

1877 1880 Les nouvelles recherches. - La théorie du téléphone.

Depuis le début en 1876 la théorie du téléphone a déjà été traitée par les plus grands comme le Professeur **Bell**, le **Comte Du Moncel**, **M. Mercadier**... Déjà en 1856, les travaux de **M. du Moncel** ont établi que dans les corps médiocrement conducteurs toute variation de pression entraîne une variation de conductibilité.



1878 Voici le premier 1er ouvrage Français de du Moncel ([sur cette page](#)) , ou à [feuilleter](#) traitant du téléphone.

La théorie des mouvements moléculaires, les courants ondulatoires .

Exposé du Comte Du Moncel :

Depuis la publication de la seconde édition de mon ouvrage sur le téléphone qui a paru au mois de novembre 1878, de nombreuses découvertes et de nombreuses recherches ont été faites dans cette branche si intéressante et si nouvelle de la science acoustique ; nous croyons, en conséquence, intéressant de les résumer ici, en attendant qu'elles complètent la troisième édition de notre ouvrage.

Tout le monde connaît aujourd'hui le téléphone, ce merveilleux instrument qui permet de reproduire la parole à distance par l'intermédiaire de courants électriques dont l'intensité se trouve mise en rapport avec les vibrations déterminées par la voix.

Dans l'origine, on croyait très-simple l'explication des effets produits dans cet appareil; mais plus on a étudié la question, plus on s'est convaincu que les actions en jeu étaient beaucoup plus compliquées, et on en est arrivé aujourd'hui à croire que les premières données théoriques n'avaient rien d'exact.

Dès le mois de février 1878, j'avais démontré que les sons produits dans un téléphone **Bell** devaient être principalement attribués aux vibrations déterminées au sein du noyau magnétique par suite des aimantations et désaimantations qui lui étaient communiquées par le courant d'intensité variable transmis à travers le fil du circuit, et je disais que le diaphragme, tout en subissant par influence les fluctuations magnétiques qui devaient déterminer les sons, avait pour principal rôle de surexciter l'action magnétique du noyau ; enfin, je disais que, comme le diaphragme avait moins de masse que le noyau magnétique et était plus rapproché de l'oreille, il devait transmettre plus nettement et plus facilement les vibrations reproduisant la parole.

Ces idées théoriques, basées sur certaines expériences de MM. **Spottiswoode, Warwick, Blyth, Rossetti, Canestrelli, Loyde, Millar**, etc., qui montraient qu'un téléphone sans diaphragme pouvait reproduire la parole, ont été l'objet d'une discussion assez vive entre le **colonel Navez** et moi (voir plus bas en détail), et ont provoqué de la part de beaucoup de physiciens des recherches nouvelles qui, dans ces derniers temps, m'ont donné complètement raison et ont donné naissance à des appareils fort intéressants que nous allons passer en revue.

L'opiniâtreté de ceux qui combattaient mon opinion était basée surtout sur l'impossibilité, croyaient-ils, de faire reproduire la parole par un téléphone dépourvu de diaphragme; ils niaient, par conséquent, ce qu'avaient avancé les physiciens dont nous avons parlé précédemment ; ils convenaient bien qu'un téléphone dans ces conditions pouvait reproduire des sons, mais des sons non articulés, et ils ajoutaient que, pour reproduire la parole, il fallait nécessairement une lame agissant comme une armature électromagnétique et susceptible de fournir des vibrations transversales. Les expériences que j'ai faites à cet égard m'ont démontré qu'en général les téléphones Bell, dépouillés de leur diaphragme, ne reproduisent pas distinctement la parole avec les faibles courants induits qui sont développés dans les téléphones ordinaires, ni même avec de forts courants voltaïques transmis par un parleur microphonique, mais que, si on les anime par les courants induits résultant d'une bobine d'induction actionnée par un parleur microphonique, la parole peut être entendue facilement, quoique faiblement, et j'ai reconnu en même temps que cet effet est d'autant plus caractérisé que le noyau magnétique est plus fortement aimanté et de plus petite niasse. Il existe pourtant certains téléphones communs qui reproduisent la parole sans diaphragme avec le courant de six éléments Leclanché.

M. l'abbé Laborde, de son côté, a montré qu'un téléphone avec diaphragme en matière non magnétique peut parfaitement reproduire des sons, mais que ces sons sont surtout le résultat des vibrations qui sont communiquées au diaphragme par l'enveloppe du téléphone, laquelle les reçoit du noyau magnétique influencé par le courant, et il croit que le même effet est produit sur le diaphragme de fer, mais avec plus de force, par suite de la surexcitation magnétique qu'il communique à l'aimant. Pour le démontrer, il rend mobiles les diaphragmes de diverse nature qu'il pose devant le noyau magnétique d'un téléphone. Quand ces diaphragmes sont en matière non magnétique, les sons reproduits par eux conservent à peu près la même intensité, qu'ils soient placés à plat ou redressés à angle droit, pourvu qu'ils touchent un point à l'enveloppe du téléphone, aussitôt que la communication avec cette enveloppe est supprimée, aucun son n'est perçu. Si le diaphragme est en fer les sons sont grandement augmentés, du moins quand il est posé à plat devant l'aimant; ils diminuent d'intensité à mesure que l'on redresse le diaphragme, et quand celui-ci est arrivé dans une position perpendiculaire, il fournit des sons à peu près de même nature que ceux résultant d'un diaphragme en matière non magnétique.

M. Ader a basé sur ce principe un téléphone remarquable par sa simplicité et la netteté des sons produits. Cet appareil se compose uniquement d'un fil de fer fixé par un bout sur une planchette de bois et soudé à l'autre bout à une masse métallique. En adaptant sur le fil de fer une petite hélice enroulée sur un tuyau de plume et mise en rapport avec le circuit d'un parleur microphonique, il obtient un appareil qui reproduit la parole plus haut que les téléphones communs et avec une netteté supérieure. Pour l'entendre, il n'est pas besoin d'appliquer l'oreille contre la planche, on peut la percevoir en éloignant celle-ci de 10 à 15 centimètres. L'innovation importante dans cet appareil et dont la cause n'est guère expliquée, est l'adjonction au bout libre du fil de fer d'une masse de métal. Cette masse amplifie eu effet les sons dans une proportion très-considérable et en même temps les dépouille du timbre métallique qui leur donne un peu ce que l'on appelle ordinairement la voix de Polichinelle.

On peut se rendre compte de l'influence de cette masse et de celle des différentes parties du système par les expériences suivantes :

D'abord, si pour montrer que les sons reproduits ne sont pas la conséquence de mouvements échangés entre l'hélice et le fil de fer, on enroule cette hélice directement sur le fil de fer, en ayant soin de noyer les spires dans de la gomme laque, on constate :

1° Que quand le fil de fer est piqué sur la planchette par ses deux extrémités, les sons sont à peine distincts ;

2° Que si le fil de fer est fixé sur la planchette par un bout seulement, la parole peut être facilement entendue, mais avec un son métallique caractérisé qui provient des vibrations fondamentales du fil de fer;

3° Que si, pendant que l'on a la planche à l'oreille, on approche de l'extrémité libre du fil de fer une masse métallique, les sons se trouvent plus que doublés, et, au lieu du timbre métallique qui accompagne la reproduction de la parole dans l'expérience précédente, on entend un son mat qui représente beaucoup mieux le timbre de la voix humaine ;

4° Que cet effet renforçant de la masse métallique ne peut fournir des sons distincts qu'à la condition qu'elle ne soit pas en communication avec la planchette par un corps métallique ou rigide;

5° Que l'effet est encore plus marqué quand deux masses métalliques sont en contact avec les deux extrémités du fil de fer et soudées avec lui ; alors l'une de ces plaques métalliques est fixée à la planchette.

La figure 1 ci-dessous représente la disposition de grandeur naturelle d'un appareil ainsi constitué.

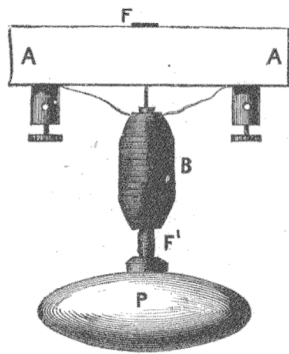


Fig. 1.

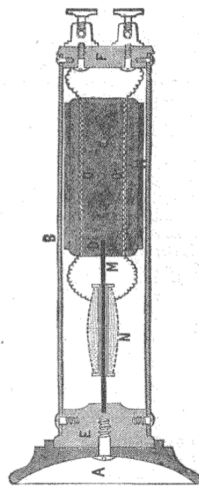


Fig. 2.

Pour faire de ce système un appareil pratique, M. Ader constitue la planchette dont il a été question avec une petite soucoupe de bois vissée à une des deux masses qui terminent le fil de fer; il enveloppe celui-ci et ses deux masses dans un tube métallique ayant la forme des manches des téléphones ordinaires, et pour isoler les deux masses métalliques, il enveloppe celle qui termine le fil dans une gaine de caoutchouc. Cette dernière masse est constituée par un cylindre de cuivre et de plomb relativement assez lourd.

La figure 2 représente cet appareil.

On peut encore obtenir la reproduction des sons au moyen d'un fil de fer traversant une bobine fixe, et dont les extrémités appuient contre les membranes tendues de deux tambours; mais les sons sont plus confus qu'avec les systèmes précédents; en revanche, ils peuvent s'entendre de beaucoup plus loin.

Le transmetteur téléphonique d'*Edison* fait parfaitement fonctionner ces appareils, mais M. Ader emploie généralement un microphone constitué par deux charbons en contact, dont l'un, terminé par une petite soucoupe en bois, est mobile à l'intérieur d'un tube, au fond duquel se trouve l'autre charbon.

Il est, du reste, beaucoup d'autres manières de reproduire la parole par les moyens électriques; ainsi M. Ader a pu employer à cet usage une simple bobine collée à une planchette de bois, mais à la condition que les spires ne fussent pas serrées les unes contre les autres et fussent assez mobiles entre elles. Quand elles sont très-serrées et noyées dans de la gomme laque, aucun son n'est perçu; mais il suffit de placer dans l'intérieur de la bobine un fil de fer ou une aiguille aimantée fixée par un bout dans la planche pour qu'immédiatement la parole soit entendue.

MM. Rosetti, Canestrelli, Paul Roy, Buchin, Hughes, etc. avaient déjà reconnu la possibilité de reproduire de cette manière des sons inarticulés; mais c'est M. Ader qui, grâce aux spires lâches et mobiles de son hélice, est parvenu à faire entendre distinctement la parole.

Il a également démontré que la parole pouvait être reproduite par le passage d'un courant ondulatoire, transmis par un parleur microphonique à travers un fil magnétique; mais à la condition que ce fil fût terminé par une masse métallique, et fixé par l'autre bout à une planchette de bois, comme dans les expériences précédentes. Les sons ainsi reproduits sont, il est vrai, très-faibles, mais, néanmoins, distincts. Il a essayé différents fils métalliques, mais il n'a pu obtenir l'effet précédent qu'avec des fils en matière magnétique, tels que le fer, l'acier, le cobalt et le nickel.

On doit se rappeler que M. *Delarive*, en 1846, avait déjà constaté la reproduction des sons par un moyen semblable; mais ces sons ne pouvaient être articulés, puisqu'à cette époque les courants ondulatoires (fonction de l'amplitude des vibrations) étaient inconnus, et d'ailleurs la masse métallique, soudée au fil dans les conditions des premières expériences, est indispensable pour obtenir la répétition de la parole.

En dehors de ces moyens de reproduction de la parole sans la présence d'aucune lame vibrante fonctionnant sous l'influence d'attractions électro-magnétiques, il est beaucoup d'autres récepteurs téléphoniques qui démontrent peut-être encore davantage l'insuffisance des théories primitivement émises sur le téléphone.

Ainsi un microphone composé de deux charbons en contact, dont l'un est fixé sur une lame métallique, peut faire un bon récepteur téléphonique, et *M. Boudet de Paris* en a construit de cette manière qui donnent d'excellents résultats. Dans ces conditions, le transmetteur et le récepteur sont absolument semblables; ils consistent dans une petite boîte dont le couvercle, qui est à vis, est constitué par une embouchure de téléphone ordinaire, et porte une plaque circulaire de fer-blanc au centre de laquelle est soudé un petit disque de charbon; sur ce disque appuie l'extrémité d'une bascule de charbon articulée par son centre sur les deux joues d'une lame de ressort repliée et fixée au fond de la boîte, et c'est un petit morceau de papier plié en V qui fournit la force antagoniste adaptée au bras de la bascule, appuyant contre le charbon de la plaque. L'appareil se règle en vissant plus ou moins profondément le couvercle.

Un seul élément Leclanché suffit pour transmettre et reproduire la parole avec deux appareils de cette nature adaptés aux deux extrémités du circuit, et telle est la sensibilité du système, qu'en substituant au microphone récepteur un téléphone Bell ordinaire, tel que ceux que vend M. Walker, on peut faire entendre la parole dans tout un appartement, en appliquant à l'embouchure de ce téléphone un porte-voix de phonographe. Le seul inconvénient de ce système est de nécessiter de fréquents réglages; mais quand il est bien disposé, il produit des effets surprenants.

M. Boudet de Paris, en appliquant à l'extrémité du noyau magnétique d'un téléphone sans diaphragme le microphone précédent, est arrivé à reproduire à travers un second circuit complété par un second téléphone la parole transmise par son parleur microphonique, ce qui démontre bien que les vibrations du noyau magnétique du premier téléphone sont réellement longitudinales. L'expérience, il est vrai, n'a pu réussir que grâce à la sensibilité extrême de son système microphonique, car avec d'autres microphones il n'a pu obtenir aucun résultat.

Quelle est la cause des vibrations reproduisant la parole dans ce système employé comme microphone récepteur?

Il serait bien difficile de le dire d'une manière positive, car il n'y a alors en jeu aucune action électro-magnétique; c'est le simple passage du courant à travers un mauvais contact qui les détermine. Mais comment cela peut-il avoir lieu? c'est une question entièrement à étudier.

Cette reproduction de la parole par un microphone à charbon n'est pas la seule; on peut l'obtenir avec un téléphone transmetteur à liquide; c'est-à-dire avec un téléphone dont les vibrations déterminées par la parole ont pour effet d'augmenter plus ou moins la résistance d'une colonne liquide interposée dans le circuit téléphonique. Un pareil transmetteur peut servir de récepteur, ainsi que l'a constaté *M. Carlo Résio*, et dans ce cas il faut que la colonne liquide traversée par un courant ondulatoire se trouve elle-même mise en mouvement de vibration rien que par le passage du courant. Est-ce à l'action électrolytique qu'il faut attribuer cette vibration?

Les nouveaux récepteurs téléphoniques d'*Elisha Gray* et d'*Edison* sont encore des récepteurs téléphoniques dans lesquels les actions électro-magnétiques n'entrent pour rien, et les effets produits sont néanmoins assez forts pour que les sons soient entendus dans tout un appartement.

Dans les deux appareils, la reproduction des sons est fournie par les différences de friction déterminées par le passage du courant et qui sont en rapport avec l'intensité de celui-ci, mais les effets sont différents dans les deux systèmes. Dans celui de M. *Elisha Gray*, le corps frottant est un tissu animal, le doigt par exemple, et le corps frotté qui doit être mobile est un disque de zinc dont la surface est légèrement oxydée, afin de présenter une résistance au point de contact. Si ce disque est adapté à une boîte résonnante, cylindrique, susceptible d'être mise en mouvement de rotation, et que le doigt et le disque se trouvent interposés dans le circuit secondaire d'une bobine d'induction dont le circuit primaire correspond à un parleur microphonique ou à un transmetteur à liquide animé par un courant voltaïque, la parole sortira du doigt frottant sur le disque à mesure que l'on tournera celui-ci. L'explication de ce phénomène est encore à donner.

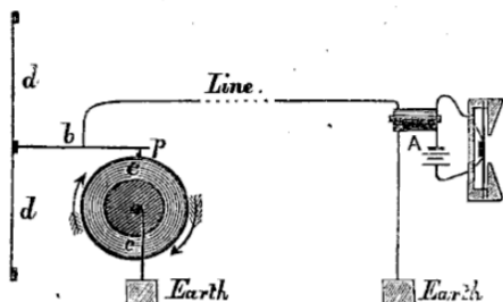


Fig. 3.

Dans le système de M. Edison que nous représentons en principe dans la figure 3 ci-dessus, c'est une lame de ressort b adaptée à un diaphragme de mica dd qui appuie par son extrémité libre p munie d'un frotteur de platine sur un cylindre de chaux cc imprégné d'hydrate de potasse et d'acétate de mercure. Ce cylindre est légèrement humidifié, et lorsque le courant électrique passe du ressort au cylindre de chaux interposé dans le circuit téléphonique, il se produit au moment du passage du courant des affaiblissements de friction qui, si le cylindre de chaux est animé d'un mouvement de rotation, se traduisent par des mouvements rétrogrades du ressort b, lesquels mouvements se trouvent être inverses de ceux produits pendant l'inaction du courant et sont en rapport avec l'intensité du courant transmis. Il en résulte donc que si on parle dans un transmetteur téléphonique à charbon placé en A, les variations d'intensité résultant des vibrations déterminées par la parole produiront des alternatives de frictions et de non-frictions sur le cylindre cc, qui auront pour effet des mouvements d'entraînement et de recul du ressort b et, par suite, des vibrations du diaphragme dd qui reproduiront les vibrations transmises en A.

Ce système, qui n'est qu'une application de l'électro-motographe de M. Edison, avait été déjà essayé il y a trois ans, mais ce n'est que dernièrement qu'il a pu être assez perfectionné pour reproduire nettement et fortement la parole, et M. Edison emploie pour cela la bobine d'induction déjà appliquée par lui à son transmetteur à charbon. On a pu voir dans les journaux anglais le récit des expériences curieuses entreprises avec cet appareil en Angleterre.

Le condensateur chantant de **M. Pollard** est encore une manière de reproduire les sons électriquement sans organe électro-magnétique.

Les effets produits dans cet instrument pourraient peut-être être attribués au changement de volume des lames isolatrices du condensateur, changements étudiés récemment par **MM. Govi et Duter**. Des expériences intéressantes ont, du reste, été entreprises dans ces derniers temps par **M. Coulon**, et on pourra en voir le détail dans le journal l'Electricité des 5 mars et 5 avril 1879.

Cet appareil a d'ailleurs été très-varié dans sa disposition ; et aujourd'hui on en construit des modèles dont le transmetteur a la forme d'un téléphone ordinaire dans le manche duquel se trouve la bobine d'induction. Cette disposition, imaginée par **M. Janssens**, permet de réduire tout l'appareil à un simple transmetteur téléphonique et à un condensateur qui peut être aussi simple que l'on veut. **MM. Chardin et Prayer, Debayeux, Gaiffe, Loiseau, de Conibettes**, etc., en construisent des modèles plus ou moins intéressants.

L'un des plus importants perfectionnements apportés au téléphone est celui dont **M. Gower** a entretenu dernièrement l'Académie ; ce système ne présente en fait rien de nouveau comme principe, mais les conditions de l'instrument ont été si bien étudiées qu'il a pu permettre à un téléphone Bell sans pile de parler assez haut pour se faire entendre dans toute une salle, et, de plus, il renferme lui-même son avertisseur.

Ces résultats avantageux sont dus à ce que M. Gower s'est affranchi un peu des premières idées théoriques que l'on a émises sur le téléphone et qui ont paralysé ses progrès pendant quelque temps. En effet, au lieu d'étouffer les vibrations fondamentales de la plaque vibrante d'un téléphone Bell, comme on avait cherché à le faire jusque-là, M. Gower s'est efforcé, au contraire, de les augmenter en fixant assez solidement cette lame vibrante sur le couvercle de l'embouchure, pour qu'étant frappée elle puisse émettre un son. Il a rendu cette lame elle-même plus épaisse et a renfermé le tout dans une boîte cylindrique, sonore, en métal. Il a donné également à l'aimant une forme particulière dans laquelle les deux pôles se trouvent placés l'un vis-à-vis de l'autre et à très-petite distance, comme dans le système d'électro-aimants de Faraday.

Cet aimant a été construit avec beaucoup de soins et possède une force assez considérable pour porter 5 kilogrammes, il est disposé au fond de la boîte cylindrique et ses pôles terminés par des noyaux de fer oblongs, entourés d'hélice de fil très-fin, se trouvent placés au centre du diaphragme.

Nous représentons fig. 4 la disposition de cet aimant dont les pôles sont en AA, et les bobines en BB et le diaphragme en CC.

L'avertisseur est constitué, du moins pour le poste de transmission, par une ouverture pratiquée dans le diaphragme et derrière laquelle se trouve fixée une anche. Quand l'appareil doit fonctionner, on adapte à l'embouchure de l'appareil un tube acoustique ; quand on souffle dans ce tube, l'anche est mise en vibration, et cette vibration étant communiquée directement au diaphragme du téléphone, lui fait produire des courants induits assez énergiques pour fournir sur l'appareil récepteur un son relativement fort qui ressemble assez à l'appel des cors des tramways. Pour obtenir la transmission de la parole, il suffit de parler devant l'embouchure du cornet acoustique, comme on le fait dans les systèmes ordinaires.

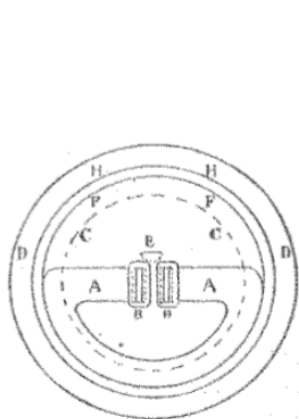


Fig. 4.

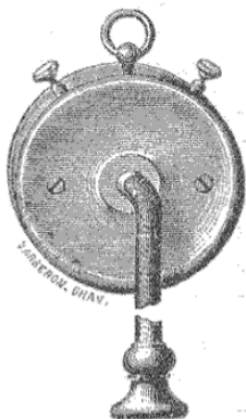


Fig. 5.

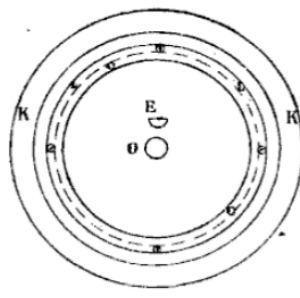


Fig. 6.

La fig. 5 représente cette disposition, et la fig. 6 montre en E l'ouverture correspondante à l'anche vibrante de l'avertisseur ainsi que le système du diaphragme.

L'appareil peut, du reste, être combiné de manière à reproduire la parole à haute voix ou simplement à voix basse comme dans les systèmes ordinaires. Quand il doit reproduire la parole à haute voix, l'embouchure de l'appareil récepteur doit être munie d'un porte-voix, comme dans le phonographe d'Edison, et il faut parler dans le transmetteur en appliquant la bouche contre l'embouchure du tuyau acoustique ; naturellement la parole doit être alors exprimée sur un ton très-élevé.

Quand l'appareil doit servir de téléphone ordinaire, on substitue au porte-voix du récepteur un tuyau acoustique que l'on place contre l'oreille, alors les paroles prononcées à voix très-basse dans le transmetteur sont entendues avec une grande amplification ; on peut même, si l'appareil transmetteur est muni du porte-voix dont il a été question, entendre les paroles prononcées à voix ordinaire à plus de 12 mètres de l'appareil transmetteur. Ces effets sont réellement très-intéressants, et on peut arriver à ce résultat incroyable d'échanger une conversation sans se déranger de son fauteuil, l'appareil étant placé à plusieurs mètres. Dans ce cas, par exemple, il faut que le correspondant parle et écoute dans le tube acoustique adapté à l'appareil.

Les recherches scientifiques sur le téléphone ont été également assez nombreuses, et parmi elles nous citerons particulièrement un mémoire de **M. Galileo Ferraris** sur l'intensité des courants électriques dans le téléphone, dans lequel il démontre que cette intensité dépend de la hauteur du son déterminée par la voix et qu'avec le normal, elle peut être représentée par le courant d'un élément Daniell qui aurait traversé x 1.564.700 kil. de fil télégraphique de 4 millimètres de diamètre, ce qui représente un circuit d'une longueur égale à 290 fois le tour de la terre, suivant son plus grand cercle.

Nous citerons également : 1° une brochure de **M. Weber** sur le téléphone, qui est un travail purement mathématique qui complète celui de M. de **Bois-Raymond** ; 2° une

brochure intitulée : Sound on the téléphoné, par M. [Clarence J. Blake](#), de Boston; 30 une brochure de M. [Hagenbach](#), professeur à l'université de Bâle, sur la transmission des sons aigus par le téléphone.

D'un autre côté, M. Clarence J. Blake m'écrit avoir établi une correspondance téléphonique à une distance de 800 pieds en employant comme diaphragme des téléphones le tympan même de l'oreille humaine, tympan sur lequel était collé un disque de fer de 7 millimètres de diamètre auquel correspondait un petit barreau aimanté enroulé d'une hélice de fil très-fin de 44 ohms de résistance. Ces résultats n'ont, du reste, rien qui puisse surprendre, puisque toute espèce de membrane artificielle tendue peut produire même effet, et d'ailleurs nous n'en sommes plus à croire qu'il soit nécessaire d'employer une membrane ou un diaphragme pour reproduire la parole ; ce sont toujours ces idées qui avaient guidé Graham Bell dans l'origine, qui ont entravé pendant quelque temps l'essor des téléphones.

Au nombre des recherches scientifiques entreprises sur le téléphone, nous devons mentionner encore les études faites par M. Hughes en employant comme intermédiaire le microphone. Ces études sont si nombreuses qu'elles mériteraient un article spécial ; elles ont été exposées avec détails dans le *Télégraphie journal*, nos du 15 novembre, 1er décembre et 15 décembre 1878, 1er janvier et 15 février 1879.

Parmi les expériences nombreuses qu'il a citées, il en est une sur laquelle nous devons attirer l'attention du lecteur et qui lui avait été indiquée primitivement par M. Strow. S'il prend un téléphone dont le circuit de la bobine est ouvert et que l'on promène parallèlement à son axe un aimant en fer à cheval très-énergique à 3 ou 4 centimètres de l'aimant, il se produit des sons qui ressemblent à la respiration d'une personne et qui se continuent tout le temps que dure le mouvement, seulement les sons produits sont de plusieurs notes plus élevées que les vibrations propres du diaphragme. Ces diverses recherches de M. Hughes l'ont conduit aux remarquables systèmes d'annulation de l'induction des fils les uns sur les autres, sur les lignes télégraphiques, système dont il a été question dans le précédent numéro de ce journal.

Dans un prochain article, nous parlerons des divers systèmes d'avertisseurs téléphoniques qui ont été imaginés récemment, entre autres de celui de M. [Perrodon](#), perfectionné par M. [Trouvé](#) et de celui de M. [Siemens](#).

Th. du Moncel

Regardons dans la presse de l'époque ce qui a été documenté dans les divers journaux :

1879"LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE" .

MOUVEMENTS MOLÉCULAIRES ÉLECTRIQUES

C'est un désir qu'on entend souvent exprimer, que celui de pouvoir s'endormir pendant un siècle, pour jouir d'un seul coup au réveil de la masse des découvertes, des progrès de toute nature accumulés pendant cette longue suite d'années. L'électricité est assez féconde pour fournir dans le cours naturel du temps des joies scientifiques de cette espèce; à certains moments, des expériences, jusque-là isolées et qui semblaient plus curieuses que fertiles, se rapprochent, se complètent, et, par leur groupement, ouvrent soudain de vastes perspectives, et mettent sur la voie des conséquences les plus étendues.

Dans cet ordre d'idées, il faut signaler les expériences relatives aux mouvements produits par l'électricité.

Il y a longtemps qu'on a obtenu des mouvements à l'aide de l'électricité, les attractions, les déviations des aiguilles aimantées, les transmissions télégraphiques, etc., datent déjà de loin ; mais dans ces effets on passe par l'intermédiaire de l'action magnétique, et bien que celle-ci ne soit, en somme, qu'un état particulier de l'électricité, ces mouvements peuvent n'être pas considérés comme résultant immédiatement de la variation de celle-ci.

Il tie s'agit pas non plus des dilatations qui peuvent naître de la chaleur produite par l'électricité; dans ce cas, il y a transformation du fluide, s'il est permis d'employer ce terme qui n'a plus beaucoup de sens ; il s'agit de mouvements, d'effets mécaniques produits dans les corps sans intermédiaire, liés directement et immédiatement à l'électricité.

Ces effets, bien que d'une extrême importance, sont naturellement très-petits en grandeur, et on ne doit pas s'étonner qu'ils aient échappé longtemps dans leur généralité à la sagacité des savants.

C'est la vibration sonore qui, la première, les a dénoncés. On aurait pu s'y attendre, on savait bien que des variations de forme que nos instruments de mesure sont impuissants à constater, peuvent, en se répétant, produire des sons très-appreciables, qui en rendent sensible l'existence.

Vers 1837, un Américain, M. [Page](#) annonça qu'un fil de fer entouré d'un conducteur isolé produisait des sons lorsqu'on faisait passer des courants fréquemment interrompus dans ce conducteur. Cette très-curieuse expérience fut reprise, discutée par [Wertheim de la Rive](#), et il fut établi que, sous l'action de ces courants répétés, le fil influencé subissait des variations de forme donnant lieu à des vibrations sonores. On saisissait ainsi le mouvement électrique; sans aucune de ces actions qu'on nomme mécaniques, on produisait un déplacement de matière rendu sensible par les sons émis. C'est sur cette propriété que fut fondé le premier en date des téléphones, celui que [Reiss](#) construisit en 1860 et dont le récepteur consistait en un fil de fer tenu par ses deux bouts et entouré d'une bobine où passaient des courants interrompus par les vibrations sonores du transmetteur.

Une autre forme curieuse des vibrations résultant du seul passage de l'électricité est due à M. [Varley](#), qui construisit un téléphone où le corps vibrant était un condensateur formé de lames conductrices et isolantes alternées et renfermé dans un tambour renforcé. C'est cette expérience reprise et ingénieusement variée par MM. [Pollard](#) et [Garnier](#) qui a donné naissance au singulier [condensateur chantant](#) qui causa tant d'étonnement l'année dernière.

Mais il n'est pas nécessaire de recourir à la forme délicate des vibrations sonores pour accuser les mouvements moléculaires dus à l'électricité. M. [Edison](#) en a donné dans son électro-motographe une application qui les rend sensibles d'une façon très-frappante. On sait que cet appareil se compose d'une pointe métallique sous laquelle passe, d'un mouvement continu, une bande de papier imbibée d'hydrate de potasse. Le mouvement du papier trouve naturellement une certaine résistance dans le frottement exercé sur la bande par la pointe de métal. M. Edison a reconnu qu'à chaque passage d'un courant dans la pointe, ce frottement change de valeur. Il se produit dans les corps en contact une modification dans l'état des surfaces telle que la force retardatrice n'est plus la même, Edison a employé ce mouvement à produire des signes dans son électro-motographe, et des sons dans son curieux récepteur téléphonique.

Les mouvements électriques sont ainsi clairement manifestés; mais ils sont susceptibles d'une démonstration plus nette encore. Dans des expériences récentes, mais dont M. [Govi](#) a réclamé la priorité, M. [Duter](#) a fait voir qu'un vase rempli de liquide n'a pas la même capacité quand ce liquide est électrisé et quand il ne l'est pas. Il a établi que dans une bouteille à col très-fin, si l'on électrise le liquide qu'elle contient en la tenant à la main, de façon à constituer une sorte de condensateur, le niveau dans le col change brusquement si l'on vient à décharger l'appareil. La forme du vase subit une altération qui a pu être mesurée. Il convient de citer aussi, comme manifestation curieuse de mouvements de même genre, les expériences par lesquelles [lord Raleigh](#) a fait voir que la forme d'écoulement d'une veine liquide est modifiée par son état électrique.

Les mouvements moléculaires dus à l'électricité sont ainsi rendus directement visibles et mesurables, et de ces expériences jointes aux faits précédents où on les voit manifestés indirectement, on serait déjà en droit de conclure que toute variation électrique entraîne une variation moléculaire, mais on en peut fournir bien d'autres preuves.

D'abord la démonstration par l'inverse qui est très-probante: si l'électricité produit par ses variations des mouvements moléculaires, réciproquement les mouvements moléculaires doivent amener des variations électriques. Or, en 1856, les travaux de M. [du Moncel](#) ont établi que dans les corps médiocrement conducteurs toute variation de pression entraîne une variation de conductibilité et sur ce principe, repris et généralisé par lui, Edison a fondé le transmetteur de son téléphone. On sait que, dans cet appareil, les vibrations de la plaque parlante sont transmises à un bouton de charbon à travers lequel passe un courant, et que toutes les vibrations produisant de légères pressions sur le charbon amènent des variations électriques. C'est sur le même principe que repose son micro-tasimètre où les dilatations très-faibles d'un corps sont rendues sensibles par la pression qu'il exerce sur une plaque de charbon traversée par un courant.

Le microphone de Hughes nous montre aussi un courant influencé par les différences de pression de deux corps vibrant l'un sur l'autre. On trouvera encore une curieuse manifestation des mêmes faits dans l'électromètre de [Lipmann](#) et dans le téléphone à mercure de [Bréguet](#) qui repose sur le même principe. Dans ces appareils, on interpose dans un circuit deux tubes renfermant du mercure. On sait que ce métal, à sa surface libre, présente une forme bombée, une surface courbe que l'on nomme ménisque. M. Lipmann a montré que, si par un moyen mécanique quelconque, on modifie la forme de l'un de ces ménisques, le courant en est affecté et reproduit dans le deuxième tube la déformation réalisée dans le premier. Cette expérience est remarquablement concluante, puisqu'elle nous montre l'action mécanique produisant la variation électrique, et celle-ci à son tour rendant le mouvement qu'elle a reçu.

Dans tous ces appareils, des modifications moléculaires très-petites, résultant de pressions extrêmement faibles, sont immédiatement manifestées par des changements très-sensibles dans le courant. D'où il résulte sans aucun doute la preuve de la liaison intime et absolue qui existe entre la constitution intérieure d'un corps et son état électrique. Ces recherches ont pris une extension très-grande et une importance de premier ordre depuis l'invention des téléphones parlants. Depuis qu'il a été reconnu que dans l'appareil de Bell on pouvait supprimer la plaque en fer sans détruire le son; depuis qu'il a fallu, par conséquent, renoncer aux attractions magnétiques auxquelles on avait d'abord attribué les vibrations, la théorie de ces appareils a dû entrer dans une autre voie, et on a reconnu là de nouvelles et générales manifestations des mouvements moléculaires électriques.

Les études et les expériences remarquables en ce sens sont si nombreuses, qu'il ne faut même pas essayer de les résumer ici ; signalons seulement les résultats frappants obtenus par M. Ader, d'où il résulte qu'un fil quelconque parcouru ou entouré par le courant, en reçoit des vibrations si nettes qu'elles peuvent, convenablement recueillies, transmettre la parole, complètement bien remarquable de l'expérience de Page qui a été l'origine de toutes ces recherches.

Signalons les faits si curieux qui ont établi qu'un liquide même peut servir de récepteur téléphonique, et qu'il éprouve par le passage de l'électricité des ébranlements assez sensibles pour être recueillis et transmis à l'oreille.

De tous ces faits on conclut qu'une liaison absolue existe entre la situation relative des molécules d'un corps et son état électrique, et qu'aucune variation si faible que ce soit

ne peut se produire dans l'un de ces éléments sans que l'autre en soit affecté suivant une loi régulière.

Ce résultat est d'une haute importance, en ce qu'il semble nous offrir un moyen de pénétrer cette constitution intime des corps dont la connaissance nous est si difficile. Dès à présent il met dans un curieux relief l'extrême instabilité de cette constitution. Il en résulte, en effet, que si les molécules des solides se meuvent dans de très-étroites limites, elles s'y déplacent avec une extrême facilité, et sous l'influence d'actions excessivement faibles. Leur situation relative, la forme en un mot des corps solides, ne peut, sans des forces importantes, subir des modifications sensibles ; mais elle en subit de très-petites sous l'action des plus petites forces, et, bien que nous ne le voyons pas, est en réalité dans un état de continuel changement.

Au reste, il est généralement inutile de chercher à prévoir à l'avance les résultats qui sortiront d'une nouvelle série d'études ; ils sont quelquefois bien différents de ce qu'on attendait ; ce qu'on peut seulement presque toujours affirmer sans crainte, c'est qu'ils existeront, et à cet égard l'ensemble des faits qui viennent d'être rapidement rappelés offre toutes garanties et présente aux recherches un champ qui ne peut manquer d'être fécond.

Frank Géraldy.

13 sept, 1878 "English mechanic and World of science" No. 703

LE THERMOPHONE.

Lorsque l'apparition du téléphone de Bell à la réunion de l'Association britannique à Plymouth suscita un tel enthousiasme et une telle admiration, nous étions enclins à penser que cet instrument serait sans délai appliqué à des fins pratiques générales, et remplacerait même le télégraphe Morse, son redoutable rival, en un très court séjour.

L'expérience nous montre aujourd'hui que le téléphone a très peu progressé pour gagner la faveur du public par son utilité pratique.

Il s'est avéré ne produire qu'un son d'un intérêt minimal, et comme il est sujet à des dysfonctionnements fréquents, et nécessite donc une attention constante, nous craignons qu'il rejoigne la longue liste des jouets scientifiques. Le manque d'intensité du son reproduit a été considéré comme inhérent à la nature de l'action magnétique et c'est pour cette raison que les scientifiques ont souvent conseillé aux inventeurs d'abandonner les principes connus et si possible d'ouvrir une nouvelle voie de progrès en téléphonie.

Nous avons consacré beaucoup de temps et beaucoup d'efforts à cette fin, et nous vous soumettons ici le résultat de nos efforts de recherche expérimentale.

