombre de ces changements dans l'unité de temps au nombre des vibrations de sons musicaux perceptibles par l'oreille. En outre il se présentait un fait, particulièrement favorable et observé par Bell, c'est que, même des courants électriques assez faibles, pour ne produire dans le téléphone, par une simple interruption ou fermeture du circuit, aucun son susceptible d'être entendu, font naître, par une suite rapide d'interruptions sur le sélénium, des sons parfaitement distincts, et que l'on peut d'autant mieux entendre qu'ils sont d'un degré plus élevé.

Bell chercha alors à téléphoner au moyen d'un faisceau de rayons lumineux parallèles. Il disposa à cet effet un appareil, dans lequel l'action de la voix produisait dans le faisceau des rayons lumineux des changements d'intensité correspondant aux ondes produites par la voix dans l'air ambiant.

Bell et Fainter eurent d'abord à se préoccuper de préparer des plaques de sélénium sensibles, pour former ce que l'on appelle la pile au sélénium ou batterie au sélénium, afin de pouvoir utiliser la particularité du sélénium dont nous avons parlé; ce premier travail, en raison de la très grande résistance que le sélénium oppose au passage du courant, n'était pas sans difficultés.

Pour diminuer cette résistance autant qu'il est possible, on ne peut employer le sélénium que sous la forme de petites feuilles, pour ainsi dire de peaux, extrêmement minces, car l'action du téléphone réuni à l'appareil radiophonique se trouve dérangée par des courants trop forts en tous cas, il était nécessaire ; que la résistance de la pile au sélénium, qui atteint sa plus grande force dans l'obscurité, ne dépassât pas 300 ohms, et que sous l'action d'une lumière intensive elle pût diminuer de moitié.

Les premiers essais qui furent tentés pour la solution de ce problème, et qui consistaient à appliquer entre deux plaques de platine ou de fer une mince pellicule de sélénium pour faciliter le passage du courant électrique, ne donnèrent aucun résultat, le sélénium n'ayant pu être mis en contact suffisant avec les surfaces métalliques. Bell et Fainter pensèrent enfin au lait, lequel, bien qu'il se produise du cuivre sélénié par action chimique, constitue une matière particulièrement propice à cet usage, précisément à cause de cette action chimique, qui produit le contact intime dont on a besoin.

Découvrons à travers la presse de l'époque les évolutions des travaux de Bell sur le Photophone.

Dans la revue **"L'Année scientifique et industrielle"** : ou Exposé annuel des travaux scientifiques, des inventions et des principales applications de la science à l'industrie et aux arts, qui ont attiré l'attention publique en France et à l'étranger, par **Louis Figuier**, on y lisait :

M. Graham Bell a justifié avec éclat la haute récompense que la France lui a accordée, en 1880, en lui décernant le **prix Volta**.

C'est, en effet, peu après la proclamation du prix décerné à M. Graham Bell que le physicien américain a fait connaître sa prodigieuse découverte du **photophone**.

Nous disons sa prodigieuse découverte. Il est impossible, en effet, de concevoir une plus brillante, une plus étonnante création que celle dont M. Graham Bell a enrichi la science en 1880. M. Graham Bell a fait parler la lumière.

Ces mots suffisent pour faire apprécier l'immense originalité, et en même temps la portée extraordinaire de cette découverte.

....

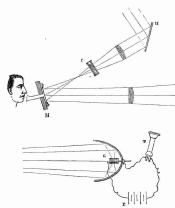
Dans les expériences qui ont été faites à Paris, à la fin du mois d'octobre 1880, dans les ateliers de M. Bréguet, les rayons du foyer électrique étaient reçus sur un réflecteur parabolique, qui les condensait tous en un même point : le foyer de ce miroir. C'est à ce foyer que se trouvait le fragment de sélénium à impressionner. Ce dernier faisait, comme précédemment, partie du circuit d'une pile et d'un téléphone ordinaire.

.... suit une brève description du système et ci dessous l'exposé de A Bréguet .

...

ANTHONY BRÉGUET.
lumière parallèle provenant d'une source extérieure se réfléchit en H et vient le récepteur obligatoirement, celui-ci s'écarte ou se concentre (*). L'intensité lumineuse qu'il perçoit à distance sur une surface donnée change à chaque instant. Le récepteur

Fig. 1.

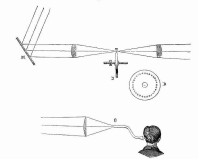


de sélénium R subit donc des variations incessantes dans sa résistance, variations correspondant à celles de la pression de l'air dans le tube transmetteur : ce qui revient à dire que la parole est transmise dans le téléphone récepteur. Le plan dans le circuit de la pile P et du sélénium R.

(*) Une zone d'air C se détache entre l'électrode et le sélénium, elle s'élargit ou se rétrécit d'après l'intensité des rayons lumineux qui frappent le sélénium récepteur.

PHOTOPHONE DE BELL.
M. Bell fait alors passer par ce genre de récepteur d'air d'abord d'un côté puis d'un autre, ce qui permet de transmettre la parole. Ce récepteur, en effet, de ce que la divergence et la convergence des rayons s'expliquent au fur et à mesure que la distance augmente. Mais ce dispositif a l'inconvénient d'être lent, on peut donc,

Fig. 2.



beaucoup de lumière, par le seul fait de la réflexion des rayons sur le miroir. Ainsi M. Bell eut l'idée d'employer une feuille flexible de verre recouvert de verre avec miroir pour être flexible et dans l'intensité de la lumière se trouve un liquide transparent. L'usage historique de la transmission à miroir se trouve dans celui-ci, nous voyons dire qu'il devient possible des effets d'un plus grand effet sur le récepteur de sélénium qu'il n'est de plus loin sur lui.

La fig. 3 représente l'expérience qui consiste à interrompre un rayon de lumière à l'aide d'un disque de phonographe tournant

ANTHONY BRÉGUET.
sans rapidité. C'est ce rayon interrompu que M. Bell a appliqué pour faciliter la langue, un rayon continu.

Les rayons parallèles provenant de la source lumineuse, du Soleil par exemple, se réfléchissent sur le miroir M et sont concentrés à l'aide d'une lentille en un foyer où se trouve le disque perforé D (l'opérateur se place au bas de la figure). A leur sortie du disque, ces rayons sont reçus sur une autre lentille, qui les rend de nouveau parallèles, elle de leur pénétration élastique avec le matériau porte possible le point récepteur. Dans ce dernier, une nouvelle lentille les force à converger au point O, où doit exister l'air ambiant.

Si l'on place en O une feuille d'étain mince, et qu'on y applique l'oreille, une note musicale sera perçue très distinctement. Recevons la lumière, une plus ou une feuille d'étain, mais sur l'oreille ouvert d'un tube quelconque, dans l'air extérieur une minuscule contre l'oreille (c'est l'expérience représentée dans la figure). La note se convertit par d'être entendue. Formons l'oreille libre du tube par une surface opaque absolument quelconque qui recouvre directement la lumière : aucune note. Enfin revenons directement dans le conduit ou l'oreille les rayons lumineux vibratoire, et nous entendons toujours la note, dont la hauteur dépend de la vitesse de rotation du disque perforé.

A vrai dire, les notes perçues dans ces expériences ne sont pas d'une très grande intensité, et il est nécessaire, pour les entendre, de se placer dans des conditions de grand silence.

Mais si, au lieu de ces tubes, de ces substances opaques, etc., on emploie du sélénium traversé par le courant d'une pile de 6 éléments Leclanché, et que l'on porte à son extrémité un téléphone ordinaire placé dans le circuit, l'intensité devient relativement considérable, et il n'est plus besoin, pour entendre l'expérience, de se mettre à l'abri des bruits extérieurs. M. Bell a pu de cette façon percevoir des sons musicaux dans un récepteur placé à plus de deux kilomètres de l'appareil transmetteur.

Cet appareil transmetteur est maintenant très simple, et la figure 4 est la seule à l'appliquer; mais nous devons décrire l'appareil récepteur, qui a été le point de M. Bell et de son collaborateur M. Tainter, un travail aussi intéressant de se présenter sous une forme satisfaisante.

PHOTOPHONE DE BELL. 313

Quelles sont les conditions que doit remplir le système proposé ?

Elles sont au nombre de deux :

1^{re} Le sélénium doit offrir à la lumière une surface aussi grande que possible.

2^e Le sélénium doit être traversé par le courant électrique, de manière à lui offrir une résistance très faible.

On voit donc que ces deux conditions sont presque contradictoires, comme il est facile de s'en rendre compte. En effet, si l'on considère un grand disque de sélénium, celui-ci présentera une grande surface à la lumière, s'il est façonné en forme de lame excessivement mince ; mais alors le courant qui le traverserait dans sa longueur rencontrerait une résistance considérable.

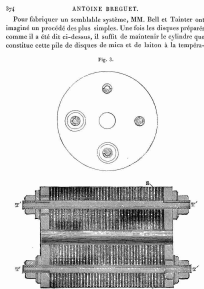
Au contraire, si deux électrodes de cuivre de même surface que la lame de sélénium la complètent entre elles, le courant traversant le sélénium d'une pôle à l'autre, s'écoulera dans une épaisseur très faible, et par conséquent sans rencontrer une résistance sensible ; mais, dans ce cas, la surface à l'éclairement sera réduite à son minimum, puisque les électrodes occuperont toute la surface du sélénium et que sa tranche seule sera exposée au jour.

MM. Bell et Tainter sont parvenus à résoudre simultanément ces deux conditions de la manière suivante.

Récepteur cylindrique (fig. 3). — Il se compose d'une série de disques minces de laiton et de mica serrés les uns contre les autres. Les disques de mica sont d'un diamètre un peu plus faible que ceux de laiton, et la différence est comblée par du sélénium S (représenté en noir sur la fig. 3).

Le sélénium se présente donc sous la forme de petits anneaux, très peu épais, en contact direct avec les deux disques de laiton qui les limitent, selon les géométriques du cylindre.

Les disques de laiton pairs sont tous en communication avec l'un des électrodes TT, et les disques impairs sont en communication avec l'autre électrode TT. De cette manière, le courant passant en quantité sur les anneaux de sélénium et ne rencontrant par là que une résistance extrêmement faible. On voit, en outre, que la surface existante de sélénium est considérable, ou figuré à sa mesure. Ce sont précisément les conditions qu'il fallait réaliser.



ture où le sélénium commence à se fonder. On trouve alors sur sa surface un corpus de ce métal fondu, tel qu'on le trouve dans les comètes, et, par cette opération, le sélénium se fonde dans les cavités annulaires provenant de la différence des diamètres du laiton et du mica.

5

6

PHOTOPHONE DE BELL. 315

Il suffit ensuite d'élever graduellement le récepteur jusqu'à ce que l'arc métallique du sélénium disparaisse et fasse place à une surface mate d'un gris ardoise. On retire le large anneau, on le lave soigneusement, et le récepteur est prêt à fonctionner.