À la recherche d'une nouvelle source de son pour le téléphone, nous avons porté notre attention sur les vibrations sonores produites par la dilatation des corps sous l'influence de la chaleur, et la production de chaleur au moyen du courant électrique. Lorsqu'un courant électrique provenant d'une batterie ou d'une autre source d'électricité traverse un circuit constitué de deux fils de cuivre, dont les extrémités sont reliées aux bornes d'un mauvais conducteur (par exemple, un court morceau de fil de platine fin), ce dernier devient immédiatement incandescent et, si le courant est suffisamment fort, il fond. Le sulfure de cuivre est connu pour dégager tellement de chaleur dans ces conditions qu'il constitue un fusible électrique efficace ; le carbone gazeux et d'autres substances de faible conductivité présentent les mêmes résultats. La résistance opposée par ces corps convertit une partie du courant électrique en chaleur.

Comme on sait que les corps se dilatent lorsqu'ils sont soumis à une température élevée, le fil de platine, le sulfure de cuivre ou le carbone gazeux, etc., augmentera, lorsqu'il est chauffé, en longueur, largeur et épaisseur (contrairement au fer doux ou à l'acier qui, sous l'influence de l'électromagnétisme, ne s'allongent que dans une seule dimension), et produira ainsi une condensation dans l'air ambiant. En refroidissant, le fil se contracte et provoque une raréfaction de l'air d'un degré correspondant.

Si une série de courants électriques est envoyée de manière régulière et rapide à travers un circuit contenant une telle substance, les impulsions transmises à l'air ambiant par cette substance produisent un son musical.

Lors de nos expériences sur ce sujet, nous avons utilisé un électroaimant dont le noyau était constitué d'un tube de fer de qualité inférieure et la bobine d'un fil de cuivre isolé assez fin (n° 26). Sous l'influence des forts courants produits par la batterie de notre « téléphone musical », nous avons remarqué avec intérêt que l'aimant avait considérablement chauffé. Le fer de mauvaise qualité est très sensible à l'électromagnétisme, et la résistance qu'il oppose à l'induction électromagnétique produit de la chaleur.

Nous avons donc pensé avoir découvert un moyen d'intensifier les effets décrits ci-dessus en utilisant comme source de chaleur non seulement la résistance opposée par les mauvais conducteurs au passage du courant électrique, mais aussi la résistance du fer ou de l'acier à l'action électromagnétique, improprement appelée force coercitive.

L'induction électromagnétique directe a elle-même été employée sur notre appareil, comme a été employé sur nos instruments dans une étendue limitée seulement

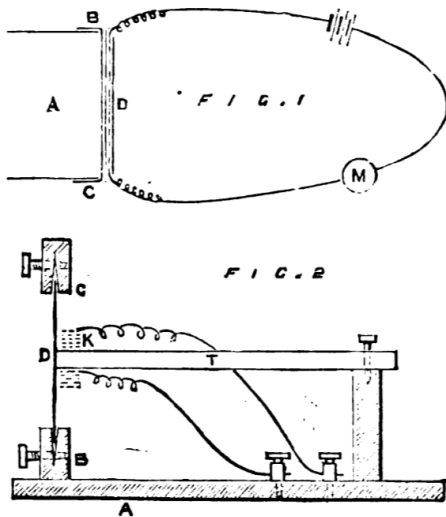
La combinaison dans l'émetteur par une série de vibrations sonores des effets de ces trois types d'impulsions se manifeste dans ce que nous appelons vaguement - mouvement moléculaire

Les mauvais conducteurs que nous interposons dans le circuit de nos instruments sont de petites bobines de fil isolé très fin, en maillechort, en platine ou en cuivre. Mais les sons émis par de telles bobines sont en effet très faibles, et nous avons dû concevoir des moyens de les intensifier par des impulsions. Les bobines étaient placées entre des disques de fer, ou sur des tubes de fer étamé, à proximité immédiate de ces disques

Les sons ainsi produits agissaient sur une surface résonnante ou cavité.

Par ces moyens, nous sommes parvenus à construire des récepteurs téléphoniques efficaces, sans utiliser d'aimants à proprement parler

L'un de ces instruments est de la construction suivante :



(La figure 1 représente une coupe transversale de celui-ci) :

-A, tube en laiton ; B, C, membrane ; D, bobine ; M, microphone ou téléphone

Trois disques en fer noirci, l'un de 1,25 cm de diamètre, les deux autres de 7,5 cm de diamètre, sont vernis des deux côtés et collés ensemble, le plus petit disque entre les deux plus grands. On forme ainsi une bobine très fine, sur laquelle on enroule une petite bobine d'environ 4,5 à 9 mètres seulement de fil de cuivre n° 36 recouvert de soie. La bobine est ensuite collée au centre de la membrane d'un tambourin, ou d'une membrane tendue sur une extrémité d'un tube en laiton de 10 cm de long et de 7,5 cm de diamètre.

Un autre récepteur est construit comme suit : - Un tube en fer étamé, T, 6 pouces de long et d'un diamètre donné, est soudé en un seul point (non circulaire) au centre d'un disque téléphonique ordinaire, D, fixé par un couvercle sur un support. Une bobine, telle que décrite ci-dessus ou plus grande, est enroulée autour du tube près du disque. Le disque et le tube s'avèrent être un excellent résonateur.

Nous l'avons trouvé aussi sensible aux vibrations sonores que la partie de cet instrument (voir Fig 2) (A, B, C, G, supports en bois du disque, K, bobine, T, tube).

Avec ce récepteur, nous avons entendu la mélodie d'une boîte à musique et la parole reproduites avec une grande fidélité, tant en qualité qu'en hauteur, et avec une intensité considérable

Un tube de fer étamé, de 10 cm de long et de 1,25 cm de diamètre, bobiné avec une bobine, telle que décrite ci-dessus, reproduira également les sons téléphoniques. Ces différents récepteurs démontrent clairement que ni l'aimant ni le disque ne sont des éléments essentiels, mais seulement des accessoires d'un récepteur téléphonique. Cette affirmation est prouvée non seulement par la théorie que nous exposons, mais aussi par les résultats pratiques de nos expériences. Néanmoins, nous devons nous attendre à des critiques défavorables concernant notre explication du fonctionnement de ces instruments.

Le principal argument théorique qui sera présenté contre nous sera que des successions de changements de température, si infiniment rapides qu'elles produisent un son par la dilatation des corps sur lesquels elles agissent, sont impossibles.

Mais on a utilisé exactement le même argument contre la rapidité des changements magnéto-électriques jusqu'à ce que les performances des téléphones de Bell réfutent

pratiquement l'hypothèse hâtive. Je renvoie ceux qui nourrissent des doutes à une vérification expérimentale et leur demande d'enrouler un mètre seulement de fil isolé, n° 36, autour d'une bobine en acier ordinaire de machine à coudre, puis d'insérer cette bobine miniature, avec une batterie puissante, dans un circuit électrique, et d'établir et d'interrompre le contact très rapidement.

Le résultat ainsi obtenu constituera une preuve plus convaincante que toute affirmation que nous pourrions formuler par écrit.

Lors de nos recherches pratiques sur ces récepteurs, nous avons entendu parler des rapports de M Blythe et de M Hughes sur leurs récepteurs à microphone, et le principe fonctionnement de ces instruments nous a semblé être exactement celui sur lequel nous menions nos expériences

Le carbone, étant un conducteur médiocre, offre une résistance considérable au passage du courant électrique. Sa température est élevée en degrés, proportionnellement à l'intensité des courants qui le traversent, et il se dilate sous l'effet de la chaleur, en degrés, proportionnellement aux ondulations du courant telles que variées ou produites dans l'émetteur par une série de vibrations sonores d'amplitudes différentes. Il est à noter que nous n'avons eu connaissance d'aucune répétition réussie de l'expérience de M Blythe. Le principe n'a manifestement pas été compris, et les expérimentateurs, au lieu d'utiliser des courants de quantité, emploient probablement les piles de microphone habituelles, qui sont extrêmement faibles et dont les courants ne produisent que des effets minimes, de la nature décrite.

Le principe que nous expliquons permet de nombreuses applications différentes. Nous avons produit une variété de récepteurs. Aucun n'est aussi parfait que nous le souhaiterions, ni même aussi efficace qu'un bon téléphone Bell.

Mais sans aucun doute, le sujet sera repris par de nombreux expérimentateurs, et nous éprouvons une certaine satisfaction d'avoir découvert le principe et établi expérimentalement le fait qu'il est possible de reproduire le son par action thermique grâce à la conversion de forces.

Une nouvelle voie est ainsi ouverte à la recherche scientifique, et au progrès ss en téléphonie.

Th Wiesendanger

M. **Wiesendanger** avait établi, d'après ces propriétés qu'il soupçonnait, un téléphone auquel il donna le nom de ***Thermophone*** (Voir *English mechanic and World of science du 13 sept, 1878 ci dessus*) et qui a été décrit dans les différentes éditions de l'ouvrage de M. du Moncel sur le téléphone, le microphone et le phonographe ; mais la théorie qu'il avait émise à cet égard n'avait pas été accueillie tout d'abord avec l'intérêt qu'elle méritait; on croyait que les mouvements de dilatation et de rétraction résultant des actions calorifiques devaient être trop lents à se produire pour provoquer des vibrations; mais M. Wiesendanger répondait à cela que ces effets de dilatation et de contraction pouvaient être moléculaires, et par conséquent ne pas se produire dans les mêmes conditions que ceux qui se manifestent dans les masses matérielles.

Suivant lui, son hypothèse permettait d'expliquer la reproduction de la parole dans les microphones récepteurs de Hughes et pourrait même s'appliquer à la théorie du téléphone électro-magnétique, en considérant qu'une hélice magnétisante aussi bien qu'un noyau magnétique autour duquel circule un courant électrique, se trouve plus ou moins échauffée suivant l'intensité du courant qui la parcourt, surtout quand le fil de cette hélice et le noyau sont mauvais conducteurs de l'électricité et du magnétisme. Dans le même ordre d'idées, M. Preece a voulu examiner jusqu'à quel point des variations promptes dans la dilatation d'un fil pouvaient entraîner des vibrations sonores, et il eut l'idée d'adapter au centre d'un diaphragme de téléphone fixé sur une table d'harmonie, un fil fin et résistant traversé par le courant ondulatoire d'un parleur microphonique, animé par une pile à bichromate de potasse de six éléments. C'était, comme on le voit, l'expérience de M. Ader sous une autre forme. On obtint naturellement la reproduction de la parole; mais, comme l'appareil était disposé de manière à ce que l'on pût varier la longueur et la nature du fil, on pût varier les expériences, et on est arrivé à constater les résultats suivants.

1° La longueur de fil correspondante à la plus grande intensité des sons était d'environ six pouces.

2° Le diamètre le plus favorable était de 0,001 de pouce.

3° Le métal donnant les meilleurs effets était le platine, et les autres métaux pouvaient être rangés dans l'ordre suivant çu égard à la propriété que nous étudions : platine aluminium, palladium, fer, cuivre, argent, or. Cette conclusion est tout à fait différente de celle de M. Ader.

4° L'étirage et la compression des fils n'amenaient aucun changement dans leur faculté de reproduire les sons, quand toutefois, la tension requise avait été atteinte. Il en a été de même en substituant aux fils des crayons de charbon.

5° Les effets dus à réchauffement ou au refroidissement du fil, pouvaient être mis en évidence par la sensation que l'on ressentait en touchant ces fils du doigt, et on pouvait, d'ailleurs, distinguer à l'œil les dilatactions et contractions qui en résultaient, quand on émettait des sons bas.

« Or, il semble démontré d'après ces expériences, dit M. Preece, que les fils servant aux transmissions téléphoniques, peuvent reproduire par des effets de dilatation et de contraction les mouvements des ondes sonores qui déterminent, dans- le transmetteur, les renforcements et les affaiblissements du courant transmis, et par conséquent peuvent émettre des vibrations sonores. Ces vibrations sont donc, par le fait, très-analogues à celles qui sont produites mécaniquement et moléculairement dans les fils des téléphones à ficelle, niais avec cette grande différence que, dans ce dernier cas, elles se propagent lentement le long du fil avec une vitesse facile à mesurer, tandis que dans l'autre cas elles se propagent pour ainsi dire instantanément sur toute la longueur du fil. »

Il n'est pas inutile de dire, à l'occasion de ces recherches, que M. Dunand est arrivé à reproduire nettement la parole avec un fil de platine de quelques millimètres de longueur, placé en arc-boutant entre deux plaques de cuivre mises en rapport avec le circuit d'un microphone. Il avait du reste constaté depuis longtemps que tous les métaux pouvaient produire le même effet ; de sorte que la reproduction des sons par un fil ne peut être considérée comme étant particulière aux fils en matière magnétique.

Les expériences de M. Preece, que nous avons rapportées dans le numéro du 1er juillet de ce journal, qnt été l'occasion d'une réclamation de priorité de M. G. M. Hopkins, insérée dans le Scientific American du 17 juillet.

D'après ses propres expériences, qu'il a répétées à peu près dans les mêmes conditions que le savant anglais, l'articulation de la parole n'aurait pu jamais être obtenue d'une manière distincte, quelle qu'ait été la nature du fil métallique employé, et il a même essayé de petites baguettes de charbon. Toutefois, il a mis à contribution les effets d'élongation et de contraction du fil produits dans ces conditions, à la construction d'un relais télégraphique qui a fourni des réml-tats avantageux.

Nous croyons que si M. Hopkins n'a pas obtenu la reproduction de la parole par le moyen indiqué par M. Preece, c'est qu'il ne s'est pas placé dans les conditions convenables car M. Dunand l'a parfaitement réalisée avec un fil de platine, et M. Ader avec un fil de fer terminé par une masse pesante ; toutefois, nous ne croyons pas que ce soit aux effets thermiques qu'il faut attribuer ce phénomène, mais bien à des effets moléculaires effectués au sein du fil par le passage du courant. Les effets de dilatation sont beaucoup trop lents pour donner naissance à des vibrations sonores, et les expériences de M. Ader montrent, comme on l'a vu, que, par le fait du passage du courant, il peut se produire deux effets tout à fait distincts et souvent contraires l'im à l'autre.

1879"LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE"

EXPÉRIENCES NOUVELLES sur l'origine des sons dans le téléphone

Les observations qui nous ont été faites, par quelques-uns de nos correspondants, sur l'origine des sons dans le téléphone, et les demandes de renseignements que nous avons reçues au sujet des deux articles que nous avons publiés sur cette question dans notre dernier numéro, nous engagent à revenir un peu sur ce sujet et à indiquer les nouvelles expériences de M. du Moncel, qui ne peuvent maintenant laisser aucun doute.

On nous fait remarquer que la parole pouvant être reproduite de beaucoup de manières différentes, chaque système de téléphone peut lui-même la transmettre d'une manière multiple, c'est-à-dire sous l'influence de causes différentes, et que le téléphone Bell, par exemple, peut fournir la répétition des sons articulés à la fois par le noyau magnétique, par le diaphragme, par la bobine et par l'enveloppe en bois du téléphone lui-même. On ajoute toutefois que, dans cet appareil, ce sont les sons fournis par le diaphragme qui doivent être les plus marqués.

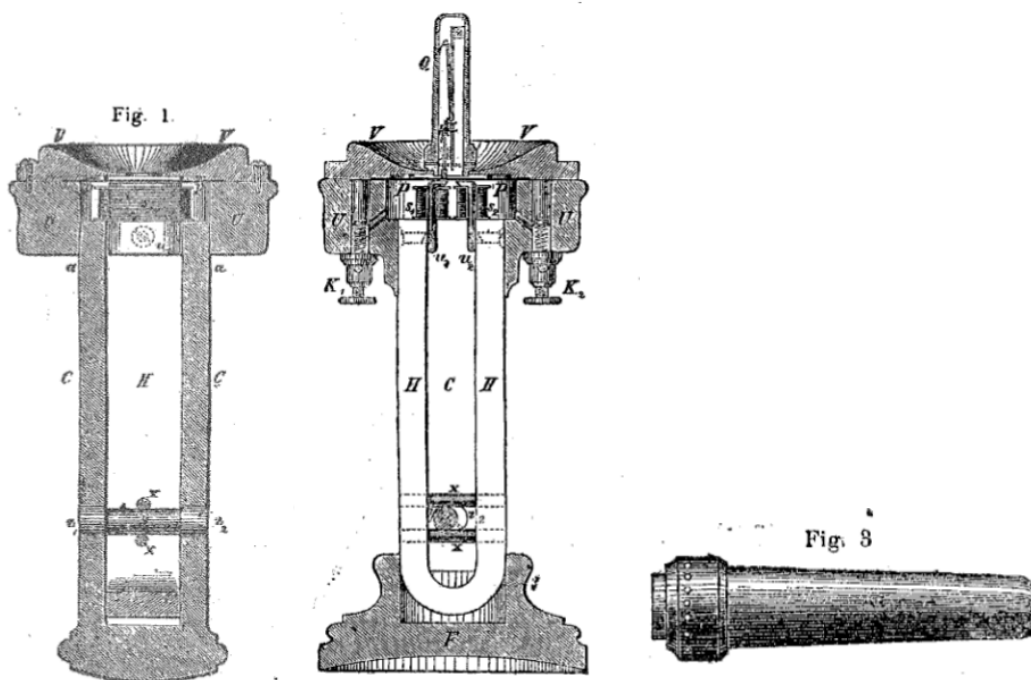
Il est certain que le diaphragme, en raison de sa plus grande proximité de l'oreille et de sa moindre inertie magnétique, doit, d'après la théorie qu'a donnée M. du Moncel de ces effets, fournir des vibrations plus caractérisées que le noyau magnétique et les organes qui en dépendent. Mais, suivant lui, et suivant notre propre opinion, ces vibrations ne -résulteraient d'attractions électro-magnétiques, que dans le cas où l'on emploierait des courants d'une intensité suffisante, c'est-à-dire des courants voltaïques. Avec les courants induits fournis par le téléphone Bell, courants dont l'intensité peut être représentée par celle du courant d'un élément de Daniel qui aurait parcouru 290 fois le tour du monde à travers un fil télégraphique de 4 millimètres, ces attractions sont impossibles, et il faut admettre forcément que les vibrations produites alors sont le résultat d'effets moléculaires déterminés par les aimantations et désaimantations, du diaphragme sous l'influence du noyau magnétique. Dans ce cas, ces effets seraient complètement analogues à ceux produits dans le noyau magnétique lui-même et, par conséquent, auraient la même cause. On a répondu, il est vrai, à M. du Moncel, quand il a soutenu cette théorie, que les sons produits par les actions exercées directement sur les noyaux magnétiques né pouvaient être obtenus qu'avec des forces électriques un peu considérables, et, par conséquent, ne pouvaient pas être le résultat de courants aussi faibles que ceux dont il vient d'être question. Les expériences de M. Ader avaient bien démontré que la parole pouvait être reproduite très-nettement avec un fil de fer; mais il fallait employer pour cela de 3 à 6 éléments Leclanché, et, pour réduire à néant cette objection, M. du Moncel a entrepris une série d'expériences qui ont démontré que la parole pouvait être très-distinctement reproduite avec les courants d'un téléphone Bell ordinaire, mais à la condition de constituer le récepteur avec un fragment de ressort de montre fortement aimanté et fixé par un bout sur une planchette. Si l'on adapte sur cette lame de ressort une hélice de fil très-fin, placée contre la planche et laissant dépasser un bout du ressort, la parole se trouve perçue très-nettement, plus nettement même qu'avec un microphone parleur, quand on applique la planchette contre l'oreille. Dans ce cas, il est bien évident qu'il ne peut y avoir que des vibrations moléculaires. et pourtant les courants si faibles qui étaient employés suffisent pour reproduire la parole. Il faut donc que l'on prenne son parti de regarder les anciennes théories de l'acoustique comme n'étant plus à la hauteur de la science actuelle, et, n'en déplaie à quelques savants retardataires, il faudra désormais qu'ils comptent avec les mouvemen ts moléculaires et les sons qui peuvent en résulter.

Dernièrement M. **H. Wilbrand** a publié, dans le journal l'Electricité du 5 juin, certaines expériences des plus concluantes, en faveur de la théorie que nous venons d'exposer.

F. G

Le nouveau modèle de téléphone breveté par MM. Siemens et Halske le 8 mai 1878, renferme, comme celui de M. Gower, son avertisseur et il est assez énergique pour se faire entendre à une certaine distance de l'instrument. Comme forme, il se rapproche du modèle ordinaire de Bell, mais le manche, au lieu de renfermer un simple noyau magnétique, contient un aimant persistant, en fer à cheval, très-énergique.

Fig. 2.



La figure 2 représente la coupe de cet appareil. H, H, est l'aimant en fer à cheval dont nous venons de parler ; il ressemble, comme on le voit, à un aimant Hughes dont les noyaux polaires u_1 u_2 sont placés à l'intérieur des branches et portent en s_1 , s_2 les bobines électro-magnétiques. Cet aimant, au moyen de deux traverses X, X et d'un excentrique y, peut être élevé ou abaissé par rapport au diaphragme PP, et les fils des bobines aboutissent aux bornes d'attache K1 K2 fixées sur la boîte de bois UU, qui soutient l'embouchure VV du téléphone.

L'avertisseur consiste dans un sifflet Q, vissé sur l'orifice du téléphone et disposé de manière qu'une tige fixée à l'ancre du sifflet appuie sur le diaphragme PP. Quand on veut appeler, il suffit de souffler dans ce sifflet, et immédiatement, les vibrations de l'ancre se trouvant communiquées au diaphragme PP, lui font déterminer des courants induits assez forts pour réagir sur le récepteur téléphonique mis correspondance avec cet appareil, et lui faire produire un appel susceptible d'être entendu d'assez loin. Quand on veut parler avec l'appareil, on dévisse le sifflet Q et l'on se trouve en possession d'un téléphone ordinaire. L'appareil peut, d'ailleurs, être soutenu dans un pied F, dans lequel est introduite la partie circulaire de l'aimant en fer à cheval,

La figure 1 représente un autre modèle de ce système téléphonique, et la figure 3 représente le sifflet qui est vissé au fond de l'ouverture VV.

D'après M. *Zetzche*, l'oreille peut, au moyen de ce téléphone, comprendre la parole à une assez grande distance de l'embouchure V, et la bouche de celui qui parle a pu, au cours des expériences qui ont été faites avec ce téléphone, au Polytechnicum de Dresde (même avec une résistance de 3000 unités Siemens, dans le circuit d'induction), être éloignée d'un mètre ; ce n'est que quand l'éloignement de la bouche a atteint deux mètres que la parole n'a plus été compréhensible.

Moyen facile de réglage des téléphones.

— La réussite des téléphones tient beaucoup plus au réglage qu'à la bonté des appareils, et, comme ce réglage doit varier suivant les conditions d'installation de la ligne téléphonique, on ne doit pas être étonné que des téléphones achetés pour fournir des indications dans une maison ne soient pas susceptibles de donner de bons résultats quand on les applique sur une ligne d'une certaine longueur. La lettre suivante, que nous a adressée M. le colonel *de Champvallier*, met ce fait hors de doute et nous montre de plus que le téléphone, tel qu'il est aujourd'hui, est susceptible de nombreuses applications, quoi qu'en aient dit certaines personnes.

Monsieur,

J'ai l'honneur de m'adresser à vous dont je lis les ouvrages avec tant d'intérêt et, permettez-moi de le dire, avec le plus grand profit pour mes études et mes expériences. La communication que je vous demanderais de faire à l'Académie n'a rien de très scientifique, mais, toute simple qu'elle est, je la crois d'une utilité de premier ordre pour la vulgarisation de l'usage du téléphone Bell.

Vous savez peut-être, par une communication antérieure, accueillie favorablement par l'Académie et que vous avez reproduite en partie dans votre dernier ouvrage, que l'Ecole d'artillerie de Clermont se sert couramment du téléphone Bell, non-seulement pendant les écoles à feu, mais encore pour communiquer de mon bureau au champ de tir situé à 15 kilomètres.

Depuis plus d'un an, cette ligne téléphonique est installée, et les communications n'ont jamais été interrompues un seul instant.

Nous parlons à voix basse et tout le monde se sert indistinctement de nos téléphones sans jamais perdre un mot de son correspondant ; il est si facile de parler et d'entendre, que pendant l'hiver un sous-officier faisait chaque matin une dictée de deux pages au canonier assez illettré qui garde notre poste à 1000 mètres d'altitude, celui-ci épelait tous les mots et on a pu ainsi lui donner avec succès des leçons d'orthographe et même de prononciation ; or, la dictée et la répétition ne prennent jamais plus d'une demi-heure, juste le temps qu'il faudrait pour les mêmes opérations si le maître et l'élève étaient dans la même pièce.

Chaque poste téléphonique comprend trois téléphones : un muni d'un cornet de 30 centimètres de long, pour parler, est placé dans une position invariable à 45°, sur la table ; les deux autres téléphones adaptés à un chapeau spécial qui les place de lui-même aux deux oreilles permettent d'entendre au milieu du bruit et sans que les personnes placées dans le bureau téléphonique soient obligées d'interrompre leurs conversations. Les deux correspondants ont ainsi leurs mains libres.

Notre fil n'est pas seul sur les poteaux qui le supportent, et, tout en écoutant le correspondant téléphonique, on entend les dépêches Morse ou Hugues qui passent sur les fils voisins et même les dépêches téléphoniques échangées sur le fil qui relie l'Observatoire du sommet du Puy-de-Dôme à l'Observatoire de Clermont.

Tous ces bruits étrangers nous gênent peu ; j'ai même pu causer à demi-voix à 65 kilomètres, entre Saint-Germain-des-Fossés et Clermont, malgré un tic-tac très-fort produit par le passage de dépêches Morse continues sur plus de dix fils voisins.

Tous ces résultats ne concordent pas avec ceux obtenus dans la plupart des stations téléphoniques où l'on a presque renoncé à l'usage de ce merveilleux instrument, parce qu'on trouve que, très-nette et très-sensible d'abord, l'audition devient par la suite difficile et irrégulière.

Le secret de notre succès, vous l'avez déjà deviné, vient uniquement de notre méthode de réglage, et c'est là le but unique de ma communication.

Les téléphones ordinaires portent une vis de réglage que l'on est obligé de faire marcher avec un tourne-vis sans jamais savoir où l'on en est et si même on ne force pas l'aimant contre la plaque vibrante en détériorant celle-ci, ce qui arrive fréquemment dans les stations qui, comme la nôtre, sont livrées à tous : habiles et maladroits ou ignorants.

Avec le concours d'un habile électricien, amateur de Clermont, M. *Chatard*, nous avons remplacé la tête de la vis de réglage par un boulon moleté qui porte à la base de son axe une aiguille perpendiculaire à cet axe. Cette aiguille se meut à la surface d'un cercle de cuivre dont la circonférence est divisée en douze parties égales portant les numéros 1, 2, 3, etc.

On commence par régler le téléphone en faisant lire sur le même ton son correspondant et tournant le bouton régulateur jusqu'au maximum de netteté de l'audition ; si le téléphone ne doit servir qu'à entendre (ce qui est préférable dans un bureau bien installé), le téléphone se trouve réglé.

S'il doit servir uniquement à parler, on le règle par l'opération inverse en lisant soi-même et tournant à droite ou à gauche le bouton jusqu'à ce que le correspondant vous avertisse que vous êtes arrivé au maximum de netteté dans la parole.

Si le téléphone doit servir à parler et à entendre, après l'avoir réglé des deux manières ci-dessus décrites et noté les deux positions de l'aiguille sur la circonférence du limbe, positions toujours très-voisines mais différentes, on donne à la pointe de l'aiguille une position intermédiaire.

Quoi qu'il en soit, une fois le téléphone bien réglé, il faudra très-peu éloigner ou rapprocher l'aimant de la plaque vibrante pour le régler à nouveau suivant la température, l'état électrique ou humide de l'air, la force d'aimantation changeante du barreau, etc. L'expérience nous a appris que, avec le pas de vis adopté par nous, une demi circonférence

parcourue par la pointe de l'aiguille à droite ou à gauche était toujours suffisante pour revenir à un réglage parfait.

Nous plaçons alors un arrêt sur le limbe à 180 ° de la position de l'aiguille quand le téléphone est réglé pour la première fois, et nos plaques- vibrantes se trouvent à l'abri de toutes les maladresses, volontaires ou non, des visiteurs et des indiscrets.

Chaque téléphone porte un numéro d'ordre et sur un registre matricule, ouvert ad hoc, vis-à-vis du numéro du téléphone on inscrit dans une première colonne son point de réglage, c'est-à-dire la division où se trouve la pointe de l'aiguille :

Si le réglage doit être changé, ce qui est rare, on s'y décide après examen et on l'inscrit dans la colonne suivante avec la date.

Grâce à ce procédé si simple, on peut livrer à tous et sans surveillance les téléphones, et on peut toujours, sans hésitation, replacer l'aimant à sa position sans tâtonnement. Tous ceux qui voudront, comme nous, employer le procédé précité arriveront à se servir sans mécompte du merveilleux instrument inventé par M. Bell, le meilleur et le plus simple de tous, et qu'il est, selon moi, inutile de perfectionner au moins pour les petites distances.

Que peut-on demander, en effet, de plus à un instrument que de transmettre à 15,20 kilomètres la voix avec son timbre et sensiblement toute sa puissance même quand on la fait entendre à la fois, comme je l'ai fait, à vingt personnes, en plaçant dans le même circuit vingt téléphones.

Pour avertisseur nous employons tout simplement une sonnerie électrique avec pile; bien que, en ajoutant un système convenable de cornets, nous puissions faire entendre da toute une salle à 5 et 6 mètres des téléphones, un commandement militaire ou le son d'une trompette émis à 15 et même à 65 kilomètres; ce moyen d'avertir est peu pratique et je préfère la sonnerie même à la bobine Ruhmkorff, difficile à régler par le premier venu.

Nous parlons également avec le microphone; mais cet instrument, pour cet usage, n'a pas la netteté et la sûreté du téléphone.

Enfin, monsieur, je crois vous intéresser en vous apprenant que nous allons établir une ligne purement téléphonique pour mettre nos bureaux en communication avec deux très-importants établissements militaires éloignés entre eux et de Clermont de 4 kilomètres. Le téléphone, dans cette circonstance, va être utilisé pour faciliter non-seulement les communications, mais encore et surtout comme un puissant moyen de surveillance. Les deux établissements précités contiendront un matériel de guerre considérable, en grande partie composé de munitions et dont la valeur dépassera 50 à 60 millions.

Indépendamment de cette importance financière, il y a un intérêt de premier ordre pour la défense du pays, à garantir par tous les moyens possibles la conservation absolue de nos magasins.

La première des conditions c'est d'être assuré que les surveillants ont à leur poste, la deuxième c'est d'être prévenu instantanément de tout événement.

Le télégraphe pourrait satisfaire, à la rigueur, à la deuxième condition; mais le téléphone encore bien mieux, puisque, en cas d'accident, d'incendie par exemple, n'importe quel employé, sans être habité aux manipulations télégraphiques, peut donner l'alarme à Clermont.

Quant à la première condition, le téléphone est bien supérieur au télégraphe, l'employé de service ne peut se faire remplacer par personne, car je connais sa voix dans le téléphone comme s'il me parlait à 1 ou 2 mètres, et il ne peut pas dire qu'on ne l'a pas sonné, car, avec une petite disposition de détail, j'entends dans mon téléphone la sonnerie que je produis chez lui. Voilà donc le téléphone remplaçant le meilleur des officiers de ronde et contribuant à la conservation d'une partie des ressources du pays.

Notre ligne téléphonique sera portée sur des poteaux distincts de ceux des télégraphes, quoique placés aussi le long des voies ferrées, mais le plus loin possible des lignes télégraphiques; j'espère ainsi diminuer le tic-tac désagréable produit par le passage des dépêches Morses et en même temps assurer à l'administration des télégraphes le secret de ses dépêches; mais je suis loin d'être convaincu que j'éviterai complètement l'audition des dépêches Morses, bien que nos fils soient placés à 2 ou 3 mètres des fils télégraphiques.

Comme perfectionnement important apporté au téléphone, nous aurions bien encore à parler du téléphone de **M. Righi**, qui a permis également de reproduire la parole et les sons musicaux à une distance assez grande pour qu'on puisse les entendre dans toute une pièce; mais comme nous avons décrit cet appareil avec détails dans la dernière édition de notre ouvrage sur le Téléphone, nous croyons inutile d'y revenir dans cet article ; nous dirons seulement qu'on le construit chez M. Carpentier, successeur de M. Ruhmkorff.

Nous terminerons notre travail en rapportant un fait assez curieux dont M. Crèpeux, chef de bataillon du génie à Lunéville, a donné communication à la Société d'encouragement, dans sa séance du 13 juin 1879. Voici ce fait ;

« Il y a, à Lunéville, une installation téléphonique faite dans des conditions assez primitives. Le fil de ligne est un fil de fer galvanisé de 3 millimètres, très-tendu. Il est fixé à un poteau au-dessus d'un grenier et il s'infléchit à angle obtus sur la gaine de cheminée en briques d'un bâtiment voisin, éloigné d'une dizaine de mètres. La gaine de la cheminée correspond naturellement à l'âtre, dans une chambre du premier étage du bâtiment. Quand on parle dans le téléphone d'une station à l'autre, non-seulement le récepteur parle, et, pour l'entendre, il faut le mettre près de l'oreille, « mais, fait inexplicable, la cheminée, où s'infléchit le fil, parle, l'âtre parle, et une personne couchée dans la chambre entend, de son lit, lotîtes les paroles transmises au fil, plus distinctement que ceux qui, à l'extrémité de la ligne, se servent de l'appareil récepteur. Impossible de nier ce fait, dont j'ai été témoin plusieurs fois.

On a isolé le fil de la gaine de cheminée au moyen de plaques de verre : la parole n'a pas, pour cela, cessé d'être entendue. A la station la plus éloignée, à 200 ou 250 mètres de distance environ, un fait semblable s'est reproduit.

Le fil de terre suit, dans son parcours, un tuyau de descente en zinc. Ce tuyau a des ramifications aboutissant à des pierres à évier : la pierre à évier parle. J'ai entendu dire qu'à chaque point d'attache le fil de ligne parlait; ainsi, si on lui fait faire quelques tours autour d'un clou fiché dans la muraille, le nœud ainsi produit parle. Il est probable que le fait, dont je rends compte, ne se produit que dans les environs des points d'attache et de contact. Il est probable que cet effet doit être rapporté à la même cause que celui par lequel un microphone peut devenir un très-bon récepteur, et comme dans ce cas l'effet est produit au contact des deux charbons, il est probable que le phénomène cité par M. Crèpeux est, comme il l'observe lui-même, déterminé au point de contact du fil, avec les supports, et que la transmission des vibrations de ce point de contact aux différentes parties de la cheminée dont il a été question, est le résultat d'une action mécanique, comme cela a lieu dans les téléphones à ficelle. M. Decharme a, du reste, indiqué des expériences intéressantes sur ce mode de transmission des vibrations, expériences qui montrent que la parole peut être reproduite mécaniquement d'une manière très-accentuée sous certaines conditions.

Th. du Moncel.

1880 "LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE" .

Essai sur les causes de la production du son dans les téléphones, etc., par **M. R. Coulon**.

Nous avons reçu récemment une très-intéressante brochure de M. R. Coulon sur les causes de la production du son dans les téléphones, dans laquelle sont développées d'une manière à la fois savante et intéressante les diverses recherches qu'il a entreprises depuis plus d'une année sur cette question, et dont nous avons résumé les principaux résultats dans nos numéros des 15 septembre et 15 octobre 1879.

M. R. Coulon est, comme on l'a vu, de ceux qui, comme **M. Th. du Moncel**, soutiennent la théorie des vibrations moléculaires.

« Dans les téléphones, dit-il, les mouvements sont moléculaires, invisibles, latents, et peuvent parfois, dans des cas exceptionnels, devenir mécaniques ou apparents.

« Afin qu'on puisse bien saisir cette théorie, je la résume dans un tableau d'ensemble, en prenant par exemple le cas en apparence le plus simple, mais en réalité le plus compliqué, celui d'un téléphone sans pile et d'un récepteur sans plaque transmettant la parole à l'observateur par l'intermédiaire d'un corps solide quelconque.

« Première phase. — La voix de l'expéditeur fait vibrer la plaque, du téléphone par l'intermédiaire de l'air ; effet purement acoustique.

« Deuxième phase. — La plaque du téléphone, en vibrant, détermine la production d'une série de courants induits qui traduisent exactement en ondes électriques les ondes acoustiques précédentes.

« Troisième phase. — Les ondes électriques, en arrivant dans la bobine du récepteur, agissent par induction sur le noyau central et y déterminent des mouvements moléculaires qui sont la fidèle reproduction de ceux de la plaque du transmetteur, mais sur une échelle infiniment réduite, par suite des pertes.

« Quatrième phase. — Ces mouvements moléculaires du noyau sont transmises, par simple contact, à tous les corps qui le touchent (monture de l'instrument, ficelle ou autres objets servant à l'expérience) et par leur intermédiaire, arrivent à notre oreille.

« Ce cas, qui semble l'exception, est cependant général, car lorsqu'on pose directement le pavillon d'un téléphone ordinaire contre l'oreille, le bois de l'instrument, l'air qui se trouve enfermé entre la plaque et l'oreille, concourent à transmettre le son et constituent même la seule voie par laquelle il puisse nous parvenir. »

Ces conclusions sont exactement celles que M. du Moncel a toujours émises et que les expériences de M. Ader et de M. l'abbé Laborde ont beaucoup contribué à établir définitivement.

Toutefois, M. Coulon ne s'en est pas tenu à une simple donnée théorique. Reprenant l'expérience bien connue de M. **Guillemin**, il l'a disposée de manière à en former un trembleur, qu'on pourrait appeler électro-moléculaire, et cette-fois, les effets vibratoires dus aux actions moléculaires, deviennent visibles. Pour obtenir ce résultat, il fixe solidement par une de ses extrémités une aiguille de fer d'une certaine longueur légèrement recourbée, qu'il recouvre sur une partie de sa longueur, d'une hélice de fil dont les extrémités plongent dans deux godets remplis de mercure. Ces godets sont interposés dans le circuit d'une pile, mais l'un des bouts du fil, celui qui correspond au bout libre de l'aiguille, ne s'enfonce dans le mercure que d'une très-petite quantité. Or, dès qu'un courant interrompu passe, la tige se met à vibrer sous l'influence des redressements de l'aiguille qui ont lieu à chacune de ses aimantations, et qui sont dus aux attractions moléculaires qui se produisent au sein même de l'aiguille ; de plus les vibrations de cette aiguille reproduisent la note même qu'émet en vibrant l'interrupteur du courant.

Ce qui étonne à bon droit M. Coulon, c'est que les fausses idées qu'on s'est faites sur certains effets d'acoustique, ont fait perdre de vue ce qui se passe réellement dans la transmission des sons à travers les masses solides.

« Il est peu de personnes, dit-il, qui ne se soient amusées à mettre une montre au bout d'une poutre et à en écouter le tic-tac à l'autre extrémité.
« Eh bien, quelle est la cause de ce phénomène tout aussi surprenant, en lui-même, que la transmission télégraphique, mais auquel on n'attache plus aucune attention parce qu'il a perdu l'attrait de la nouveauté ?
« Ce sont les vibrations sonores qui se transmettent d'un bout à l'autre de la poutre, nous répondront tous les traités de physique, etc., parce que les corps solides ont la propriété de transmettre le son.
« Pour les corps gazeux, on s'est donné la peine d'étudier complètement le phénomène, et le mode de transmission du son dans l'air est parfaitement connu.
« Le phénomène est le même pour les liquides et les solides, et la transmission de molécule à molécule, admise sans conteste pour les gaz, doit l'être également pour ceux-ci. La transmission y est même beaucoup plus parfaite, puisque le son y acquiert une vitesse plus grande que dans l'air, et qu'il y perd moins de sa force.
« Il ne viendra cependant jamais à l'idée de personne de supposer un instant que les poutres entrent en vibration sous l'influence du tic-tac des montres.
« La force produite par un échappement d'horlogerie n'est pas d'un centième de gramme et ne peut être capable d'imprimer le moindre déplacement à un arbre pesant plusieurs quintaux. Néanmoins, le son est transmis d'un bout à l'autre de la poutre, et la physique nous enseigne, par les expériences les plus irréfutables, que le son ne se transmet que par les vibrations de la matière.
« Pour sortir de cette impasse, il faut : ou nier le mode de transmission du son actuellement reconnu par tout le monde, ou admettre l'existence de mouvements vibratoires.
« On ne peut songer à remettre en question le mode de propagation du son.
« Reste l'hypothèse d'un ébranlement. Mais cet ébranlement nécessaire, par quelle force est-il produit ? Où est l'agent actif, capable d'imprimer le branle à la poutre ? L'échappement d'horlogerie n'a certainement pas cette puissance. Où est le moteur caché qui supplée à l'insuffisance du moteur visible ?
« L'expérience précédente est complètement inexplicable si nous voulons admettre un mouvement analogue à celui d'une membrane, un déplacement tangible, quelque faible qu'il soit, de la substance qui compose la poutre; mais elle devient très-facile à comprendre si nous admettons le mouvement moléculaire, c'est-à-dire un mouvement qui ne peut tomber sous nos sens, parce qu'il ne dépasse pas la sphère d'action d'un molécule ou d'un atome que nous ne pouvons isoler.
« Quoi que puissent dire les adversaires de la théorie des mouvements moléculaires dans les téléphones, je crois qu'ils seront bien forcés de l'admettre dans cet exemple où l'électricité ne joue aucun rôle.
« Dans le cas contraire, je leur pose le dilemme suivant : 1° prouver que le son est transmis par la poutre sans vibration aucune de la matière ;
20 Ou, s'ils admettent les vibrations, qu'elles sont alors de nature à imprimer à la poutre un mouvement sensible à la vue. '
« Voici l'explication que je propose et qui repose sur des expériences connues et réalisables par tout le monde.
« La force, quelque minime qu'elle soit, qui agit les molécules en contact immédiat avec la montre, est transmise intégralement à l'autre bout de la poutre; moins une certaine quantité variant avec la nature du bois (ou du corps quelconque en expérience). Cette perte représente, pour moi, la résistance sonore : elle est absolument analogue à la résistance électrique, seulement l'une est beaucoup plus puissante que l'autre.
« Cette transmission peut paraître problématique à quelques personnes; rappelez-vous l'expérience des billes de billard, décrite dans tous les traités de physique, et si vous n'êtes pas encore convaincus, faisons ensemble l'expérience suivante :
« Mettons sur une table, ou mieux sur le marbre d'un meuble, une pièce en argent de 5 fr. A ; ensuite, lançons une autre pièce B contre la première, en la faisant glisser comme un palet; si le coup frappe bien d'aplomb, la pièce B perdra toute sa vitesse et la communiquera à la pièce A, en vertu d'un principe mécanique bien connu.
« Ajoutons une troisième pièce C, et plaçons sur la table B et C., de façon à ce que les deux pièces se touchent par la tranche ; lançons A contre B à l'extrémité opposée du diamètre de contact de C; A perdra sa vitesse et restera en contact avec B ; B ne bougera pas ; C acquerra toute la vitesse perdue par A et s'éloignera de B. Si nous mettons un plus grand nombre de pièces, une rangée de 10 par exemple, et que nous lançons la première contre la seconde, toutes resteront immobiles, sauf la dernière qui s'éloignera, absolument comme si elle avait été frappée directement par la première. On dirait qu'une main invisible transporte la force de la première pièce à la dernière sans toucher les" autres ; et, cependant, il est évident que la transmission n'a lieu que par l'intermédiaire de la rangée tout entière; cette transmission est d'ailleurs visible quand le contact aux points de tangence n'est pas parfait.
« Qu'arriverait-il si l'on alignait un grand nombre de pièces, cent ou deux cents? Si les pièces étaient alignées avec beaucoup de soin sur un long marbre de comptoir, il y aurait transmission du mouvement, mais avec une grande perte de force, due principalement aux imperfections du contact des pièces entre elles. Eh bien! cette expérience est, pour ainsi dire, l'image du mouvement moléculaire vu au travers d'un microscope grossissant des millions de fois, et tel qu'il n'en existera probablement jamais.
« Chaque pièce représente un atome; quand le premier est atteint, il choque immédiatement le second et revient lui-même au repos ; le second choque le troisième, ainsi jusqu'au dernier atome qui se trouve animé du mouvement du premier, moins la force perdue en route ; car les atomes ne se touchent pas dans les corps ; ils ont, en outre, une inertie qu'il faut vaincre et qui crée une résistance passive, comme dans l'expérience des pièces de monnaie; mais la force peut être transmise beaucoup plus loin, par suite du contact qui est plus intime.
« On conçoit donc comment un atome, ébranlé par une force infiniment petite, transmet cette force à travers une masse qui exigerait, pour être déplacée de la plus faible quantité, un effort relativement très-grand, puisque l'ébranlement moléculaire n'est que successif, quoique très-rapide, et que la force- qui a fait mouvoir un atome passe aussitôt au suivant.
« Dans l'expérience de la montre, la surface reçoit l'impression du mouvement ou choc du tic-tac, ce mouvement devient latent ou moléculaire dans l'intérieur de la poutre ; l'atome du bois en contact avec notre oreille l'impressionne à son tour, et la sensation est transmise au cerveau. »
Dans ce qui précède, M. Coulon montre simplement comment une vibration agissant sur un corps immobile peut être répercutée à l'extrémité de ce corps, sans qu'on ait à invoquer un mouvement de déplacement de sa masse; mais dans les corps électro-magnétiques les effets sont bien autrement puissants, car l'ébranlement moléculaire dû à l'aimantation et à la désaimantation de ses molécules, s'effectue à la fois sur tous les atomes; et si l'on considère que ces ébranlements ont pour effet de provoquer des attractions intermoléculaires, on peut comprendre sans un grand effort d'imagination, qu'il pourra se produire une contraction de masse suivie d'une dilatation, qui pourra engendrer un déplacement infiniment petit des surfaces extérieures, lequel équivaudra à une vibration mécanique, si les aimantations et désaimantations se succèdent à des intervalles très-courts. Il pourra donc y avoir de cette manière des sons produits, et ces sons seront en rapport intime avec les interruptions électriques qui les provoqueront. En étendant plus loin le même raisonnement et en l'appliquant aux ébranlements moléculaires causés par les effets électriques directs dans leur propagation à travers--les conducteurs, on arriverait à expliquer de la même manière les sons produits par les fils de fer tendus et les microphones employés comme récepteurs, ainsi que l'a admis M. Ochorowicz ("voir le n° du 1er décembre)

Il faut donc que MM. les acousticiens prennent leur parti d'admettre les vibrations moléculaires, et, comme le dit M. Coulon, en tête de sa brochure, en rapportant les paroles de M. Th. du Moncel, c'est parce que nous nous acharnons, en Europe, à vouloir rester dans les limites de théories incomplètes, que nous avons laissé aux Américains, qui ne s'en inquiètent guère, la gloire de faire les grandes découvertes qui nous étonnent depuis quelques mois.
Ce qui nous surprend, c'est le touchant accord de ceux qui soutiennent la première théorie du téléphone et qui, pour perfectionner cet instrument, se fondent sur les données de la science de l'acoustique. Naturellement ils disent tous qu'ils ont des résultats supérieurs, et, pour changer, ces résultats restent de beaucoup inférieurs à ceux qui ont été introduits par des inventeurs moins amis de ces données. Témoin le téléphone Gower, le meilleur de tous jusqu'à présent, et dans lequel on ne s'est pas efforcé d'étouffer le son fondamental de la plaque ni de diminuer la capacité de la caisse résonnante sous prétexte d'échos. Nous le répétons, sous le rapport de la téléphonie, la science de l'acoustique est en défaut, et même comme ensemble, elle est loin d'avoir suivi la marche progressive des autres branches de la physique.
De Magneville

1879 Vu dans "La lumière électrique"

Depuis que la science est dotée des merveilleux instruments qui peuvent transmettre à d'énormes distances la voix humaine dans toute sa pureté, les savants de tous pays ont cherché l'explication des phénomènes électriques qui se passent à l'intérieur de ces appareils.
De nombreuses et longues discussions ont eu lieu dans les sociétés savantes; des mémoires ont été écrits; et pendant plusieurs mois, les diverses théories, émises par des hommes d'un savoir indiscutable, sont restées de simples hypothèses sans preuves évidentes. Le raisonnement, les connaissances physiques et mathématiques pouvaient faire pencher pour une opinion plutôt que pour une autre ; mais la démonstration manquait. Aujourd'hui il n'en est plus ainsi ; de récentes expériences, de nouveaux appareils ont donné gain de cause à la théorie des vibrations moléculaires, devinée et admirablement exposée déjà par M. le comte du Moncel.

Les instruments une fois inventés puis perfectionnés, la démonstration de leur fonctionnement devenue bien évidente, les savants ont alors repris l'étude de l'acoustique; car les nouvelles découvertes venaient de porter une rude atteinte à cette branche de la physique. Le transport par l'électricité de la voix articulée, la reproduction de cette voix par des matières très-différentes, fils de cuivre, barreaux aimantés, tiges de charbon et de fer, feuilles d'étain, etc. ; tous ces phénomènes sont devenus des moyens d'étude, et dans peu de temps les qualités du son n'auront plus rien de mystérieux pour les physiciens.

Depuis longtemps nous pensions qu'il serait d'un grand intérêt de voir la parole telle qu'elle est reproduite par les téléphones, c'est-à-dire « d'inscrire la voix », telle qu'on l'entend dans les appareils récepteurs. Malheureusement ces appareils, si sensibles pour l'oreille, deviennent muets lorsqu'on les met en face d'un cylindre enregistreur ; il nous a fallu chercher le moyen mécanique de saisir leurs vibrations et de les obliger à se dessiner sur le noir de fumée. Tant qu'il s'agit de sons musicaux, la chose est facile; les vibrations du chant produisent des interruptions de courant; tant de contacts pour tant de vibrations, et l'appareil récepteur étant un électro-aimant très-sensible, les mouvements de l'armature s'inscrivent avec la plus grande facilité! Mais l'inscription ne donne alors que des différences dans le nombre des vibrations ; de là aux modulations de la voix articulée il y a loin. Les différences de nombre des vibrations sont très-étendues, mais elles ne donnent aucune idée des diverses qualités du son, à part sa

hauteur. Une série de diapasons vibrant tour à tour et produisant des intermittences dans le courant fournirait le même résultat.

Il fallait donc inscrire des courants ondulatoires, c'est-à-dire des variations d'intensité d'un courant continu; c'est à cette condition que nous pouvons espérer obtenir sur le papier la reproduction exacte de la parole. Mais quel instrument employer pour atteindre ce but ?

C'était là le principal problème à résoudre ; l'instrument trouvé, le reste pouvait être fait par tout individu initié aux délicatesses de la méthode graphique.

On pourrait nous objecter ici que ce que nous cherchions était déjà trouvé depuis longtemps, puisqu'avec le **phonautographe** de Scott on peut inscrire toutes les vibrat communiquées à une membrane ; et que, tout dernièrement, Edison avec son phonographe a réussi non-seulement à inscrire la voix mais encore à la reproduire d'après propre tracé. Mais, si le phonographe reproduit servilement la voix qui lui est transmise, nous ne pouvons pas voir ce qu'il écrit, et c'est précisément là ce que nous cherchons. Il est vrai qu'après de minutieuses préparations, ses tracés peuvent apparaître amplifiés et présentés sous forme de courbes ; mais alors le manuel opératoire devient d'une pratique difficile et l'exactitude même de l'inscription peut bien s'en ressentir.

— D'ailleurs nous ferons remarquer que le merveilleux instrument d'Edison, tout comme le phonautographe de Scott, agit mécaniquement, et que notre but est d'étudier la voix transmise, reçue et reproduite au moyen de l'électricité. La comparaison de nos résultats avec ceux obtenus par Scott et Edison n'en sera que plus intéressante.

Nos premières tentatives ont été faites avec le téléphone ordinaire de Bell. Au centre de la membrane du téléphone récepteur était fixé un petit style très-léger qui devait écrire sur le noir de fumée ; mais ce style est toujours resté immobile tant que nous nous sommes servi du téléphone comme transmetteur; nous nous attendions du reste à ce résultat négatif, puisque les vibrations de la membrane téléphonique sont uniquement moléculaires et qu'il n'y a point réellement d'attraction comme le pensait le colonel Navez.

Nous avons alors substitué au téléphone transmetteur un **parleur microphonique** dont l'extrême sensibilité est due à ce que les charbons, au lieu d'être pressés par un ressort, sont simplement maintenus au contact par la pression d'un petit morceau de papier écolier plié en forme de V.

— La sensibilité de ce parleur est telle qu'avec le courant d'un seul élément Lelanché, pour un parcours de cinq cents mètres, la voix, reproduite par le téléphone récepteur, peut être entendue dans tout un appartement.

— L'intercalation, dans le circuit, d'un courant voltaïque produit évidemment dans le téléphone de tels effets électro-magnétiques que l'on sent parfaitement au doigt les vibrations du diaphragme. Toutefois ces vibrations ne pouvaient pas encore être inscrites. Les mouvements du style, quelque délicat qu'il fût l'appareil, se distinguaient à peine sur le noir de fumée ; le frottement même d'une lame de verre suffisait à les détruire. Peut-être que, si l'on plaçait à l'extrémité du style une parcelle de métal brillant, on pourrait obtenir des photographies assez nettes, qu'il serait facile d'amplifier à volonté; mais nous n'avions pas ce moyen d'étude à notre disposition.

Le transmetteur étant suffisamment sensible, nos efforts ont dû se concentrer sur l'appareil récepteur pour amplifier ses vibrations magnétiques. Voici quelles sont les modifications que nous lui avons fait subir : enlevant au téléphone de Bell son couvercle et son diaphragme, nous avons vissé sur le bois de l'instrument l'extrémité d'un ressort d'acier assez résistant; l'autre extrémité de ce ressort vient aboutir en face du noyau aimanté muni de sa bobine; à cette extrémité est soudée une petite masse de fer doux pesant une dizaine de grammes; puis, sur cette masse, et dans le prolongement du ressort, est fixé un style léger en bambou, de 10 centimètres de longueur, et terminé par une plume en baleine. En somme, le diaphragme est remplacé par une armature assez semblable au trembleur des bobines d'induction .

C'est au moyen de cet instrument que nous avons obtenu les tracés que nous avons mis sous les yeux de l'Académie. Ces tracés ont été pris sur papier à décalcomanie couvert de noir de fumée, puis transposés sur verre, afin d'en permettre la projection, la photographie et même l'étude au microscope.

Deux points principaux ressortent de l'inspection de ces tracés ;

1 ° Ils présentent deux sortes de vibrations; de grandes vibrations, ou plutôt des ondulations qui se produisent toujours dans le même ordre, lorsqu'on prononce le même mot ; — puis de petites vibrations très-courtes, échelonnées sur les grandes ondulations. Ces petites vibrations seules nous paraissent être produites par la voix; les ondulations s'expliquent de deux façons ; elles sont produites par le souffle qui accompagne nécessairement l'émission de la voix et, en même temps, elles sont augmentées par l'inertie du levier; c'est là un vice d'appareil que nous éviterons dans nos prochaines expériences.

2° Lorsque la continuité du courant est établie dans le circuit et les appareils transmetteurs et récepteurs, la masse métallique est attirée par l'aimant jusqu'à une certaine limite qui varie avec l'intensité du courant. Vient-on à parler dans le microphone, aussitôt l'armature est repoussée, et cette répulsion est d'autant plus forte que les paroles sont plus fortement accentuées et sur un timbre plus élevé ; le maximum a lieu pour les lettres dentales et labiales. Il se passe là un phénomène absolument identique à celui de l'oscillation négative de l'aiguille du galvanomètre.

L'explication d'ailleurs semble être la même ; pendant le silence, la pression uniforme et constante des charbons l'un contre l'autre facilite le passage du courant et, par suite, l'attraction de l'armature ; lorsque l'on parle dans le microphone, la pression des charbons est autant de fois variée qu'il y a de vibrations dans le son produit; le courant, sans cesser d'être continu, a de nombreuses variations d'intensité, et l'armature prend une position qui rappelle celle de l'aiguille du galvanomètre dont le fil est traversé par un courant à intermittences rapides.

Ce fait nous paraît devoir aider à l'explication des mouvements vibratoires du diaphragme dans les téléphones récepteurs. Pour nous, ce diaphragme aurait des vibrations négatives.

Parmi les tracés que nous avons eu l'honneur de présenter à l'Académie, quelques-uns surtout nous paraissent mériter l'attention. Ce sont ceux qui représentent les mots ; Amsterdam, — déposé, — Pompéi — Cupido — Ivanhoé. — Nous avons d'abord prononcé isolément les voyelles contenues dans ces mots, puis le mot entier en scandant-les syllabes; la comparaison des deux tracés permet de juger l'effet produit par l'adjonction des consonnes.

Nous n'avons pas la prétention de croire notre but atteint; nous sommes loin encore de la parole écrite, et facile à reconnaître à la lecture des tracés. Toutefois nous avons cru intéressant de signaler nos premiers résultats de l'inscription électrique de la voix, et nous avons cru pouvoir les soumettre à l'attention bienveillante de l'Académie.

M. Boudet de Paris

1879 Vu dans "La lumière électrique"

Deux hypothèses principales ont été émises pour expliquer les phénomènes que présente l'ingénieuse découverte de **M. Hughes**.

L'une, exclusivement moléculaire, suppose des dilatations et contractions des molécules dans certains corps médiocrement conducteurs, sous l'influence des vibrations sonores, au sein même du microphone. Des changements de densité devaient correspondre A des accroissements ou A des affaiblissements de résistance du circuit et, conséquemment, A une production proportionnelle des sons. Cette hypothèse présente une certaine analogie avec les phénomènes que manifeste le sélénium sous l'influence de la lumière et de la chaleur rayonnante.

L'autre, en partie moléculaire et en partie mécanique, repose sur la découverte faite il y a longtemps par M. du Moncel, et suivant laquelle les accroissements et les affaiblissements de résistance sont dus A des changements de pression dans les points de contact électrique. Ces changements étant produits par la pression de l'air vibrant, il en résulte une équivalence de causes et d'effets.

En me basant sur des expériences faites sur une multitude de microphones, depuis la première apparition de cette découverte, je tâcherai de prouver que, si l'une de ces hypothèses est tout A fait erronée, l'autre n'est vraie que superficiellement.

- Commençons par la première :

1) Quand on immobilise la baguette de charbon avec une colle quelconque, de la cire par exemple, sans lui faire subir la moindre pression, le microphone reste muet sous les plus fortes influences sonores, ce qui serait impossible s'il ne s'agissait ici que de mouvements moléculaires et non mécaniques.

2) On peut enfermer le microphone dans une tube de verre suspendu légèrement au moyen d'un fil fin, et faire le vide dans ce tube, sans paralyser les effets microphoniques. Il est évident que, dans ce cas, les ondes d'air ne peuvent avoir aucune influence sur la densité du charbon ; elles n'agissent que mécaniquement en ébranlant l'appareil tout entier.

3) Il est impossible de construire un microphone d'un seul morceau de charbon solide, présentant des contacts stables, ce qui n'empêche pas les influences moléculaires, mais ce qui rend impossible l'action des ondes sonores, des attouchements et des ébranlements quelconques, sur le courant qui traverse le charbon.

Il me semble donc, que nous avons IA des raisons suffisantes pour rejeter toute théorie exclusivement moléculaire.

- Passons A la seconde :

1) La pression latérale exercée sur un conducteur électrique compact (métal, charbon, etc.), placé dans un téléphone, n'engendre aucune action microphonique.

2) Une pression longitudinale exercée sur la baguette d'un microphone au moyen d'une vis de réglage, peut être modifiée entre certaines limites, sans altérer le fonctionnement de l'appareil. Ce n'est que le timbre qui change alors d'intonation. Mais le même effet peut être obtenu sans changement de pression, par le seul fait du déplacement des points de contact. Si l'on continue d'augmenter la pression, l'appareil perd de sa sensibilité, en même temps qu'il perd de sa faculté de vibrer mécaniquement ; mais le fait seul d'une augmentation de pression ne se rapporte à aucun phénomène microphonique. (Cette expérience est à faire avec un microphone à membrane.)

3) On peut construire des appareils dans lesquels la pression reste la même, et qui cependant agissent comme microphones. (Voir plus loin.)

Il est donc rationnel de ne pas considérer la pression comme cause essentielle des phénomènes microphoniques.

Hile en est cependant une cause accidentelle, car quand les ondes sonores frappent la partie mobile de l'appareil, la pression qu'elle exerce sur son support change; mais ce n'est pas du fait de la pression que résultent les différences de résistance; c'est un autre fait, souvent parallèle au premier, mais qui n'en est pas moins différent.

Pour le mieux apprécier, considérons l'appareil dans sa forme la plus simple qui est celle de la figure 1.

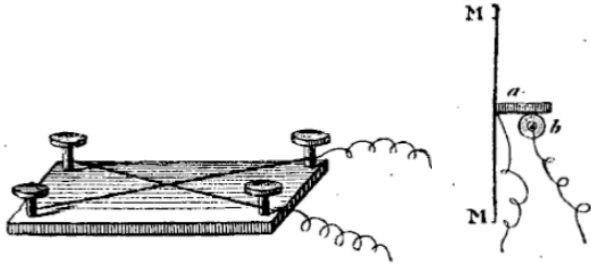


Fig. 1.

Fig. 2.

Deux bouts du fil métallique réunissant dans leur circuit la pile et le téléphone, sont tendus en croix l'un sur l'autre : le courant passe au point de croisement. C'est à ce point seul que se concentre l'action microphonique. Quand on fait vibrer l'un des fils par une cause quelconque, un bruit ou un son musical très-intense se fait entendre dans la salle où est placé le téléphone. Si les fils sont bons conducteurs, l'action de l'appareil n'a que deux phases : le courant passe quand un fil touche l'autre, il ne passe pas dans le cas contraire. Il n'y a donc là qu'une simple et complète interruption du courant ; et, en conséquence, ce microphone, comme le transmetteur du téléphone de Reiss, comme celui du chanteur de M. Pollard, etc., ne peut transmettre que des sons simples.

Cette première catégorie embrasse tous les microphones dans lesquels le contact s'effectue par un seul point. J'ai obtenu les meilleurs résultats de ce genre avec une membrane de vessie tendue et une pointe d'acier. La communication électrique était assurée par une petite bande de papier d'étain collée sur la membrane. Avec un petit élément à bichromate de potasse, le chant a pu être entendu dans toute une chambre.

Strictement parlant, il y a, dans ces simples appareils, quelques nuances d'action entre les limites d'intensité complète et de rupture complète du courant, et on peut considérer qu'il existe deux ou trois réglages pour lesquels l'interruption n'est que partielle.

C'est donc le changement des points de contact qui joue ici le rôle principal. Du nombre plus ou moins grand de ces points, dépend l'intensité des sons ; le nombre des interruptions successives des mêmes contacts détermine leur hauteur, et les changements accessoires leur timbre ; enfin des diverses combinaisons successives et simultanées, périodiques ou non périodiques, de tous ces changements résulte leur articulation. Il suffit de comparer les traces de la parole dans le phonautographe, le logographe et le phonographe, pour se convaincre qu'il n'y a en réalité, dans ces appareils, qu'une réduction de la qualité en quantité. Je suis même porté à croire que cette réduction est bien simple, et qu'une série de combinaisons en temps et en espaces de trois points matériels de contact, suffit pour servir d'équivalent à tous nos sons articulés. Il me serait difficile de rapporter ici toutes les expériences et réflexions qui m'ont conduit à cette supposition. En attendant, je ne la donne qu'à titre de probabilité, et je passe à la troisième catégorie.

Le principe du changement dans le nombre des points de contact provoqués par la pression, nous permet de considérer les différentes résistances du circuit microphonique, comme si le fil qui le compose devenait tantôt plus gros, tantôt plus fin, et explique l'action de la plupart des microphones, mais il ne les explique pas tous.

Ou peut construire, en effet, des microphones dans lesquels il ne peut se produire aucun changement de pression ni, même, aucune variation dans le nombre des points de contact, et qui cependant fonctionnent bien.

Supposons un petit cylindre de charbon a (fig. 2) collé perpendiculairement à une membrane MM et glissant sur un autre petit cylindre de charbon h mobile autour de son axe.

Si la forme cylindrique de ces deux morceaux est parfaite, la pression et le nombre des points de contact restent les mêmes. S'il en est autrement, comme cela a lieu dans la pratique, ce n'est plus cet effet qui joue le rôle principal : c'est la longueur de la route traversée par le courant dans le mauvais conducteur. Pendant que la membrane vibre, son éloignement du charbon h diminue ou augmente, en effet, et il y a donc un changement dans le nombre des points de résistance traversés.

C'est à cette classe d'appareils qu'appartiennent aussi les téléphones transmetteurs à liquides de MM. Gray, Bell et Salet, où le changement de résistance dans le circuit résulte d'une couche de liquide plus ou moins épaisse, qui doit être traversée par le courant.

Il est bien difficile de séparer les deux principes l'un de l'autre, mais il est possible de déterminer la prépondérance de l'un ou de l'autre, ou bien encore leur parallélisme.

Supposons, par exemple, que les deux cylindres de charbon a et b soient remplacés par deux lames de la même matière, et que b reste immobile : les deux actions seraient égales et la lumière Électrique contraires. La même complication se présente dans le transmetteur microphonique de M. Righi ou le disque métallique de la membrane plonge dans de la poudre de plombagine mêlée à de la poudre argentée.

Dr Julian Ochowicz

1879 Vu dans "La lumière électrique"

Expériences téléphoniques avec un circuit ouvert par M. J. E. Watson.

M. J. E. Watson, de Louisville, dans le Kentucky, nous a envoyé un compte rendu intéressant d'expériences faites récemment par lui sur la transmission, des sons à l'aide d'un téléphone Bell réuni à une bobine d'induction dans un circuit ouvert. Les appareils consistent en une batterie et un interrupteur à trembleur adapté à l'hélice primaire d'une bobine d'induction, le tout réuni en un seul circuit ; une des extrémités de l'hélice secondaire de la bobine d'induction était laissée à l'air libre, et l'autre était prolongée à 200 pieds plus loin au moyen d'un fil qui la réunissait à l'une des bornes d'attache du téléphone Bell. Par cette combinaison, un des bouts de l'hélice du téléphone se trouvait libre ainsi que l'un des bouts de l'hélice secondaire, en sorte que le circuit était interrompu par une solution de continuité de 200 pieds. Or, en plaçant le téléphone à l'oreille, on pouvait entendre, faiblement, les bruits du vibreur à l'extrémité éloignée du fil, quoique le circuit semblât être interrompu. En mouillant son doigt, et en le plaçant au bout libre du téléphone, le son se trouvait être 10 fois plus fort, parce que le circuit partiel était alors complété par le corps et la main de l'expérimentateur et la terre.

M. Watson a aussi transmis de cette manière des sons articulés et des sons musicaux, en employant à la place du vibreur un transmetteur de sa façon dans lequel un diaphragme, mis en vibration par la voix, réagissait sur une pile de disques de charbon de cornue agglomérés avec de la limaille de bronze. Ce transmetteur était introduit dans le circuit avec une batterie voltaïque et une bobine d'induction. Dans ce cas, il fallait que la solution de continuité du circuit fût de 6 pieds. (Télégraphie Journal.)

M. Gaiffe avait du reste démontré depuis longtemps que des courants induits peuvent naître dans un circuit ouvert sous certaines conditions.

Sur le retard des phases des vibrations transmises, par le Téléphone, par le professeur Sylvain P Thompson.

Depuis un an et même plus, plusieurs savants, entre autres MM. Dubois-Raymond, Holmholtz, Weber (de Zurich), Kœnig, S. Thompson, etc., se sont préoccupés du retard qui peut résulter du fait de la transmission des vibrations sonores par les actions électriques dans le téléphone, et se sont escrimés les y, voire même les intégrales en main, pour démontrer qu'il y avait un retard d'un quart d'onde suivant les uns, d'une demi-onde suivant les autres, comme s'ils savaient ce que sont les vibrations dans un récepteur téléphonique!!... Il a été pourtant démontré par beaucoup de physiciens que ces fameuses vibrations sont pjs que problématiques, du moins en ce qui peut toucher leur similitude avec des vibrations transversales. Il semble qu'avant de dépenser tant de science pour discuter une particularité se rattachant à un effet physique il faudrait que la nature de cet effet fût d'abord parfaitement établie. Néanmoins nous croyons devoir rapporter un résumé du travail de M. S Thompson publié dans le Télégraphie Journal.

« Il a été avancé par M. Dubois-Raymond, d'après des considérations théoriques, qu'une différence dans les phases des vibrations devait exister entre deux téléphones Bell associés, et que le téléphone receveur devrait être en retard sur le transmetteur d'un quart de vibration. Une théorie plus complète, émise d'un autre côté par MM. Holmholtz et Weber, donna un résultat quelque peu contradictoire, n'assignant qu'une petite différence entre les phases des vibrations transmises et répétées. Dernièrement M. Kœnig, dans une série d'expériences délicates, chercha un moyen de comparaison optique par la méthode de M. Lissajous, en remplaçant, dans les deux téléphones associés, les diaphragmes par des diapasons munis de miroirs. Cette expérience est évidemment, d'une nature très-délicate et a été faite dans des conditions très-discutables.

Voici, en effet, comment l'auteur expérimentait. Deux téléphones Bell sont suspendus, au moyen de fils de 1 mètre de longueur de manière à fournir des oscillations pendulaires, et les bâtis qui les supportaient étaient disposés de façon à éviter toutes les causes de transmission mécanique des vibrations. Au-dessous du point de repos de chaque téléphone et à une petite distance de lui, est placé, dans son plan d'oscillation, un aimant d'acier. Après que les fils de suspension ont été combinés en longueur de manière à ce que les téléphones oscillent parfaitement synchroniquement, on met en mouvement l'un des téléphones. A mesure qu'il s'approche ou s'éloigne de l'aimant, il se produit un courant induit, et ce courant, en traversant le second téléphone, le fait osciller et on juge, par la différence de longueur des fils de suspension, les retards effectifs. Or dans toutes les combinaisons essayées, la différence de phases observées s'est trouvée être d'un quart de vibration.

Dans le cas de ces expériences, où les vibrations du téléphone transmetteur entraînent la variation de la résistance du circuit au lieu d'entraîner celle de la force électromotrice, il ne peut exister le même retard que dans les receveurs électro-magnétiques ordinaires. Mais, si cependant le courant ainsi transmis passe d'abord à travers une bobine d'induction, il doit se produire une phase de retard d'un quart de vibration, et, dans le cas de mouvements inducteurs successifs, ces retards peuvent atteindre un nouveau quart, que l'on retrouvera pour chaque induction additionnelle. Cette remarque ne s'applique, bien entendu, qu'aux vibrations harmoniques ou de type quasi-harmonique. Les sons des voyelles qui sont formés d'un ensemble de vibrations harmoniques, ne sont pas changés dans leur perception à l'oreille, qui n'est pas assez sensible pour distinguer ces altérations, pas plus que les différences des sons composés lesquels il ne diffèrent l'un de l'autre que dans la différence des phases de leur composition. Les vibrations des consonnes, au contraire, se distinguent mieux, car elles se séparent de plus en plus du type primitif, à chaque succession des actions d'induction.

Dans le cas du motographe d'Edison c'est-à-dire de son récepteur électro-chimique, la vitesse du déplacement du disque est proportionnelle à la force du courant reçu, et, par conséquent, les vibrations déjà retardées d'un quart de transmission, comme c'est le cas dans les transmetteurs à charbon réunis à des bobines d'induction (employées toujours avec cet instrument), reviennent à leur état normal. Les vibrations de ce récepteur sont donc du même type, non comme vibrations du courant induit (qui correspondent aux fonctions dérivées des vibrations primitives), mais comme vibrations correspondantes aux fonctions dont les vibrations du courant d'induction sont les dérivées; ce qui veut dire qu'elles s'accordent, comme type, avec les vibrations primitives de n'importe quelle forme d'appareils. Par exemple, dans le téléphone récepteur d'Edison, les sor consonnes qui sont émises avec force et qui appartiennent au type harmonique, sont mieux rendues que par un téléphone qui, comme ceux de M. Bell, retarde la phase vibrations et altère leur type.

1880 Vu dans "La lumière électrique"

Nouvelle expérience téléphonique.

On se rappelle que M. Ader a pu faire reproduire la parole à un fil de fer actionné par un microphone en le faisant traverser par des courants ondulatoires; mais il avait constaté que, pour obtenir ce résultat, il fallait que le fil fût en matière magnétique; M. de la Rive, qui, en 1846, avait constaté que des sons pouvaient être transmis de cette manière, était arrivé à la même conclusion. M. Henri Wilbrant (de Bruxelles) a reconnu que les mêmes effets pouvaient être obtenus avec un fil de matière quelconque et même un peu gros, si on employait pour révéler leur présence l'intermédiaire d'un microphone et d'une bobine d'induction. Il faut alors employer une pile de Bunsen ou à bichromate de potasse de deux éléments, agissant sur le circuit primaire d'une bobine de Ruhmkorff, et placer le fil sur le support du microphone en ayant soin de le presser un peu par la superposition d'un corps lourd. Le microphone étant actionné par trois éléments Leclanché, amplifie alors les vibrations déterminées dans le fil par le passage du courant interrompu de la bobine de Ruhmkorff, et on les entend distinctement dans un téléphone adapté au microphone. M. H. Wilbrant s'est d'ailleurs assuré que ces sons ne pouvaient provenir de l'induction du circuit induit de la bobine sur le circuit fermé du microphone. « Ces expériences, dit l'auteur, tendent donc à prouver que les sons émis dans le téléphone sont dus en principe à une action moléculaire, »

1880 Vu dans "La lumière électrique"

Théorie du microphone récepteur.

M. Berliner, qui a la prétention d'avoir découvert le microphone récepteur dès le 8 avril 1877, attribue la reproduction des sons dans un appareil de cette nature, surtout aux vibrations électro-moléculaires, et peut-être aussi, dans une très-faible proportion, aux répulsions produites au contact des deux pièces interruptrices du microphone et aux dilatations résultant des effets thermiques. Sauf sur ce dernier point, son opinion est donc la même que la nôtre et celle de M. Ochorowicz. Voici toutefois quelques expériences qu'il cite et qui ont leur intérêt. (Voir l'Electrician du 24 juillet 1880, p. 116.)

Suivant lui, la disposition la plus convenable pour obtenir des sons un peu forts avec un microphone récepteur, serait 1° de l'intercaler dans un circuit correspondant à l'hélice primaire d'une bobine d'induction et dans lequel seraient déjà interposés deux éléments de pile; 2° d'intercaler de la même manière le microphone transmetteur, dans un autre circuit correspondant à l'hélice primaire d'une seconde bobine d'induction, animée par un seul élément de pile, et 3° de réunir ensemble les hélices secondaires des deux bobines par les deux fils de ligne. Dans ces conditions, les sons seraient beaucoup plus forts qu'en agissant avec un circuit simple dépourvu, à la station de réception, de la bobine d'induction et de la pile supplémentaire. Il paraîtrait même que l'intensité du son reproduit serait en rapport avec la force de cette pile supplémentaire, dont on ne voit pas bien l'action, puisque le circuit auquel elle correspond, reste constamment fermé et dans les mêmes conditions.

M. Berliner tâche d'expliquer ce rôle en disant qu'il est à peu près le même que celui qui est produit par un courant sur une armature polarisée, laquelle par ce moyen devient plus sensible aux actions magnétiques; ce serait en quelque sorte une préparation électrique du circuit qui le rendrait plus apte à reproduire les variations d'intensité qui doivent se manifester en lui sous l'influence des courants ondulatoires transmis, que dans son état naturel. Cette explication est bien tirée par les cheveux, mais avant d'en chercher une plus satisfaisante, il faudrait d'abord s'assurer de l'exactitude du fait, qui ne nous paraît pas correspondre aux expériences que nous avons faites jusqu'ici sur ces sortes d'appareils.