La résistance totale est égale à celle d'un fil de laiton dans l'axe du sélénium et à deux fois la largeur du joint.

La sensibilité d'un petit récepteur est tellement grande, que, dans les expériences que nous avons faites en plein air (1), nous avons obtenu par une seule parole à l'aide du photophone et du téléphone, lorsque la lumière électrique éclairait les anneaux de sélénium après s'être réfléchi sur une substance chimique quelconque, celle qu'une feuille de papier, un mouchoir, etc. La lumière d'une bougie suffisait encore à impressionner le sélénium.

Le rapport de la surface de sélénium à la surface totale du cylindre est égal à 0,10.

Le photophone permet une fois de plus que toute cause capable de modifier les propriétés électriques des corps peut servir à modifier un téléphone articulant.

Ces modifications peuvent venir de la force électromotrice ; plus aucune pile, aucune énergie extérieure ne sera mise à contribution ; c'est le cas du téléphone de Bell et le cas du téléphone à résonance.

Elles peuvent venir de la capacité des corps, et, dans ce cas, aucune réserve d'énergie extérieure ne serait nécessaire. Il n'est pas d'ailleurs de téléphone finit sur les variations de capacité, bien que les sons sont déformés dans ce sens par plusieurs phénomènes.

Elles peuvent encore venir de la résistance des corps ; alors il est indispensable d'introduire un courant électrique, c'est-à-dire une énergie extérieure, dans le système : c'est le cas du microphone, du téléphone d'Edison, et c'est le cas aussi du photophone sujet de cette étude.

(1) Nos expériences se font en ce moment à l'école de physique de la Sorbonne.

7, cliquez pour agrandir chaque page.

Le dispositif permettait la transmission du son sur un faisceau lumineux. Bell croyait que le photophone était son invention la plus importante « la plus grande invention que j'aie jamais faite, plus grande que le téléphone ». L'idée du photophone était donc de moduler un faisceau lumineux : l'éclairement variable résultant du récepteur induirait une résistance variable correspondante dans les cellules au sélénium, qui étaient ensuite utilisées par un téléphone pour régénérer les sons captés au niveau du récepteur. La résistance électrique du sélénium cristallin varie inversement avec l'éclairage qui lui tombe dessus, c'est-à-dire que sa résistance est plus élevée lorsqu'il est dans l'obscurité et plus faible lorsqu'il est exposé à la lumière.

[Télécharger le brevet 235 496 du 14 dec 1880](#) Alexander Graham Bell; Sumner Tainter

La Nature de 1880 y consacre aussi un article sur le Photophone ...et c'est dans le Journal Télégraphique de 1886 que la publication de A Bréguet sera la meilleure.

1886 le "Journal Télégraphique"

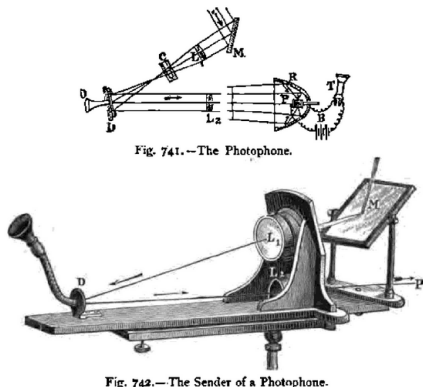
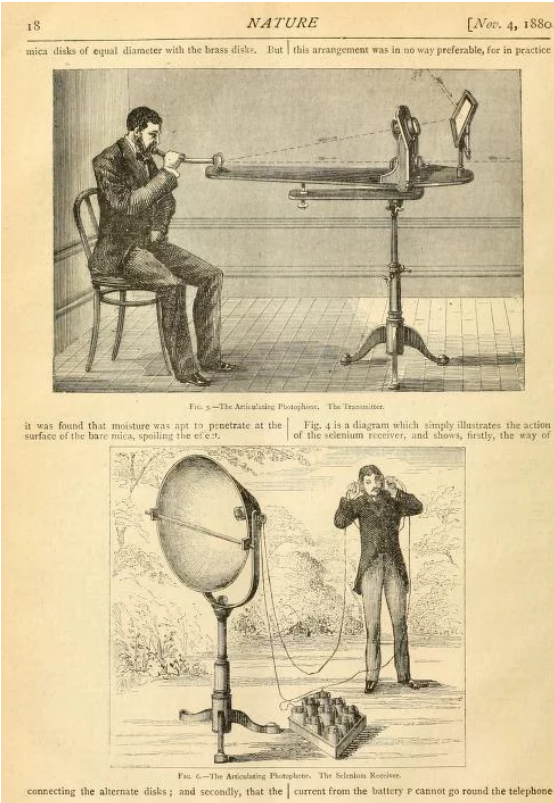
Transmettre électriquement le son et la parole sans autre conducteur que des rayons de lumière, tel est le merveilleux problème dont M. le Professeur Bell a donné récemment la solution à l'Association américaine pour l'avancement des sciences.

Parmi les nombreux articles que cette intéressante communication a provoqués dans les journaux spéciaux, celui que M. Antoine Bréguet a publié dans la Revue scientifique du 25 Septembre dernier nous paraît donner une des descriptions les plus claires et les plus complètes du principe et des procédés imaginés par M. Bell. Nous le reproduisons ici avec l'autorisation de l'auteur.

Alexander GraJiam Bell, le célèbre inventeur du premier téléphone articulant, a fait, il y a peu de temps, au dernier meeting de l'Association américaine, une communication du plus haut intérêt. Sa découverte consiste dans un instrument appelé par lui **Photophone**, parce qu'il sert à transmettre les sons par l'intermédiaire d'un rayon lumineux. Tandis que le téléphone ordinaire nécessite des conducteurs métalliques pour joindre entre elles les deux stations en correspondance, le Photophone récepteur est tout-à-fait indépendant de son transmetteur. Il suffit qu'un faisceau de lumière puisse traverser l'espace d'un poste à l'autre sans rencontrer aucun obstacle opaque.

Encore verrons-nous que cette condition n'est pas rigoureusement absolue, et que certaines natures d'écran n'empêchent pas toujours les communications verbales de s'établir.

Le principe sur lequel est fondé le photophone est déjà connu depuis plusieurs années.



C'est à M. Willoughby Smith que revient l'honneur de l'avoir découvert. Le 12 Février 1873, ce physicien annonçait à la Société des ingénieurs télégraphistes de Londres que le **sélénium** présente une résistance bien plus faible au passage du courant électrique, lorsqu'il est exposé à la lumière, que s'il se trouve dans l'obscurité. De là à imaginer un

appareil téléphonique mettant à profit ce singulier phénomène, il n'y avait pas loin, et, en réalité, la pensée en vint à plusieurs personnes presque simultanément. Nous citerons entre autres M. Adriano Paiva, professeur à l'Académie de Porto ; M. Senlecq, d'Ardres, etc.

Mais, avant d'examiner avec quelque détail les projets, plus ou moins heureux, de ces divers savants, il n'est pas sans intérêt de reprendre la question du plus haut et de faire ici une histoire sommaire du sélénium.

C'est en 1817 que Berzélius et Gottlieb Gahn découvrirent ce métalloïde, à Gripsholm, en cherchant à préparer de l'acide sulfurique au moyen des pyrites de fer. Ils constatèrent, dans l'acide obtenu, la présence d'une substance d'un rouge tirant sur le brun clair qui, soumise à la flamme du chalumeau, dégageait une odeur .analogue à celle du tellure. Berzélius crut pendant quelque temps qu'il pourrait, par ce procédé, isoler ce dernier corps ; mais il n'y parvint pas. Il prépara alors une plus grande quantité du nouveau produit et put en extraire des sulfures de mercure, de cuivre, de zinc, de fer, d'arsenic et de plomb, mais jamais aucune trace de tellure. Il ne se rebuta point et acquit enfin la conviction qu'il était en présence d'un nouveau corps simple qui offrait avec le tellure de grandes analogies comme propriétés chimiques. Pour marquer cette parenté, il appela le corps qu'il venait de préparer, sélénium le mot tellure venant lui-même de tellus, terre.

Bien que, à beaucoup d'égards, le sélénium et le tellure aient souvent le même rôle, chimiquement parlant, ces deux métalloïdes offrent une grande dissemblance si l'on examine leurs propriétés électriques. Le tellure est un excellent conducteur de l'électricité ; le sélénium est, comme Berzélius l'avait montré, une substance isolante.

Knox remarque pourtant, en **1837**, que le sélénium devient conducteur lorsqu'il est fondu à l'aide de la chaleur. **Hittorff**, en **1852**, montre que, même à des températures ordinaires, son pouvoir conducteur devient appréciable s'il se trouve sous une de ses formes allotropiques. Quand il est brusquement refroidi à partir de son point de fusion, il est isolant; alors la forme qu'il affecte est la forme vitrée, amorphe ; sa couleur est brun foncé, noire à la lumière réfléchie, et sa surface est extrêmement brillante. En lames minces, il est transparent et paraît, à la lumière transmise, d'un magnifique rouge de rubis.

Lorsque le sélénium est refroidi, au contraire, avec ménagement, ses caractères physiques sont tout autres. Sa couleur rappelle colle du plomb, sa structure est cristalline et ressemble à celle d'un métal. C'est sous cette forme que Hittorff l'a trouvé conducteur de l'électricité aux températures ordinaires. Il trouva aussi que sa résistance électrique subissait une décroissance continue lorsqu'on le chauffait jusqu'à la fusion, et que cette résistance s'accroissait brusquement au passage de l'état solide à l'état liquide. On savait déjà que le sélénium, exposé aux rayons du soleil, passe de l'une de ses formes allotropiques à l'autre, — et cette observation présente quelque importance pour ce qui nous reste à dire.

Le sélénium était déjà connu depuis soixante ans environ et n'avait pu trouver à s'utiliser à aucun titre dans les arts. C'était une simple curiosité chimique. On le préparait en crayons cylindriques, la plupart du temps à l'état amorphe, c'est-à-dire la forme sous laquelle il est isolant.

M. **Willoughby Smith** crut que, en raison de sa grande résistance, cette substance pourrait lui rendre service dans un mode d'épreuve des câbles sous-marins qu'il avait imaginé. Ses expériences lui montrèrent qu'en effet cette résistance était considérable. Quelques crayons de sélénium accusaient une résistance de 1400 mégohm. —C'était l'équivalent d'une ligne télégraphique de fil de fer de 4 millimètres de diamètre qui unirait la terre au soleil ! — Mais il fut reconnu que cette résistance était singulièrement variable, et on voulut trouver la cause de cette bizarrerie. Ce fut alors que M **May, préparateur** [de M-Willoughby Smith, découvrit que le sélénium était plus conducteur à la lumière que dans l'obscurité.