Le microphone employé par M. Berliner se composait de deux plaques de fer forgé (du n° 36; dont l'une était munie d'une vis à pointe ronde qui touchait l'autre plaque dont la surface était légèrement oxydée.

Ces expériences, suivant l'auteur, auraient été faites en septembre 1877, et auraient été publiées par lui à cette époque; mais il n'indique pas le recueil à date certaine où cette publication a été faite. Dans une autre expérience, il aurait employé comme transmetteur, un transmetteur de Reiss, et comme récepteur, un microphone à charbon, composé d'une plaque de charbon de 4 sur 6 pouces et de 1/4 de pouce d'épaisseur, contre laquelle appuyait une sorte de petit style métallique constituant interrupteur. Ce style et cette plaque de charbon étant interposés dans le circuit, il suffisait de placer la plaque de charbon contre l'oreille pour entendre les sons transmis.

Il est bien extraordinaire que ces expériences, fort curieuses pour l'époque que M. Berliner leur assigne, soient restées inconnues jusqu'en 1880, et qu'elles n'aient pas même été citées dans la querelle si retentissante qui s'est élevée entre MM. Edison et Hughes au sujet de l'invention du microphone. - T. D. M.

RECHERCHES NOUVELLES SUR LA THÉORIE DU MICROPHONE 3ème article (Voir le 110 du 15 octobre 1879).

La quatrième catégorie de microphones embrasse les appareils dans lesquels le courant lui-même ne se produit et ne change que sous l'influence des mouvements des électrodes microphoniques; ce sont les piles microphoniques. Chaque pile peut, sous certaines conditions, fonctionner comme microphone; il suffit pour cela que l'un des pôles soit mobile. Deux bouts d'un fil de fer téléphonique plongés dans de l'eau ordinaire et rapprochés l'un de l'autre, donnent déjà des signes d'une action microphonique. Imaginons donc que l'un des pôles d'une pile est attaché à la membrane vibrante sous forme d'un petit cône, comme on le voit fig. 1, et qu'il plonge par son bout dans le liquide, tandis que l'autre pôle y est constamment plongé. Le courant ne prend naissance que quand le pôle mobile touche le liquide; quand on chante dans le tube, la membrane entre en vibration, et le pôle, qui est alors l'une des électrodes microphoniques, plonge dans le liquide et détermine l'action chimique autant de fois par seconde qu'il y a de vibrations dans le son chanté. Si le pôle touche constamment le liquide, le courant n'est jamais interrompu, il change d'intensité, et ce changement est déterminé par quatre causes parallèles:

1° Quantité différente des points exposés à l'action électrolytique;

2° Quantité différente des points de contacts électriques;

3° Quantité différente des points de résistance de la couche liquide;

4° Quantité différente des points de rapprochement d'un pôle vers l'autre.

Mais il est évident que ce ne sont que quatre côtés du même fait, et ce fait est le mouvement d'une des électrodes microphoniques.

Il ne nous reste plus à examiner que la dernière catégorie des microphones.

Dans tous ceux qui sont connus jusqu'ici, la direction du courant pendant l'action de l'appareil reste la même; mais il est possible de la faire changer et d'introduire de cette manière une différence de plus dans les phases de sa fonction.

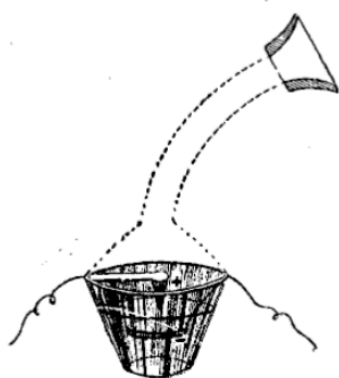


Fig. 1.

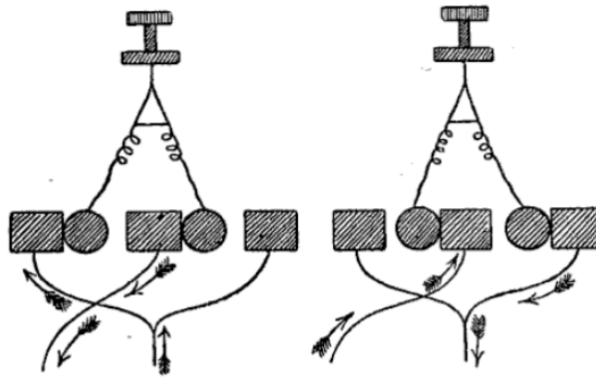


Fig. 2.

Fig. 3.

Les fig. 2 et 3 représentent les deux positions extrêmes exagérées pour mieux montrer le changement; on voit la direction du courant qui arrive de la pile par deux fils très-fins, pour ne pas gêner les vibrations simultanées de deux marteaux réunis (sans contact électrique). En réalité, les deux boules vibrantes ne sont jamais isolées complètement d'aucun des charbons; mais il y a toujours une prépondérance d'un côté ou de l'autre. Ce microphone donne d'excellents résultats, mais sa construction est un peu difficile.

Du reste, je le rends plus sensible à l'influence des mots prononcés, en ajustant les deux marteaux sur une membrane d'une façon un peu plus compliquée.

Dans cette dernière catégorie, c'est donc aussi les points de contact qui changent et non pas seulement leur nombre.

En résumé, nous reconnaissons dans toutes les formes des microphones possibles :

1° Un mouvement mécanique des parties;

2° Un changement dans les points de conductibilité ;

3° Un changement de résistance,

Et ces trois phénomènes essentiels, résultent l'un de l'autre.

Je dis : « points de conductibilité » et non « de contact » parce que cette première expression embrasse à la fois les points de contact et la route traversée par le courant dans l'une ou dans l'autre direction. Nous voilà donc parvenus à une formule générale. Abordons maintenant les questions spéciales, et, avant tout, celle de la prétendue amplification des sons par le microphone.

Il est facile de se convaincre qu'elle n'existe point. Tous les sons, considérés en eux-mêmes sont toujours affaiblis par le microphone.

Mais le microphone n'est pas seulement un appareil qui transmet électriquement les sons, il est aussi, et d'une manière plus particulière encore, l'appareil qui transforme les ébranlements mécaniques en sons, et ceux-là peuvent être amplifiés dans cette transformation.

Exemples : Le tic-tac d'une montre de poche, posée sur la même planche que le microphone, quoique à une distance de 6 à 7 mètres, peut être entendu distinctement. Si cette montre est posée sur la planchette même du microphone, le son peut être entendu dans toute une chambre, parce qu'il agit, non comme bruit, mais comme ébranlement mécanique. Or cette même montre devient incapable d'influencer le microphone lorsqu'on la tient en l'air à une distance de quelques millimètres de celui-ci, parce qu'alors elle n'agit que par son bruit. En revanche, un faible souffle d'air, qui n'occasionne presque aucun bruit, fait l'effet d'un courant d'air, etc.

L'affaiblissement des sons articulés est d'autant plus marqué qu'ils sont plus intenses ; de sorte que les sons les plus faibles éprouvent le moindre affaiblissement. Les sons musicaux simples, accompagnés d'un ébranlement mécanique relativement fort (par exemple d'un courant d'air sortant de la bouche quand on chante ou que l'on siffle), peuvent être un peu amplifiés par un microphone à interruptions complètes, mais cette amplification n'a lieu que quand il s'agit de sons faibles.

Les ébranlements mécaniques, quoique non accompagnés de sons, sont toujours transformés en sons, et ceux-ci augmentent en intensité à mesure que leur amplitude tend à interrompre le courant. Cette interruption accomplie, l'augmentation cesse de se manifester. Un courant d'air n'agira pas plus fortement qu'un faible souffle, dès que celui-ci est assez fort pour provoquer une rupture momentanée mais complète du courant. Il y a deux limites entre lesquelles sont comprises toutes les lois des phénomènes microphoniques : la limite inférieure, où il y a un minimum d'ébranlement mécanique et où le changement de contact est à peine réalisé, et la limite supérieure, où l'ébranlement interrompt le courant, indépendamment de l'énergie de cet ébranlement. Au-delà, il n'y a plus d'amplification, ni même d'articulation ; mais entre ces limites, l'intensité des sons est directement proportionnelle à l'énergie des ébranlements mécaniques qui accompagnent les ondes sonores. Et comme les vibrations d'une ou de plusieurs parties du microphone déterminent une augmentation ou une diminution dans le nombre des points de bonne ou de mauvaise conductibilité, on en conclut que :

L'intensité des sons est directement proportionnelle à la grandeur des changements différentiels dans la résistance du microphone.

Pour que la transmission des sons articulés soit possible, il faut nécessairement que le nombre des points de contact, les différences dans ce nombre, pendant l'action de l'appareil, et les changements de résistance qui en résultent, soient plus grandes. C'est ce qu'on obtient dans la seconde catégorie de microphones, en réunissant de petites surfaces ne présentant qu'un seul point de contact, ou en employant des corps médiocrement conducteurs. Alors l'interruption du courant n'est que partielle, il devient ondulatoire, suivant l'expression de M. Bell, et plus il y a de marge dans cette interruption ou cette reconstitution partielle, plus le microphone est parfait.

Dr Julian Ochowicz

Transmetteur microphonique de M. Blake.

Cet appareil qui est aujourd'hui employé en Angleterre par la compagnie des téléphones Bell, ressemble beaucoup à celui de M. Edison qui a été décrit dans notre dernier numéro.

Dans ce système comme dans l'autre, le contact des charbons, au lieu d'être effectué par la pression de deux pièces dont l'une est fixe et l'autre mobile, ce qui rend l'appareil impressionnable aux actions physiques extérieures, est constitué par deux organes mobiles qui suivent tous les deux, mais avec des vitesses différentes, les mouvements du diaphragme sur lequel l'un des deux est monté ; et pour obtenir cet effet, la pièce qui n'est pas reliée directement au diaphragme et qui sert de porte-charbon, est disposée de manière à présenter à son extrémité libre une masse pesante dont l'inertie tient lieu de la rigidité que l'on obtient dans les autres microphones en fixant ce charbon sur la planche support. Comme cette pièce, du côté de son point d'attache est terminée par un ressort, le contact est toujours effectué dans les mêmes conditions de pression, quelques soient la température et l'humidité du milieu ambiant.

Pour amplifier cet effet M. Blake fixe le ressort de la pièce de contact dont il vient d'être question, sur une lame métallique disposée verticalement et soutenue elle-même par une lame de ressort ; et comme elle porte à sa partie inférieure un plan incliné sur lequel appuie la pointe d'une vis, il devient facile, au moyen de cette vis, de régler convenablement la pression au point de contact des deux charbons.

L'appareil est d'ailleurs disposé verticalement et présente devant le diaphragme une embouchure comme dans les téléphones ordinaires, et le courant qui agit sur le téléphone est fourni, comme dans le système précédent, comme dans le système Edison et beaucoup d'autres, par une bobine d'induction animée par une pile.

Il est facile de voir qu'en principe, ce système ne présente rien de bien nouveau, car dans le microphone de MM. Chardin et Berjot, un ressort dont la pression était réglée par une vis de réglage jouait le même rôle que le système compliqué que nous venons d'exposer. D'un autre côté la masse pesante adaptée à l'extrémité du ressort est de l'invention de M. Ader.

Si un procès est entrepris, comme l'assure le télégraphie journal entre les deux compagnies téléphoniques anglaises, nous ne voyons pas comment l'une ou l'autre pourra faire valoir ses droits de priorité. On pourra du reste avoir tous les renseignements nécessaires sur cet appareil dans le télégraphie journal du 1er octobre 1879.

RECHERCHES NOUVELLES SUR LA THÉORIE DU MICROPHONE 3e article (Voir le n° du 15 novembre 1879).

Dans le précédent article on a vu que, pour que la transmission des sons articulés fût possible, il fallait que le nombre des points de contact, les différences de ce nombre pendant l'action de l'appareil et les changements de résistance qui en résultent fussent les plus grandes possibles.

C'est dans ces conditions que sont disposés le microphone du modèle principal de M. Hughes, le téléphone à charbon de M. Edison, le téléphone transmetteur avec deux crayons de graphite de MM. Pollard et Garnier, de M. Hellesen, etc.

La forme représentée ci-dessous peut nous servir comme type d'explication pour toutes les autres, et je la regarde aussi comme très-commode dans toutes les expériences microphoniques.



Elle peut être employée pour la transmission de la parole, du chant à divers degrés d'intensité, du bruit d'une montre placée à côté, d'une mouche placée au dedans, de la musique d'un piano, etc. La membrane est de caoutchouc, bien tendue, et pourvue d'une mince bande de papier d'étain pour unir le charbon de dessous avec le bouton d'attache.

Il est facile de remarquer que pendant les vibrations de la membrane, une plus ou moins grande quantité de points de contact réunit les deux électrodes microphoniques, ce qui nécessairement produit des changements de résistance. Par le fait de l'introduction du microphone dans le circuit, cette résistance augmente considérablement, et réduit la force du courant à 1/50 et plus de son intensité primitive. Les vibrations mécaniques de la membrane peuvent la reconstituer en partie ou la diminuer encore, et, quoique ces changements soient bien petits, ils présentent cependant, grâce à leur rapidité, une quantité d'inflexions qui permettent de reproduire toutes les nuances de la voix.

Si je ne me trompe, l'influence de l'énergie des ondes sonores sur l'intensité des sons perçus dans le téléphone, n'a pas été encore reconnue positivement. Au contraire on était porté à croire qu'elle ne devait pas exister (Voy. Clerk-Maxwell, Nature, vol. 18, p. 162), et cependant il m'est impossible d'en douter. Seulement il faut prendre en considération non pas le côté sonore, mais le côté mécanique des phénomènes. Quand on parle à voix basse près du microphone, ou à voix forte mais à une distance de quelques mètres, les sons sont plus faibles que quand on parle à voix haute ou de près. Une montre à bruit fort est mieux entendue qu'une montre à bruit faible, etc. Les limites de proportionnalité sont bien restreintes, il est vrai, mais les différences de résistance le sont aussi. Augmentons celles-ci, et nous élargirons celles-là.

La prétendue indépendance des sons du récepteur de ceux qui frappent le transmetteur a pris sa source dans un fait parallèle au premier, savoir, que les limites d'une articulation distincte sont beaucoup plus rapprochées que celles des sons non articulés. La distinction et la netteté des sons articulés transmis par un microphone, sont en raison inverse de leur intensité. L'intensité croît à mesure que les vibrations microphoniques tendent à interrompre complètement le courant, tandis qu'en même temps la faculté de transmettre les sons articulés disparaît.

Et c'est là la principale difficulté qui empêche d'amplifier les sons à volonté.

L'intensité des sons acquiert son maximum lorsque les interruptions du courant deviennent complètes ; mais alors les sons ne peuvent plus être articulés; voilà pourquoi on entend mieux quand on parle d'une voix ordinaire, que quand on parle d'une voix haute.

L'intensité des sons est aussi en rapport direct avec la force du courant, mais ce rapport est encore plus réduit que les précédents. Les manifestations microphoniques commencent dès que le courant a la force de vaincre la résistance du microphone et de le traverser. Ce sont les bruits d'interruption complète qui se manifestent les premiers ; ils sont très-faibles, et leur modulation est encore impossible. Si on augmente l'intensité du courant, la modulation acquiert son premier degré, et le bruit d'une montre est perçu nettement. Il devient plus fort à mesure que l'intensité du courant fait un troisième pas, et alors la parole commence à être perçue. Au fur et à mesure que la force du courant augmente, l'intensité des sons croît encore, mais leur articulation s'efface. La proportionnalité se manifeste seulement à l'égard des sons simples qui provoquent l'interruption complète du courant et jusqu'à ce que le bruit des étincelles les étouffe.

J'ai fait encore une série d'expériences qui démontrent que les phénomènes du microphone dépendent beaucoup de la vitesse des mouvements de ses parties constituantes. On peut vérifier ce fait, non-seulement en présence de courants faibles, mais aussi quand ils sont intenses. Cela se manifeste d'une manière plus évidente encore dans les microphones à liquides et dans les piles microphoniques, et l'on peut s'en convaincre par l'expérience suivante qui est curieuse :

On attache aux deux bouts du fil téléphonique deux morceaux de fil de fer et on les plonge dans un verre d'eau pure ; l'action microphonique se manifeste alors aussitôt que l'on fait toucher les deux bouts ou même quand on plonge et on retire l'un de ces bouts, laissant l'autre dans l'eau.

Les bruits d'interruption du courant sont naturellement bien faibles, mais ils deviennent plus faibles encore quand les mouvements de l'électrode sont lents, et ils s'éteignent complètement quand on les exécute encore plus lentement. Au contraire, ils deviennent un peu plus forts quand les mouvements sont rapides et d'une plus grande amplitude.

Ainsi dans une pile à bichromate de potasse, où les deux pôles peuvent être enfoncés à volonté, soit isolément soit conjointement, l'immersion rapide provoque des sons accentués, tandis qu'une immersion lente et successive ne détermine plus aucune action microphonique, même quand elle est effectuée plus profondément, quoique l'intensité du courant augmente, et que l'aiguille du galvanomètre dévie de plus en plus.

Les changements dans la résistance et dans l'intensité d'un courant ne sont donc nullement suffisants pour provoquer les phénomènes microphoniques; il est pour cela indispensable que ces changements soient rapides.

Le microphone change par lui-même le timbre de la voix, et cela de plusieurs manières qui dépendent de la position de ses différentes parties et de leur pression initiale. En touchant du bout du doigt la tige mobile, on peut changer le timbre à plusieurs reprises, et on peut même faire entendre des bruits et des sons spontanés, analogues à un bourdonnement, à un sifflement ou un gémissement plaintif, et cela sans qu'aucune cause extérieure n'intervienne. Ce phénomène curieux est dû à des écarts et glissements imperceptibles de la partie mobile du microphone, sous l'influence de son poids. On peut les provoquer artificiellement en construisant un appareil dans lequel ce glissement automatique est facilité, et en posant la pièce mobile de manière à ce qu'elle puisse descendre automatiquement. Ces bruits sont souvent si intenses qu'on les entend dans toute une chambre, ce qui prouve qu'ils résultent d'une suite d'interruptions plus ou moins complètes.

Les sons simples qui résultent d'une série d'interruptions complètes, ont toujours la même intensité et le même timbre, indépendamment de l'énergie qui les provoque, mais ils changent d'intensité et sont en rapport avec la force du courant.

Le courant électrique étant modifié par l'action du microphone dans toute sa longueur, et pouvant agir à distance par induction, il n'est pas nécessaire d'introduire le téléphone dans le circuit, pour entendre les sons. Il suffit pour cela de le rapprocher de n'importe quel point du fil, du microphone, ou même de la pile. Pour plus de commodité, on peut réunir ensemble deux téléphones, approcher l'un du fil et entendre dans l'autre. Quand, au lieu du microphone, on introduit dans le circuit une bobine avec un interrupteur automatique, le téléphone transmetteur peut être influencé à une distance d'un mètre. Si les fils du téléphone sont réunis directement à la bobine secondaire, les sons qu'on entend dans toute une salle sont de beaucoup plus intenses que ceux de l'interrupteur lui-même. C'est ce son qu'on peut le plus facilement entendre dans un microphone employé comme récepteur.

Cette nouvelle fonction inattendue du merveilleux instrument de M. Hughes a été invoquée comme une difficulté insurmontable pour une théorie microphonique. — « Cette fois c'est à n'y rien comprendre », — dit M. Du Moncel en citant les expériences de MM. Blyth et Hughes. Cependant le fait n'est pas si étrange, ni même si nouveau qu'on le croyait d'abord. Les sons provoqués par le passage seul d'un courant discontinu ont été profondément étudiés par De la Rive en 1845 et par Beaton en 1846. Et quant à l'explication, il me semble que nous pouvons nous en rapporter aux diverses propriétés mécaniques du courant. Il est connu que son passage influe sur l'élasticité de ses conducteurs (Vertheim), et bien qu'il ne soit pas strictement établi qu'il peut allonger les fils qu'il parcourt (Edlungh), cependant les expériences de la lumière électrique (arc de Volta) nous montrent qu'il exécute un arrachement des particules charbonnées, et les transporte d'une électrode sur l'autre. On connaît d'ailleurs les mouvements des particules liquides, dans la direction du courant, etc. Il est donc permis de concevoir le courant électrique comme un véritable courant d'eau qui enlève d'une certaine façon les particules matérielles qu'il rencontre surtout quand elles sont mobiles. Et s'il est trop faible pour enlever réellement, il n'en conserve pas moins une tendance, qui se manifeste par des répulsions presque imperceptibles. Or ce sont ces répulsions qui reproduisent la parole, étant produites elles-mêmes par un courant modulé sous l'influence de la parole. Nous trouvons ici le même effet essentiel que dans les téléphones, à savoir, une transformation réciproque de cause en effet.

Les sons transmis de cette façon ne sont perceptibles que là où le conducteur solide (un fil métallique) est remplacé par quelques particules séparées et facilement mobiles (le microphone); mais il est facile de comprendre qu'ils existent aussi, à un degré beaucoup plus faible, dans tous les points du circuit. Il suffit pour s'en convaincre d'enrouler quelques dizaines de mètres de fil isolé sur un petit tambour de bois et de le tenir appuyé contre l'oreille. L'intensité de son augmente même quand on place au milieu d'une telle bobine quelques morceaux de fer.

En poussant la réduction du téléphone encore plus loin, on peut arriver à se passer du microphone récepteur et même d'une bobine réceptrice, en appuyant de simples électrodes (lames ou cylindres métalliques) contre les deux tempes. Le courant intermittent passe alors par la tête, et la peau sèche joue ici le même rôle que les feuilles de papier dans le condensateur chantant de MM. Varley et Pollard. On peut aussi construire une harpe électrique avec des fils fins, rapprochés les uns des autres, et cette harpe émet des sons quand elle est traversée par un courant discontinu. C'est alors l'air qui joue le rôle du mauvais conducteur. Enfin, une spirale de fil fin engendre des sons sous l'influence des attractions électrodynamiques.

Il ne nous reste plus qu'une remarque à faire sur les propriétés thermoscopiques du microphone. Elles rentrent dans le même ordre d'explications que celles qui nous ont servi pour comprendre l'action du microphone agissant comme transmetteur; seulement comme il s'agit ici d'une action électromotrice et non téléphonique, les changements dans les points de conductibilité n'ont plus besoin d'être rapides. Une autre différence, en apparence contradictoire se fait remarquer. On sait que le microtasimètre de M. Edison présente des effets tout à fait opposés à ceux du microphone thermoscopique de M. Hughes. Dans le premier, la chaleur agit par une augmentation de conductibilité; dans le second, c'est l'inverse : la chaleur augmente la résistance. Pourquoi ? Parce que, dans le premier cas, c'est un corps solide qui se dilate sous l'influence de la chaleur, en augmentant le nombre des contacts, tandis que dans le second cas où il existe plusieurs petits morceaux de charbon juxtaposés, c'est l'air, qui les entoure et les sépare, qui se dilate avant tout, et cette dilatation doit nécessairement produire une diminution dans le nombre des contacts; mais le principe reste toujours le même.

En résumé, il nous est impossible de reconnaître dans le microphone une nouvelle propriété de la matière, ou, tout au moins, celle de l'action directe des ondes sonores sur certains corps médiocrement conducteurs. Le microphone ne présente aucune analogie avec le microscope, et sa théorie n'a aucun rapport avec celle du sélénium, y ce qui cependant n'empêche pas l'invention de M. Hughes d'être une des plus grandes de notre siècle.

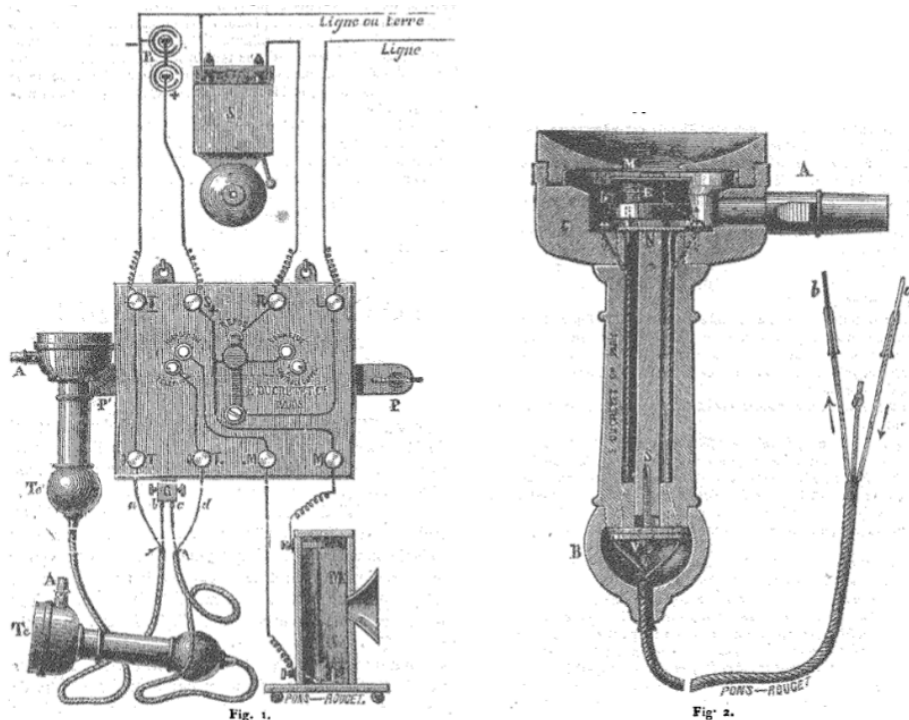
La seconde théorie, celle de la pression, n'est de même qu'une exposition superficielle des faits, et, à notre avis du moins, elle doit être abandonnée.

Dr Julian Ochowicz

POSTE TÉLÉPHONIQUE AVEC OU SANS MICROPHONE DE M. DUCRETET

Le poste téléphonique que nous présentons ci-dessous et qui est de M. Ducretet, est d'une grande simplicité ; il permet de réaliser toutes les combinaisons nécessaires avec un seul commutateur et deux fils, de ligne, ou un seul fil si on se sert de la Terre, comme fil de retour. Il se compose d'une tablette portant une manette centrale dont l'extrémité a ressort peut être placée à volonté sur cinq gouttes de contact marquées d'une inscription en regard de chacune, soit : repos, sonnerie, contrôle d'appel, téléphone, microphone. Elle reçoit encore huit bornes d'attache de conducteurs; T, S, R, L, et à la partie inférieure T1, T2, M1, M2, - et +

Les communications de ces bornes entre elles, avec les gouttes de contact, les conducteurs des appareils et ceux de la ligne sont nettement indiquées sur la figure; ils suffisent pour bien suivre la marche du courant.



Ces téléphones s'attachent en TT1. Si on veut en mettre plusieurs dans le même circuit [soit en tension], on les attache comme l'indique la figure en se servant de la borne intermédiaire G. Si, au contraire, on veut les accoupler en dérivation (soit en quantité), les deux téléphones se mettent symétriquement aux bornes TT.; elles ont un deuxième bouton de serrage pour cette disposition.

Le microphone M se place en MM; il peut servir à transmettre à de grandes distances les plus faibles bruits ou les sons musicaux. Il en existe qui transmettent nettement la parole en amplifiant les vibrations produites. — S est la sonnerie qui sert d'avertisseur.

La transmission se fait aisément. Supposons deux postes, l'un à Paris, l'autre à Versailles, La manette centrale de chacun doit toujours être sur la goutte marquée repos. — Le poste de Paris désire transmettre à Versailles; pour l'avenir, il place un instant sa manette sur sonnerie, puis il revient se placer sur repos. La sonnerie de Versailles reçoit cet appel, le posté y répond en faisant exactement la même manœuvre, puis il se place sur téléphone. Le poste de Paris, dès qu'il a reçu le coup de sonnette qui l'avise qu'on est prêt, se place à son tour sur téléphone.

Si le poste de Paris ne reçoit pas de réponse à son appel, il en conclut que son correspondant de Versailles n'est pas présent; il lui est facile de le contrôler. Pour cela, il recommence la même manœuvre, mais cette fois il place sa manette à cheval sur les deux gouttes, sonnerie et contrôle d'appel, et dans le même temps, il écoute dans son téléphone, oh il entend distinctement la sonnerie de son correspondant de Versailles. Il laisse la manette dans cette position de contact prolongé, jusqu'à ce que le correspondant, enfin prévenu par cet appel prolongé, vienne couper le courant pour se placer sur sonnerie, ainsi qu'il vient d'être dit. Le poste d'envoi vie Paris, à ce moment, n'entend plus dans son téléphone la sonnerie de Versailles: il se place alors sur repos, reçoit l'avis qu'on est prêt; puis il se place sur téléphone, pour établir une transmission téléphonique entre les deux postes.

Le poste qui a appelé le premier, doit parler le premier dans son téléphone; le second téléphone est maintenu à l'oreille. Dès qu'il a fini de causer, il en avise son correspondant en sifflant fortement dans le sifflet A fixé à demeure sur le corps du téléphone, lequel sifflet transmet ses vibrations dans la chambre qui se trouve au-dessous de la membrane vibrante. De la sorte, on évite toute fausse manœuvre; on ne doit parler qu'après avoir reçu le coup de sifflet avertisseur. Chacun doit agir ainsi. On écoute en portant un téléphone à chaque oreille.

La correspondance terminée, on se met sur repos, et les deux postes placent chacun la manette dans cette position pour attendre un nouvel appel.

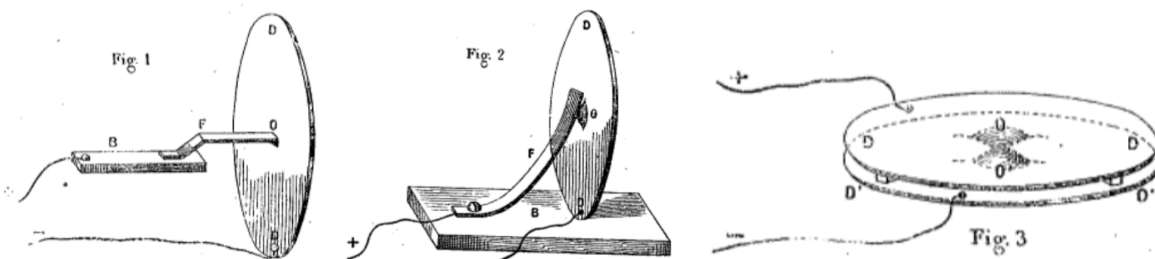
Chaque poste, lorsqu'il transmet, peut sans en avertir son correspondant, se servir du microphone transmetteur; il lui suffit de placer sa manette sur microphone, et si lui-même veut entendre dans son propre téléphone les sons qu'il transmet par son microphone, il lui suffit encore, sans avis, de placer sa manette à cheval sur les deux gouttes.

Les téléphones au repos s'accrochent en P, P Ce poste est simple, d'une manœuvre facile. L'appel par sonnerie peut-être aussi prolongé qu'on le désire; la sonnerie d'appel peut être placée loin des téléphones; on peut mettre plusieurs sonneries à différents endroits et l'on a ainsi un système téléphonique très pratique.

De Magneville

1880 Vu dans "La lumière électrique"

La persistance avec laquelle M. Berliner réclame la priorité de l'invention du microphone, et la complaisance de certains journaux allemands pour accueillir cette réclamation, nous forcent de revenir un peu sur ce système, et en même temps de faire connaître les appareils de ce genre essayés en 1876 et 1877 par MM. Peirce et Blake. D'après des renseignements qui ont été donnés en 1878 à M. du Moncel par M. Blake, alors à Paris, M. Peirce en faisant des expériences à La Providence avec les appareils de Bell, fut très-étonné d'entendre la parole avec un transmetteur téléphonique à pile composé d'un disque de tôle DD (fig. 1) placé verticalement et actionnant un morceau de fer rouillé B (placé horizontalement), par l'intermédiaire d'un ressort F, frottant sur ce morceau de fer, et fixé au centre O du disque.

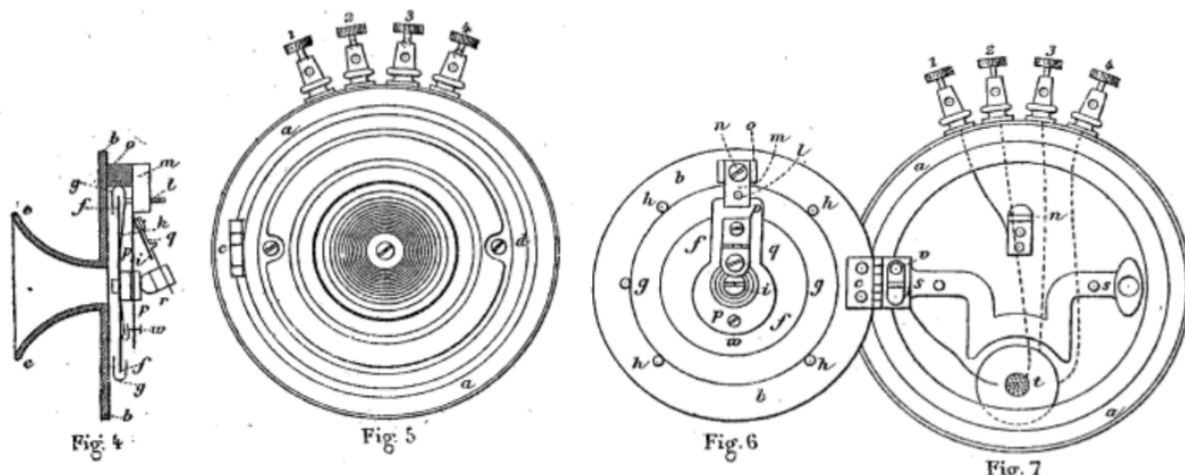


Sous l'influence des vibrations du disque, le ressort produisait de petits frottements qui suffisaient pour fournir, par instants, la reproduction de la parole. Toutefois ces résultats n'ayant pas été suffisants pour lui faire croire à des applications utiles, M. Peirce s'est contenté de les considérer comme une expérience curieuse qu'il signala à M. Blake. Or cette expérience avait été faite en septembre 1876. Un an plus tard, M. Blake eut l'idée de la reproduire dans d'autres conditions que nous représentons ci-dessous (fig. 2).

Il employa comme M. Peirce un disque vertical en tôle DD au centre duquel il pratiqua, en repoussé, une saillie bombée O, comme une boursouflure, et-il appliqua contre cette saillie une lame de ressort F, de manière à constituer ainsi un interrupteur de courant. En parlant devant le disque, il put reproduire d'une manière, sinon parfaite du moins suffisante, la parole à travers un téléphone introduit dans un circuit voltaïque, mis en rapport avec ces deux parties de l'appareil. Sauf la lame de charbon qui se trouve représentée ici par un disque de tôle, cet appareil représente bien celui que M. Berliner réclame. M. Blake lui a donné du reste une autre disposition que nous représentons Fig 3.

Ce sont deux disques de tôle DD, D'D' superposés horizontalement et munis à leur centre de la saillie bombée dont nous avons parlé. Ces disques sont en contact par cette saillie. Les bords des deux disques sont d'ailleurs séparés par des cales de bois assez minces pour maintenir leur parallélisme tout en laissant effectuer leur contact métallique

par les saillies bombées. Il obtint de ce système d'assez bons résultats, mais bien inférieurs à ceux que M. Hughes a obtenus avec soi-même microphone, et c'est pourquoi il ne crut pas devoir intervenir lors de la querelle survenue entre celui-ci et M. Edison, d'autant plus qu'il n'employait pas deux charbons. En définitive, ce qui était surtout remarquable dans l'invention de M. Hughes, à l'origine, c'était la possibilité que son microphone donnait à amplifier des vibrations infiniment faibles, transmises mécaniquement aux support de l'appareil, et il n'a songé que secondairement à en faire un transmetteur téléphonique. A ce dernier point de vue, l'invention n'était qu'une modification des systèmes de Bell et de Gray, c'est-à-dire la substitution d'un médiocre conducteur solide à un médiocre conducteur liquide, et la partie la plus importante de l'invention à-dire la variabilité de la résistance du contact avec la pression plus ou moins grande exercée sur lui, était connue depuis longtemps. M. Berliner comme M. Edison, n'a rien à réclamer, et nous engageons le Zeitschrift für Angewandte Elektrizitätslehre d'étudier un peu tous les documents dont nous venons de parler avant de se prononcer d'une manière si catégorique. Cela dit en passant, nous allons examiner maintenant le nouveau transmetteur de M. Berliner qu'on nous donne comme une merveille, et qui n'est qu'une dérivation des transmetteurs Blake, Edison et Fernandez Janetz.



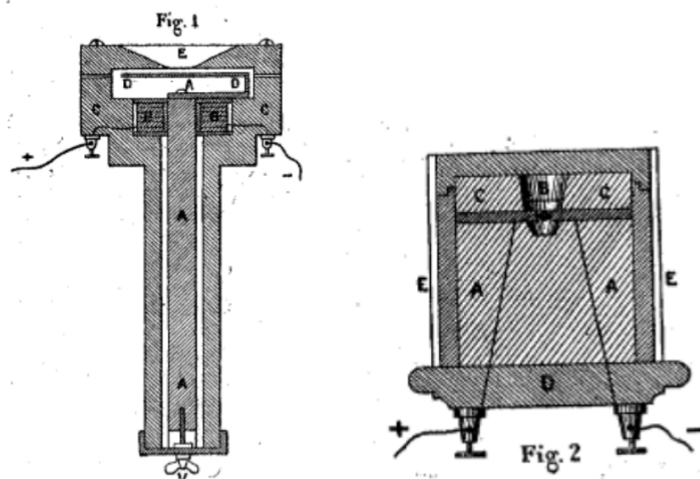
Les figures 4, 5, 6 et 7 ci-contre représentent cet appareil dont la coupe, fig. 4, représente les détails principaux, ce est l'embouchure téléphonique ; file diaphragme en fer battu soutenu sur ses bords par une enveloppe de caoutchouc élastique. Une lame flexible d'argent fortement pressée contre cette enveloppe de caoutchouc par une vis l .porte vissée en i, une sorte de cartouche métallique i, qui renferme l'un des contacts microphoniques, constitué par un petit cylindre de graphite. Le courant arrive à ce contact par la vis l, qui est isolée de la masse de l'appareil par un taquet d'ébonite m, fixé sur le couvercle en fer de l'appareil. Une large lame d'argent pp, fixée en m, et emboîtant avec isolement la cartouche i, permet de serrer plus ou moins fortement la cartouche contre le diaphragme, au moyen d'une vis w, et porte articulée obliquement une lame q terminée par un petit cylindre métallique r qui renferme le second contact de graphite, lequel est arrondi par sa partie extérieure. Derrière ce système est disposé, une traverse de fer ss et une bobine d'induction l sur laquelle agit le courant du microphone, et dont le fil induit communique avec la ligne téléphonique. L'appareil est naturellement suspendu verticalement.

et aussi

Nouveau téléphone fondé sur les vibrations moléculaires.

Ce téléphone breveté par MM. Lockwood et Bartlett de New-York, prouve une fois de plus en faveur de la théorie que M. Th. du Moncel n'a pas cessé de soutenir depuis l'époque de l'apparition du téléphone en Europe. Dans cet appareil, que nous représentons, Fig. 1, page 443, et qui est du reste le même, quant à la disposition générale, que celui de M. Bell, le diaphragme DD forme l'épanouissement du pôle de l'aimant recouvert de la -bobine BB, et, afin d'amplifier les sons, il est disposé de manière à constituer avec le système magnétique une caisse sonore. A cet effet, le pôle magnétique A est pourvu d'un petit bras en fer AD, recourbé deux fois à angle droit, de manière à soutenir le diaphragme à quelques millimètres au-dessus du pôle magnétique, et c'est précisément l'intervalle entre ce diaphragme et le pôle magnétique qui constitue la caisse résonnante.

Dans ces conditions, il n'y a plus d'attraction produite entre le diaphragme et l'aimant, puisque les polarités sont de même signe, et les sons reproduits ne peuvent être que le résultat des changements magnétiques moléculaires qui s'effectuent dans le système entier sous l'influence des courants ondulatoires transmis, et qui, d'après les inventeurs, auraient pour effet de fournir des vibrations longitudinales, répercutées dans toutes les parties du système magnétique.



Le transmetteur destiné à agir sur l'appareil précédent est fondé sur un principe différent de la plupart de ceux qui ont été construits. Au lieu de faire réagir directement les vibrations de l'air sur le microphone par l'intermédiaire d'un diaphragme, MM. Lockwood et Bartlett font en sorte que le microphone ne soit impressionné par ces vibrations que mécaniquement et par l'intermédiaire d'un corps non résonnant, capable seulement de les transmettre moléculairement, à la manière des effets mécaniques transmis dans l'expérience du choc des billes suspendues, billes qui sont en contact l'une avec l'autre. Eu 'conséquence, ils incrustent à l'intérieur d'un bloc de liège ou de bois, léger AA (fig. 2) et dans le prolongement l'un de l'autre, les deux crayons de charbon C, C qui doivent constituer le système microphonique, en ayant soin de laisser vide un très-petit intervalle entre leurs extrémités opposées l'une à l'autre. Ces extrémités sont creusées d'une petite cavité hémisphérique dans laquelle est logée une petite boule de charbon B, qui peut aisément s'y mouvoir et qui réunit par son propre poids les deux charbons, comme dans le système de M. Lippens. Les deux crayons de charbon sont d'ailleurs réunis métalliquement à deux boutons d'attache par deux fils qui traversent la masse du bloc de bois, ordinairement de forme cylindrique, et celui-ci est enfermé dans une enveloppe métallique E E, qui permet, au moyen d'un couvercle, d'accéder à la partie correspondante au point de jonction des deux charbons, laquelle forme une petite chambre vide B, fermée seulement avec un bouchon de liège.

Avec du recul, en 1887 M. le Dr Rothen, Directeur-adjoint des télégraphes suisses expose son analyse sur la théorie du téléphone.

Dans une étude complète sur la téléphonie, comme celle que nous nous sommes proposé de présenter à nos lecteurs, on peut se demander à quelle place il convient de traiter la question technique: devrait-elle figurer en tête d'une étude de ce genre ou venir à la suite et comme conséquence de l'exposé des différents systèmes et des expériences réalisées dans ce travail.

Sans vouloir exprimer une opinion formelle à cet égard, nous tenons cependant à expliquer pour quels motifs nous avons choisi cette dernière place. Dans notre pensée, la théorie résulte principalement des expériences et des investigations ; plus grand est leur nombre et plus elles sont variées, plus on peut espérer rapprocher la théorie de la vérité. considérons donc la théorie comme un résultat final, comme une conclusion de nos recherches, et c'est pour cette raison que nous avons placé ce chapitre après et non pas la description des appareils.

Toutes les théories présentent un côté incertain et même lorsqu'elles sont adoptées, nous savons rarement si nous pouvons les regarder comme définitives. Elles résultent, d'un côté, des observations des phénomènes de la nature et, de l'autre, de déductions mathématiques; mais quelquefois les phénomènes de la nature sont mal interprétés et quoique les résultats de l'analyse et de la synthèse mathématique soient des vérités absolues, leur application aux phénomènes de la nature n'est pas toujours exempte d'erreurs. Nous avons dans l'histoire des sciences naturelles l'exemple de plusieurs cas où l'investigation et le calcul mathématique ont conduit à des théories erronées.

Quant à la téléphonie, nous sommes encore loin d'une théorie complète, malgré le grand nombre de travaux émanant de personnes très compétentes et d'un savoir incontestable. Tout ce que nous possédons actuellement doit être considéré comme des matériaux accumulés en vue d'une construction à réaliser dans l'avenir. Beaucoup de phénomènes sont encore inexpliqués et plusieurs thèses des théories qui ont déjà vu le jour sont embarrassées d'obscurités et de doutes.

Revenons à l'exposé de M. le Dr Rothen : Partant des faits acquis, nous savons qu'on peut reproduire la parole à des distances inaccessibles à la voix humaine. Cette reproduction peut avoir lieu de trois manières différentes,

- 1 - d'abord en utilisant un téléphone Bell comme transmetteur et un autre téléphone Bell comme récepteur, les deux intercalés dans le même circuit
- 2 - ensuite en utilisant un microphone comme transmetteur et un téléphone Bell comme récepteur, les deux intercalés dans le même circuit ;
- 3 - finalement en plaçant le microphone et le téléphone dans deux circuits différents qui s'influencent au moyen d'une bobine d'induction.

Dans le premier cas, on peut distinguer différents phénomènes qui se succèdent et dont chacun est la conséquence du phénomène précédent.

Les ondes sonores frappent contre le diaphragme du téléphone récepteur, ce diaphragme entre en vibrations mécaniques, les vibrations changent l'état magnétique du récepteur et ces changements produisent des courants électriques dans le circuit. Les courants ainsi engendrés produisent, dans l'état magnétique du téléphone récepteur, des changements qui, à leur tour, font vibrer le diaphragme de ce dernier, et finalement ces vibrations produisent des ondes sonores.

Il existait, dans les premiers temps de la téléphonie, des sceptiques qui doutaient de ces transformations multiples et voulaient expliquer la reproduction de la parole par un simple phénomène acoustique ; mais cette idée est réfutée depuis longtemps et avec raison, car elle est absolument insoutenable sous plusieurs rapports; nous mentionnerons seulement la lenteur de la propagation qui serait une conséquence inévitable de cette théorie. Nous savons qu'à toute distance, par exemple à 100 kilomètres, la reproduction de la parole est instantanée, puisque la réponse nous revient sans aucun délai, ce qui serait impossible si le phénomène était purement acoustique.

La reproduction de la parole au moyen du téléphone est faible, dans certaines circonstances excessivement faible, et certaines lettres de l'alphabet restent quelquefois inintelligibles, surtout les lettres sifflantes et gutturales. La précision de la reproduction laisse même beaucoup plus à désirer que nous ne le croyons généralement. Nous devinons une grande partie des lettres par la position qu'elles occupent dans les mots.

Nous avons d'ailleurs, dès notre enfance, contracté l'habitude de deviner certaines lettres, car la parole même qui frappe directement notre oreille n'est souvent pas facile à saisir, beaucoup de personnes ne parlant pas distinctivement. Nous continuons ainsi cette habitude avec le téléphone qui altère le son de certaines lettres. La situation empire naturellement si la personne qui parle dans le téléphone ne sait pas bien parler ; mais nous ne nous préoccupons pas de ce cas dans notre investigation, car il n'a rien à faire avec la théorie du téléphone.

Les imperfections de la reproduction de la parole par le téléphone se manifestent surtout quand il s'agit d'une langue inconnue ou de noms propres; il devient quelquefois nécessaire dans ce cas de transcrire les consonnes d'une manière ou d'une autre, par exemple r par „rose," s par „soleil," v par „violet" et ainsi de suite.

Pour établir une théorie du téléphone il faut étudier les différents phénomènes qui se succèdent, chercher les causes des altérations des consonnes, du grand affaiblissement de la parole et maints autres points qui demandent à être élucidés.

Le **professeur Bell**, l'inventeur du téléphone, a aussi le premier donné une théorie de son fonctionnement.

D'après lui le **courant** circulant dans une ligne téléphonique est **ondulatoire**, sans aucune interruption, mais traversant le point du potentiel électrique zéro. Ce principe fondamental de la théorie de M. Bell est attaqué de différents côtés, par exemple par M. de **Locht-Labye**, qui prétend que des courants interrompus peuvent aussi servir à la reproduction de la parole.

Nous reviendrons sur cette question.

M. Bell applique au téléphone les théories bien connues de l'acoustique dont l'essentiel est le suivant : **Ces ondes acoustiques ou électriques peuvent graphiquement être représentées par une courbe sinusoïdale; un corps qui est en vibrations simples et uniformes produit un ton simple**; c'est le cas qui se présente avec un diapason.

Un diapason vibrant produit, quand on le place devant un téléphone récepteur dans le circuit téléphonique, des ondulations électriques parfaitement régulières, une sinusoïde pure. Mais d'autres sons provenant d'autres instruments, d'une corde de violon, d'un tuyau d'orgue, etc., ne se composent pas de vibrations simples, ce sont des sons composés d'un son fondamental et de plusieurs sons harmoniques. Si le son fondamental est l'Ut, alors les sons superposés harmoniques sont l'ut1 fa ut2 re2 fa2 ut3 et suivant que l'un ou l'autre de ces sons harmoniques est plus prononcé, le timbre du son est modifié.

Le même son produit par un violon, une flûte, un corne à piston, la voix humaine, possède un autre caractère, un **autre timbre**, parce que ce sont d'autres tons harmoniques qui jouent un rôle prépondérant. La différence entre les voyelles ou diptongues a, é, i, o, ou, ê, eu, u consiste aussi dans des différences de force des sons harmoniques; M.

Helmholtz, est même parvenu à produire toutes les voyelles mécaniquement.

Quand un ton quelconque, ainsi composé, parvient à notre organe de l'ouïe, nous pouvons admettre qu'il a été produit par des vibrations complexes, l'Ut faisant 64,66 vibrations par seconde, l'ut1 258,65, le fa2 844,87, l'ut2 517,8, le re 2 581,96, le fa2 689,74, l'ut3 1034,6. Mais ces différents systèmes de vibrations n'existent pas simultanément et indépendamment l'un de l'autre dans l'air; ils se confondent au contraire en une seule espèce de vibrations complexes qui renferment en elles les caractères de toutes les différentes vibrations. On peut reproduire la chose graphiquement, en superposant plusieurs sinusoïdes de différentes longueurs de vibration et en représentant les caractéristiques de toutes, dans une seule ligne. Cette ligne sera alors irrégulière, mais elle montrera toujours une période caractéristique. Les ondes sonores qui frappent contre notre oreille et produisent la sensation d'un son complexe, portent le même caractère d'une période bien définie.

Il en est de même de la sensation que les consonnes produisent sur notre oreille, seulement les vibrations sont encore plus complexes que pour les voyelles. Certaines consonnes ne peuvent être prononcées qu'avec une durée très courte et en les faisant précéder ou suivre d'une voyelle, comme b, p, d, t. A d'autres on peut donner une durée plus ou moins longue comme à r, s, f, l, m, n. M. Bell, en appliquant la théorie de l'acoustique à son téléphone, a simplement passé sous silence les difficultés. Il admet que les ondes complexes produisent dans le diaphragme du transmetteur des vibrations de même forme qui se reflètent une troisième fois dans les ondulations du courant électrique et une quatrième fois dans la membrane du téléphone récepteur, mais il ne s'occupe pas des détails d'imperfection et d'affaiblissement que montrent ces reproductions. Dans une théorie complète il faut au contraire déterminer le phénomène dans toutes ses périodes consécutives, savoir exactement ce qui se passe dans le diaphragme, dans l'aimant et dans le circuit électrique.

Les courants transmis de téléphone à téléphone sont très faibles. On peut encore entendre dans un téléphone les interruptions d'un circuit qui a 100 mégohms de résistance, si la force électro-motrice ne dépasse pas celle d'un élément Daniell. Le courant a alors seulement la force de 1,116 X 10 puissance — 8 ampères. Brough et Pellat, dans leurs investigations, sont arrivés à peu près aux mêmes résultats. Pour démontrer quelle petite énergie le téléphone demande pour réagir, M. Pellat a chargé un condensateur de 0,33 microfarad 160 fois à la seconde et l'a déchargé à travers un téléphone. Il pouvait alors diminuer la force électro-motrice jusqu'à 0,0005 volts et les décharges s'entendaient encore dans le téléphone, quoique la quantité d'électricité, 160 CV, ne dépassât pas un 40 millionième d'une unité de quantité. L'énergie dépensée devient alors si petite qu'elle devrait s'accumuler pendant 10 000 ans pour pouvoir élever un gramme d'eau d'un degré centigrade de température.

Les faibles courants circulant dans le téléphone ou, en d'autres mots, la sensibilité excessive de cet instrument, ont été constatés de différentes manières. Si l'on veut se servir du téléphone seulement comme répétiteur des signaux télégraphiques, on n'a pas besoin de pile. Les courants telluriques ou ceux engendrés par les plaques de terre qui sont enfoncées dans le sol humide, suffisent amplement pour fournir l'électricité nécessaire pour le service.

Les courants électriques qui se développent dans le circuit téléphonique, quand on parle contre la membrane d'un téléphone, sont plus difficiles à mesurer, car ils sont très irréguliers, varient avec la hauteur de la voix, les voyelles, les consonnes palatales ou explosives et autres détails de la parole. MM. **Cross** et **Page** ont cherché à déterminer la force de ces courants, surtout pour les voyelles a, o, i et la diptongue ouï, mais en les prononçant principalement contre des microphones.

Dans ce cas, les courants sont en général sensiblement plus forts que si l'on se sert comme transmetteur d'un téléphone Bell.

On obtient les plus forts courants téléphoniques quand on combine la bobine d'induction avec le microphone. La force moyenne des courants varie alors entre 0,79 et 0,07 milliampères, donc dans des limites assez larges, suivant le genre de microphone employé et la voyelle prononcée ou chantée. En général la voyelle o et la diptongue ou donnaient les plus forts courants, la voyelle i les plus faibles. Pour éviter les variations d'intonation qui se font remarquer dans l'électro-dynamomètre au commencement de la prononciation d'une voyelle, les expérimentateurs n'ont fermé le circuit que quand la voix était en plein développement.

Cette différence dans les forces des courants engendrés par la prononciation des voyelles peut être démontrée de plusieurs manières. Une des plus frappantes est celle indiquée

par M. le professeur **Fick**.
Il mettait les nerfs d'une grenouille en rapport avec un circuit téléphonique. Quand on parle alors contre le téléphone, la grenouille manifeste des contractions énergiques. Les courants étaient ensuite affaiblis jusqu'à un tel degré que les contractions étaient sur le point de disparaître. Si dans ces circonstances on disait dans le téléphone „**zucke**" la grenouille montrait des contractions, tandis qu'avec les mots „**liege still**" elle restait immobile.

Le téléphone est d'ailleurs plus sensible que le nerf d'une grenouille, ce qui a été constaté par M. le **Dr d'Arsonval**. Il excitait ce dernier au moyen d'une bobine d'induct éloignait la bobine induite jusqu'au point où les contractions cessaient complètement. Il remplaçait alors la grenouille par un téléphone et entendait le bruit distinctement. En continuant l'éloignement de la bobine d'induction jusqu'au point où, dans le téléphone aussi, cessait toute manifestation accessible aux sons, il a cru pouvoir déterminer la sensibilité qu'il a fixée à 200 fois plus grande que celle de la grenouille. Nous pensons seulement que M. d'Arsonval n'a pas tenu compte des différences de résistance. A travers la grenouille les courants d'induction étaient probablement sensiblement moins forts que dans le téléphone, une vraie comparaison des deux sensibilités est donc seulement possible en maintenant dans les deux expériences la même force de courant.
Malgré la grande sensibilité du téléphone il ne dépasse pas, dans cette qualité, un galvanomètre très délicat, par exemple celui de Sir W. Thomson. Son seul avantage sur les galvanomètres repose dans la facilité avec laquelle il peut indiquer les plus faibles courants alternatifs pour lesquels les galvanomètres restent muets.

Si l'on veut essayer d'analyser le phénomène de la reproduction de la voix par le téléphone il faut partir du cas le plus simple, deux téléphones Bell comme transmetteur et récepteur dans le même circuit, et étudier d'abord les mouvements de la membrane du transmetteur et du récepteur. Ces mouvements sont si faibles que leur nature est restée longtemps inconnue.
Deux opinions opposées se combattaient dès le commencement; certains savants étaient d'avis qu'ils étaient de nature moléculaire, d'autres les regardaient comme vibratoires. M. **Antoine Breguet**, qui d'ailleurs s'est distingué par des travaux scientifiques sur l'électricité appliquée, niait nettement la possibilité de **mouvements vibratoires** du diaphragme. La plus intéressante controverse qui ait eu lieu à ce sujet s'est produite entre **M. le Comte du Moncel**, d'un côté, et MM. **Navez père et fils**, de l'autre. Le premier défendait les mouvements moléculaires, les deux autres les mouvements vibratoires. (lire l'exposé plus bas dans la page)
Différentes observations semblaient donner raison à M. du Moncel.
D'abord il était impossible de constater de visu les mouvements vibratoires, mais d'autres expériences les mettaient aussi fort en doute. Si l'on couvre la membrane d'une plaque de bois, verre, caoutchouc ou autre matière, et si l'on parle contre ce couvercle on peut, quoique faiblement, transmettre la parole. De même on peut l'entendre au téléphone récepteur quand sa membrane est ainsi cachée.
Des couches de différents liquides, eau, huile, etc. sur la membrane n'empêchent pas la transmission de la parole.
De même quand on donne à la membrane des dimensions inusitées, des épaisseurs jusqu'à plusieurs centimètres de sorte qu'on n'ait plus une membrane devant soi, mais un véritable bloc de fer, la parole se transmet encore.
Les plus curieuses expériences furent celles que l'on fit avec des récepteurs sans membrane aucune. Des sons musicaux se transmettaient encore dans ce cas, quoique avec grande faiblesse, et quelquefois on pouvait même distinguer quelques sons articulés.
Ces phénomènes entrent très probablement dans la catégorie de celui que **Reis** a déjà expérimenté dans son récepteur téléphonique. Quand on place dans une longue bobine une tige en fer et qu'on fait passer par la bobine des courants intermittents, il se produit dans la tige en fer des **mouvements moléculaires** qui sont accompagnés d'un faible son parce que la tige tout entière se raccourcit et s'allonge, bien entendu dans des limites excessivement restreintes. Le son ainsi produit acquiert le caractère d'un ton musical si les intermittences du courant sont suffisamment rapides et régulières. Il est probable que dans un récepteur téléphonique sans membrane, la reproduction du son se fait aussi par des raccourcissements et des allongements successifs du noyau en fer doux.

Outre les investigateurs déjà nommés, il faut aussi citer M. **Adér** qui a modifié les expériences pour élucider cette question de la reproduction de la parole sans diaphragme. Cette controverse, quoiqu'elle ait perdu aujourd'hui son actualité, a pourtant aidé à éclaircir différents points obscurs dans la théorie du téléphone.
Il a été constaté que quoique le diaphragme joue le rôle prépondérant parmi les corps en mouvement, d'autres corps y participent aussi.
Dans un téléphone, récepteur ou transmetteur, tout est en mouvement, outre le diaphragme, le noyau, la bobine, même la douille. L'inverse de ce phénomène est celui qui se produit lorsqu'une personne parlant dans le téléphone, au lieu de le tenir devant la bouche, le presse simplement contre la gorge, la poitrine ou même le front. Dans ce cas les paroles prononcées se transmettent néanmoins, ce qui indique que toutes les parties du corps de la personne qui parle prennent, à un plus ou moins haut degré, part aux mouvements oscillatoires qui agissent sur le téléphone.
Des expériences de date plus récente ont démontré que les mouvements utiles du diaphragme sont de nature vibratoire, mais il résulte de ce qui a été dit plus haut qu'à côté de ces mouvements vibratoires il existe encore des mouvements moléculaires. Il est peu probable cependant que ces derniers contribuent beaucoup à la force et à la netteté de la parole reproduite; il y a même des expérimentateurs qui sont d'avis que la parole serait plus nette si l'on pouvait complètement supprimer les mouvements moléculaires.

L'étude la plus complète sur les mouvements du diaphragme, aussi bien dans le transmetteur que dans le récepteur, nous a été donnée par M. **Mercadier**. (*Etudes Sur La Theorie Du Telephone 1886*)
Dns cette étude, Maercadier démontre qu'en diminuant l'épaisseur du diaphragme, on perd en qualité ce qu'on peut gagner, pour ainsi dire, en quantité ou intensité. Mais, même sur ce dernier point, il y a un maximum pour le récepteur, comme je l'ai indiqué pour le transmetteur à limaille de fer. Pour un champ magnétique d'intensité donnée, il y a, toutes choses égales d'ailleurs, une épaisseur de diaphragme qui donne un effet téléphonique maximum. Ce résultat, analogue à celui qu'on trouve dans d'autres phénomènes électromagnétiques, peut expliquer l'insuccès de beaucoup de tentatives faites, un peu au hasard, en vue d'augmenter l'intensité des effets des récepteurs téléphoniques électromagnétiques.

Dans la nature de 1886 on y trouve cet article de Mercadier

THEORIE DU TÉLÉPHONE. RECHERCHES DE M. E. MERCADIER du 12 JUIN 1880
M. E. Mercadier a entrepris une longue et intéressante série de recherches expérimentales tendant à expliquer le mécanisme par lequel l'énergie sonore renfermée dans les ondes aériennes si complexes produites par la voix humaine, est transformée en énergie électrique sous la forme de courants induits, par suite de l'interposition, entre les ondes sonores et le pôle d'un aimant entouré d'une bobine, d'un diaphragme en matière magnétique, fer ou acier.Ce sont ces recherches (pie nous allons résumer aussi brièvement et aussi exactement que possible d'après une note plus étendue publiée récemment par l'auteur dans le Journal de physique. Théorie du téléphone magnétique transmetteur. — La propriété du téléphone de reproduire des vibrations simples ou complexes, comme celles de la parole articulée, avec leur timbre, sinon exact, du moins approximatif, suppose dans le diaphragme du transmetteur la possibilité de mouvements très complexes et susceptibles de varier, d'une manière continue, dans leurs éléments. Le diaphragme étant un corps élastique, susceptible de vibrer et de donner des sons propres (son fondamental et harmoniques), en vertu de son élasticité, de sa forme géométrique, de la nature de son support, etc., il s'agit de savoir si, quand on produit dans l'air, devant le diaphragme, des sons simples ou complexes (parole articulée), les mouvements produits dans ce diaphragme sont ceux qui correspondent aux sons particuliers du diaphragme ou des mouvements d'une autre nature. L'expérience démontre qu'un disque téléphonique imparfaitement encastré constitue, au point de vue mécanique et élastique, un système complexe et mal déterminé, ne donnant que des lignes nodales irrégulières, variables avec l'état de serrage du disque, et ne produisant que des sons propres discontinus; il est donc évident que ces sons particuliers ou propres ne suffisent plus à expliquer la transmission d'une série continue de sons ou d'accords. La nécessité de mouvements d'une espèce autre que celle des sons propres est mise en évidence en prenant des disques de 2 millimètres d'épaisseur et de 10 centimètres de diamètre dont le son fondamental et, par suite, les harmoniques, sont supérieures à ut6 lorsque ces disques sont encastrés, et en faisant parler un homme dont les sons sont toujours compris dans la gamme d'indice 5 au plus. On peut aussi mettre ces disques manifestement hors d'état de produire des sons fondamentaux ou des harmoniques par le jeu de leur élasticité, en collant un petit morceau de fer sur une membrane quelconque qui n'a pas de son propre, en perçant un disque de fer comme une écumoire, ou en le fendant en forme de roue à 5 ou 6 rayons étroits, de façon à diminuer sa niasse de moitié, ou même en remplaçant la membrane par une toile métallique en fils de fer. Il faut avoir soin, dans toutes ces expériences, d'interposer une feuille de papier entre le diaphragme et l'aimant, pour éviter les effets de résonance dus à l'introduction de l'air par les trous des disques ou de la toile. Le mécanisme en vertu duquel les diaphragmes téléphoniques exécutent leurs mouvements est analogue, sinon identique, à celui par lequel tous les corps solides de forme quelconque, un mur, par exemple, transmettent à l'une de leurs surfaces tous les mouvements vibratoires, simples ou complexes, successifs ou simultanés, de période variant d'une manière continue ou discontinue, qu'on produit dans l'air en contact avec l'autre surface. Avec les diaphragmes épais, ce genre de mouvement existerait seul ; avec les diaphragmes minces, il y aurait superposition de ces mouvements à ceux correspondant aux sons propres, toutes les fois que l'on émettrait des vibrations dont la période serait la même que celle de ces sons eux-mêmes, superposition {dus fâcheuse qu'utile, car l'augmentation d'intensité n'aurait lieu qu'aux dépens de la reproduction du timbre, les harmoniques du diaphragme ne coïncidant que par hasard avec ceux des sons qui mettraient en jeu le son fondamental du diaphragme. En songeant à la faible rigidité d'une toile métallique en fer qui, cependant, fonctionne bien comme transmetteur téléphonique, M. Mercadier a été construit un diaphragme

mince non sensiblement magnétique : carton, mica, verre, caoutchouc vulcanisé, zinc, aluminium, cuivre, etc. C'est le téléphone à limaille de fer, moins intense que le téléphone à diaphragme mince de fer, mais qui reproduit, peut-être avec plus de fidélité que ce dernier, le timbre de la parole articulée. On augmente d'ailleurs l'intensité des sons en augmentant l'intensité du champ magnétique, et en plaçant le noyau aimanté sur 4un gros électro de Faraday excité par un courant de 5 à 6 ampères, la puissance du téléphone à limaille de fer devient comparable à celle d'un téléphone ordinaire.

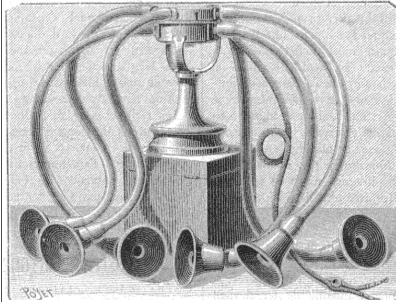
En résumé, la présence dans le champ magnétique d'un téléphone transmetteur de diaphragmes magnétiques, rigides ou non, n'est nullement indispensable pour produire effets téléphoniques : ces diaphragmes sont utiles pour augmenter l'intensité en présentant, par unité de volume, un plus grand nombre de molécules magnétiques à l'action des forces extérieures, en concentrant les lignes de force du champ. On peut produire les mêmes effets en exerçant des déformations mécaniques directes sur les lignes de force du champ réalisées avec de la limaille de fer.

Théorie du téléphone magnétique récepteur.

— Les considérations relatives au téléphone magnétique transmetteur s'appliquent au récepteur presque sans changement. La rigidité du diaphragme n'est pas indispensable. Il suffit de donner un support matériel aux modifications rapides produites dans le champ magnétique du récepteur par les courants induits qui parcourent l'hélice; on y arrive avec de la limaille de fer qui se dispose suivant les lignes de force.

Le diaphragme ne sert qu'à augmenter l'intensité des effets en concentrant le champ et en augmentant la masse d'air à laquelle sont transmis les mouvements résultant de la transmission d'énergie qui s'opère aux divers points du champ magnétique.

Les appareils exposés récemment à la Société française de physique mettaient en évidence les résultats et les conséquences des recherches de M. Mercadier. Nous y avons particulièrement remarqué, à côté du téléphone à limaille de fer, un téléphone ordinaire à réceptions multiples que représente la figure suivante :



Téléphone à réceptions multiples de M. E. Mercadier.

Les sons sont recueillis par l'intermédiaire de tuyaux en caoutchouc :

1° dans la chambre à air intérieure, sous la membrane;

2° dans une chambre formée au-dessus de la membrane par un couvercle percé d'une ouverture centrale fermée par une lame mince de mica.

La transmission s'effectue en parlant sur la lame de mica à la façon ordinaire.

Signalons encore un téléphone récepteur magnétique dans lequel la membrane est un disque en aluminium, qui peut, d'ailleurs, être remplacé par de l'argent, du cuivre, du zinc, de l'étain, etc. Les effets téléphoniques sont ici indépendants de la nature du métal, bien que les membranes en fer donnent des résultats de beaucoup les plus intenses.

Les recherches de M. E. Mercadier présentent un grand intérêt théorique et scientifique, et il est probable qu'elles pourront servir de base à la pratique et contribuer à l'amélioration des transmissions téléphoniques ordinaires, en indiquant les principes dont il ne faut pas s'écarter pour réaliser ces améliorations.

Maercadier s'est occupé principalement de ces mouvements en laissant de côté les phénomènes intermédiaires de la reproduction de la parole.

Les diaphragmes des téléphones sont des plaques en fer ou en acier minces et élastiques. Elles ont comme toutes les plaques, lames ou tiges élastiques des vibrations qui leur sont propres, d'une vitesse déterminée qui, pour des lames, peut être calculée par la formule $n = k(e/l \text{ puissance } 2)$ où n est le nombre des vibrations complètes par seconde, e l'épaisseur et l la longueur de la lame en millimètres et k un coefficient qui, pour le fer et l'acier, est 5320134. Le nombre des vibrations observées diffère très peu du nombre trouvé par le calcul. La même formule, avec une légère modification, est aussi applicable aux disques élastiques circulaires. Dans ce cas nous avons $n = kc e / d^2$ où n et e gardent leur signification précédente, d est le diamètre du disque et kc un coefficient qui est fonction du coefficient d'élasticité et de densité du disque.

M. Mercadier a, pour les disques aussi, comparé les vibrations observées avec celles que l'on obtient par le calcul. Pour déterminer les vibrations, il a placé les diaphragmes sur trois points en liège formant un triangle équilatéral. Si l'on choisit les trois points de support dans un cercle qui a environ un diamètre de 0,68 du diamètre du diaphragme, les trois points de support touchent la première ligne nodale et la plaque est libre de vibrer dans la vitesse de la première harmonique. Les vibrations sont déterminées électriquement et enregistrées par un chronographe comme celles des diapasons. Un courant passe par un électro-aimant placé au dessous du centre du disque et par l'attraction de ce dernier le courant s'interrompt. Pour reproduire les vibrations qui correspondent au son fondamental, il faut fixer le disque au centre et faire agir l'électro-aimant sur un point de la circonférence. Les difficultés qui accompagnent cette seconde méthode ont conduit M. Mercadier à la négliger et à s'en tenir à la première.

Par différentes séries d'expériences, avec des disques de toutes dimensions, il a été constaté que la théorie ne concorde pas avec les vibrations observées et cela d'autant moins que les disques sont moins épais. Cette discordance ne peut pas s'expliquer autrement que par le manque d'homogénéité de la matière. Même en choisissant l'acier ou le fer avec le plus grand soin, on y rencontre toujours des soufflures ou des agglomérations; un examen microscopique montre encore d'autres irrégularités. Il faut ajouter à tout cela que par le laminage des plaques il s'est formé deux axes d'élasticité qui contribuent aussi à la dissymétrie générale.

On peut rendre visible ces irrégularités dans les disques élastiques par les figures harmoniques de **Chladni**.

Si l'on couvre les disques de sable fin ou de poudre de lycopode, ce dépôt s'amasse sur les lignes nodales et l'on voit alors que la première ligne nodale n'est presque jamais circulaire; quelquefois elle est ovale ou triangulaire et souvent elle a des formes encore plus irrégulières. C'est ainsi le cas avec les lignes nodales plus compliquées des sons harmoniques supérieurs. Pour l'oreille, l'irrégularité dans la matière des disques se manifeste par des sons discordants ; souvent on entend même deux sons fondamentaux qui ne diffèrent que d'un comma ou d'une note entière.

Les irrégularités dans la matière des diaphragmes rendent très incertain ou impossible le calcul du son particulier ou propre et de ses harmoniques, qui sont la conséquence des vibrations libres, mais cela a finalement peu d'importance, l'essentiel est de constater l'existence de ces dernières et d'étudier leur rôle dans les transmissions téléphoniques. Le nombre des vibrations libres d'un diaphragme est très restreint, mais si l'on produit devant un téléphone l'échelle entière des sons musicaux il les reproduit tous. Bien plus encore, si l'on parle contre le téléphone et si l'on produit ainsi des ondes sonores très complexes qui n'ont aucun rapport avec les vibrations libres, il les reproduit aussi.

Les vibrations de la voix humaine (abstraction faite des sons harmoniques), varient entre les vitesses de 65 à 1044 ondulations par seconde, tandis que les membranes de nos téléphones ont des vibrations beaucoup plus rapides. Il y a donc, à côté des vibrations libres, d'autres vibrations qu'on peut désigner comme forcées et ce sont presque uniquement ces dernières qui servent à la transmission de la parole. Il y a certainement des circonstances où l'on peut reconnaître l'influence des vibrations libres; ainsi, si l'on produit la gamme musicale devant le téléphone, on reconnaît une préférence de ce dernier pour certaines notes qui sont reproduites avec plus de force. Lorsque ce cas se produit, c'est que l'on est tombé sur une note dont la vitesse de vibration correspond avec une des vibrations libres du téléphone, mais dans les reproductions ordinaires auxquelles sert le téléphone le rôle des vibrations libres est presque nul. Ce fait peut être constaté très facilement en supprimant complètement les vibrations libres.

Quand on applique au diaphragme des coups de marteau, de sorte que sa surface cesse d'être plane, il n'est plus apte à produire les vibrations libres et pourtant il sert presque aussi bien pour la reproduction téléphonique qu'un diaphragme intact. On sait qu'en touchant légèrement avec le doigt le bord d'une sonnette ou d'un verre en vibrations libres ou le bout d'un diapason, les vibrations sont arrêtées presque instantanément; dans le téléphone un pareil obstacle n'influence guère la transmission. On peut couvrir la plaque de cire, d'édredon, de liège ou de toute autre matière apte à supprimer les vibrations libres sans modifier la transmission. On arrive aux mêmes résultats si l'on perce le diaphragme d'un grand nombre de trous, de sorte qu'il ait plutôt l'apparence d'une écumoire, ou si on enlève plus de la moitié du diaphragme en le découpant en forme d'une roue à 5 ou 6 rais. On peut encore aller plus loin dans la suppression des caractères d'une plaque vibrante, c'est-à-dire rendre l'élasticité et la rigidité nulles, sans que la possibilité de la transmission de la parole disparaisse. M. Mercadier a éparpillé de la limaille de fer sur un papier, une plaque de mica ou de caoutchouc, etc., et quelques grains seulement suffisaient déjà pour reproduire la parole. Certainement la force de la reproduction était, jusqu'à un certain point, en rapport avec le nombre des grains de limaille de fer, mais même en couvrant un papier complètement avec la limaille, cet amas de grains indépendants n'acquiert jamais les caractères d'une plaque vibrante. Le même effet se produit au moyen d'un treillis en fil de fer très fin. On peut donc dire qu'une plaque en fer élastique et rigide n'est pas indispensable mais utile pour les reproductions téléphoniques.

En ce qui concerne la limaille de fer, M. Mercadier a constaté qu'en augmentant toujours la quantité on arrive à un point où une augmentation des grains n'augmente plus la force de la reproduction. Le côté intéressant dans cette observation, c'est que la quantité de limaille qui produit l'effet maximum, est une fonction de l'aimantation du téléphone.

Ce qui constitue la règle pour le diaphragme du transmetteur s'applique aussi à celui du récepteur, seulement les vibrations forcées de ce dernier sont sensiblement plus faibles que celles du premier. Quant au rapport entre les amplitudes des deux diaphragmes, les opinions varient sensiblement. M. W. Siemens estime la force de la parole primitive 10 000 fois plus grande que celle de la reproduction, tandis que M. Vierordt descend jusqu'au rapport de 577 à 1.

("Journal de physique théorique et appliquée", deuxième série, t. V, pp. 141 et suivantes)

— On sait que dans le transmetteur du téléphone Bell le diaphragme circulaire, en fer ou en acier, est une partie importante de l'appareil. Ce diaphragme est encastré sur les bords et placé à peu de distance du pôle d'un électro-aimant rendu actif par la présence d'un barreau aimanté.

Lorsque le fil de cet électro-aimant est relié par ses extrémités au fil de l'électro-aimant de l'appareil récepteur — appareil en tout semblable au transmetteur — on constate dans les transmissions sonores les propriétés suivantes :

1° Les vibrations simples de l'air produites dans le voisinage du diaphragme de l'appareil transmetteur sont reproduites par le diaphragme de l'appareil récepteur avec la tonalité;

2° Les vibrations complexes des accords musicaux sont également reproduites sans altération d'intervalle;

3° La parole articulée est reproduite avec son timbre ;

4° Lorsque les sons simples ou complexes émis dans le voisinage de l'appareil transmetteur varient en hauteur d'une manière continue, ils sont reproduits par l'appareil récepteur avec les mêmes hauteurs et suivant la même continuité.