Afin de s'assurer que c'était bien un effet de la lumière et que la température ne jouait aucun rôle dans ce phénomène, le sélénium fut entouré d'eau et les rayons lumineux ne l'atteignaient qu'après avoir traversé plusieurs centimètres de liquide. Même dans ces conditions, la simple approche d'une bougie allumée produisait une déviation relativement considérable de l'aiguille d'un galvanomètre dont le circuit comprenait une pile et la barre de sélénium. La lumière du magnésium en combustion réduisait la résistance totale à la moitié de sa valeur. .

Au premier abord, ces résultats si inattendus rencontrèrent dans le monde savant, sinon de l'incrédulité, au moins quelque peu de scepticisme. Mais ils ne tardèrent pas à être confirmés par les travaux du lieutenant Sale, de Draper, de Möss et de plusieurs autres physiciens.

M. **Sale** soumit le sélénium aux différentes radiations spectrales et observa que l'effet maximum se produisait au maximum de température. Mais M. **Adams** du King's Collège reconnut au contraire que le maximum a lieu en pleine lumière, c'est-à-dire en pleine radiation jaune verdâtre.

Lord Eosse, voulant élucider la question, plaça une barre de sélénium et une pile thermo-électrique dans des conditions identiques, afin de voir si la chaleur les influencerait de la même manière. Il les soumit à l'action de la chaleur obscure émanant de corps chauffés ; il interposa, entre la source lumineuse et le sélénium, une cuve d'alun qui devait arrêter au passage les rayons calorifiques. Dans le premier cas, le galvanomètre montrait que la pile seule était influencée; dans le second cas, c'était au contraire le sélénium. La question était tranchée. M. Adams constata, en outre, que la lumière froide de la lune impressionnait le sélénium, et M. **Werner Siemens** découvrit même que certaines espèces particulières subissaient quelquefois des effets opposés de la part de la lumière et de la chaleur. Le même électricien put préparer un échantillon de sélénium dont la résistance variait de 15 à 1 lorsqu'il le faisait passer de l'obscurité à une vive lumière.

M. **Werner Siemens** eut l'idée de profiter de cette propriété pour **réaliser un photomètre** d'un nouveau genre et d'une trèsgrande sensibilité.

Le jeu en est aisé à comprendre. Un courant constant traversait, d'une manière continue, à la fois une tige de sélénium et un galvanomètre. Lorsque la lumière tombait sur le sélénium, sa résistance diminuait et, par suite, l'intensité du courant augmentait. L'aiguille du galvanomètre était alors déviée, et l'on conçoit qu'il soit possible de graduer empiriquement un tel instrument afin de savoir qu'une déviation de tant de degrés représente une lumière de tant de becs Carcel. M. Siemens construisit encore un œil artificiel dont les paupières s'abaissaient à la lumière et s'ouvraient dans l'obscurité et dont on peut trouver la description dans la Revue scientifique du 2 Septembre 1876.

Les applications Commençaient.

De plusieurs côtes, on Imaginait à la fois des dispositions qui n'étaient, il faut l'avouer, que rarement mises à exécution, pour résoudre un autre problème des plus attrayants. Il s'agissait de faire pour la vue ce que le téléphone avait fait pour le son. Il fallait trouver le moyen de voir électriquement de Paris ce qui se passe au même moment aux antipodes !

Les gens confiants dans l'électricité — et il n'en manque pas, — se mirent à la besogne et se torturèrent l'esprit pour arrivera découvrir la solution si désirée:

Il serait certainement malaisé de démontrer qu'un tel problème est insoluble, et, à vrai dire, il n'est pas probable qu'il le soit. Mais il est difficile, à n'en pas douter, et les solutions ne furent pas trouvées.

Ces recherches donnèrent lieu pourtant à d'ingénieuses idées, qui méritent d'être mentionnées. M. **Adriano de Paiva** fut le premier peut-être à songer à une application de cette nature. Un journal américain avait annoncé l'apparition d'un certain **Télectroscope** fondé, comme le téléphone, sur la transmission électrique.

Il se compose, dit l'article en question, de deux chambres, placées l'une au point de départ, l'autre au point d'arrivée. Ces chambres sont reliées entre elles par. des fils métalliques convenablement (!) combinés. La paroi antérieure et interne de la chambre de départ est hérissée de fils imperceptibles dont l'extrémité apparente forme, parleur réunion, une surface plane. Si l'on place devant cote surface un objet quelconque, et si les vibrations lumineuses, répondant aux détails des formes et des couleurs de cet objet, sont saisies par chacun des fils conducteurs et transmises à un courant électrique, elles se reproduisent identiquement à l'extrémité de ces fils.

Cette note, évidemment, ne signifiait pas grand'chose, sinon que le germe d'une idée nouvelle était dans l'air. Il est aisé de décrire des appareils en parlant de conducteurs convenablement combinés, et notre conviction est que cette soi-disant invention n'a jamais reçu le moindre commencement d'exécution. Néanmoins M. A. de Paiva, y mettant du sien, la rendit un peu moins irréalisable en lui donnant un point d'appui scientifique, tiré justement des propriétés du sélénium. Une plaque de sélénium formait la plaque sensible. .

Ce corps (*La Téléscopie électrique basée sur l'emploi du sélénium*) par A. de Paiva), dit l'auteur, jouit d'une propriété récemment découverte. Interposé dans le circuit d'un galvanomètre et d'une pile, il fait dévier l'aiguille d'une manière notable, toutes les fois qu'un faisceau lumineux vient tomber sur lui. Ces déviations sont d'ailleurs différentes sous l'influence des diverses radiations du spectre, comme le montrent les nombres suivants **Couleurs. Déviations** :

Ultra-violet 139

Violet 148

Bleu 158

Jaune 178

Bouge 188

Ultra-rouge 180

Evidemment, l'appareil de M. de Paiva présentait d'immenses difficultés d'exécution, peut-être insurmontables dans l'état actuel de la science ; mais enfin l'idée première pouvait se défendre.

M. Senlecq, d'Ardres, avait songé à un **Télectroscope** moins ambitieux, puisqu'il n'aurait transmis au loin que des dessins exécutés à la main, en quelque sorte, et non, directement, des panoramas naturels. Mais, par contre, l'invention semblera plus réalisable. On va en juger.

Cet appareil serait basé sur cette propriété qui posséderait le sélénium d'offrir une résistance électrique variable et très-sensible selon les différentes gradations de lumière. L'appareil consisterait dans une chambre noire ordinaire contenant au foyer une glace dépolie et un système de transmission de télégraphe autographique quelconque. La pointe traçante du transmetteur destinée à parcourir la surface de la glace dépolie serait formée d'un morceau de sélénium maintenu par deux ressorts faisant pince, communiquant l'un avec la pile, l'autre avec la ligne. La pointe de sélénium fermerait le circuit. En glissant sur les surfaces plus ou moins éclairées de la glace dépolie, cette pointe communiquerait, à des degrés différents et avec une grande sensibilité, les vibrations de la lumière.

Le récepteur aurait également une pointe traçante en plombagine ou en crayon très-tendre, reliée à une plaque très mince de fer doux maintenue à peu près comme dans téléphones Bell, et vibrant devant un électro-aimant gouverné par le courant irrégulier émis dans la ligne. Ce crayon, appuyant sur une feuille de papier disposée de manière à recevoir l'impression de l'image produite dans la chambre noire, traduirait les vibrations de la plaque métallique par une pression plus ou moins accentuée sur cette feuille de papier.

La pointe traçante en sélénium parcourrait-elle une surface éclairée, le courant augmenterait d'intensité, l'électroaimant du récepteur attirerait à lui avec plus de force la plaque vibrante, et le crayon exercerait moins de pression sur le papier. Le trait, alors formé, serait peu ou point apparent. Le contraire se produirait si la surface était obscure, car la résistance du courant augmentant, l'attraction de l'aimant diminuerait le crayon, pressant davantage le papier, y laisserait un trait plus noir.

Cette description ne laisse-t-elle pas, en effet, peu de chose à désirer au point de vue scientifique ?

Ce téléscopie ne paraît pas aujourd'hui plus prodigieux que ne paraissait le téléphone de Bell, lorsqu'il ne nous était encore connu que par les premières descriptions.

Il n'a pas tenu cependant les promesses que son inventeur en attendait. Le silence s'est fait sur lui, et ni M. Senlecq, ni d'autres personnes qui avaient eu des idées analogues à la sienne n'ont mis le public à même d'expérimenter un instrument achevé.

Nous arrivons maintenant au photophone de Graham Bell.

Si le sélénium y est toujours mis à contribution comme dans les appareils précédents, le but est pourtant loin d'être le même. Bell n'a eu qu'un objectif: construire un téléphone qui n'eût pas besoin de conducteurs.

Le problème a déjà de quoi tenter, — et il paraît qu'il est, dès à présent, résolu d'une manière tout-à-fait satisfaisante.

Tous les savants qui avaient étudié le sélénium, MM. Willoughby Smith, Sale, Draper, Moss, Adams, Kosse, Day, Sabine, Siemens, s'étaient tous servis du galvanomètre. **Bell pensa à lui substituer son téléphone.**

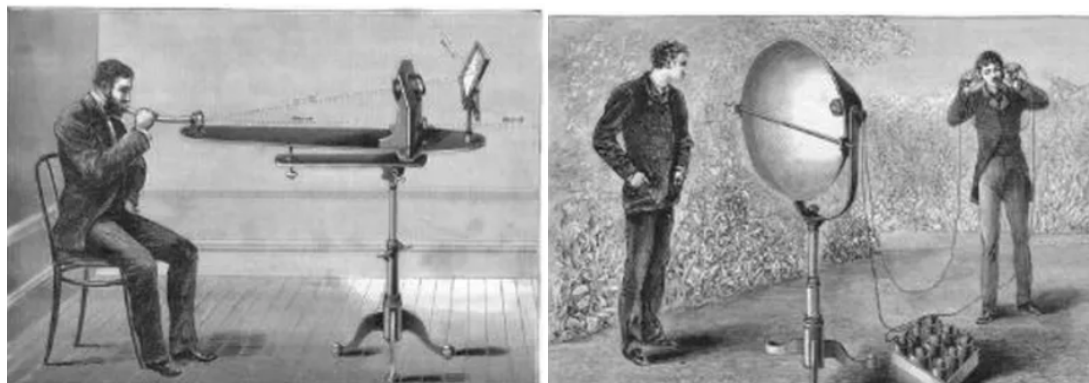
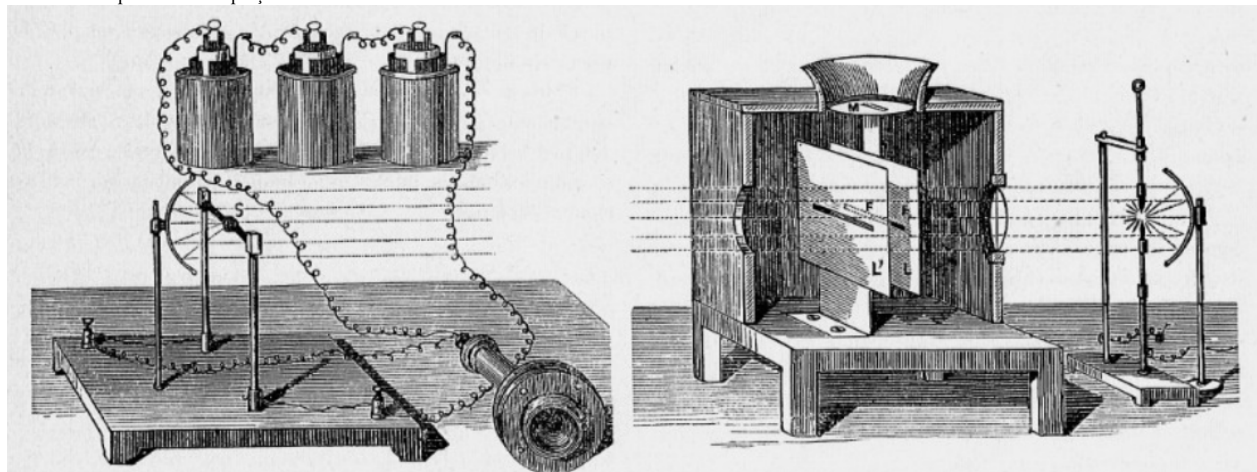
Mais, ainsi qu'on le sait, ce téléphone ne peut accuser que des variations de courant et non pas l'existence de courants continus si puissants qu'ils soient. C'est seulement lorsque le courant devient plus fort ou plus faible, que la membrane de fer s'abaisse ou se relève et rend un son.

Si donc on veut constater la présence d'un courant dans un circuit téléphonique, il faut interrompre ce courant un grand nombre de fois pendant un temps très-court, de manière à produire une suite de courants intermittents. Au lieu d'interruptions, de simples modifications dans l'intensité du courant impressionnent aussi le récepteur, quoiqu'à un moindre degré. Ajoutons que des courants, trop faibles pour être révélés par le téléphone lorsque le circuit est coupé et rétabli une seule fois, deviennent perceptibles lorsque les ouvertures du circuit se répètent fréquemment à court intervalle.

Afin de rendre sensibles les propriétés du sélénium à l'aide de son appareil, Bell disposa son expérience comme il suit: un crayon de sélénium fut traversé par le courant continu d'une pile et placé dans le circuit d'un téléphone articulant.

On faisait tomber sur le sélénium un rayon de lumière éclipsé un grand nombre de fois dans l'espace d'une seconde, autrement dit une série d'émissions lumineuses successives et très-rapprochées. Chacune de ces émissions causait une variation dans la résistance du sélénium, et par suite, dans l'intensité du courant dont le circuit était le siège. Le téléphone qui se trouvait placé dans ce circuit subissait donc des alternatives d'aimantation correspondantes.

S'il se produit de la sorte 435 éclairs, 435 variations de courant s'ensuivront et la plaque du téléphone récepteur exécutera 435 vibrations, c'est-à-dire la note LA du diapason normal. Cette disposition pourra donc servir à transmettre les sons musicaux. Il reste à savoir si le timbre de ces sons peut aussi se transmettre ou, ce qui revient au même, si la voix humaine peut être ainsi perçue avec toutes ses finesses.



Pour y parvenir, Bell dispose deux petites lames voisines et parallèles L, L' percées de fentes étroites FF absolument en regard l'une de l'autre, de manière qu'un faisceau lumineux puisse les traverser librement.

L'une de ces lames L est solidaire d'un support fixe, tandis que l'autre dépend d'une membrane téléphonique mince M à laquelle elle est perpendiculaire.

Lorsqu'on parle contre une membrane, celle-ci vibre et entraîne la lame dans tous ses mouvements. Mais alors les deux fentes cessent d'être en regard et le faisceau lumineux se trouve éclipsé à certains instants, en entier ou en partie.

En somme, ce faisceau subit constamment, dans son intensité, des variations qui correspondent rigoureusement aux diverses amplitudes des vibrations de la membrane. C'est ce que Bell appelle un rayon de lumière ondulatoire. Voilà pour la station transmettrice.

A l'autre station, séparée de la première par une distance quelconque, on a disposé l'appareil récepteur qui se compose du sélénium, de la pile et du téléphone articulant. Le rayon ondulatoire dirigé sur le sélénium l'impressionne à chaque instant en raison de son intensité. Il s'ensuit des variations ondulatoires de la résistance du métal et des

vibrations correspondantes dans le téléphone.

En un mot, on entend par ce téléphone les paroles prononcées vis-à-vis de la membrane de la première station.

Début mars 1880 M. Bell cite une expérience faite à la distance de 213 mètres.

Son aide **M. Tainter** se trouvait dans les combles de la maison d'école de **Franklin, à Washington**, et le système récepteur était placé à la fenêtre de son laboratoire, 1. . . . street. Il raconte avoir entendu distinctement les paroles suivantes, en plaçant le téléphone à son oreille:

« Mr. Bell, if you hear what I say, come to the window and wave your liât. »

(Monsieur Bell, si vous entendez ce que je vous dis, venez à la fenêtre et agitez votre chapeau.)

En présence d'une relation aussi précise, il n'y a plus qu'à s'incliner et croire, tout miraculeux que puisse paraître le **photophone**.

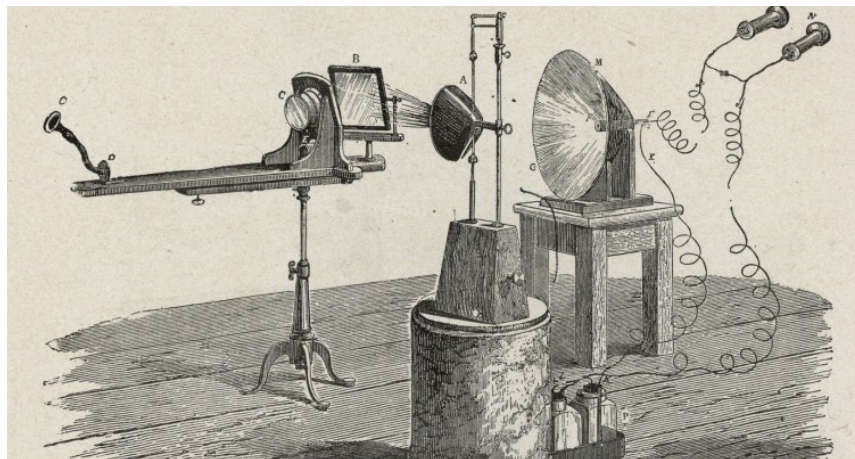
Mais pour en arriver là, Bell a rencontré un certain nombre de difficultés dont il a dû commencer par triompher.

Lorsqu'il entreprit l'ordre de recherches qui vient de le conduire à un si magnifique résultat, il reconnut que le sélénium possédait une résistance de beaucoup supérieure à celle de ses téléphones, ce qui constituait un premier obstacle à une bonne réussite. Il dut s'occuper de réduire cette résistance et de construire des téléphones en rapport avec les conditions nouvelles qui s'imposaient à lui.

Cette grande résistance provenait, paraît-il, de deux causes distinctes : on premier lieu, de la forme physique du sélénium, et, en second lieu, de la nature du métal en contact direct avec lui.

Bell réussit à modifier quelque peu la forme cristalline et put ainsi réduire la résistance d'un même échantillon de 250 000 ohms à 300 ohms (dans l'obscurité). Au jour, la résistance baissait encore à 155 ohms.

Ces premiers progrès le mirent à même d'**annoncer à l'Institution royale de la Grande Bretagne, dans la séance du 17 Mai 1878**, qu'il était possible d'entendre l'ombre et la lumière au moyen du sélénium !



C'était en général de platine qu'on se servait pour prendre contact sur le sélénium afin de compléter le circuit. Bell reconnut qu'il est impossible d'obtenir un bon contact dans ces conditions et il a augmenté la conductibilité de ces points d'attache en se servant de laiton. Il suppose qu'il s'exerce entre le sélénium et le laiton une action chimique favorable à l'intimité de leur contact. Il compare le sélénium fondu à l'eau qui ne touche réellement bien que les substances qu'elle mouille et non les substances grasses.

La préparation qui permet d'obtenir le sélénium à l'état de conductibilité convenable consiste à le soumettre à la chaleur d'un four à gaz. On observe l'aspect de sa surface et il arrive un moment où celle-ci se ternit comme par une buée et qu'elle prend une apparence métallique et cristalline. Alors on retire le sélénium du four et on le laisse se refroidir au dehors. L'opération dure quelques minutes au tout, et il n'est pas besoin, en réalité, d'opérer le refroidissement avec lenteur, comme l'avaient recommandé les précédents expérimentateurs.

Vu au microscope, le sélénium obtenu de cette manière offre l'aspect de « plaques de neige grisâtres sur un sol de rubis ».

Si l'action de la chaleur avait été prolongée, le microscope aurait montré comme une foule de cristaux pris en masse, analogues aux basaltes.

Préparé ainsi, le sélénium présente la conductibilité désirable. Mais il est une autre condition non moins importante qu'il est nécessaire de réaliser. Le sélénium ne doit pas seulement être bon conducteur, il doit encore être sensible aux influences les plus rapides, les plus courtes de la lumière ; car, s'il exigeait un temps appréciable, mesurable pour mieux dire, pour modifier sa résistance sous l'action d'un rayon lumineux, il aérait impuissant à traduire toutes les nuances incessamment variables de ce dernier, et le timbre au moins, si ce n'est la note elle-même, ne pourrait en aucune façon se transmettre. L'impression lumineuse est, sans nul doute, superficielle. Il faut donc tailler le sélénium suivant des formes qui présentent une surface immense eu égard à leur masse. C'est ce à quoi M. W. Siemens avait déjà songé lorsqu'il préparait pour ses expériences le sélénium en forme de spirale plane très mince et très-resserrée.

Plus de cinquante appareils de genres différents ont été expérimentés par Bell, à seule fin de produire des variations d'intensité dans un faisceau lumineux. Nous en passerons quelques-uns en revue.

Tout d'abord, on doit remarquer que la source de lumière peut être directement influencée de manière à augmenter ou diminuer son intensité.

C'est ce qu'on pourrait faire, par exemple, en agissant sur le robinet d'un conduit de gaz. On pourrait aussi agir sur un rayon lumineux d'intensité constante à l'aide d'un écran qui masquerait ou démasquerait la lumière en un point quelconque de son parcours.

C'est ce dernier procédé qui a paru le plus commode. Mais il donne lieu lui-même à de nombreux dispositifs très-différents les uns des autres.

La lumière pourrait encore être polarisée, et, dans ce cas, on la modifierait par des influences magnétiques ou électriques à la façon de Faraday.

Une autre méthode consisterait à faire passer la lumière à travers une lentille à foyer variable comme celle du docteur Cusco.