Cette variation continue de la tonalité des sons transmis par le téléphone est la propriété caractéristique de l'instrument : c'est par cette propriété que les vibrations des diaphragmes du transmetteur et du récepteur se distinguent des mouvements vibratoires des lames circulaires vibrant librement. Dans ces dernières, en effet, la série acoustique des sons propres est une série limitée : on n'y trouve à la suite du son fondamental,

d'après la théorie, qu'un harmonique dans l'octave du son fondamental, deux dans la seconde octave, quatre dans la troisième, etc.

L'expérience démontre également que la série des sons propres des lames circulaires vibrant librement est une série discontinue. Pour le faire voir, M. Mercadier a mis en vibration sonore, par influence, des diaphragmes de téléphone, au moyen de tuyaux dont les sons fondamentaux, échelonnés en série, croissaient par intervalles de seconde.

Des appendices en carton servant d'allonges permettaient même de passer d'un son à l'autre sans discontinuité. La série musicale ainsi formée allait du la de l'octave de quatre pieds à l'ut de trois pouces. Cet intervalle musical dépassait de beaucoup la série des tonalités habituelles de la parole articulée.

Dans cette série physiquement continue de sons musicaux, M. Mercadier ne trouva que sept ou huit sons qui impressionnaient les diaphragmes, en y déterminant des lignes nodales; tous les autres sons étaient sans action sensible. De plus, le nombre des sons impressionnant les diaphragmes diminuait à mesure que l'épaisseur de ceux-ci croissait. Ces faits montrent bien que la continuité dans les périodes des sons transmis par le téléphone ne peut pas s'expliquer au moyen des vibrations acoustiques propres au diaphragme; pour rendre raison de cette continuité, il est nécessaire de faire intervenir des mouvements d'une autre espèce.

M. Mercadier a démontré l'exactitude de cette conséquence par d'autres expériences. Il prit des disques de deux millimètres au moins d'épaisseur et de dix centimètres de diamètre. Le son fondamental de ces lames encastrées par les bords était supérieur à l'ut de six pouces. La tonalité de la parole articulée ne dépassant jamais la gamme de deux pieds, il est impossible, en parlant devant ces disques, de mettre en jeu leurs vibrations propres. Ces disques néanmoins, mis à la place des diaphragmes des téléphones, transmettaient très nettement la parole et permettaient même d'apprécier le timbre des voix. On pouvait même leur donner des épaisseurs de trois et de quatre millimètres, sans nuire à la netteté de la transmission; l'intensité seule des sons transmis se trouvait affaiblie.

M. Mercadier remarqua encore que la netteté de la transmission téléphonique n'est pas altérée, lorsque le diaphragme, au lieu d'être ébranlé directement par les émissions sonores de la personne qui parle devant le transmetteur, ne l'est plus que par l'intermédiaire des vibrations transversales de substances parfois très peu élastiques, telles que mica, liège, caoutchouc, bois, papier, coton, plumes, linge, cire. Pour faire cette expérience, il suffit d'emprisonner une couche d'air entre le diaphragme du téléphone et une lame de ces substances. Dans ces conditions, on observe que le timbre des sons transmis est plus net que lorsque le diaphragme est directement excité. M. Mercadier a obtenu des résultats très satisfaisants avec des lames de verre de 5 millimètres, des plaques de liège de 75 millimètres, des cylindres de bois de 50 millimètres, des couches de ouate de 20 millimètres d'épaisseur.

Un diaphragme téléphonique percé de trous ou découpé en roue à six rayons et recouvert d'un papier transmet comme s'il était plein. Il résulte de tous ces faits que le mode de mouvement du diaphragme téléphonique est assimilable à celui des corps solides de grande épaisseur et de forme quelconque, transmettant au travers de leur masse les mouvements vibratoires de toute période. C'est ainsi, par exemple, que le mur massif d'une chambre transmet, d'une de ses surfaces à l'autre, les sons émis dans la chambre voisine. Les vibrations du diaphragme du téléphone Bell sont donc un phénomène de simple résonnance. J'ai fait connaître ailleurs les lois de Verdet relatives à la résonnance (*Annales de la Société scientifique de Bruxelles, huitième année, 2^e partie, pp. 29 et suivantes.*).

La présence du champ magnétique du téléphone n'apporte aucune modification à cette conclusion ; d'après les expériences de M. Mercadier, les variations d'intensité du champ sont sans effet sensible sur la transmission du son, lorsque le diaphragme est bien encastré.

Les recherches de l'habile physicien ont encore porté sur un autre point : il s'agissait de savoir si l'énergie de l'induction dynamique produite dans le fil de l'électro-aimant transmetteur par les variations d'intensité du champ magnétique n'est pas liée à la rigidité ou aux qualités acoustiques du diaphragme.

Le fait le plus saillant découvert par M. Mercadier dans cet ordre d'idées, c'est la propriété qu'ont des molécules de fer disséminées dans le champ magnétique et, jusqu'à un certain point, indépendantes les unes des autres, de pouvoir servir de diaphragme transmetteur. Pour démontrer cette propriété,

M. Mercadier prend un téléphone Bell ordinaire, enlève le diaphragme et place sur le pôle de l'aimant une rondelle de papier mince; puis, après avoir remis l'embouchure, il laisse tomber sur le disque de papier une pincée de limaille de fer. Les grains de limaille se disposent aussitôt en houppes au-dessus du papier, et ces houppes dessinent la direction dans l'espace des lignes de force. Sous l'influence de l'attraction de l'aimant, les grains de limaille sont, en outre, pressés contre la rondelle, et la pression est suffisante pour maintenir cette dernière sur l'aimant dans n'importe quelle orientation de l'appareil : on peut renverser le téléphone, rien ne tombe. Ainsi disposé — chose presque incroyable — le téléphone possède toutes les propriétés du téléphone ordinaire: il transmet très nettement la parole articulée. En ajoutant de la limaille, les lignes de force se dessinent davantage et les effets de transmission croissent en intensité.

M. Mercadier appelle ce téléphone, *téléphone à limaille*. De ses recherches relatives à cet appareil, il tire les conclusions suivantes :

1° La présence, dans le champ magnétique d'un téléphone transmetteur, de diaphragmes magnétiques, rigides ou non, n'est nullement indispensable à produire les effets téléphoniques ; mais ils sont utiles pour en augmenter l'intensité, en présentant par unité de volume un plus grand nombre de molécules magnétiques à l'action des forces extérieures, ou bien, comme on dit souvent, en opérant une grande concentration des lignes de force du champ.

2° Il suffit, pour produire ces effets, d'exercer des déformations mécaniques directes sur les lignes de force du champ réalisées avec de la limaille de fer.

Quant au récepteur téléphonique, depuis longtemps déjà il a été démontré par MM. Breguet, Ader et Dumoncel que toutes les parties de l'appareil, noyau, hélice, diaphragme, manche, etc., vibrent simultanément dans l'acte de la réception; mais, d'après les expériences de M. Mercadier, les effets de transmission les plus énergiques sont ceux produits par la vibration du diaphragme ; l'influence de la vibration du noyau et de l'hélice, pour être constatée, demande des courants de transmission de grande intensité.

C'est donc à tort que Dumoncel pense pouvoir rattacher l'effet principal de la transmission aux vibrations moléculaires du noyau.

Les recherches de M. Mercadier déterminent le mode d'action du diaphragme récepteur, dans le phénomène de la transmission, aussi bien que celui du diaphragme transmetteur. Toutes les expériences indiquées ci-dessus, notamment celles du téléphone à limaille, peuvent être faites avec le téléphone récepteur ; il suffit d'introduire dans ce dernier les modifications décrites à propos de l'appareil transmetteur. On reconnaît sans peine que, dans toutes ces circonstances, la transmission reste parfaitement nette.

Les intéressantes études de [M. Mercadier](#) sur les mouvements de la membrane du téléphone complètent utilement celles de M. le [professeur Hagenbach](#) ([plus bas dans la page](#)) de Bâle sur le même objet (*Uebertragung hoher Töne durch das Telephon. Wiedemann's Annalen, vol. VI, page 407*). D'après M. Hagenbach le diaphragme d'un téléphone ne peut suivre, dans ses mouvements, les forces qui agissent sur lui, que si ces mouvements ou vibrations sont excessivement petits.

Sous cette condition le diaphragme se comporte comme une mince membrane de caoutchouc et la rigidité du diaphragme joue seulement un rôle secondaire. Cela explique aussi pourquoi, dans tous les téléphones récepteurs qui donnent une reproduction très forte, la netteté de la parole laisse beaucoup à désirer. Les amplitudes de la membrane sont alors si considérables que des vibrations libres s'y mêlent et transforment sensiblement le timbre du son. Il y a pourtant des circonstances dans lesquelles les conséquences de la rigidité se font remarquer même pour les vibrations infiniment petites, et M. Hagenbach en a constaté une avec les tiges sonnantes de [König](#).

Ces tiges vont de 4096 jusqu'à 32 768 vibrations doubles à la seconde, c'est-à-dire de l'ut 5 jusqu'à l'ut 8 . La tige qui donne 32 768 vibrations doubles représente l'ut 8. Peu de personnes sont capables d'entendre ce son; pour quelques unes l'audition cesse déjà avec le mi 7, pour d'autres avec le sol 7 . On peut en général admettre que notre organe de l'ouïe n'est plus affecté par des sons dont la vitesse dépasse 30 000 vibrations doubles par seconde. Quand on reproduit les sons par le téléphone, cette limite supérieure descend sensiblement plus bas ; quelquefois on n'entend plus au delà de l'ut 5 ou mi5, et pour des personnes différentes qui ne sont pas douées de la même sensibilité pour les sons allant directement à l'oreille, la limite supérieure dans le téléphone est la même. Il en résulte que le diaphragme est incapable de suivre les vibrations excessivement rapides des sons au delà de mi5 . Quelquefois il arrive qu'un son isolé, disons le sol 6 ou le re 7 , peut encore être entendu très faiblement.

Dans ces cas exceptionnels, on est tombé sur un son harmonique propre au diaphragme ; cette exception est une conséquence de la rigidité de la membrane et confirme la règle.

On pourrait se demander où est le siège de cette incapacité du téléphone pour la reproduction des sons élevés, dans le diaphragme, dans le magnétisme ou dans le circuit électrique; on obtient la réponse à cette question en modifiant l'un après l'autre le magnétisme, le circuit et le diaphragme. C'est par la modification de ce dernier seulement que l'on arrive à changer la limite supérieure des sons perceptibles à l'oreille, c'est donc le diaphragme qui ne peut pas suivre les vibrations très rapides.

Après plusieurs essais infructueux, différents savants sont arrivés à rendre les vibrations du diaphragme visibles. M. [Bosscha](#) a fixé sur le diaphragme un poil de porc et a observé les mouvements de la pointe de ce poil au moyen d'un microscope. Il a constaté poulies plus faibles courants qui peuvent encore produire un son, des amplitudes de la

membrane de 1, 3 à 2,9.10 puissance — 6 millimètres, c'est-à-dire environ 1/200 longueur d'onde de la lumière jaune. M. **Salet** a choisi une autre méthode pour déterminer l'amplitude des oscillations. Il a collé sur le diaphragme une plaque en verre et devant celle-ci une seconde plaque à une distance telle que les anneaux de Newton pouvaient être produits entre elles. Si alors le téléphone émet un son continu et si devant la double plaque en verre l'on place un disque tournant qui a des fentes radiales on voit, avec une vitesse donnée de rotation du disque, les anneaux de Newton nettement à travers les fentes, mais si la rotation est accélérée ou retardée les anneaux commencent à osciller et on peut déterminer l'amplitude de ces oscillations; M. Salet a trouvé 2 à 3 dix millièmes de millimètre.

Tout dernièrement M. le **Dr. O. Frölich** a publié de nouvelles méthodes pour rendre visibles les oscillations du diaphragme du téléphone. (*Optische Darstellung der Vorgänge am Telefon. Electrotechnische Zeitschrift, vol. VIII, page 210*).

On colle sur le diaphragme, entre le centre et le bord, un petit miroir et on reflète dans ce miroir les rayons d'une source de lumière comme cela se fait pour les galvanomètres à miroir. Le point de lumière sur l'écran montre alors un faible mouvement. Cette méthode et les suivantes ont surtout été appliquées aux diaphragmes des téléphones récepteurs dont les mouvements sont beaucoup plus faibles que ceux des diaphragmes des téléphones ou microphones transmetteurs et qui montrent encore d'autres anomalies dont nous parlerons plus tard. Au lieu d'employer la méthode objective, on peut aussi observer l'image d'une échelle dans le petit miroir au moyen d'un petit télescope hollandais. M. Mehl a transmis les vibrations du diaphragme sur une corde tendue. Au milieu du diaphragme est fixé une extrémité d'un fil de fer de 40cm de longueur et de 0 mm

,6 de diamètre, tendu par un ressort à boudin attaché à l'autre bout; le fil est parallèle au plan du diaphragme. On peut ainsi produire des vibrations visibles du fil, et si l'on fixe sur le fil un petit miroir, au milieu, entre deux nœuds, on reçoit sur l'écran des mouvements très agrandis.

M. le **Dr. Robert Weber** à Neuchâtel s'est, le premier, servi des flammes dansantes de **König** pour nous donner une des plus jolies reproductions visuelles des vibrations du diaphragme, mais il a travaillé avec des courants de pile et le mérite d'avoir appliqué la méthode aux mouvements produits par la parole articulée revient à M. le **Dr. Frölich**.

On fixe sur le diaphragme un morceau de liège avec surface légèrement sphérique et on applique au dessus un réservoir très étroit dont le fond est une membrane de caoutchouc tendu qui touche la surface du liège. Un tube conduit le gaz dans le réservoir et un bec de gaz fournit la flamme dansante qu'on observe dans un miroir tournant autour d'un axe vertical. Les flammes montrent pour chaque voyelle et pour chaque hauteur de son une image caractéristique. Les expériences ont surtout été faites avec les voyelles a, e, i, o et la diphongue ou, chantées par une voix de baryton devant le téléphone. Les hauteurs du son chanté étaient l'Ut, le mi, Y ut\ et le miv Les différences de la forme de l'image de la flamme pour une voyelle donnée, par exemple pour le o, suivant la hauteur dans laquelle elle était chantée, sont remarquables. Les consonnes ne donnent guère une image caractéristique, car cette image est toujours absorbée par celle de la voyelle qui accompagne la consonne.

M. Frölich a constaté par les images des flammes les mouvements d'une membrane contre laquelle on parle ou chante directement et ceux d'une membrane actionnée par le courant téléphonique dans le téléphone récepteur. La différence entre ces deux images est frappante, et en nous occupant de cette partie de l'étude de M. Frölich nous arrivons à la modification de la phase dans les téléphones. Il est généralement connu qu'on peut, avec les figures de Lissajous, déterminer le rapport entre les vibrations de deux diapasons; la même méthode se recommande pour la comparaison des vibrations d'un diapason et d'un diaphragme ou des deux diaphragmes du transmetteur et du récepteur.

Quand deux diapasons n'ont qu'approximativement la même vitesse de vibration, les images de Lissajous passent d'un trait à des ellipses accentuées qui, dans leur forme, se rapprochent peu à peu du cercle pour passer de nouveau au trait par des ellipses de plus en plus accentuées; donc malgré la différence entre les diapasons on obtient toujours des figures géométriques, tandis qu'avec un diapason et un diaphragme influencés

par les mêmes impulsions électriques les figures de Lissajous sont très irrégulières. Par ce phénomène il est constaté que les vibrations sonores subissent dans le téléphone des modifications importantes, et cela déjà dans le téléphone transmetteur, mais plus encore dans le téléphone récepteur et toujours dans le sens de la complication, c'est-à-dire qu'aux vibrations simples d'un diapason s'ajoutent d'autres vibrations d'où résulte un son composé. M. le Dr. Frölich obtient absolument les mêmes résultats avec ses images des flammes. Les images des membranes sur lesquelles les ondes sonores agissent directement sont toujours plus simples que celles produites par le diaphragme du téléphone récepteur. Voici un exemple d'une série d'observations lorsque la membrane, actionnée directement par les ondes sonores de la voyelle a, chantée en mi, produit une simple languette, l'image obtenue du diaphragme du téléphone récepteur, montre trois languettes pointues de différentes longueurs. Dans chaque hauteur la transformation est autre; l'image d'une voyelle se transforme le moins quand elle est chantée bas et la transformation augmente avec la hauteur du son. Il est étonnant que malgré ces transformations on comprenne très bien les voyelles, sauf peut-être l'i, par le téléphone.

Les modifications que subissent les consonnes dans le téléphone sont beaucoup plus importantes. En général on comprend encore bien les consonnes &, d, f, r et t, moins bien w, p, w, m, mal les consonnes s, ft, j et on confond surtout m avec w, j avec c et h et s avec v. En général les consonnes gutturales, sifflantes et aspirées, sont mal reproduites.

Nous avons déjà vu que les vibrations d'un diaphragme ne peuvent plus être représentées par une sinusoïde, si elles sont complexes. Elles sont alors plus ou moins irrégulières mais d'une irrégularité qui se répète continuellement si le son original ne change pas.

Cette courbe irrégulière ou période est caractéristique pour chaque son complexe. Or si la membrane du téléphone récepteur fait d'autres vibrations que celle du téléphone transmetteur, la période des ondes est différente dans un cas et dans l'autre, c'est-à-dire que le temps dans lequel la force du courant a passé pour la première fois la valeur zéro, la phase du mouvement, a subi une modification. Cette modification de la phase est nettement démontrée par les expériences de M. Frölich. La phase subit encore, entre deux téléphones, un autre changement, mais qui n'influence pas la fidélité de la transmission, c'est son déplacement.

Chaque membrane atteint la plus grande vitesse quand elle passe par sa position de repos ou d'équilibre; le diaphragme du transmetteur produit donc dans ce moment le plus grand changement du magnétisme et par conséquent le plus fort courant magnéto-électrique, mais dans le téléphone récepteur ce courant produit la plus forte attraction ou répulsion du diaphragme, c'est-à-dire le maximum de l'amplitude. De cette manière le diaphragme du récepteur est toujours en arrière de celui du transmetteur, et cela d'un quart d'une vibration double. C'est M. S. Thompson qui pour la première fois a constaté ce déplacement de la phase.

Les causes de la modification de la phase ont été cherchées dans le courant électrique qui se développe de téléphone à téléphone par les variations du magnétisme dans les noyaux.

Parmi les savants qui ont étudié cette partie de la théorie, nous citons MM. **Du Bois Beymond, Helmholtz, Fr. Weber, Vaschy, Wietlisbach, Aaron, Hermann.**

Nous donnons un abrégé de ces déductions d'après M. le prof. Gr. **Wiedemann.**

Soient donnés deux circuits qui s'influencent réciproquement et soit intercalé dans l'un le téléphone T, dans l'autre le téléphone Tr Soit dans le circuit du téléphone T la résistance W, l'intensité du courant I, le potentiel du circuit sur lui-même Q et le potentiel des masses magnétiques sur le circuit P, et dans le circuit du téléphone Tj les valeurs analogues W t l Q t, finalement K le potentiel des deux circuits l'un sur l'autre, alors on a, d'après les lois d'induction, comme elles ont été découvertes par M. **Neumann:**

$$I W = \frac{dP}{dt} - Q \frac{dI}{dt} - R \frac{dI_1}{dt} \quad 1)$$

$$I_1 W_1 = -Q \frac{dI_1}{dt} - R \frac{dI}{dt} \quad 2)$$

on peut écrire le potentiel électro-magnétique P :

$$P = P_0 + A \sin. 2\pi n t$$

et les équations

$$I = C \sin. (2\pi n t + \alpha) \text{ et } I_1 = C_1 \sin. (2\pi n t + \alpha_1)$$

satisfont aux équations 1) et 2) si les amplitudes sont

$$C = \frac{A}{Q} \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{W_1}{2\pi n Q_1}\right)^2}{\left(\frac{W}{2\pi n Q} + \frac{W_1}{2\pi n Q_1}\right)^2 + \left(1 - \frac{R^2}{Q Q_1} - \frac{W W_1}{(2\pi n)^2 Q Q_1}\right)^2}}$$

$$C_1 = -\frac{AR}{Q Q_1} \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{W}{2\pi n Q} + \frac{W_1}{2\pi n Q_1}\right)^2 + \left(1 - \frac{R^2}{Q Q_1} - \frac{W W_1}{(2\pi n)^2 Q Q_1}\right)^2}}$$

Les phases s'expriment par

$$\text{tg. } \alpha = \frac{\left[1 + \left(\frac{W_1}{2\pi n Q_1}\right)^2\right] \frac{W}{2\pi n} + \frac{R^2 W_1}{Q_1^2 2\pi n}}{\left[1 + \left(\frac{W_1}{2\pi n Q_1}\right)^2\right] Q - \frac{R^2}{Q_1}}$$

$$\text{tg. } \alpha_1 = \frac{\frac{W_1}{2\pi n Q_1} + \frac{W}{2\pi n Q}}{1 - \frac{R^2}{Q Q_1} - \left(\frac{W}{2\pi n Q}\right) \left(\frac{W_1}{2\pi n Q_1}\right)}$$

Si les deux téléphones sont dans le même circuit pour lequel nous adoptons les valeurs W_0 et Q_0 , alors on obtient pour l'amplitude du courant

$$C_0 = \frac{A}{Q_0 \sqrt{1 + \left(\frac{W_0}{2\pi n Q_0}\right)^2}} \text{ et pour la phase}$$

$$\text{tg. } \alpha_0 = \frac{W_0}{2\pi n Q_0}.$$

Il résulte de ces équations que le changement du timbre des sons transmis par le téléphone peut être constaté mathématiquement, car l'amplitude du courant variable C et C_0 dépend de n qui indique le nombre des oscillations du potentiel P , c'est-à-dire du nombre des vibrations du son qui excite le téléphone récepteur. La retardation de la phase dépend de la nature du circuit et de la vitesse des oscillations.

Dans le téléphone récepteur l'amplitude dépend essentiellement de la valeur w , donc les sons hauts sont toujours plus fortement reproduits que les sons bas.

Or nous avons déjà vu que le caractère ou le timbre d'un son composé dépend de la force relative des sons harmoniques et par conséquent le téléphone change le timbre des sons.

Plus sont hauts les sons qui agissent sur le téléphone récepteur, moins on peut apercevoir de changement ni dans le timbre, ni dans la force; pour les sons bas il en est tout autrement. Ceci explique aussi pourquoi on comprend en général les voix masculines moins bien que les voix féminines.

Dans des conditions ordinaires le changement du timbre de la voix ne peut pas être très important, puisque souvent nous perdons complètement la faculté de l'apprécier. Nous reconnaissons le timbre des différentes personnes qui nous parlent par téléphone. Une autre expérience nous montre bien que le timbre des paroles reproduites par le téléphone est changé. Une personne, essayant le téléphone pour la première fois, ne comprend rien, elle entend seulement une voix lointaine de polichinelle; il faut donc s'habituer à une influence sonore tout-à-fait nouvelle. Nous avons déjà vu que les vibrations libres des membranes sont un obstacle à la parfaite reproduction des ondes sonores et il est même possible qu'elles soient la principale cause des modifications du timbre; car dans certains cas, on peut négliger leurs carrés, alors les amplitudes C et C_0 sont indépendantes du nombre n des oscillations. On a dans ce cas

$$C = \frac{A Q_1}{Q Q_1 - R^2}; \quad C_1 = \frac{-A R}{Q Q_1 - R^2}; \quad C_0 = \frac{A}{Q}$$

et les phases sont

$$\text{tg. } \alpha = \frac{\frac{W}{2\pi n} Q_1 + \frac{R^2 W_1}{Q_1 2\pi n}}{Q Q_1 - R^2}; \quad \text{tg. } \alpha_1 = \frac{\frac{W_1}{2\pi n} Q + \frac{W}{2\pi n} Q_1}{Q Q_1 - R^2};$$

$$\text{tg. } \alpha_0 = \frac{W_0}{2\pi n Q_0}.$$

Si d'un côté il est impossible de trouver une membrane qui reproduise la parole sans modifier son timbre, on peut certainement d'un autre côté améliorer beaucoup la reproduction par un choix bien étudié de la membrane. Si elle est trop épaisse, les vibrations libres jouent un trop grand rôle, et si elle est trop mince les lignes de force magnétique la traversent et un côté de la membrane devient pôle austral et l'autre pôle boréal. Une membrane qui se trouve dans ces conditions ne peut guère, par ces oscillations, influencer l'aimantation du noyau en fer doux qui porte la bobine du téléphone, parce que les deux polarités en mouvement sont trop rapprochées l'une de l'autre et se neutralisent réciproquement dans leurs effets sur le noyau en fer doux. Par conséquent les courants d'induction sont faibles et la reproduction est défectueuse; ces conditions défavorables changent complètement si les lignes de force de l'aimant sont déviées de leur direction par le diaphragme et se noient pour ainsi dire dans ce dernier. Le diaphragme devient dans ce cas un aimant annulaire avec une polarité au centre, une autre à la circonférence, et les oscillations de ce diaphragme qui, au centre, a une seule polarité, ont beaucoup plus d'influence sur le noyau que dans le cas précédent. Souvent on a cherché, en connaissance de cause ou non, nous ne voulons pas le décider, à produire, même dans un diaphragme très mince, l'aimant annulaire en rapprochant de la circonférence du diaphragme le second pôle de l'aimant permanent du téléphone.

Les téléphones de **M. G. N. Torrence**, **M. Ebel**, et **Braun**, représentent de bonnes constructions au point de vue théorique, tandis que la construction des téléphones à action double de **MM. Siemens et Halske** et de **M. Charrière** ne sont pas recommandables, quoique l'on puisse croire au premier abord qu'ils présentent des constructions bien justifiées. (vu dans la page [Récepteurs et Emetteurs](#))

Dans ces téléphones à action double le diaphragme devient nécessairement un aimant transversal et perd, par ce fait, son influence sur la bobine.

Par une autre raison les téléphones à plusieurs pôles près du centre, comme par exemple le téléphone à sifflet de **MM. Siemens et Halske** et les téléphones **Ader** et **Gower**, ne surpassent pas les téléphones unipolaires, comme on pourrait le croire en voyant leur construction. Ils donnent bien une reproduction forte, mais moins nette que celle d'un téléphone unipolaire.

Il est probable que deux pôles agissant à la fois sur la membrane favorisent la formation de vibrations libres, puisqu'ils créent deux foyers d'un maximum d'amplitude entre lesquels se produit un point ou une ligne nodale. Ces téléphones à deux pôles se prêtent mieux à la transmission qu'à la réception; on remarque en général que les mêmes téléphones ne servent pas également bien aux deux buts.

Nous ne pouvons pas quitter le téléphone pour parler de l'action du microphone, sans mentionner le [condensateur chantant](#), parce que ce phénomène jette aussi un peu de lumière sur les fonctions du téléphone.

Différents observateurs, comme MM. [Herz](#), [Dunant](#) et [Dolbear](#), ont constaté qu'un condensateur d'une certaine construction spéciale, intercalé à la place d'un téléphone récepteur dans le circuit secondaire d'une bobine d'induction, pouvait reproduire les sons musicaux chantés dans un téléphone ou microphone intercalé dans le circuit par la même bobine. M. Dolbear a même construit un téléphone basé sur le principe

de deux plaques juxtaposées dont l'une, par les charges et décharges de l'autre, fait des mouvements vibratoires.

C'est probablement M. W. [Holtz](#) qui le premier a observé un phénomène qui est le précurseur du condensateur chantant, et M. [Giltay](#) a étudié les observations de ses prédécesseurs et les a complétées par ses propres investigations.

Si l'on intercale simplement le condensateur dans le circuit secondaire de la bobine d'induction, les reproductions des sons sont faibles, des mélodies se transmettent, mais point des sons articulés, au moins on ne peut rien comprendre de ces derniers. Ce phénomène change complètement si l'on intercale une pile, avec le condensateur, dans le circuit secondaire. Alors le condensateur devient non seulement sensible aux

courants faibles, mais il reproduit même les paroles prononcées devant le transmetteur de manière qu'on peut les comprendre. Un seul élément Leclanché produit déjà ce changement, mais avec deux la reproduction de la parole est nette. M. Giltay a expliqué ce phénomène de la manière suivante: Le son reproduit par le condensateur est certainement le résultat d'attractions et de répulsions des feuilles d'étain qui se chargent et se déchargent d'électricité. Cette force d'attraction est proportionnelle au carré de la charge. Les courbes qui représentent les courants qui se produiraient dans le circuit secondaire, s'il était fermé, passeraient par le point zéro du potentiel électrique et une ordonnée positive maximum, combinée avec une ordonnée négative maximum suivante, formerait une onde entière. Or dans le condensateur cette onde ne produit pas une attraction et une répulsion, mais deux attractions de plaques, donc deux ondes complètes; en d'autres mots, la vitesse de toutes les vibrations est doublée par le condensateur et tous les sons nous reviennent d'un condensateur une octave plus haut qu'ils ne sont chantés dans le transmetteur; il peut donc bien reproduire des mélodies, mais non des sons articulés pour lesquels certains sons harmoniques sont caractéristiques.

Le son harmonique caractéristique de la voyelle A est le si² et de la voyelle O le si³, c'est-à-dire que ces sons dominent en force parmi les sons harmoniques.

Or si l'on chante un o dans le récepteur, le condensateur non polarisé élève le son harmonique d'une octave, le si² se transforme en si³ et on entend un a; le mot „obrocodobro* nous revient dans sa forme usuelle ^abracadabra."

Si l'on intercale une pile dans le circuit du condensateur, ce dernier est continuellement chargé ou polarisé, la série paire des plaques est continuellement positive, la série impaire négative et les vibrations électriques ne peuvent plus changer le signe, mais seulement le degré de la charge; les ondes ont donc dans le condensateur la même durée que dans le transmetteur et l'articulation devient possible. Graphiquement on peut se faire une idée de ce phénomène en dessinant la sinusoïde d'un son simple. Le potentiel zéro est alors indiqué par la ligne horizontale et une onde entière est en partie au-dessus, en partie au dessous de l'horizontale. La partie au-dessus forme déjà dans le condensateur polarisé une onde entière,

car quand la sinusoïde passe le potentiel zéro le condensateur est déchargé. La partie au-dessous de la ligne horizontale produit tout- à-fait le même effet que la partie supérieure, avec cette seule différence que les plaques se chargent en sens contraire. Si l'on polarise le condensateur, l'horizontale, c'est-à-dire le potentiel zéro, se trouve à une certaine distance au dessous de la sinusoïde et les oscillations ne peuvent plus se doubler.

Les principes du condensateur chantant peuvent être appliqués aux téléphones récepteurs.

Le téléphone sans aimant correspond au condensateur non polarisé, l'aimantation du noyau en fer doux produit le même effet que l'intercalation d'une pile dans le circuit du condensateur. En effet, les ondes électriques traversant la bobine d'un téléphone sans aimant créent des polarités opposées dans le noyau neutre en fer doux et le nombre des oscillations est ainsi doublé, tandis que si le noyau en fer doux possède déjà avant l'utilisation du téléphone une polarité magnétique, celle-ci ne peut pas être inversée par les ondes électriques, mais seulement renforcée et affaiblie, et la membrane du récepteur dédouble ces vibrations.

Avec le microphone comme transmetteur, il s'introduit dans la reproduction téléphonique un nouveau facteur de la plus haute importance.

La véritable tâche du microphone est d'introduire dans un circuit électrique une résistance qui puisse varier avec les ondes sonores, de sorte qu'il se produise un courant ondulatoire qui, dans la vitesse des vibrations, l'amplitude et la phase, copie fidèlement les ondes sonores.

Ce sont principalement les savants anglais qui ont développé la **théorie du microphone**; il y a certainement aussi quelques travaux français et allemands sur ce sujet, mais ils disparaissent presque complètement devant la multitude d'observations anglaises.

Dans le microphone il ne s'agit plus d'un diaphragme en fer doux qui, par ses vibrations devant un noyau aimanté, produit des variations du magnétisme et en conséquence des ondulations électriques sur la ligne téléphonique; c'est un contact instable qui, d'après l'appréciation la plus généralement admise, présente une résistance variable et par ce fait produit des variations du courant dans le circuit du microphone, et ces variations du courant correspondent avec les oscillations du diaphragme contre lequel on parle et agissent directement ou indirectement, par une bobine d'induction, sur un téléphone récepteur.

Il va sans dire que tout ce qui se rapporte au diaphragme du téléphone récepteur s'applique aussi à celui du transmetteur; il subit naturellement les mêmes influences que le diaphragme du téléphone. Il a ses vibrations propres ou libres qui gâtent plus ou moins les vibrations forcées. C'est pour cela que le bord du diaphragme est entouré d'un ruban en caoutchouc et qu'un ressort garni de caoutchouc presse sur une partie centrale du diaphragme. Par ces procédés on parvient à amortir la plus grande partie des vibrations libres. C'est probablement aussi la cause pour laquelle le microphone **Theiler**, à diaphragme de liège, donne de si bons résultats, car le liège est très peu élastique et n'a guère de vibrations libres.

Aussi pour le microphone comme pour le récepteur le diaphragme n'est-il pas indispensable; cette constatation a déjà été faite par l'expérience de M. le [Professeur Hughes](#) avec les trois clous, l'un placé transversalement sur les deux autres. Le même investigateur a aussi submergé, dans un vase en verre rempli d'eau, un microphone, se composant de deux charbons, sans diaphragme. Ce microphone fonctionnait quand on parlait contre l'eau ou contre la paroi en verre; donc le mouvement mécanique a lieu dans toutes les directions.

M. [Sylvanus P. Thompson](#) a de même construit des microphones sans diaphragme (voir le dessin fig. 17 à la page 25 du Journal télégraphique, vol. XI). Mais il faut pourtant regarder le diaphragme comme très utile dans le microphone, ne fût-ce que pour empêcher l'humidité de l'haleine de parvenir jusqu'aux contacts microphoniques.

Le contact variable se fait dans la règle entre deux charbons ou entre un charbon et un métal. Rarement on se sert de deux métaux pour établir ce contact et nous croyons que, pour le service pratique, ce cas ne s'est pas encore présenté, quoique on ait fait des efforts pour construire des microphones métalliques comme nous le verrons plus tard. Le contact s'établit entre les deux corps sous une certaine pression, et cette pression est obtenue soit par des ressorts soit par le poids propre des corps ou par les deux moyens agissant simultanément. La pression est à régler d'après le caractère des ondes sonores qui agissent sur le contact. Pour la voix d'un homme il faut par exemple une pression plus forte que pour celle d'un enfant ou d'une femme ou pour des ondes encore plus faibles.

La résistance du contact variable a été étudiée par différents savants, surtout par MM. [Shelford Bidwell](#) et [Boekmann](#).

On sait depuis longtemps qu'au point de contact de deux conducteurs il se produit une certaine résistance qu'on peut diminuer en augmentant la pression. C'est de cette connaissance générale que l'on avait conclu à la nécessité de serrer les fils conducteurs dans leurs bornes pour assurer un bon contact et d'établir ce contact, partout où faire se peut, par soudure, car aucun contact, sauf ce dernier, n'est absolument sûr; mais la grande variation des contacts n'est cependant connue que depuis l'invention du microphone par M. Hughes. Depuis lors on sait qu'il y a décidément deux espèces de contacts, le contact effectif et le contact microphonique. On distingue aussi le premier comme l'état passif et le second comme l'état actif du contact. Dans la pratique, ce dernier se rencontre beaucoup plus souvent qu'on ne le croit; une borne dévissée, une ligature non soudée, un contact par friction se transforment très facilement en contact microphonique, c'est-à-dire incertain et variable. Si l'on examine bien les choses, on découvre finalement le microphone partout où il y a un contact incertain. On peut même parler contre une chaînette en or d'une montre et reproduire ainsi la parole téléphoniquement.

Sous ce rapport et encore sous d'autres, ce phénomène microphonique nous présente toujours de nouvelles énigmes au fur et à mesure qu'on l'étudie davantage. Si par exemple on réunit deux charbons par une substance collante qui ne les touche que par la circonférence, de sorte que les surfaces qui se touchent soient nettes mais ne puissent pas changer leur position réciproque, et si l'un des deux charbons est fixé contre un diaphragme, on peut transmettre, et pourtant on ne peut nulle part reconnaître une raison pour la variation de la pression si l'on ne veut pas admettre que la masse entière des charbons se mette en mouvement, se grossisse et s'amincisse avec le choc des ondes sonores. M. S. Bidwell, en cherchant à déterminer la résistance des charbons, a expérimenté avec deux cylindres de charbon de cornue de 6 mm de diamètre, l'un était fixé au bout du fléau d'une balance délicate et touchait l'autre qui était fixe, les deux formant la croix. Par cet arrangement il était possible: 1° de régler à volonté la pression entre les deux charbons, et 2° de rendre le moment d'inertie indépendant de la pression.

Les expériences ont été variées pour porter autant de lumière que possible sur la question du contact microphonique; M. [Bidwell](#) a d'abord varié la pression entre 0,25 et 50 grammes pour déterminer le rapport entre la pression et la résistance du contact; il a varié ensuite la force électromotrice, puis la force du courant. Il a obtenu les résultats suivants:

1° La résistance diminue avec l'augmentation de la pression, mais on observe les plus grandes variations quand les pressions sont faibles; ainsi les pressions de 0,25 — 0,5 — 1 — 1,5 — 2 15 — 17,5 — 20 — 25 — 50 grammes donnent respectivement les résistances de 16,10 — 11,00 — 8,43 — 6,70 — 6,15 2,60 - 2,46 - 2,33 — 2,16 — 1,86 ohms; entre les pressions de 0,25 et de 0,5 grammes la résistance fléchit donc de 5 ohms, et entre celles de 25 et de 50 grammes seulement de 0,3 ohms.