Mais la meilleure disposition, parmi toutes celles qui ont été essayées, consiste à faire réfléchir le faisceau lumineux sur un miroir plan et flexible tel qu'une feuille de mica argenté ou de verre mince. On parle alors contre ce miroir et ce sont ses propres vibrations qui modifient constamment la direction du rayon réfléchi.

Quant à la source de lumière, on s'est servi du soleil dont les rayons, concentrés à l'aide d'une lentille sur le miroir, étaient rendus parallèles par une autre lentille aussitôt après leur réflexion. Mais les transmissions se produisent également lorsqu'on emploie un foyer électrique et même une lampe à gaz ou à pétrole.

A l'arrivée, les rayons étaient reçus dans un réflecteur parabolique qui les obligeait tous à concourir au même point, son foyer, où se trouvait placé le fragment de sélénium à impressionner. Comme précédemment, ce dernier faisait partie du circuit d'une pile et d'un téléphone ordinaire.

Bell a cherché à déterminer la nature des radiations en jeu dans ces phénomènes si remarquables II a, à cet effet, disposé ses expériences d'une manière un peu différente de celle que nous venons de décrire.

Les éclipses successives de lumière étaient produites à l'aide d'un disque ordinaire du phénakistoscope, c'est-à-dire d'un disque percé de fenêtres sur tout son pourtour et animé d'un mouvement rapide de rotation. Les sons obtenus ainsi dans le téléphone récepteur avaient une intensité relativement considérable. Si la vitesse de rotation était assez grande et uniforme, on entendait une certaine note, toujours la même ; si la vitesse augmentait, le son s'élevait, et si la vitesse diminuait, le son s'abaissait. En plaçant la main sur le trajet de la lumière, aucun bruit n'était plus perçu. Si la main obturait le faisceau lumineux à des intervalles déterminés correspondant à une et deux secondes, par exemple, on entendait des bruits brefs ou prolongés comme ceux qui dans les parleurs télégraphiques correspondent aux signaux de l'alphabet Morse.

Voilà, en passant, une ingénieuse application du photophone à la télégraphie ordinaire.

Les choses ainsi disposées, diverses substances absorbantes furent placées sur le trajet du pinceau lumineux. On reconnut de cette façon qu'une solution d'alun ou de sulfure de carbone n'affaiblissait que dans une faible mesure l'intensité des sons, tandis que du sulfure de carbone contenant de l'iode en dissolution les arrêtait d'une manière presque absolue. Les écrans opaques semblent devoir arrêter également toute espèce de transmission ; cependant M. Bell affirme qu'une feuille mince de caoutchouc placée entre la source de lumière et le disque tournant n'empêche pas complètement le phénomène sonore de se produire, bien que l'on paraisse agir sur un faisceau obscur.

Il serait prématuré, sans de nouvelles et nombreuses expériences, de se prononcer sur la nature de ces radiations efficaces, quoique obscures ; mais il est difficile de mettre en doute leur influence, puisque le photophone a fonctionné malgré un écran composé de deux feuilles de caoutchouc séparées l'une de l'autre par une cuve d'alun en dissolution

saturée.

Nous n'en avons pas fini avec les faits surprenants que nous révèle M. Bell.

Si l'on fait tomber sur une feuille de caoutchouc le rayon de lumière rendu vibratoire, pour ainsi dire, par le disque perforé, cette feuille de caoutchouc rend un son, comme il est facile de s'en assurer on en approchant l'oreille.

Le sélénium taillé en lame mince jouit encore de la même propriété — et non seulement le sélénium — mais encore l'or, l'argent, le platine, le fer, l'acier, le laiton, le cuivre, le zinc, le plomb, l'antimoine, le maillechort, les alliages de Jenlir et de Babbitt, l'ivoire, le celluloid, la gutta-percha, le papier, le parchemin, le bois, le mica et le verre argenteux !

Les seules substances absolument réfractaires ont été le charbon et le verre mince, et pourtant M. Bell pense qu'il est là en présence d'une propriété nouvelle et générale des corps. Il pense que toute espèce de substance est capable de rendre un son sous l'action d'une lumière scintillante. Il affirme avoir entendu des sons suffisamment nets à travers des tubes de caoutchouc, de laiton et de bois qui, d'abord éclairés par la lumière du soleil, étaient tout à coup plongés dans l'obscurité.

Vraiment, si l'on n'avait pas affaire à Bell, à l'inventeur de ce téléphone auquel personne ne croyait avant son apparition, on serait en droit de refuser toute créance à la communication qu'il vient de faire au congrès de Boston.

Le photophone prouve une fois de plus que toute cause capable de modifier les propriétés électriques des corps peut servir à réaliser un téléphone articulante.

Ces modifications peuvent viser la force électromotrice, — alors aucune pile, aucune énergie extérieure ne sera mise à contribution ; — c'est le cas du téléphone de Bell et le cas du téléphone à mercure.

Elles peuvent viser la capacité des corps, et, dans ce cas, aucune dépense d'énergie extérieure ne serait nécessaire. Il n'existe pas d'ailleurs de téléphone fondé sur les variations de capacité, bien que des essais aient été tentés dans ce sens par plusieurs physiciens.

Elles peuvent encore viser la résistance des corps, — alors il est indispensable d'introduire un courant électrique, c'est-à-dire une énergie extérieure dans le système ; — c'est le cas du microphone, du téléphone d'Edison, et c'est le cas aussi du photophone sujet de cette étude.

Mais si ces divers procédés rendent possible la transmission ou la reproduction de la voix humaine, c'est aussi grâce à la délicatesse prodigieuse de notre ouïe. Aucune méthode connue d'amplification n'a été capable de révéler physiquement les déplacements vibratoires d'une membrane téléphonique réceptrice, lorsque celle-ci servait à recueillir, non une note musicale, mais la parole. Et cependant ces déplacements existent. Cela prouve donc uniquement qu'ils sont d'une amplitude extraordinairement petite. C'est justement là le secret de la possibilité des téléphones. Pour des variations si faibles, d'un jeu si peu étendu, l'élasticité des lames métalliques, la pression de deux substances déjà en contact, la résistance électrique d'un conducteur, la sensibilité à la lumière, etc., peuvent être considérées, comme rigoureusement proportionnelles aux causes qui les forcent à se modifier. En d'autres termes, les effets sont dans la plus complète dépendance des causes.

Cela explique aussi pourquoi il est si difficile d'augmenter la puissance des téléphones au delà d'une certaine limite. Passé une certaine amplitude, la dépendance en question n'existe plus, les appareils fonctionnent mal.

Quelles pourront être les applications pratiques du photophone ?

Il est toujours dangereux de risquer des prophéties, qu'elles soient optimistes ou pessimistes. Nous croyons pourtant que le photophone ne détrônera pas le téléphone.

Sans doute il est éminemment commode de pouvoir transmettre des messages sans l'intermédiaire de conducteurs coûteux, embarrassants et sujets à des accidents. Mais ces conducteurs peuvent suivre des chemins détournés, tandis qu'un rayon lumineux devra toujours être rectiligne. Il sera nécessaire, pour correspondre par le photophone, de disposer les deux stations de manière qu'aucun obstacle opaque, aucun mur, aucune maison, aucune montagne ne les sépare, ne coupe la ligne droite qui les réunit. On pourrait certainement se servir de réflecteurs, de miroirs métalliques ou autres, pour dévier le rayon, si cela est absolument indispensable ; mais ces réflexions absorberaient une notable part du faisceau incident, et, lui enlevant la puissance, elles en réduiraient la portée.

Et cependant serait-il absurde d'espérer qu'on puisse arriver un jour à établir de véritables relais photophoniques ? Non certainement au point de vue théorique. Qui pourrait empêcher le rayon lumineux d'impressionner un récepteur de sélénium dont la membrane agirait à son tour sur un rayon appartenant à une nouvelle source locale de lumière, — et ainsi de suite ? Nous ne voyons pas à priori d'objection scientifique au fonctionnement de ces relais successifs, et leur réalisation, si elle est jamais possible, permettra alors de mettre en correspondance deux points quelconques sans les astreindre à se voir l'un l'autre, suivant une ligne rigoureusement droite.

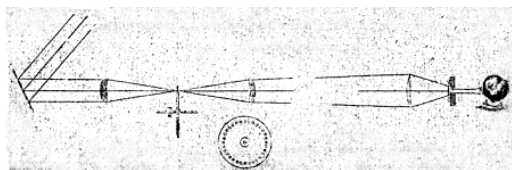
Mais les expériences manquent à cet égard. Bell n'en parle pas, et c'est une simple espérance, un peu téméraire, que nous nous risquons à formuler.

En dehors des applications publiques ou privées, il resterait encore bien des cas où cet appareil serait capable de rendre de réels services. Nos lecteurs se rappelleront sans doute les travaux géodésiques accomplis par le colonel Perrier et le général Ibanez, pour relier, par des triangulations directes, l'Espagne à l'Algérie.

Les feux électriques de la Sierra-Nevada et des montagnes africaines étaient réciproquement visibles pour ces deux stations. Eh bien, n'aurait-on pas pu utiliser ces mêmes feux pour se parler d'Espagne en Algérie au moyen du photophone ?

Le téléphone avait déjà paru faire mentir les lois de la physique qui assignent une durée notable à la propagation des sons.

Le photophone semble mettre en défaut un autre dogme scientifique beaucoup plus absolu. On enseigne, en effet, que les sons ne se propagent pas dans le vide éthéré. Mais, puisque la lumière se transmet dans le vide aussi bien et même mieux qu'elle ne se transmet à travers l'atmosphère, est-il possible de dire plus longtemps que la parole ne se propage pas dans le vide ?



Depuis la publication de cet article, le Professeur Bell est venu lui-même en Europe et M. Antoine Bréguet ayant pu l'assister dans quelques-unes de ses expériences a, sous le titre « Les appareils photophoniques de MM. Bell et Tainter », complété et précisé par un nouvel article inséré dans la Revue scientifique du 9 Octobre, la description des procédés employés par l'inventeur et par son collaborateur M. Tainter, ainsi que le compte-rendu des résultats obtenus.

D'après la disposition la plus employée et celle qui donne les meilleurs résultats pour la transmission des sons et de la parole à de plus grandes distances, les rayons parallèles provenant de la source lumineuse, le soleil, par exemple, sont réfléchis par un miroir et concentrés ensuite, à l'aide d'une lentille, en un foyer placé à une petite distance du tube téléphonique transmetteur de façon à ce que l'irradiation des rayons partant du foyer soit recueillie sur une feuille mince de verre ou de métal formant miroir (d'une épaisseur d'un dixième de millimètre) et qui obture le tube téléphonique à l'embouchure duquel on parle. Réfléchis de nouveau par ce second miroir, les rayons sont reçus par une seconde lentille qui les rend parallèles et les conduit à un grand réflecteur parabolique situé au point de réception et au foyer duquel est placé le récepteur de sélénium. Dans le circuit de ce récepteur sont intercalés une pile et un téléphone.

Ceci posé, on saisira facilement la marche de l'appareil. sous l'influence de la parole, c'est-à-dire des vibrations de l'air du tube transmetteur, le miroir mince qui en obture l'orifice se bombe ou se creuse, devient convexe ou concave et, par conséquent, les rayons lumineux qu'il reçoit s'épanouissent ou se concentrent. L'intensité lumineuse qu'il projette à distance sur le réflecteur parabolique changera à chaque vibration et le récepteur de sélénium, à son tour, subira des variations incessantes dans sa résistance, variations correspondant à celles de la pression de l'air dans le tube transmetteur, ce qui revient à dire que la parole sera transmise.

M. M. Bell et Tainter ont imaginé deux formes pour le récepteur de sélénium : celle d'un disque pressé entre deux plaques de cuivre, pour le cas où les rayons reçus par le réflecteur parabolique sont bien parallèles, ou, comme cette condition est difficile à obtenir au delà de certaines distances, celle d'un cylindre où le sélénium remplit les cavités comprises entre des piles de disques de cuivre et de mica. Sous l'une et l'autre forme, les dispositions sont très-ingénieusement combinées pour satisfaire à ces deux conditions presque contradictoires que le sélénium offre à la lumière une surface aussi grande que possible et cependant qu'il ne présente qu'une très faible résistance au passage du courant.

Tout en nous référant pour plus de détails sur le dispositif des expériences et des appareils au second article de M. Bréguet et aux figures qu'il contient, nous lui emprunterons pour terminer quelques observations qui ne sont pas sans intérêt sur les phénomènes accessoires que ces expériences ont donné lieu de constater.

Dans le cours de ses recherches, M. Bell a été amené à découvrir, comme on passant, bien des faits dont on n'avait pas la plus petite notion avant lui. Nous en avons énuméré un certain nombre dans le premier article que nous avons consacré au photophone ; mais nous devons revenir sur quelques-uns d'entre eux, notamment sur ceux dont M. Bell vient

do nous rendre témoins.

On se rappelle que M. Bell avait vérifié qu'une foule de substances recevant directement de la lumière vibratoire rendaient un son, et il avait cité comme seules exceptions le charbon et le verre mince. Aujourd'hui, ces derniers corps essayés avec plus de soins n'ont pas été différents des autres ; il est donc très-probable que M. Bell a découvert là une propriété absolument générale et dont les conséquences peuvent être considérables au point de vue de la constitution de la matière.

En réalité, M. Bell n'a pas réussi à faire parler toutes ces substances, mais seulement à les faire chanter, autrement dit, M. Bell a démontré que c'était bien la lumière et la chaleur qui agissaient ici, en vérifiant qu'une cuve d'alun placée sur le trajet des rayons n'empêchait pas le phénomène sonore de se produire, tandis qu'une dissolution d'iode supprimait toute espèce de sons. Les sons se trouvent reproduits indépendamment de leur timbre ; mais il ne serait pas possible d'affirmer que l'articulation ne pourra jamais s'obtenir dans ces conditions. C'est une nouvelle voie à explorer, et nous serions bien surpris si elle ne tenait pas les promesses qu'elle semble promettre aux chercheurs.

Le sélénium présentant de grandes analogies avec le soufre et le tellure, il était naturel de chercher si ces deux corps jouissaient aussi de la faculté d'être sensibles à l'action de la lumière, et si leur résistance électrique subissait des modifications correspondantes. Pour le tellure, la question fut tranchée immédiatement, puisqu'on savait qu'il était, dans toutes les circonstances, bon conducteur de l'électricité.

Mais le soufre est généralement connu comme isolant. G. Knox avait bien annoncé, en 1839, que le phosphore, le soufre et l'iode conduisent l'électricité lorsqu'ils sont rendus fluides à l'aide de la chaleur ; mais Faraday avait discrédité cette affirmation une année après, en ce qui concerne le soufre et le phosphore, si bien que personne ne se préoccupa plus de ce qu'avait dit Knox.

M. Bell, dans ses patientes et longues recherches sur la meilleure forme allotropique à donner au sélénium, eut l'idée de reprendre l'expérience de Knox. Il parvint à donner au soufre une forme telle qu'il le trouva, même à l'état solide, sensible à l'influence de la lumière. Il ne se laissa pas distraire de la vraie direction qu'il s'était imposée pour parvenir à réaliser son merveilleux photophone, et il s'est réservé de revenir plus tard à une étude approfondie du soufre afin de voir s'il ne pourrait pas être substitué au sélénium dans la photophonie.

Ce même esprit de méthode qui lui avait servi à ne pas sortir du chemin qu'il s'était tracé, quelque résultat qui pût le le frapper en route, a empêché aussi M. Bell de faire l'essai de différentes lumières artificielles pour son photophone.

A notre grand étonnement, il n'avait pas même tenté d'y appliquer la lumière électrique avant son arrivée à Paris.

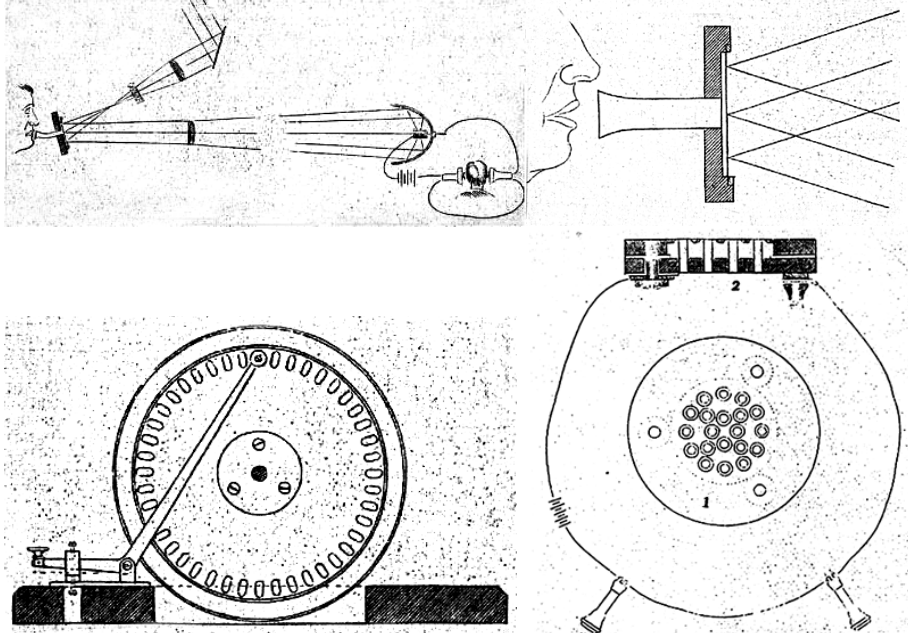
A vrai dire, le soleil de Washington, plus brillant que le nôtre en toute saison et surtout au mois d'Octobre, suffisait grandement à réaliser toutes les expériences possibles sur la sensibilité du sélénium.

Mais à Paris, le soleil faisait souvent défaut ces derniers jours et il nous a fallu, de gré ou de force, employer la lumière de l'arc voltaïque.

Les résultats obtenus ont été, comme on pouvait s'y attendre, des plus satisfaisants, et nous espérons d'ici peu, grâce à ce soleil artificiel, rendre le monde scientifique témoin des belles expériences du professeur Graham Bell.

[Plusieurs pages des notes de Bell sont également incluses en format pdf](#)

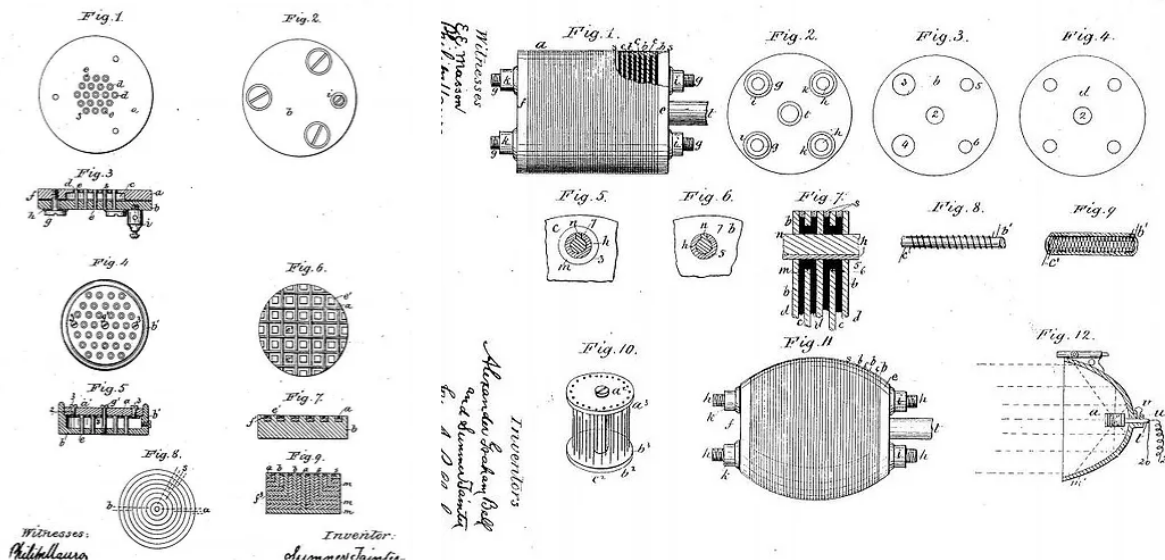
Bell et Tainter obtiennent leur brevet sur le photophone le 14 décembre 1880. (BELL, A.G. and TAINTER, S., Photophone patent 235,496 granted 14 December 1880). Ils obtiennent le même jour deux brevets sur la préparation des cellules de sélénium. (Patents 235497 et 235590).



Schémas du photophone de Bell et Tainter (extraits de BELL, A.G., "Production of Sound by Light", American Journal of Science, 20, October 1880).

No. 235,590.

Patented Dec. 14, 1880.



Cellules de sélénium brevetées par
Tainter (1880)

Cellules de sélénium brevetées par Bell et
Tainter en 1880
(Patents 235497)

L'appareil de Bell et Tainter occupe aujourd'hui une place quasi mythique dans l'histoire des technologies de communication, pourtant riche en appareils oubliés. En février 1995, un groupe d'étudiants de l'Université de Virginie ont déposé une demande de brevet pour une version améliorée du photophone de Bell et Tainter.

Mais ce sont surtout les travaux menées à partir de 1960 sur les rayons laser, débouchant notamment sur le lancement en 1978 du Compact Disc Audio, qui ont donné l'illustration que l'hypothèse de Bell - transmettre le son à travers la lumière - était loin d'être absurde.

L'idée de la vision à distance vient elle de Bell ?

Début mars 1880, Graham Bell et son associé Tainter déposèrent auprès du Franklin Institute deux boîtes scellées dont on ignore le contenu.