2° La résistance du contact variable diminue avec l'augmentation de la force électro-motrice, mais la variation est plus grande avec de faibles pressions, et si la pression atteint une certaine force, la variation devient insignifiante. Pour le courant fourni par 1 — 2 — 3 ou 4 éléments Leclanché et la pression de 0,25 gramme, on obtient les résistances respectives de 11,10 — 7,20 — 4,70 et 3,55 ohms, tandis qu'avec une pression de 25 grammes les résistances respectives sont de 1,15 — 1,05 — 1,05 — 1,05 ohms. La diminution de la résistance dépend donc de la pression et de l'augmentation simultanée de la force du courant et les deux agissent dans le même sens.

Le second résultat s'obtient aussi d'une autre manière; on peut maintenir une force électro-motrice constante mais varier une résistance additionnelle intercalée dans le circuit du

contact variable. Si cette résistance additionnelle est de 10 ou 1000 ohms, on obtient avec 0,5 gramme de pression les résistances variables de 6,9, respectivement de 9,7 ohms, mais avec la pression de 25 grammes la résistance est de 1,03 ohms dans les deux cas. Des résultats analogues s'obtiennent si l'on maintient la force du courant en variant la pression; la résistance diminue avec l'augmentation de la pression, indépendamment de la force du courant, mais tandis que pour des pressions faibles les variations de résistance sont très considérables, la différence est insignifiante pour de fortes pressions. Ainsi, si la pression est de 0,05 gramme et les forces de courant 0,1 et 0,001 ampère, les résistances respectives sont de 11,02 et de 68 ohms; pour une pression de 25 grammes et les mêmes courants ces résistances deviennent 1,67 et 1,75 ohms, c'est-à-dire sensiblement égales.

Le contact entre deux charbons retourne à peu près à la résistance primitive si l'on revient à la pression précédente; si, par exemple, la résistance était de 20 ohms à 0,5 gramme de pression et de 14 ohms à 3 grammes de pression, elle revient à 20 ohms quand on rétablit la première résistance de 0,5 gramme. On remarque pourtant, en faisant une grande série de ces expériences, que la résistance finale est légèrement plus élevée que la résistance primitive et ne retourne que très lentement à cette dernière valeur.

L'effet de réchauffement du contact est singulier.

On sait que la résistance du charbon diminue avec l'élévation de la température, et par analogie on pourrait supposer la même chose pour la résistance du contact entre deux charbons. C'est le contraire qui est démontré par l'expérience, pourtant l'augmentation de la résistance est faible, l'expérience incertaine, irrégulière et non concluante.

Un autre fait curieux se présente si l'on fait passer des courants relativement forts à travers le contact la résistance devient alors tout d'un coup très grande ou infinie. Pour produire ce phénomène il faut des courants d'autant plus intenses que la pression d'un charbon sur l'autre est plus forte. Pour des pressions de 0,05 — 0,1 — 0,5 — 1 — 2 — 5 grammes les courants les plus faibles qui font sauter la résistance du contact à l'infini, sont respectivement 0,02 — 0,05 — 0,37 — 0,40 — 0,47 — 0,63 ampères; avant que le saut se produise on voit briller, entre les deux charbons,

une petite étincelle. Quand une fois la résistance est infinie, il ne sert à rien de couper et de rétablir le courant, mais parfois un courant beaucoup plus faible peut réduire cette résistance infinie à quelques centaines d'ohms ou à une valeur encore plus basse.

Par plus d'un raisonnement on parvient à conclure que des contacts métalliques pourraient fournir de meilleurs microphones que les contacts entre charbons, mais dans la pratique on rencontre des difficultés imprévues. Si déjà le contact entre charbons est irrégulier, de sorte qu'il ne soit possible de trouver une certaine règle qu'avec un grand nombre d'expériences, l'irrégularité augmente encore beaucoup si l'on travaille avec des contacts entre métaux. M. Bidwell a expérimenté surtout avec le bismuth, un choix qui n'était pas des plus heureux, un peu aussi avec le cuivre et le platine. Comparé avec le contact entre charbons il a remarqué plusieurs anomalies. D'abord la résistance augmente rapidement si le courant diminue, ensuite la résistance primitive ne reparait plus si l'on retourne au courant primitif. La résistance était par exemple de 8 ohms avec un courant de 0,01 ampère et de 1,27 ohm avec un courant de 0,5 ampère, mais en retournant vers 0,1 ampère on n'obtenait plus 8, mais seulement 1,22 ohm. On peut dire qu'en général, une fois la résistance abaissée par un fort courant, de faibles courants ne peuvent plus rétablir l'ancien état de choses.

Les expériences les plus étendues concernant l'adhérence des métaux ont été exécutées par M. Stroh.

Il a constaté que les métaux adhéraient toujours plus ou moins au point de contact et que surtout l'acier est susceptible de cette adhérence. L'adhérence dépend en outre des surfaces qui se touchent. Elle est faible quand ces surfaces sont plates et permettent des contacts multiples; de l'autre côté elle atteint son maximum si deux arêtes aiguës se touchent en croix. Une comparaison de différents métaux donne les rapports suivants de la force d'adhésion:

Cuivre et argent	1	Plomb	120
Aluminium	17	Maillechort	187
Laiton	57	Platine	280
Zinc	73	Fer	567
Etain	93	Acier recuit	667
Or	113	„ trempé	1500

L'adhérence augmente donc, en général, avec la résistance électrique des métaux; pourtant le fer et l'acier font une exception remarquable à cette règle et cela s'explique peut-être par leur soudabilité. Lorsqu'une fois deux pièces de métal adhèrent l'une à l'autre, il est égal que le courant continue ou soit interrompu, mais souvent on peut détacher les deux pièces en faisant passer des courants plus forts. On a, sans doute dans ces phénomènes, affaire avec réchauffement des métaux et la fusion consécutive.

M. Stroh n'est pas parvenu à faire un bon microphone métallique parce qu'il s'est arrêté au contact simple, quoique on puisse conclure de ses propres expériences que, pour ce genre de microphones, il faut opérer avec une multitude de contacts pour éviter la fusion et la soudure.

La construction de microphones métalliques rencontre encore d'autres difficultés, car plus les corps qui forment le contact microphonique sont bons conducteurs, moins grandes doivent être les variations de distance entre eux; ainsi les microphones à charbon permettent une beaucoup plus grande variation que ceux dont les surfaces de contact sont métalliques.

Malgré cette faible variation de la distance on peut obtenir les plus grandes variations de résistance avec des contacts métalliques; avec le cuivre ou l'argent, par exemple, la résistance peut varier entre 1 ohm et plusieurs milliers d'ohms sans que le circuit soit véritablement interrompu.

M. Munro, dans le but d'éviter les brevets déjà existants, s'est donné beaucoup de peine pour construire des microphones métalliques utilisables.

Il s'est servi de deux gazes fines en fil de fer qui se touchent en nombreux points et sont légèrement pressées l'une contre l'autre; au lieu d'une pression par ressorts l'inventeur a aussi plus ou moins approché un aimant qui, par son attraction, a réglé la pression. Ce microphone n'a pas besoin d'un diaphragme, on peut parler directement contre les gazes.

M. Thompson a aussi reconnu que les transmetteurs métalliques, surtout ceux de M. Auders, donnent de bons résultats; le son est relativement fort, l'articulation très distincte, quoiqu'un peu dure et métallique.

Lui aussi trouve qu'on a à combattre ces deux difficultés de la fusion des métaux et de la petite variation de la distance. On remarque en général que par ce genre de microphones les voix féminines et enfantines se reproduisent le mieux.

Pour en finir avec le microphone métallique mentionnons encore que ce transmetteur est plus ancien que celui à charbon; le transmetteur de Reis était déjà métallique et MM.

Blake, Theiler et Warwick en ont également construit de métalliques.

Pour en revenir aux recherches de M. Bidwell nous avons encore à mentionner celles de M. Boekmann qui complètent utilement celles du premier de ces investigateurs. M. Boekmann a cherché à comparer la résistance du contact entre deux charbons en repos à celle qu'ils présentent quand ils sont en mouvement, sous la condition que l'intensité du courant ne varie pas. Il a en outre cherché à, trouver des réponses à d'autres questions en rapport avec cette résistance. Quant à la pression et aux autres conditions des expériences, il cherchait à copier ce qui se passe dans un microphone.

Les surfaces de contact ont dû être soigneusement polies, car sans cette précaution les résultats étaient trop irréguliers et la résistance ne retournait guère à sa valeur primitive.

Les mesures de M. Boekmann diffèrent de celles de M. Bidwell en ce que le premier a mesuré la résistance quand l'un des charbons vibrait sous l'action d'un diapason.

L'opérateur avait à sa disposition trois diapasons, donnant respectivement l'Ut l'Ut et l'ut.

Dans ces conditions la résistance était une valeur moyenne se composant d'une résistance plus petite et d'une autre plus grande. Il résulte des expériences faites que la résistance moyenne est plus faible pendant la vibration que pendant le repos, que la différence est plus grande si la pression initiale est faible et qu'après la vibration la résistance initiale se rétablit. La résistance augmente si le son s'affaiblit, mais elle est indépendante de sa hauteur; finalement M. Boekmann a constaté que la résistance du contact diminue à peu près dans la proportion des carrés de la pression et de la force du courant.

En tirant des conclusions des expériences de MM. Shelford Bidwell et Boekmann sur la résistance des contacts microphoniques, on arrive aux règles suivantes:

1° Une multiplicité de contacts dans un microphone paraît préférable à un seul contact.

2° Le contact multiple d'un microphone devrait être arrangé en arc multiple et non pas en série, parce que dans le premier cas le courant se divise entre les différents contacts et chaque contact est traversé par un courant relativement faible. Or les variations de la résistance sont relativement plus grandes avec de faibles courants qu'avec des courants forts.

3° Le charbon mobile devrait être lourd pour avoir un grand moment d'inertie mais en même temps la pression devrait être faible, parce qu'avec une grande inertie du charbon mobile on obtiendra le maximum de variation dans la pression et les variations de résistance seront les plus fortes quand la pression initiale sera faible.

4° La résistance du système microphonique devrait être faible, car plus elle est faible plus grandes sont les variations par rapport à la résistance initiale.

5° Le courant passant, le contact microphonique devrait être aussi fort que les circonstances le permettent.

Plus on étudie le contact microphonique, plus il devient énigmatique, et on sait que quand une chose n'est pas bien claire on veut remplacer l'incertitude par des théories plus ou moins hardies et plus il y a d'obscurité plus il naîtra de théories différentes; c'est aussi le cas pour le microphone.

Les uns croient que l'action microphonique est simplement un effet de pression mécanique, pour d'autres la chaleur joue un rôle prépondérant et d'autres encore confondent l'action microphonique avec l'arc voltaïque, M. Hughes, le vrai inventeur de cet appareil admirable et l'un des expérimentateurs les plus compétents en cette matière, n'a aucune opinion fixe sur le phénomène, mais il est de l'avis que la théorie de l'arc a beaucoup en sa faveur.

Le bruit bourdonnant qu'on entend souvent dans un microphone a une ressemblance remarquable avec le bruit d'une lampe à arc, avec la seule différence que ce dernier est

beaucoup plus fort, à cause de la différence des courants employés dans les deux cas. S'il est difficile de parler en se servant d'un arc comme microphone, la raison est à chercher seulement dans la force du bruit bourdonnant qui couvre la voix.

Nous résumons d'abord tous les phénomènes et raisonnements qui sont en faveur de la théorie de l'arc et par lesquels il est plus ou moins constaté que le contact microphonique n'est pas un contact mais une interruption. Le contact microphonique est en quelque sorte l'opposé du contact réel. Il résulte des expériences de M. Bidwell que seulement les très faibles pressions conviennent pour le phénomène microphonique, tandis que les fortes pressions qui seules établissent un contact réel, sont impropres pour la reproduction de la parole.

Les gaz qui entourent les charbons jouent aussi un grand rôle dans l'espacement des surfaces. Le charbon condense les gaz sur sa surface; il est même probable que certains gaz qui se liquéfient facilement couvrent les charbons à l'état liquide et que les gaz condensés empêchent le contact direct. En admettant que les charbons ne se touchent pas directement et que l'air joue le rôle d'une résistance variable, il est évident que la qualité du gaz qui s'interpose entre les charbons ne peut pas être sans influence sur le phénomène microphonique. Les gaz se condensent sur les surfaces les uns plus que les autres, par exemple les vapeurs d'eau dans l'air plus que l'air sec; il en résulte donc que l'état de l'atmosphère doit avoir une influence sur les reproductions microphoniques. Quand l'air est humide, le contact doit nécessairement présenter moins de résistance que quand l'air est sec, et il est très probable qu'on peut de cette manière expliquer certaines variations dans le service téléphonique suivant l'état de l'atmosphère. Une preuve directe du rôle des gaz peut être trouvée dans le phénomène de Leidenfrost. On sait que la goutte d'eau à l'état sphéroïdal est séparée du métal incandescent par une mince couche de gaz. Or on peut téléphoner à travers cette couche en se servant de la goutte d'eau et du métal en guise de charbons microphoniques.

Outre la condensation des gaz, on a aussi recours à la théorie moléculaire pour soutenir la supposition de l'espacement des surfaces. Les molécules qui se meuvent d'une surface à l'autre servent comme conducteurs d'électricité. Quand on peut produire ce jeu des molécules entre deux surfaces ou la répulsion d'une surface à l'autre (par exemple dans le phénomène de Leidenfrost), ou quand les électrodes sont chauffées (arc), ou quand les molécules se détachent facilement, etc., un chemin pour l'électricité s'établit à travers l'air, qui a une résistance relativement faible.

Bien que chaque molécule ne transporte qu'une décharge instantanée, il se produit pourtant un courant continu à cause du nombre excessivement grand de molécules en mouvement. Toutes les molécules d'un corps qui n'est pas tombé au zéro absolu de température (-273°C.) sont en mouvement et leurs oscillations augmentent en amplitude avec l'augmentation de la température; il y a donc entre deux surfaces microphoniques en contact variable un véritable bombardement de molécules. M. Thompson a soutenu avec succès cette théorie moléculaire devant la Société des ingénieurs électriciens à Londres. Il est de l'avis que les molécules des deux conducteurs qui se touchent jouent un grand rôle dans l'effet microphonique. Une pointe d'aiguille touchant une surface de charbon peut déjà faire un bon microphone, car à la pointe la plus fine un très grand nombre de molécules entrent en contact avec les molécules du corps opposé. La variation de la pression a pour effet de faire varier le nombre des molécules dans des limites très écartées, et la moindre différence dans la pression change la position d'un grand nombre de molécules et par conséquent la résistance totale du contact.

Les expériences de M. Shelford et celles d'autres savants comme M. Stroh, aboutissent aussi à la théorie de l'arc. Ce dernier se forme d'un côté avec le plus faible courant, et vice-versa on peut téléphoner en se servant d'une lampe électrique à arc comme microphone. Le saut d'une résistance relativement faible du contact à la résistance infinie est une autre preuve de l'arc.

M. Stroh a, par un arrangement ingénieux, constaté que les deux charbons du microphone se séparent quand un courant les traverse et quand ils remplissent les conditions nécessaires pour la reproduction de la parole.

Au charbon mobile était fixé un miroir concave très léger qui rejetait un rayon de lumière sur un écran distant de six mètres. Au moment où l'on fermait le circuit microphonique, le point lumineux se déplaçait légèrement, montrant que les deux charbons s'étaient séparés dans leur point de contact. La distance de séparation n'était certainement pas grande; d'après la longueur des deux leviers et le mouvement du point lumineux, M. Stroh l'a calculée à 1/2000 d'un millimètre.

Aussi longtemps que le microphone était en bonnes conditions pour la reproduction de la parole, la défection se maintenait; mais si la reproduction manquait, le point de lumière retournait en même temps à son point de départ. Par cette expérience il est prouvé, qu'au moment de l'entrée en fonction d'un microphone, les deux charbons se séparent. Une autre expérience de M. Stroh démontre, d'une autre manière, le rapport intime entre le contact microphonique et l'arc.

Il a observé le contact au moyen d'un microscope.

Quand la pression était très faible il se formait, en fermant le circuit, une étincelle extrêmement petite, puis une seconde, une troisième et avec chaque étincelle le contact entre les charbons devenait de plus en plus intime. Le microphone ne commençait à fonctionner régulièrement que quand il ne se produisait plus d'étincelles. En augmentant la force du courant, les étincelles revenaient et ne pouvaient être supprimées qu'en par l'augmentation de la pression, avec le résultat final que le courant ne passait plus. En augmentant encore la pression, l'étincelle et le contact microphonique devenaient intermittents, et dans le téléphone on entendait le bruit bien connu de friture qui annonce un microphone déréglé. Dans d'autres circonstances, il a observé de véritables vibrations du charbon mobile, quelquefois lentes, d'autres fois si rapides qu'il pouvait plutôt les deviner que les voir directement. Ces vibrations donnent toujours aux reproductions un timbre étrange et peuvent quelquefois se montrer même dans un microphone bien réglé.

M. le Professeur Ayrton est aussi de l'avis que les deux conducteurs d'un microphone ne se touchent pas pendant la fonction, et il croit que le soi-disant contact se compose d'un nombre excessivement grand de petits arcs, d'où il résulterait que le contact microphonique et l'arc voltaïque sont sensiblement la même chose puisqu'ils suivent les mêmes lois. En tirant les conséquences de ces expériences, il conteste même qu'on puisse nommer résistance l'obstacle qui, dans le microphone, s'oppose au passage du courant. D'après lui, la résistance est une valeur invariable indépendante de la force du courant, et en ceci il est évidemment en contradiction avec les expériences de M. Bidwell, qui a prouvé que la soi-disant résistance microphonique est une fonction de la pression et de la force du courant et ne répond donc pas à la définition ordinaire de la résistance électrique.

Il y a encore d'autres ressemblances entre l'arc lumineux et le contact microphonique. Quand on ferme le circuit microphonique on entend d'abord un clic, ensuite un bruit de friture, et finalement on peut reproduire la parole. L'arc lumineux présente à peu près les mêmes phénomènes, seulement sur une plus grande échelle. Par contre il y a cette différence entre l'arc d'un foyer électrique et l'arc du microphone, que ce dernier consiste en décharges électriques sans bruit et souvent sans lumière. Ce sont des décharges silencieuses qui ressemblent à celles d'une pointe de paratonnerre.

Contre la théorie de l'arc, on peut objecter qu'elle présume que l'air soit un conducteur de l'électricité, si la distance est infiniment petite. Or cette conductibilité est encore à prouver.

Il y a encore une question fort intéressante qui s'attache à la discussion de l'arc. L'interruption du contact n'implique pas une interruption du circuit, le contact microphonique est au contraire un état intermédiaire entre un véritable contact et une rupture complète. Mais qu'arrive-t-il si la rupture a lieu ? Tout le monde connaît le bruit sec qui se produit dans le téléphone quand on parle trop fort ou quand le microphone est réglé trop délicatement. Ce bruit provient d'une interruption complète et momentanée du circuit microphonique. A cause de l'induction propre, il se produit même entre les deux charbons une petite étincelle. M. Sylvanus P. Thompson est de l'avis que les interruptions complètes du circuit microphonique n'auraient aucun effet nuisible dans le téléphone si l'on supprimait d'une manière ou d'une autre le courant extra et l'étincelle qui l'accompagne, au moment de l'interruption. Les microphones de M. Freeman et de la Société générale des téléphones, ont dans leurs bobines d'induction des arrangements par lesquels ces courants extra sont supprimés. M. Thompson a aussi indiqué une méthode pour supprimer l'étincelle quand le contact dans le microphone est complètement interrompu. Il bifurque le circuit primaire de telle façon qu'une branche passe par le microphone et l'autre par une résistance équivalant à la résistance moyenne du microphone. Alors quand il y a rupture complète dans le microphone le circuit primaire n'est pourtant pas interrompu; il n'y a pas d'étincelles, et on prétend que, même contre un Blake pareillement monté, on peut parler de la voix la plus forte sans produire des craquements.

M. de Locht-Labye maintient aussi la possibilité de pouvoir reproduire la parole au moyen de courants qui ne sont pas ondulatoires, mais interrompus, et qui varient donc de zéro jusqu'à une valeur I, donnée par la construction du microphone et la force des impulsions qui agissent sur le diaphragme. M. de Locht-Labye est de l'avis que l'exactitude de cette manière de voir est constatée par l'appareil de son invention qu'il a appelé téléphone à marteau. Mentionnons encore que le microphone de Reis travaille aussi avec des courants interrompus, et que la raison pour laquelle

Reis n'est pas parvenu à reproduire la parole doit être cherchée dans le manque d'un récepteur convenable.

Il est toutefois à constater, que la reproduction pratique de la parole se passe de véritables interruptions du courant.

Occupons-nous maintenant de réchauffement du contact microphonique.

C'est de nouveau M. Stroh qui nous guide dans ces investigations. Il a rendu le contact microphonique perceptible à l'œil, en même temps qu'à l'ouïe, en employant un microscope pour le regarder. Quand les deux charbons ne se touchent qu'en quelques points, la résistance et en conséquence réchauffement est si fort que les points brûlants, les charbons s'approchent, d'autres points entrent en état d'ignition, et c'est seulement quand le nombre des points se touchant est si grand que la chaleur n'est plus suffisante pour les brûler que le contact possède les qualités caractéristiques du contact microphonique. Si le contact s'opère entre deux surfaces en platine qui sont immergées dans une goutte d'huile, on peut observer dans l'huile un mouvement rotatoire qui est très prononcé aussitôt qu'on ferme le courant microphonique. Si l'huile est souillée par quelques particules de charbon, ces petits points noirs montrent encore mieux l'état d'ébullition à l'intérieur de la goutte; les points noirs volent d'une surface à l'autre comme des boules de moelle de sureau entre deux plaques chargées d'électricité opposée.

M. Preece soutient avec verve la théorie calorique.

Dans tous les cas où le courant franchit une résistance, il se développe de la chaleur qui est dans la proportion de la résistance. Si cette dernière est grande et le courant suffisamment puissant, la chaleur augmente à un tel degré qu'il se produit de la lumière.

La résistance change aussi avec la température, dans un sens comme dans l'autre, et cette variation suffit pour expliquer les courants ondulatoires.

Il résulte de ces observations et conclusions que l'élevation de la température qui s'opère aux surfaces de contact joue un rôle dans l'effet microphonique, mais il nous semble que chercher la totalité de cet effet dans les variations de la température serait aller beaucoup trop loin. D'après tout ce que nous avons dit et mentionné, on ne peut guère maintenir l'idée d'une variation quelconque à l'intérieur des charbons.

Il faut plutôt chercher la totalité de cette variation dans les surfaces. Contre la théorie calorique, on peut encore invoquer la circonstance que les microphones métalliques donnent le même effet que les microphones à charbon et que la variation de la température ne peut probablement pas s'opérer avec la rapidité nécessaire.

Pour certains microphones, une augmentation de la température a une influence marquée en faveur d'une bonne reproduction. C'est surtout le cas pour les microphones **Hennings et Ochorowicz**.

Le microphone peut être inversé; on peut en effet se servir d'un microphone comme récepteur, mais on n'a pas encore réussi à expliquer cette inversion. M. Hughes est d'avis que la vibration du diaphragme est une conséquence des variations de la température au point de contact, et que l'expansion et le rétrécissement de la matière produit de la vibration du diaphragme, à la suite desquels ce dernier entre en vibrations.

M. Aaron a prouvé par le calcul que dans le microphone la modification de la phase est d'autant plus grande que le son est plus haut et que le microphone baisse le timbre du son. Or, puisque dans le téléphone récepteur le timbre du son est élevé, il est possible de trouver une combinaison du microphone avec le téléphone où la transmission électrique du son ne subit aucune transformation du timbre. Mais quoique, en langage mathématique, on puisse exactement indiquer les conditions dans lesquelles les deux effets se neutralisent réciproquement, il sera probablement difficile de reproduire ces conditions dans la pratique. En tout cas le microphone a toujours pour effet de corriger à un plus ou moins haut degré l'altération du timbre qui se produit dans le téléphone, et il est aussi sous ce rapport un complément non pas indispensable, mais fort utile, du téléphone.

Les opinions sont encore partagées sur l'étendue des variations de la résistance dans le microphone produite par la parole, mais quelle qu'elle soit, elle est insuffisante aussitôt que la résistance initiale du circuit téléphonique est grande; c'est pour cela que la **bobine d'induction** s'intercale comme un accessoire presque indispensable entre le microphone et le téléphone récepteur.

Le circuit microphonique devient, par ce fait, très court et de peu de résistance; les courants microphoniques sont forts quoique d'une faible énergie potentielle, tandis que les courants induits qui agissent sur le récepteur ont une grande force électro-motrice, quoique l'intensité du courant soit faible à cause de la résistance relativement grande du circuit. Il y a encore d'autres différences entre les deux courants. Le courant dans le circuit microphonique ne change jamais de direction mais seulement d'intensité, tandis que les courants dans le circuit du récepteur sont inversés, et par ce fait actionnent le diaphragme du récepteur plus énergiquement. Quand le courant positif du microphone s'accroît, celui du récepteur est négatif, et si le premier diminue le second devient positif.

Compléments sur la théorie du téléphone "polémique engagée entre M. du Moncel et MM. Navez"

Dans le "**Journal télégraphique**" du 25 juillet 1878, une rubrique est ouverte **sur la théorie du téléphone** :

Lettre de M. du Moncel; expériences ayant pour objet la théorie du téléphone, par MM. Navez; note sur un système de téléphone sans organes électro-magnétiques, basé sur le principe du microphone, par **M. du Moncel**.

Au sujet de la polémique engagée entre M. du Moncel et MM. Navez sur la théorie du téléphone, nous avons reçu, presque simultanément, d'une part, une réponse de M. du Moncel aux observations de MM. Navez publiées dans notre dernier Numéro et, de l'autre, communication d'une Note à l'Académie royale de Belgique où MM. Navez rendent compte d'une série d'expériences dont les résultats leur paraissent confirmer leur manière de voir. Nous publions ces deux communications et nous les complétons, en reproduisant aussi la Note à l'Académie des sciences de Paris à laquelle se réfère la lettre de M. du Moncel.

Voici, d'abord, la lettre de M. du Moncel.

Monsieur,

Malgré ma répugnance à entretenir une discussion qui ne peut rien apprendre au lecteur, il me semble difficile que je laisse passer sans réplique la dernière Note de M. Navez, car il commet à l'égard des passages de mon travail qu'il cite et qu'il tronque, des confusions inexplicables.

Sans parler de nouveau de la possibilité de reproduire la parole dans les téléphones dépourvus de lame vibrante, fait aujourd'hui parfaitement admis par ceux qui se sont occupés sérieusement de la question et qui ont une oreille délicate (voir les mémoires de MM. Warwick, Rossetti et Luvini), je dirai simplement que du moment où M. Navez admet qu'une tige électro-magnétique peut émettre des sons par elle-même, il doit bien admettre qu'elle puisse reproduire des sons articulés, puisque, en définitive, la reproduction de ces sons ne dépend uniquement que des variations d'intensité du courant déterminées par le transmetteur. Que les vibrations provoquées soient transversales ou longitudinales, qu'elles soient le résultat de contractions ou de dilatations moléculaires, comme M. de la Rive, M. Luvini et moi le pensons, peu importe; du moment où le transmetteur sera dans des conditions convenables, les vibrations produites pourront reproduire plus ou moins nettement la parole, suivant l'intensité des courants transmis.

Mais ce qui a lieu de m'étonner dans la réponse de M. Navez, c'est que l'explication qu'il donne de la plus grande efficacité des courants induits dans les transmissions téléphoniques, est précisément rapportée dans le passage de mon mémoire qu'il cite, mais qu'il a tronqué précisément à cet endroit. Yoici, en effet, comment ce passage se termine :

« leur action sur le récepteur ne dépend uniquement que de leur intensité; ils se prêtent, en conséquence, beaucoup mieux aux vibrations phonétiques que les courants voltaïques, et cela d'autant mieux que les courants inverses qui suivent leur émission déchargent la ligne et contribuent encore à rendre leur action plus nette » et plus prompte. »

M. Navez épilogue sur le mot instantané que j'ai appliqué aux courants induits: mais il doit savoir que c'est un mot souvent employé pour montrer la courte durée de ces courants, et il ne peut admettre raisonnablement que j'aie pu lui attribuer la signification qu'il lui prête, puisqu'en définitive la durée de ces courants a pu être mesurée. M. Navez n'a donc soulevé en ceci qu'une discussion de mots.

Mais il ne s'agit plus aujourd'hui d'une discussion d'effets magnétiques; la science a marché depuis que M. Navez a ouvert la discussion et nous lui demanderons maintenant comment avec sa théorie des mouvements attractifs du diaphragme des téléphones il peut expliquer la reproduction de la parole par un microphone récepteur dépourvu de tout organe électro-magnétique et je puis lui certifier que dans les expériences que j'ai faites et qui sont relatées dans le mémoire que j'ai présenté à l'Académie le 1^{er} Juillet, la transmission des vibrations ne pouvait se faire mécaniquement, car quand le circuit était coupé ou la pile retirée du circuit, aucun son n'était entendu. Il faut décidément que M. Navez compte avec les **vibrations moléculaires**. Certainement c'est un terrain nouveau à étudier; mais c'est parce que nous nous acharmons en Europe à vouloir rester dans les limites de théories incomplètes, que nous avons laissé aux Américains qui ne s'en inquiètent guère la gloire de faire les grandes découvertes qui nous étonnent depuis quelques mois. Que M. Navez lise avec soin les notes de MM. Luvini et Des Portes, les mémoires de MM. Rossetti et Warwick et je suis sûr que ses idées se modifieront.

Dans tous les cas je ne pense pas pousser plus loin une discussion qui ne peut être utile à personne et qui n'a réellement pas eu sa raison d'être.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Directeur, l'expression de mes meilleurs sentiments.

TH. DU MONCEL.

Voici maintenant la communication de MM. Navéz.

Expériences ayant pour objet la théorie du téléphone

(La Commission académique chargée d'examiner les différentes notes concernant le téléphone présentées par MM. Navez, était composée comme suit: MM. Brialmont, lieutenant-Général, Inspecteur général du génie; Vander-Mensbrughe, de l'Université de Gand et Melsens, examinateur permanent à l'école militaire, professeur de chimie et de physique).

Pour éviter toute équivoque il convient de poser d'abord la question. M. du Moncel s'est chargé de ce soin. « Du moment, dit-il, qu'il y a un son émis, il est bien certain qu'il y a vibration. M. Navez la croit transversale et circonscrite sur la lame, parce qu'il suppose qu'elle résulte de l'attraction; moi, je la considère comme longitudinale et ayant son siège dans le noyau magnétique et la lame-armature, interprétant d'ailleurs le mot de vibration longitudinale dans le sens que lui a attribué M. de la Rive. »

L'expression « circonscrite sur la lame » est trop absolue.

Il est bien certain que le noyau vibre, et que, dans des circonstances favorables, ces vibrations peuvent produire des sons sensibles à l'oreille. Mais, suivant nous, ce sont les vibrations transversales de la plaque qui, dans le téléphone Bell, reproduisent seules la parole articulée avec une intensité suffisante pour être utile. Ajoutons, pour mieux préciser, que si le noyau pouvait agir par attraction, sans vibrer, la parole reproduite y gagnerait.

Ainsi amendée, nous acceptons la rédaction de notre savant contradicteur. Nous acceptons aussi le sens qu'il attribue aux expressions « vibration transversale, vibration longitudinale, » en faisant remarquer toutefois que l'expression « vibration longitudinale » doit toujours être supposée complétée par le mot moléculaire.

Pour mettre de l'ordre dans l'exposition des expériences 4 dont nous allons rendre compte, nous ferons précéder chaque essai ou groupe d'essais, de l'énoncé de la proposition dont ils fournissent la preuve.

Première proposition.

Le téléphone Bell, tel qu'il est généralement construit et employé, ne fournit qu'une reproduction extrêmement faible des sons, même très-intenses, émis dans l'envoyeur, lorsque le récepteur fonctionne sans plaque.

L'administration des postes et télégraphes de Belgique suit attentivement les progrès que réalise si rapidement la nouvelle branche de science appliquée dont il est ici question.

MM. Delarge, ingénieur en chef, et Banneux, ingénieur, appartenant à cette administration, se sont occupés spécialement de ces études. Les connaissances théoriques et pratiques

que possèdent ces ingénieurs et leur aptitude physiologique à saisir les

sons, résultant d'une éducation complète de l'oreille, ne peuvent être mises en doute. Des expériences faites par eux doivent donc inspirer une grande confiance. Les essais concernant la première proposition ont été exécutés sous leur direction et nous y avons assisté en y apportant une attention soutenue.

Pour opérer, autant que possible, hors de l'action des bruits de l'extérieur, on avait installé les appareils dans les vastes souterrains de la gare du Nord. Les deux stations téléphoniques étaient séparées l'une de l'autre par un espace de quatre-vingt-dix mètres. L'interposition de trois portes épaisses et de fortes maçonneries rendait l'audition impossible.

Les stations étaient reliées par deux fils de cuivre de 0 mm,6 de diamètre enfermés dans la même enveloppe isolante en gutta-percha. On sait que l'emploi de deux fils qui suivent des chemins parallèles et rapprochés, neutralise, par un effet de compensation, certaines influences perturbatrices. Pour ces expériences la communication avec la terre était donc contre-indiquée.

On fit d'abord usage, comme expéditeur, d'un Bell, grand modèle avec aimant en fer à cheval, puissant appareil de construction américaine très-soignée, auquel on adjoignit un Bell à main, authentique.

Au moyen de cette disposition la parole était reproduite avec le plus haut degré d'intensité que puissent attendre, du système Bell, des personnes qui en ont fait un fréquent usage et aussi avec une bonne articulation.

La plaque du récepteur ayant été retirée, aucun son de voix ne put être perçu.

On combina ensuite le téléphone Bell, grand modèle, avec deux Bell récepteurs réunis, en tension, pour l'audition biauriculaire. Même résultat.

On ne réussit pas mieux avec deux Bell à main identiques entre eux.

Deux personnes, ayant des timbres de voix très-différents, parlèrent successivement dans l'expéditeur sans plus de succès.

Il arriva toujours qu'en retirant la plaque du récepteur, aucun son de voix ne put être perçu.

Des téléphones de provenances américaine, anglaise et belge, tous de construction soignée, avaient été successivement employés.

Les mêmes essais furent exécutés au moyen d'un sifflet en étain donnant un son strident pénible à l'oreille, On n'entendit rien.

Enfin on fit usage de deux cornets à signaux, à anche. Le son du premier cornet ne put être perçu.

Le second cornet donnait un son plus aigu que le premier.

Après une audition très-attentive et très-tendue, il fut reconnu que l'on entendait un son extrêmement faible.

Pendant le courant de ces expériences, on remplaçait souvent la plaque sur le récepteur pour s'assurer que rien n'était dérangé dans les communications. On s'était aussi donné la preuve qu'il n'y avait pas de transmission intermoléculaire par les fils, en réunissant les deux bouts de ceux-ci à une même borne du récepteur.

Deuxième proposition.

Dans des conditions exceptionnelles de phonation et d'audition téléphoniques, le son de la voix humaine peut être reproduite par un récepteur privé de sa plaque ; mais cette reproduction est trop faible pour que l'on puisse reconnaître s'il y a ou s'il n'y a pas articulation.

Toutes les expériences qui suivent ont été faites dans la maison que nous habitons, située entre cour et jardin et, par conséquent, jusqu'à un certain point, soustraite aux vibrations perturbatrices qui rendent souvent si difficiles les observations acoustiques délicates.

Pour expéditeur nous avons fait usage de l'Edison à pile de charbon dont la puissance a encore été augmentée depuis sa première apparition par l'adoption d'une plaque en ébonite dont l'épaisseur diminue des bords au centre. Pour récepteurs deux Bell à main ' dont la plaque a été retirée, employés ensemble pour l'audition biauriculaire.

L'expéditeur est établi à l'étage ; les récepteurs fonctionnent au rez-de-chaussée. Pour les communications on a utilisé les fils des sonnettes électriques avec toutes leurs bobines.

La résistance extérieure du circuit, aller et retour, peut être évaluée, approximativement, à 4 kilomètres de fil télégraphique de 4 millimètres de diamètre.

Cet ensemble permet d'opérer avec une énergie phonique bien supérieure à celle que l'on obtient de deux Bell conjugués.

Des huit voyelles admises par Helmholtz , la voyelle ou est celle dont le son est le plus simple. Quand on soutient ce son à la hauteur du LA du diapason normal, les effets phoniques sont d'une intensité remarquable. Le ou prolongé, lancé dans le cornet de notre expéditeur, est reproduit par les deux Bell déposés sur un guéridon et munis de leurs plaques, avec assez d'intensité pour que le son soit perçu de tous les points d'un grand salon.

Les plaques ayant donc été retirées des récepteurs, il fut procédé aux expériences qui donnèrent les résultats suivants :

La syllabe ou prolongée est reproduite ; le son perçu est très-faible.

Le son du diapason est aussi reproduit, mais plus faiblement que le ou musical.

On a pu entendre aussi la reproduction de la voix parlée et en saisir le rythme; mais il a été impossible de comprendre et de reconnaître s'il y avait ou s'il n'y avait pas articulation.

Troisième proposition.

L'intensité du son reproduit dépend non-seulement de l'amplitude des vibrations , mais aussi de la surface vibrante.

Mêmes dispositions générales que pour les expériences précédentes, sauf que l'on n'a fait usage que d'un seul Bell récepteur, dont la plaque avait été remplacée par un fil de fer tendu au-dessus de la tranche du noyau. Ce fil, d'une épaisseur de 0 mm,3, pouvait être considéré comme un diamètre matériel de la plaque.

Le récepteur, ainsi armé, reproduit la parole très-faiblement, mais cependant avec plus d'intensité que dans les expériences précédentes, alors que la plaque n'était remplacée par rien.