Ce dépôt suscite les imaginations. Dès **février 1880**, le **Boston Transcript** avait publié un article affirmant, comme Figuiet **deux ans plus tôt**, que **Bell avait mis au point un appareil permettant de voir à distance**.

Cette nouvelle, reprise par la prestigieuse revue Nature, le 15 avril 1880, était fantaisiste puisque le pli concernait le photophone, c'est à dire un appareil permettant de transmettre le son en recourant à la lumière, mais non un appareil de vision à distance.

Cette rumeur aura néanmoins un impact intéressant pour les développements de la télévision à distance : elle va conduire à la publication, un peu précipitée, de diverses contributions qui elles sont bien relatives à l'hypothèse de la vision à distance recourant aux propriétés du sélénium.

La réaction la plus prompte est celle de J.PERRY, J. et AYRTON, W.E., « Seeing by Electricity », Nature, 21, 21 April 1880.

Dans cet article, les deux auteurs déclarent explicitement qu'ils publient cet article afin que Bell ne soit pas le seul à tirer avantage de ce qui est supposé être la définition d'un **système de vision** par l'électricité basé sur les propriétés du sélénium.

Le conflit de brevets entre Bell et Gray sur le téléphone n'est probablement pas étranger à cette démarche. Cet article suscite lui-même la réponse de J.E.H. Gordon : "Seeing by electricity", letter, Nature, 29 April 1880, ainsi que la publication de l'article anonyme "Seeing by Telegraph", English Mechanic and World of Science, 31, 30 April 1880 et de celui de H.E. Bolton, "Seeing by electricity", letter, English Mechanic and World of Science, 14 May 1880.

Le 5 juin 1880, faisant également suite au dépôt du pli par Bell, le Scientific American publie l'article "Seeing by Electricity". Cet article est le premier qui mentionne les travaux (menés depuis 1877) de Georges R. Carey et, pour la première fois aux Etats-Unis, ceux du français Constantin Senlecq. Cet article provoque lui-même la publication de SAWYER, W.E., "Seeing by Electricity", Scientific American, 42, 12 June 1880.

Le 1er juillet 1880, le **Comte Th. du Moncel**, autorisé en France en matière d'électricité et de télécommunication, publie son premier article sur la vision à distance du MONCEL, Th., "Le Téléphote et le Diaphote", La Lumière électrique, 1er juillet 1880.

L'idée de la vision à distance lui paraît devenir une hypothèse plausible "car pour qu'un homme de l'importance de Bell s'en soit occupé, il faut que l'idée soit sérieuse". La simple rumeur aura donc suffi à libérer les imaginations, au grand bénéfice du progrès de la science.

On a parfois émis l'hypothèse que l'attribution du **télectroscope** par Figuiet à Graham Bell provenait également de la confusion avec les travaux de Bell sur le **photophone**. **Mais la spécification provisoire du photophone est datée du 2 janvier 1879 et le résultat des travaux n'ont été révélés qu'en septembre 1880.**

Un article de L'Illustration, 25 septembre 1880 - peut-être attribuable à Th. du Moncel - expliquant que le photophone de Bell, "comme on l'avait dit à tort un instant n'est pas un téléphote".

Bell a conservé la coupure de cet article. (The Alexander Graham Bell Papers at the Library of Congress).

Le malentendu est levé en septembre 1880 par une lecture que Bell fait lors d'une réunion de l'American Association et dont le contenu est publié dans Nature : BELL, A.G., "Selenium and the Photophone", Nature, 22, 23 Sept. 1880.

Un article plus détaillé sera publié quelques semaines plus tard : BELL, A.G., "Production of Sound by Light", American Journal of Science, 20, October 1880.

L'appareil que Bell propose, le photophone, permet de produire et reproduire le son en recourant aux propriétés du sélénium et n'a rien à voir avec la transmission des images.

L'arc parlant pour la téléphonie sans fil (1901-1902)

Ruhmer a utilisé le sélénium pour développer un photophone, dans le prolongement des travaux de Graham Bell et de Mercadier.

Il a fait des démonstrations sur la rivière Havel et sur le lac du Wansee en 1901-1902.

Le Photographophon basé sur l'usage du sélénium :

Dans un article sur l'arc parlant, paru en 1901 dans l'Elekrotechnische Zeitschrift (98 février, t. XXII, p. 196), M. E. Ruhmer signalait l'importance pratique que pouvait avoir ce nouveau et intéressant phénomène pour la réalisation de la téléphonie sans fil.

L'arc parlant est obtenu, comme on le sait, lorsque les oscillations de courants produites par la parole dans un circuit microphonique sont superposées d'une manière convenable au courant continu qui alimente l'arc. Aux variations de température qui se produisent dans l'arc parlant sont liées des variations de même sens dans l'intensité de la lumière émise. Si cette lumière, dont les variations correspondent exactement aux vibrations sonores reçues par la plaque du microphone, est projetée sur un morceau de sélénium faisant partie d'un circuit téléphonique, le téléphone du poste récepteur reproduira exactement la parole transmise, car le sélénium réagit et change de résistance aux moindres variations d'éclairement.

La téléphonie sans fil devenait donc possible par ce moyen, au moins en principe. C'est ce que montrèrent dès le début les expériences du D^r Simon, à Francfort. La figure 1 donne schématiquement les dispositifs à employer pour réaliser la transmission de la parole.

La lumière parlante est projetée par un réflecteur parabolique dans la direction du récepteur, et peut ainsi franchir des distances assez considérables sans dispersion notable .

(Nota) Dans ses expériences, l'auteur emploie pour concentrer la lumière un bon projecteur Sehuekert qu'il préfère aux projecteurs sphériques Mangin, à cause de la moindre divergence. Le projecteur parabolique employé de 35 cm de diamètre avait un angle de divergence de $0^{\circ},3$ pour un arc de 7 ampères, mais cette divergence s'élevait à 3° au moins pour un arc de 30 ampères.

Le réglage des charbons à la main, dans la lampe du projecteur, doit être préféré au réglage automatique, à cause d'une action inductive défavorable exercée par les b employées dans ce dernier réglage.

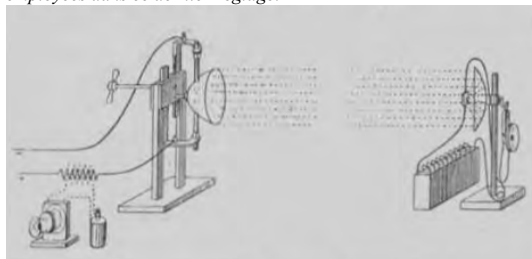


Fig. 1. — Schéma d'un dispositif pour téléphonie sans fil,

Le poste transmetteur comprend, ainsi qu'on le voit dans la figure 1, outre le projecteur, une batterie d'accumulateurs alimentant l'arc, le microphone, et la bobine d'induction dont le secondaire est en série avec l'arc.

(Nota) Il ne faut pas, autant que possible, employer le courant d'une dynamo pour alimenter l'arc; les légères variations périodiques de courant dues au collecteur de la machine, suffisent pour occasionner dans la flamme un bourdonnement qui se transmet au téléphone de la station réceptrice, et dans certains cas peut rendre difficiles les communications.

- À la station réceptrice est un miroir parabolique qu'on peut orienter facilement dans toutes les directions, et dans l'axe optique duquel est placé un élément cylindrique de sélénium .

(Nota) Les morceaux de sélénium employés ont tous la forme cylindrique pour que, placés suivant l'axe optique du miroir parabolique, ils reçoivent uniformément sur leur pourtour la lumière projetée par le transmetteur.

Aussi M. Ruhmer a-t-il cherché, et réussi d'ailleurs, à préparer d'une façon particulière (!) Les expériences réussissent également bien pendant le jour, à condition naturellement de ne pas exposer directement aux rayons solaires le miroir réflecteur du poste récepteur; dans le cas où le miroir doit être dirigé du côté du soleil, un simple écran suffit à détourner du miroir les rayons solaires directs.

Ce sélénium est monté en série avec une batterie de piles ou d'accumulateurs et deux téléphones. La parole est donc transportée entre les deux stations sous forme d'ondulations lumineuses, et les vibrations sonores sont rendues de nouveau dans le circuit téléphonique du poste récepteur, grâce aux propriétés particulières du sélénium, dont la résistance varie avec l'éclairement auquel il est soumis,

Il résulte de ce qui précède que la bonne transmission de la parole par ce procédé dépendra de nombreux facteurs : l'amplitude des oscillations du courant microphonique, la superposition rationnelle de ce courant au courant d'alimentation de la lampe, l'intensité de ce dernier courant, la valeur et la bonne installation du miroir parabolique, la clarté et la transparence de l'air, la grandeur du miroir récepteur, la sensibilité de l'élément de sélénium, et enfin le choix judicieux de la tension de la batterie en circuit avec le sélénium, et des résistances de téléphones.

Au premier abord il semble que les résultats doivent être d'autant meilleurs que l'intensité normale de l'arc est plus grande; pour une certaine variation de l'intensité, la variation de la couleur de l'arc et par suite de la lumière émise, est en effet d'autant plus grande que l'intensité moyenne est elle-même plus grande. Seulement, le sélénium, et particulièrement l'élément fendre, comme il est dit plus loin, réagit d'autant plus faiblement pour une même variation d'éclairement, qu'il est déjà plus éclairé. De sorte qu'en augmentant l'intensité normale, d'un côté on accentue bien les variations de lumière, mais de l'autre on diminue la sensibilité du sélénium; une autre circonstance empêche d'ailleurs d'employer de trop fortes intensités, c'est que le cratère devenant trop étendu cause une divergence considérable du faisceau lumineux et qu'une faible partie seulement de la lumière émise parvient au miroir collecteur de l'appareil récepteur.

L'intensité de la transmission sera la plus forte pour un certain éclairement du sélénium qui dépend de la courbe de sensibilité. On doit proportionner les appareils de telle façon que les téléphones montés en série avec l'élément réagissent le mieux pour l'intensité du courant correspondant à cet éclairement critique. De plus, l'intensité de l'arc variera avec les distances et augmentera en même temps que ces distances,

L'auteur a obtenu les meilleurs résultats : pour des distances de 1 à 2 km avec des arcs de 4 à 5 ampères, pour 3 à 4 km avec des arcs de 8 à 10 ampères et pour des distances de 5 à 7 km avec des arcs de 12 à 16 ampères.

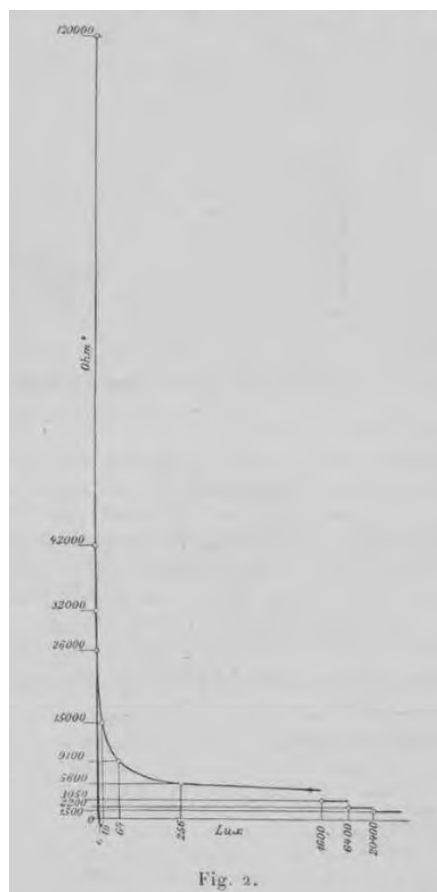


Fig. 2.

La position rigoureuse du cratère positif au foyer du projecteur est une condition importante à remplir, de sorte que la direction exacte du faisceau qui n'est pas toujours facile à obtenir dès que la distance devient un peu grande et que les postes ne sont pas absolument fixes (installations sur un bateau par exemple).

Dans le jour (!) les difficultés de pointage sont encore beaucoup plus grandes.

Pour faciliter le pointage dans tous les cas, il est avantageux de joindre au projecteur une lunette à réticule, les axes des deux instruments étant rigoureusement parallèles. La brume ou même la pluie, tout en diminuant la portée des communications, n'empêchent pas leur netteté aux distances modérées. Bien que les essais eussent été faits sur le Wannsee et le Havel, et que le soir il y eût presque toujours du brouillard à la surface de l'eau, la transmission fut toujours très bonne. La qualité de l'élément de sélénium employé a naturellement la plus grande influence sur la valeur de la transmission téléphonique, surtout à de grandes distances. Ce sélénium doit être sensible, non seulement aux rayons lumineux en général, mais spécialement à ceux qui subissent les variations d'intensité les plus considérables. Les recherches de l'auteur l'ont amené à trouver que ce sont les rayons à courte longueur d'onde qui représentent plus particulièrement la lumière parlante. Il est donc nécessaire de rendre le récepteur sensible aux ondes courtes. Or on sait que la résistance d'un élément de sélénium ordinaire décroît beaucoup plus dans la partie rouge du spectre que dans les autres, le violet et l'ultra violet sont presque sans action des éléments de sélénium spécialement sensibles au contraire, aux longueurs d'onde qui intéressent la phototéléphonie. À côté de la haute sensibilité pour ces longueurs d'onde, une autre qualité importe également au plus haut point, c'est la faculté que doit posséder l'élément de changer très rapidement de résistance; son inertie doit être très faible. Suivant le mode de préparation du sélénium, on peut en obtenir deux espèces qui se comportent tout différemment lorsqu'ils sont exposés à la lumière. L'auteur désigne ces deux variétés sous le nom de sélénium tendre et sélénium dur. Les séléniures durs, soumis à de faibles impressions lumineuses, sont presque insensibles; leur variation relative de résistance est beaucoup moindre que lorsqu'ils sont vivement éclairés c'est exactement l'inverse qui se passe pour les séléniures tendres. Par conséquent, il est avantageux d'employer un élément dur pendant le jour ou à de petites distances, c'est-à-dire toutes les fois que le récepteur est éclairé assez vivement.

Au contraire, l'élément tendre est indiqué pour les communications dans l'obscurité ou à grande distance. Mais, s'il n'est pas possible de changer d'élément suivant les circonstances, l'emploi d'un sélénium tendre est à préférer d'une façon générale.

Dans ces derniers temps, la sensibilité des séléniures employés s'est accrue dans des proportions considérables. Il y a quelques années, on était très content, pour les applications qu'on avait en vue, de trouver un sélénium dont la résistance au soleil était la moitié ou le tiers de la résistance dans l'obscurité.

Avec ces éléments, la phototéléphonie n'aurait jamais été possible à plusieurs kilomètres. Mais on est arrivé très rapidement à préparer des séléniures beaucoup plus sensibles. En 1901, l'auteur employait pour ses essais un élément de la maison Clausen et de Bronck, dont la résistance diminuait dans le rapport de 10 à 1 lorsque le sélénium passait de l'obscurité à la lumière du soleil. M. le professeur Simon, à Göttingue, emploie dans ces derniers temps un élément préparé par M. Gillay, de Delft, qu'il tient « pour le meilleur qui ait été construit ». La résistance d'environ 533 000 ohms

à l'obscurité tombe à 26 000 ohms pour un éclairage d'environ 400 lux. M. E. Ruhmer a préparé de son côté de nouveaux éléments à lames minces qui possèdent en moyenne une sensibilité égale à la précédente, quelques-uns même une sensibilité supérieure. Ils ont, d'après l'auteur, sur les éléments Giltay, le grand avantage de réagir très bien aux courtes longueurs d'onde; cette supériorité explique que jusqu'à présent M. Simon, bien qu'il emploie un excellent miroir de Schuckert, de 90 cm de diamètre, n'est pas parvenu à parler plus loin que 2,5 km, tandis que M. Ruhmer, dans une expérience faite le 25 juillet dernier, a obtenu une excellente transmission à 7 km de distance, et les appareils n'étaient nullement à la limite de leur puissance.

D'après l'auteur, les éléments employés par lui, préparés d'une façon spéciale, peuvent être sensibilisés pour toutes les longueurs d'onde, et en outre la propriété de revenir très rapidement à leur résistance primitive dans l'obscurité.

La résistance à l'obscurité de l'élément sensibilisé est de 120 000 ohms elle s'abaisse à 15 000 ohms, au voisinage immédiat d'une lampe à incandescence de 16 bougies. La figure 2 montre la courbe de résistance de cet élément.

A l'appareil récepteur (fig. 3) le cylindre de sélénium était monté au foyer d'un miroir parabolique de 50 cm de diamètre et 70 mm de longueur focale. La tension de la batterie était de 100 volts.

Fig. 3. — Essais de téléphonie sans fil de E. Ruhmer. Au premier plan, à terre, poste récepteur; sur l'un des des bateaux, à l'arrière plan, poste transmetteur.

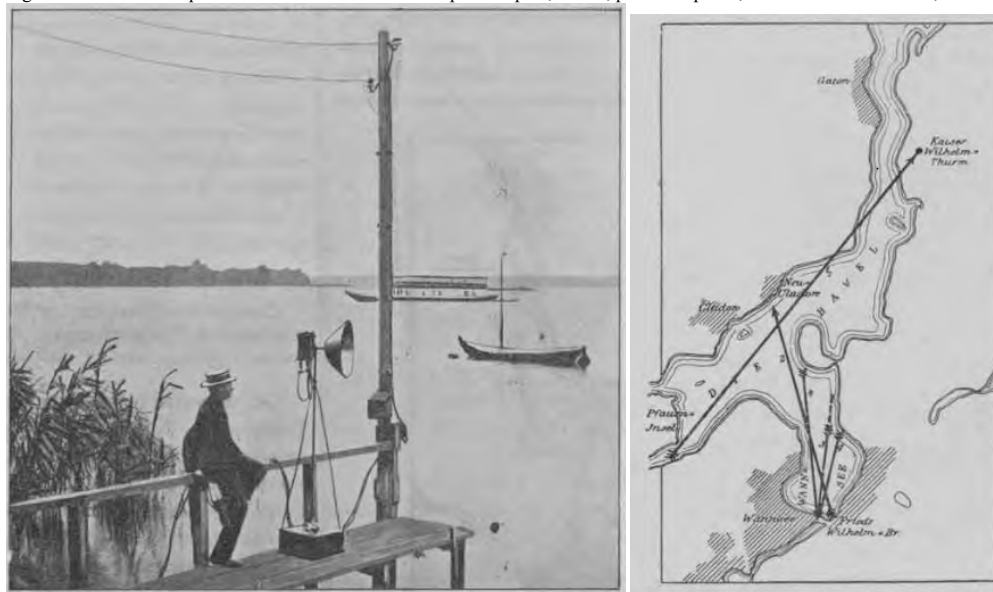


Fig. 4. — Carte des essais de téléphonie sans fil de E. Kuhner, transmission maxima 7 km en suivant la plus grande flèche,

Comme téléphone de réception, étaient intercalés dans le circuit deux téléphones à haute sensibilité et à grande résistance, à membranes minces et faibles aimants. Les expériences se firent dans les environs de Berlin, sur le Wannsee et la Havel. Le poste récepteur était installé à terre, et le transmetteur sur un bateau qui pouvait s'éloigner progressivement dans une direction convenable; le projecteur employé était un projecteur de torpilleur Schuckert, de 35 cm de diamètre. Plusieurs séries d'expériences furent faites les 4, 8, 9, 16 et 25 juillet, et dans des conditions très variées: atmosphère transparente, temps brumeux, pluie, pendant le jour et dans la soirée: tous les essais donnèrent

de bons résultats,

Dans la dernière expérience en particulier — temps légèrement brumeux — la réception de la parole fut très intense et très claire, et la disposition des lieux seule ne permit pas de dépasser la distance de 7 km entre les deux postes: le récepteur était sur la plate forme de la tour Kaiser-Wilhelm (fig. 4) et le projecteur sur le bateau « Germania » qui s'éloignait dans la direction de Plauen-Insel.

Ces résultats sont donc intéressants et encourageants, et l'auteur estime qu'après quelques modifications reconnues avantageuses dans le cours de ses expériences, on peut procéder lumineux, téléphoner sans fil facilement, à des distances de beaucoup supérieures à celles qui ont été atteintes précédemment.

Ce type d'expérience représentait une alternative par rapport à la wireless telegraphy (T.S.F.) développée par Marconi, qui ne transmettait que des signaux Morse et est quasi contemporaine des premières expériences de transmission hertzienne de la voix par Fessenden (1900).

Avec les évolutions et inventions qui suivirent, les premiers « films parlants » (films sonores) reposaient sur le système *Western Electric Vitaphone* (vers 1926) qui utilisait des enregistrements sur disque qui étaient (espérons-le) synchronisés avec l'action à l'écran. Ce n'est qu'avec l'inclusion d'une bande sonore optique sur le film que le véritable film sonore a été créé. *Western Electric* a été le pionnier dans ce domaine, à la fois avec le système *Vitaphone* et son système son sur film légèrement plus tardif.

RCA est entré dans le domaine en 1928 avec son propre système son sur film qu'ils ont appelé "*Photophone*".

Ces deux compagnies furent en concurrence féroce pour le secteur du son de théâtre tout au long des années 1930.

Chaque fois qu'un système de son était installé dans un théâtre, et surtout lorsqu'il remplaçait le système du concurrent, une plaque comme celle-ci était apposée sur un mur du hall d'entrée ou sur un mur extérieur où les spectateurs seraient sûrs de la voir.



La plaque présentée ici date du milieu des années 1930, est un moulage en bronze d'environ 8 pouces de diamètre.