Pour augmenter la surface vibrante sans modifier la force d'attraction, on glissa entre le fil de fer et le noyau une rondelle en papier à écrire ordinaire. Alors la reproduction de la parole augmenta considérablement d'intensité ; on put non-seulement entendre, mais aussi très-bien comprendre. Le papier ne vibre pas moléculairement ; l'intensité du son a augmenté avec la surface du vibreur, parce que la quantité d'air immédiate mise en vibration est devenue plus grande.

Quatrième proposition.

Les vibrations utiles de la plaque sont transversales et produites par des variations dans la force attractive qu'exerce le noyau et les réactions dues à l'élasticité de la plaque.

Pour l'exécution des expériences dont la description va suivre, nous avons employé, comme expéditeur, le microphone du professeur Hughes. Le modèle choisi fut celui composé d'un cylindre de charbon, mobile entre deux prismes de même matière.

Grâce à ce précieux appareil, nous avons pu opérer rapidement et sans subir les ennuis qui résultent de déplacements continuels (Ces expériences ont été répétées devant l'Académie (séance du 6 Juillet 1878) par les soins de M. le professeur Melsens.)

Le microphone, une pile de deux éléments Leclanché et un récepteur à main, système Bell, furent compris dans un même circuit. On mit les appareils en communication entre eux par quelques mètres de fil souple. Par l'emploi de ce genre de fils conducteurs, on évite les bruits que produisent souvent dans le téléphone les vibrations anormales des fils de cuivre sonores.

Une montre ayant été posée sur la tablette du microphone, le tic tac fut reproduit avec une augmentation considérable dans l'intensité du son.

Ceci constaté, on plaça, entre la plaque et la tranche, douze petites rondelles en clinquant d'un diamètre de 2 centimètres et ne pouvant, par conséquent, pas prendre appui sur le pourtour du téléphone.

L'interposition de ces rondelles ne diminua que très-peu l'intensité du tic tac. Remarquons que l'ensemble de ces rondelles constitue un système élastique incapable de nuire beaucoup aux vibrations transversales.

Les rondelles de clinquant ayant été remplacées par des rondelles en papier à filtrer, le tic tac ne fut plus reproduit que très-faiblement. La matière peu élastique, interposée, arrêtait, dans une mesure considérable, les vibrations transversales et rendait difficiles les réactions de la plaque.

Cette expérience fut renouvelée sous beaucoup de formes différentes qui accentuèrent les résultats. Aux effets produits par l'interposition d'un petit morceau de caoutchouc, on compara ceux obtenus en faisant usage d'une petite boulette de mastic de vitrier. A une miette de pain on opposa la même miette préalablement malaxée entre les doigts.

Toujours une diminution dans l'élasticité amena une diminution dans l'intensité du son reproduit, quelquefois même sa suppression.

Nous demandons comment l'interposition de matières plus ou moins élastiques pourrait éteindre des vibrations moléculaires? Comment cette interposition pourrait empêcher la transformation de F en F 2, suivant l'expression employée par M. du Moncel dans sa première lettre ? L'interposition de matières non magnétiques peut-elle avoir un effet sensible sur l'élévation au carré du potentiel du noyau ? Evidemment non. Si le rôle de la plaque était tel que le veut M. du Moncel, il serait avantageux d'employer des plaques très-épaisses pour augmenter l'intensité du son, et chacun sait qu'un pareil résultat ne serait pas obtenu. Ce n'est pas en amplifiant le son en germe dans le noyau que la plaque agit, c'est en vibrant utilement elle-même, en vibrant mécaniquement , s'il nous est permis d'employer ce mot en opposition au mot moléculairement de M. du Moncel.

Passons à une autre expérience : la plaque en fer a été remplacée par une plaque en ivoire très-mince. Le tic tac n'est pas reproduit ou, plus exactement, la reproduction n'affecte pas assez sensiblement l'oreille de l'expérimentateur pour qu'il en ait conscience. C'est toujours en ce sens qu'il faut interpréter les expériences de téléphonie.

Nous plaçons successivement sur la plaque d'ivoire, au centre : un très-petit clou de tapissier , quelques limailles de fer, un petit tas de fer réduit par l'hydrogène, un petit morceau de fer blanc pesant seulement un centigramme. Toujours on entend avec facilité la reproduction du tic tac. C'est évidemment la plaque d'ivoire qui vibre utilement ; la petite quantité de fer qu'elle porte ne produit pas de son perceptible? il agit comme moteur .

Pour réaliser une condition très-favorable aux vibrations moléculaires par influence de M. du Moncel, nous plaçons, au centre de la plaque en ivoire, un cylindre en fer du même diamètre que le noyau et d'une épaisseur qui lui donne à peu près le poids d'une plaque ordinaire de téléphone. La reproduction du tic tac est si faible qu'il y a du doute sur son existence. En augmentant le poids du fer, qui vibre toujours longitudinalement et moléculairement, on supprime tout-à-fait le son. Cette limite est atteinte lorsque la masse à

mouvoir n'est plus en rapport convenable avec l'élasticité de la plaque. Une plaque en ivoire supporte un poids de fer plus considérable qu'une plaque en papier. Nous avons répété cette expérience avec le téléphone Edison-Bell, remplaçant le tic tac de la montre par la voix parlée, et le même résultat a été observé. A défaut de plaque d'ivoire, le papier parcheminé réussit très-bien.

Interprétation des résultats obtenus dans les expériences décrites .

De l'ensemble de ces expériences il résulte que toutes les dispositions favorables au développement des vibrations transversales, ont toujours augmenté les effets phonique reproduits, tandis que les dispositions favorables aux vibrations moléculaires ont, au contraire, diminué ces mêmes effets.

Nous concluons: dans le récepteur Bell les vibrations utiles sont dues à la plaque, laquelle vibre par suite des modifications que subit l'attraction exercée sur elle par le noyau et des réactions dues à l'élasticité. — Les vibrations utiles de la plaque sont transversales et, par conséquent, limitées par des lignes nodales. — S'il était possible d'obtenir des attractions électro-magnétiques sans déterminer en même temps des vibrations moléculaires, le téléphone reproduirait encore la parole et, peut-être, parlerait-il plus purement. Soumise à l'analyse, la théorie de M. du Moncel aboutirait à ce singulier résultat : que le maximum d'effet serait obtenu à la limite, alors que l'espace variable entre la plaque et le noyau devient nul ; c'est-à-dire que le téléphone idéal serait réalisé par un simple allongement du noyau et la suppression de la plaque. Il est évident qu'une tranche du noyau vibrera toujours mieux, moléculairement, que la plaque.

M. du Moncel, dans ses lettres, cite beaucoup de noms d'expérimentateurs habiles et savants, pour appuyer ses opinions. Nous avons trouvé dans les publications de ces savants beaucoup d'arguments en faveur de nos idées et fort peu venant à l'encontre de la théorie que nous soutenons. Relevons quelques exemples :

M. W.-H. Preece, de l'institut des ingénieurs civils, écrit ce qui suit en **Novembre 1877** : « Chaque courant induit dans la bobine c (de l'envoyeur) arrive par le fil jusqu'à la bobine c' (du récepteur) ; là il change le magnétisme du fer doux b' (le noyau) et augmente ou diminue l'attraction qu'il exerce sur le diaphragme de tôle a' (la plaque du récepteur) (1) ».

Au mois de Mars 1878, M. Preece n'a pas changé d'opinion. Dans un article intitulé : Téléphone et Phonographe, il s'exprime en ces termes : « Ces courants parcourent le fil télégraphique et l'hélice placée à la station éloignée, et viennent modifier l'intensité magnétique de l'aimant placé à cette station. Cette variation de magnétisme fait varier l'attraction mutuelle de l'aimant et du disque »

« On a vu que les disques vibrent sous l'influence des vibrations sonores et qu'il est possible d'enregistrer ces vibrations (2). »

Des vibrations, que M. Preece croit pouvoir être enregistrées, ne sont certainement pas des vibrations moléculaires.

Le savant électricien admet évidemment une similitude de vibration entre les deux plaques du téléphone et de celles-ci avec la plaque du phonographe.

Si nous ne pouvons pas encore enregistrer les vibrations du récepteur Bell, cela tient non à la nature de ces vibrations, mais à leur extrême petitesse. M. Preece donne une idée de cette petitesse en évaluant, d'après lord Rayleigh, à 1 / 10 000 000 de centimètre l'amplitude nécessaire pour produire des vibrations sonores (3).

D'après les expériences de M. Blyth (4) communiquées à la Société d'Edimbourg (séance du 7 Janvier 1878) par le professeur Tait, on peut remplacer la plaque en fer du récepteur par une plaque en cuivre, en papier ou en caoutchouc, sans

cesser d'entendre, mais, dans ces cas, les sons reproduits seront beaucoup plus faibles que ceux reçus au moyen d'un téléphone ordinaire : « Aucun son n'a été reçu quand on n'a fait usage d'aucun disque . »

M Warwick a constaté qu'avec un Bell récepteur sans plaque « il a entendu. » Il ne dit pas qu'il a compris; nous sommes donc d'accord 5).

1) *Revue scientifique de la France*, N° du 10 Novembre 1877.

2) *Revue scientifique de la France*, No du 80 Mars 1878.

3) *Philosoph. magazvol. Y*, N° du 30 Avril 1878.

4) *Télégr. Journal* du 15 Janvier 1878.

5) *Article publié par L'English Mechanic et reproduit par le Journal of the Telegraph, sous le titre : Curieuses expériences télégraphiques.*

M. Warwick paraît étonné de ce qu'une plaque en substance diamagnétique puisse reproduire le son. Ce résultat, devait être prévu. Qu'il y ait attraction ou répulsion, l'effet phonique de la plaque sera le même, puisque, en vertu de son élasticité, elle tendra toujours à revenir vers sa position initiale. Les vibrations transversales, avec déplacement de surface, permettent d'expliquer facilement le phénomène ; mais en admettant seulement des vibrations moléculaires, il n'en est plus ainsi ? Cependant les sons obtenus au moyen d'une plaque diamagnétique doivent être extrêmement faibles.

L'expérience de M. Guillemin, citée par M. du Moncel, prouve en faveur de notre cause. La tige de fer, sous l'action du courant électrique, devait ou changer de forme ou s'échauffer. Il y a ici un travail mécanique effectué. Les mêmes causes produisent les mêmes effets, c'est pourquoi on doit admettre que la plaque d'un téléphone récepteur vibre mécaniquement. On ne la voit pas vibrer parce que les amplitudes des vibrations sont, non pas infiniment petites, mais excessivement petites.

De l'expérience de M. Guillemin dans laquelle l'action électro-magnétique détermine un déplacement considérable de matière, M. du Moncel peut-il conclure que la plaque du récepteur subit une action analogue sans qu'il y ait déplacement de matière ?

M. du Moncel invoque de nouveau les expériences de M. de la Rive pour prouver qu'une tige de fer peut produire des sons par suite d'effets d'aimantation et de désaimantation répétés à des intervalles très-rapprochés. Cela est surabondamment admis ; inutile d'y revenir. Mais M. du Moncel ajoute que les vibrations, ainsi déterminées dans les tiges de fer, « semblent être « de la même nature que celles qui donnent lieu à ces sons,

« souvent très-forts, que l'on entend quelquefois sur les lignes « télégraphiques. » Sont-ce bien les courants électriques qui produisent ces sons très-forts ? Nous en doutons.

Sur une ligne très-active où les appareils télégraphiques sont continuellement en action, les sons très-forts se font entendre seulement quelquefois. Les courants franchissent toute la ligne et les bruits musicaux ne se produisent qu'en certains endroits. Tandis que les courants ne varient guère d'intensité, les sons varient beaucoup sous ce rapport. Ainsi, à des causes presque constantes, répondraient des effets très-variables ?

Nous avons pris des informations auprès de personnes compétentes ; aucune n'a pu affirmer que les sons dont il est question ont une origine électro-magnétique. Ces effets, très-variables, s'expliquent mieux en admettant des causes également très-variables : des changements brusques dans la température, les mouvements atmosphériques, etc. Les harpes éoliennes chantent sans le secours de l'électricité.

Les circonstances dans lesquelles M. de la Rive a opéré et celles réalisées dans l'installation des lignes télégraphiques, présentent certainement entre elles beaucoup d'analogie. Mais l'analogie est une source à laquelle on ne doit puiser qu'avec défiance ; il ne faut pas en abuser.

Nous terminons en remerciant M. du Moncel de nous avoir fourni la matière d'une discussion qui n'a pas été sans intérêt pour beaucoup de savants, s'il faut en juger d'après le nombre de lettres que nous avons reçues à ce sujet.

Voici, enfin, la Note susmentionnée de M. du Moncel à l'Académie des sciences.

Sur un système de téléphone sans organes électro-magnétiques, basé sur le principe du microphone.

« Jusqu'à présent le microphone n'avait été considéré que comme un transmetteur téléphonique, et l'on n'aurait guère soupçonné qu'il pût constituer un récepteur destiné à reproduire à l'oreille les sons transmis par un appareil du même genre ; c'est pourtant ce que MM. *Hughes, Blyth et Robert H. Courtenay* nous apprennent aujourd'hui.

Un microphone convenablement disposé parle distinctement; quoique moins fortement que le téléphone, et le microphone ordinaire lui-même (du modèle que construisent *MM. Berjot et Chardin*) peut reproduire à l'oreille les sons résultant de vibrations mécaniques produites sur la planchette servant de support à l'appareil.

Ainsi les grattements faits sur le support de l'appareil, les trépidations et les sons déterminés par une boîte à musique placée sur le microphone sont parfaitement entendus ; une pile Leclanché de quatre éléments suffit pour cela. Nous avons bien le *téléphone à mercure de M. A. Breguet*, qui ne comporte pas d'organes électro-magnétiques et qui émet des sons par les vibrations résultant des oscillations de la colonne mercurielle ; mais, dans l'appareil en question, les effets produits sont bien plus extraordinaires, car la vibration destinée à les produire ne peut résulter que des variations d'intensité d'un courant fermé par l'intermédiaire de mauvais contacts, et, pour entendre les sons, il suffit de placer l'oreille contre la planchette sur laquelle les charbons sont montés. Est-ce aux répulsions exercées entre les éléments contigus d'un même courant qu'il faut rapporter cette action ? ou bien faut-il supposer, comme M. Hughes, que le courant électrique lui-même n'est qu'une vibration moléculaire ?

(Voici ce que M. Hughes m'écrit à ce sujet: *J'hésite à vous dire où tous ces effets vont nous mener ; car vous verrez, en étudiant la question, qu'un courant électrique n'est rien autre qu'une vibration moléculaire, et que cette vibration devient manifeste dès que les molécules du conducteur sont rendues libres de se mouvoir, par suite du faible contact produit sous l'influence d'une pression très-légère entre deux ou plusieurs parties constituant de ce conducteur. Si le courant électrique n'est qu'une vibration moléculaire, cela pourrait nous mener très-loin, car on pourrait en inférer qu'il pourrait en être de même des autres causes physiques impondérables*).

L'action qui est en jeu dans ce phénomène serait-elle la même que celle qui détermine des sons dans un fil de fer traversé par un courant interrompu et que *M. de la Rive* a si bien étudiée dans son Mémoire présenté à l'Académie en 1846 ?

Il serait imprudent de se prononcer dans l'état actuel de la question ; toujours est-il que le fait existe et qu'on ne peut le rapporter à une transmission mécanique des vibrations, car, quand le circuit est interrompu en un point quelconque, aucun son ne peut être entendu.

Il est vrai que, quand M. Blyth a annoncé pour la première fois ces résultats, il a rencontré, même en Angleterre, beaucoup d'incrédules, et je dois dire que les expériences que j'avais tentées moi-même pour le vérifier n'étaient pas de nature à me convaincre, car elles n'avaient donné que des résultats négatifs ; mais, maintenant que le fait est bien acquis, grâce à M. Hughes qui, de son côté et antérieurement (*M. Hughes avait communiqué le résultat de ses expériences à M. Preece dès les premiers jours de Mai.*), avait étudié la question avec ses appareils, il est probable qu'on retrouvera les effets annoncés par M. Blyth en expérimentant dans de bonnes conditions.

« La forme de microphone qui convient le mieux pour transmettre et recevoir la parole est, du moins jusqu'à présent, la suivante :

Sur une planchette verticale de la taille de celle des microphones ordinaires, on pratique une ouverture assez grande pour y introduire le cornet d'un téléphone à ficelle ordinaire, en ayant soin que la membrane de parchemin affleure la surface de la planchette du côté où est placé le microphone. Cette membrane porte à son centre un morceau de charbon de sapin métallisé mis en rapport avec le circuit de la pile, et contre ce morceau de charbon est appliqué, sous une très-légère pression, un autre morceau de la même matière, adapté à l'extrémité supérieure d'un levier vertical pivotant par sa partie médiane sur deux points. Ce levier est interposé dans le circuit, et un ressort à boudin très-fin, dont on peut régler la tension, permet de rendre aussi faible qu'on peut le désirer la pression exercée au point de contact des deux charbons ; enfin le tout est enveloppé dans une ne laisse dépasser extérieurement que le cornet acoustique. Dans ces conditions la parole peut être transmise et entendue sous l'influence d'une pile relativement faible (cinq éléments Leclanché), mais elle est toujours beaucoup moins accentuée qu'avec le téléphone Bell.

« Dans les expériences de M. Blyth, le microphone était constitué par de gros fragments de charbon échappés à la combustion et désignés en Angleterre sous le nom de cinders gas, et ces charbons remplissaient une boîte plate de 15 pouces sur 9, munie de deux électrodes en fer-blanc. Une pile de deux éléments de Grove, adaptée à deux appareils de ce genre, permettait de transmettre et d'entendre la parole. En substituant à l'une de ces boîtes un téléphone et en versant de l'eau dans l'autre boîte, M. Blyth put se passer de pile, et les paroles prononcées devant la boîte purent être parfaitement entendues dans le téléphone. D'après ce savant, les sons transmis ne pouvaient résulter que de l'action des charbons, car, quand ceux-ci étaient enlevés, aucun son n'était perceptible.

« Comme je l'ai déjà dit, je n'ai pu entendre aucun son avec le dispositif indiqué précédemment ; il est vrai que j'avais employé des escarbilles qui, bien qu'indiquées dans le Mémoire de M. Blyth, n'étaient pas probablement dans de bonnes conditions ; mais, en disposant sur les deux côtés opposés d'une petite boîte plate de 10 centimètres sur 6 deux électrodes zinc et cuivre, et remplissant l'intervalle avec de gros fragments de charbon de cornue assez rapprochés les uns des autres pour constituer une couche à peu près continue, j'ai pu, par l'immersion des charbons dans de l'eau, obtenir sans pile un très bon transmetteur de téléphone. Tous les bruits et même la parole étaient nettement reproduits, et l'on avait l'avantage de ne pas entendre ces crachements désagréables qui accompagnent quelquefois les sons provoqués par le microphone.

« Je disais à l'instant que les effets produits dans un microphone employé comme récepteur étaient difficiles à expliquer et qu'ils avaient peut-être quelques rapports avec ceux qui se produisent dans un fil de fer traversé par un courant fréquemment interrompu ; mais voici d'autres phénomènes du même genre qui doivent évidemment avoir une certaine parenté avec ceux dont il est question dans cette Note.

« Ainsi **M. des Portes**, dans un complément au Mémoire qu'il m'a envoyé, a reconnu que, si l'on interpose un barreau aimanté dans le circuit d'un téléphone, en faisant en sorte que les deux bouts du fil du circuit qui établissent les contacts fassent quelques circonvolutions autour de ses extrémités polaires, les coups frappés sur l'aimant avec une tige de fer sont perçus dans le téléphone, mais à la condition cependant que l'un des pôles de cet aimant soit muni d'une plaque de fer.

D'un autre côté, j'ai reconnu que des grattements effectués sur l'un des fils qui réunissent deux téléphones entre eux sont perçus dans ces téléphones, quel que soit d'ailleurs le point du circuit où ces grattements sont produits. Les sons ainsi provoqués sont à la vérité très-faibles, mais ils se distinguent nettement et acquièrent une plus grande intensité quand le grattement est effectué sur les bornes d'attache des téléphones.

Tous ces sons, d'ailleurs, ne peuvent pas évidemment être la conséquence d'une transmission mécanique de vibrations, car, quand le circuit est interrompu, on ne peut en percevoir aucun.

D'après ces expériences, on pourrait croire que certains bruits que l'on constate dans les téléphones expérimentés sur les lignes télégraphiques pourraient bien provenir des frictions des fils sur les supports, frictions qui donnent lieu à ces sons souvent si intenses que l'on entend quelquefois sur certaines lignes télégraphiques. »

1878 Il y a de la contestation dans l'air

Au sujet de l'invention récente du microphone et de la découverte de quelques-unes de ses principales applications, notamment de son emploi comme thermoscope, il s'est engagé entre M. Edison, d'un côté, et MM. Hughes et Preece, de l'autre, une vive polémique à laquelle n'ont pas tardé à prendre part un certain nombre des organes scientifiques qui se publient de l'un et de l'autre côté de l'Atlantique. Sans vouloir intervenir dans le débat, qu'il nous soit permis de résumer brièvement les faits en les faisant suivre de quelques observations qu'ils nous paraissent comporter.

Dès 1876, on le sait, M. Edison a inventé un téléphone, dit téléphone à charbon, basé sur les variations de résistance qu'éprouve un disque de noir de fumée suivant le plus ou moins de compression qu'il subit.

Plus récemment, il a imaginé sous le nom de microtasimètre, un appareil où les plus petites variations de la température seraient accusées également par le plus ou moins de compression d'un morceau de charbon actionné par la dilatation d'un corps sensible à la chaleur.

De son côté, M. le Professeur Hughes a commencé, au mois de Mai dernier, à publier une série d'expériences qui l'ont conduit à imaginer, sous le nom de microphone, un transmetteur téléphonique extraordinairement sensible dont les modèles, susceptibles de nombreuses variations, sont tous basés sur les changements d'intensité que subit le courant, suivant le plus ou moins d'intimité des points de contact des conducteurs et il a montré ultérieurement que le microphone constituait un thermoscope très-sensible.

Dès que les résultats des expériences du Professeur Hughes ont commencé à être connus en Amérique,

M. Edison, sans plus ample informé, a lancé immédiatement par le télégraphe et par la voie de la presse, une protestation violente contre ce qu'il appelait, de la part du Professeur Hughes, un vol, une piraterie scientifique et, de la part de M. Preece, un abus inqualifiable de confiance.

(M. Preece a eu occasion d'entrer en relation avec M. Edison lors de son récent voyage en Amérique et d'être mis ainsi par lui au courant du détail de ses travaux et de ses idées. C'est M. Preece qui, à son retour, a patronné en Europe les principales inventions de M. Edison. C'est lui également qui a fait connaître un des premiers les recherches du Professeur Hughes.)

Aussi violemment attaqués, M. Hughes et M. Preece répondirent l'un et l'autre par une contre protestation indignée ; le premier affirmant que les inventions et les idées de M. Edison n'étaient pour rien dans ses recherches et qu'elles avaient été plutôt inspirées par les récents travaux de Sir [William Thomson](#) sur les altérations de la résistance que subissent les fils de fer par suite de leur extension ou de leur compression ; le second repoussant énergiquement l'accusation d'avoir livré au Professeur Hughes le secret d'aucunes des idées de M. Edison et établissant que les inventions que celui-ci invoque en faveur de ses **droits de priorité** étaient connues déjà du public, en Europe aussi bien qu'en Amérique, au moment où M. Hughes procédait à ses recherches et en publiait les résultats.

La presse ne tarda pas à prendre partie entre les deux camps, en Amérique, plus généralement en faveur de M. Edison, en Angleterre, universellement croyons-nous, en faveur de M. Hughes et de M. Preece. Quant aux organes de l'Europe continentale, moins au fait, sans doute, de la question, peu d'entre eux se sont encore lancés dans le débat.

Toutefois les quelques journaux scientifiques français qui se sont occupés du sujet en litige, se sont rangés déjà du même côté que les journaux anglais et nous ne croyons pas qu'il y ait dans les autres pays un seul organe qui ait pris en main la cause de M. Edison. Aux Etats-Unis même, à mesure que la question est mieux connue, il paraît se produire un certain revirement et quelques-uns des journaux les plus autorisés reviennent aujourd'hui sur leurs premières impressions.

C'est qu'en effet, au jugement de tout esprit impartial, croyons-nous, les revendications de M. Edison paraîtront aussi injustifiables dans le fond que dans la forme.

Nous ne pouvons pas entrer ici dans le cœur d'une question qui, pour être pleinement discutée, nécessiterait d'abord l'exposé détaillé des inventions rivales.

Disons seulement qu'il n'y a guère entre le téléphone à charbon ou le micro-tasimètre de M. Edison et le microphone de M. Hughes, d'autre point commun que cette propriété, sur laquelle ces trois inventions sont basées, de la variation de la résistance avec la compression du corps employé, dans l'espèce le charbon, propriété connue depuis longtemps et qui fait partie du domaine public de la science. En ce qui concerne le Professeur Hughes notamment, ce ne sont certes pas les travaux de M. Edison qui la lui ont révélée, lui qui déjà en 1866, faisait connaître en Allemagne le rhéostat imaginé à la fin de 1865 par M. Çlérac, précisément sur le principe de la compression de la poudre de graphite (.

Journal télégraphique du 25 Mars 1874, vol. II, p. 425)

Quant à l'expression donnée par M. Edison à sa protestation, nous n'avons pas besoin de dire que dans aucun cas, nous n'aurions pu l'approuver et que des revendications ainsi formulées contre des notoriétés scientifiques telles que le Professeur Hughes et M. Preece ne sauraient jamais servir la cause de celui qui y recourt.

Une curieuse expérience micro-téléphonique.

Le 19 Juin 1878 a eu lieu à **Bellinzone** (Suisse) une curieuse expérience micro-téléphonique. Une troupe italienne de passage devait donner ce jour-là au théâtre de cette ville l'opéra de Donizetti, Don Pasquale. M. Patocchi, inspecteur-adjoint du 6^e arrondissement télégraphique de la Suisse, a eu l'idée de profiter de cette occasion pour expérimenter les effets combinés du microphone à charbons de Hughes comme appareil transmetteur et du téléphone de Bell comme appareil récepteur. A cet effet, il installa dans une loge du 1^{er} rang, à côté du proscenium, un microphone Hughes qu'il relia au moyen de deux fils de 11/ 2 mm de diamètre à quatre récepteurs Bell disposés dans une salle de billard, audessus du vestibule du théâtre même, salle où ne parvient aucun des bruits de l'intérieur du théâtre. Dans le circuit et près du microphone de Hughes, était intercalée une petite pile de deux éléments du modèle ordinaire de l'Administration suisse.

Les résultats ont été aussi heureux et aussi complets que possible.

Les téléphones reproduisaient exactement, avec une clarté et une netteté merveilleuses, aussi bien les sons de l'orchestre que le chant des artistes. Plusieurs spectateurs ont constaté, avec M. Patocchi, que l'on ne perdait pas une note des instruments ou des voix, qu'on distinguait parfaitement les mots prononcés, que les airs étaient reproduits dans leur ton naturel, avec toutes leurs nuances, les piano comme les forte, les motifs doux comme les passages de force et plusieurs dilettanti amateurs ont même assuré à M. Patocchi que, par cette seule audition au moyen des téléphones, l'on pouvait apprécier les beautés musicales, les qualités des voix des artistes et généralement juger de la pièce elle-même, comme pouvaient le faire les spectateurs à l'intérieur du théâtre.

Les résultats ont été les mêmes en introduisant dans le circuit des résistances jusqu'à 10 kilomètres, sans augmenter le nombre des éléments de la pile.

C'est, croyons-nous, la première expérience de ce genre qui ait été faite, en Europe du moins, dans un théâtre sur un opéra complet et ceux qui connaissent toute la légèreté et la grâce des mélodies de Don Pasquale, apprécieront à quelle sensibilité doit atteindre la combinaison du microphone de Hughes et du téléphone de Bell, pour ne rien laisser perdre des délicatesses de cette musique.

Cette expérience sera suivie par le développement du [Théaatrophone](#) en France, exposé [dans cette page](#).

Le mois suivant, le "**Journal télégraphique**" du 25 août 1878, en rubrique "Sur la théorie du téléphone", M. du Moncel et M. Navez nous ont transmis, chacun de son côté, une réponse à leurs observations respectives que nous avons publiées dans notre dernier numéro.

Nous insérons ces réponses dans l'ordre des dates auxquelles elles nous sont parvenues, en continuant de nous abstenir de tout commentaire et en laissant à nos lecteurs sous les yeux tous les arguments invoqués successivement en faveur de l'une ou de l'autre thèse, le soin de se former eux-mêmes leur opinion sur le point en litige.

Voici, d'abord, la lettre de M. du Moncel.

Monsieur le Directeur,

Je désirais terminer la discussion ouverte par M. Navez par la dernière lettre que je vous ai envoyée ; mais sur l'avis de plusieurs de mes amis et de ceux qui sont dans les mêmes idées que moi sur la théorie du téléphone, je me trouve en quelque sorte obligé de continuer cette discussion, bien qu'à vrai dire les découvertes nouvelles semblent montrer qu'il n'y a pas de théorie du téléphone est encore bien loin d'être établie d'une manière satisfaisante.

Il est toujours résulté de cette discussion, et c'est là le point important, que M. Navez admet maintenant qu'un téléphone sans diaphragme peut émettre des sons, et dans des conditions exceptionnelles de phonation et d'audition, peut reproduire le son de la voix humaine, sans qu'on puisse toutefois reconnaître s'il y a ou non articulation. Il nous suffirait, d'après cela et en nous reportant à notre théorie, de dire qu'en admettant un renforcement de l'action électrique ou magnétique, ces sons intelligibles pourraient devenir la reproduction de la parole.

Or, ce renforcement se trouve précisément effectué par le diaphragme qui joue le rôle d'armature. Mais il s'agit de préciser les faits et il convient d'examiner

1° si l'attraction joue un rôle appréciable dans les effets produits et est capable de déterminer les vibrations transversales nécessaires, d'après M. Navez, à l'articulation des sons ;
2° si cette articulation des sons dépend du récepteur ou du transmetteur ;

3° si les effets constatés par M. Navez ne peuvent pas s'expliquer d'une manière toute différente qu'il ne l'a fait.

Sans parler de la remarquable découverte, inconciliable avec les idées de M. Navez, que le téléphone, comme je l'ai déjà établi dans ma lettre précédente (parue le mois dernier), peut reproduire la parole sans aucun organe électro-magnétique, examinons si même pour les téléphones pourvus de ces organes, l'attraction joue dans les vibrations du diaphragme le rôle que M. Navez lui suppose.

Les expériences que cite M. Navez ne lui font préjuger les effets d'attraction que par les vibrations qui doivent, suivant lui, en résulter et qui se trouvent éteintes quand on les arrête par une sorte d'étouffoir. Ici je suis d'abord obligé de rappeler à M. Navez que par le mot vibration moléculaire je n'ai jamais entendu parler d'une vibration exempte d'effets mécaniques. Une vibration matérielle peut résulter de contractions et de dilatations moléculaires, quand ces actions peuvent se développer librement, et pour moi, comme pour M. Hughes, les vibrations longitudinales dont j'ai parlé doivent être accompagnées d'un mouvement vibratoire des surfaces. Voici maintenant une expérience de M. Hughes qui montre, ce me semble, bien nettement que l'attraction n'est pour rien dans les vibrations dont nous venons de parler.

Prenons deux barreaux aimantés identiques en longueur, en diamètre et en force et disposons les de manière à constituer le système électro-magnétique d'un téléphone, en ayant soin de les bien isoler magnétiquement l'un de l'autre et en les recouvrant tous les deux à leur extrémité active avec une même bobine. Si on dispose ces deux aimants de manière à présenter les uns à côté des autres des pôles de même nom, on aura un téléphone dans les conditions ordinaires dans lequel toutes les actions seront conspirantes dans un même sens ; mais si on renverse la position réciproque des deux aimants, c'est-à-dire si on place un pôle sud à côté d'un pôle nord, les actions seront en discordance, et les effets d'attraction magnétique résultant des courants transmis seront sinon neutralisés l'un par l'autre du moins considérablement amoindris. Or c'est avec cette disposition que le téléphone donne les meilleurs effets. Cette expérience a été répétée de diverses manières par M. Hughes et M. Millar l'avait également faite de son côté et indépendamment de M. Hughes. Il est évident que si l'action attractive fût intervenue, l'effet inverse se serait produit.

D'un autre côté, si on constitue le diaphragme d'un téléphone avec une masse de fer un peu épaisse, la parole est, il est vrai, transmise plus difficilement ; mais c'est parce que les aimantations et les désaimantations s'effectuent alors plus lentement et d'une manière moins complète en raison du magnétisme rémanent. Composez ce diaphragme avec plusieurs lames très-minces superposées, il reproduira mieux la parole qu'en employant une seule lame, et c'est même une des améliorations que M. Hughes a apportées à la construction des téléphones. Or, il est bien évident que si l'attraction jouait un rôle, elle ne s'exercerait que sur le premier diaphragme, celui-ci servant d'écran à l'action magnétique pour les autres. Dans ces conditions l'avantage du système réside donc dans la surexcitation plus grande qui est donnée au système magnétique par l'augmentation de masse de la lame armature, avantage qui n'est plus dans ce cas altéré par l'inertie magnétique qui existe dans les armatures massives ?

(M. Hughes prétend qu'ils sont annulés dans ce cas et voici son raisonnement. Supposez que les pôles des deux aimants agissant sur le diaphragme exercent une attraction représentée par 5 pour chacun d'eux ; quand les deux pôles sont de même nom, l'attraction initiale totale sera représentée par 10. Supposez que l'action du courant leur communique une aimantation capable de leur faire produire une force attractive double, l'attraction totale au moment des renforcements sera représentée par 20. Si on considère maintenant ce qui arrive quand les pôles magnétiques sont disposés en sens contraire l'un de l'autre, on reconnaîtra que l'attraction initiale sera encore 10, mais quand le courant agira, le pôle qui sera en concordance avec l'action du courant et dont la force était représentée par 5 déterminera une force attractive de 10, tandis que celui qui sera en discordance avec l'action du courant aura sa force réduite à (5 — 5) ou à zéro ; la force totale ne sera donc représentée que par 10, comme elle était avant l'action du courant. « Par conséquent, conclut-il, si c'était l'attraction qui était en jeu dans le phénomène, les courants transmis n'auraient aucune action sur le téléphone récepteur. » Ce raisonnement, toutefois, ne doit pas être pris au pied de la lettre, et je ne l'ai rapporté que pour matérialiser en quelque sorte la pensée de M. Hughes.

Ce même avantage se retrouve dans les électro-moteurs de MM. Camacho et Chutaux dans lesquels les armatures électromagnétiques sont composées de lamelles de fer juxtaposées (Voir mon « Exposé des applications de l'électricité », tome Y, p. 347)

Voici encore deux autres expériences de M. Hughes qui sont aussi probantes :

1° Si une armature de fer doux est appliquée sur les pôles d'un électro-aimant à deux branches solidement fixé sur une planche, et qu'on interpose entre cette armature et les pôles magnétiques des morceaux de papier afin d'éviter les effets du magnétisme condensé, on peut en reliant cet électro-aimant à un microphone parleur entendre sur la planche servant de support à l'électro-aimant les mots prononcés dans le parleur.

2° Si on oppose par leurs pôles de noms contraires deux électro-aimants, mis en rapport avec un microphone, en ayant soin de séparer ces pôles fortement joints par des morceaux de papier, on obtiendra clairement la reproduction de la parole, comme dans le cas précédent, sans qu'il y ait besoin d'armature ni de diaphragme.

Nous allons examiner maintenant si l'articulation des sons dépend du récepteur ou du transmetteur. Les expériences que M. Hughes a faites avec le microphone peuvent donner quelques renseignements intéressants sur cette question.

D'après ces expériences, il est démontré que les sons articulés sont beaucoup mieux reproduits avec des charbons de sapin métallisés qu'avec des charbons de corne, tandis qu'au contraire les sons simples sont mieux transmis avec ces derniers.

Si l'on examine l'intensité des courants transmis dans les deux cas, on reconnaît pourtant que le courant est beaucoup plus faible avec les charbons de bois qu'avec les charbons de corne ; mais c'est précisément à cause de cette plus grande résistance des charbons de bois que les différences dans les intensités du courant résultant des différences de pression sont plus accentuées, et que les nuances les plus fines des sons articulés sont mieux accusées dans le téléphone. Plus ces différences seront accentuées au transmetteur et plus le système électro-magnétique du récepteur sera impressionnable aux réactions électriques, plus la parole sera distincte, et ce ne sera pas une question de vibrations transversales ou longitudinales qui sera la cause déterminante.

J'en arrive maintenant à la question de savoir si les effets constatés par M. Navez ne peuvent pas s'expliquer autrement qu'il ne l'a fait.

Je vois surtout qu'il regarde comme preuve à l'encontre de mes idées, qu'en employant des masses de fer un peu volumineuses il diminue la sensibilité du téléphone ; il en parle en plusieurs endroits de sa Note, et nous avons vu précédemment que ces effets tenaient à l'inertie magnétique du fer qui est d'autant plus considérable que la masse est plus grande. D'un autre côté, il montre qu'avec une masse extrêmement faible il obtient la reproduction de la parole, parce que, selon lui, cette masse peut vibrer plus facilement ; mais je crois que c'est simplement parce qu'elle s'aimante et se désaimante plus promptement ; il ne faut pas d'ailleurs perdre de vue qu'une surexcitation magnétique peut résulter de l'action d'un fil de fer fin ;

j'en ai fait souvent l'expérience.

L'augmentation du son reproduit suivant l'étendue de la surface vibrante n'est pas en contradiction avec ma théorie, puisque je ne comprends pas une vibration moléculaire sans déplacement subséquent des surfaces extérieures du corps qui y est soumis.

Pour terminer je vais passer en revue l'analyse que fait M. Navez des travaux des auteurs dont j'avais parlé et dans lesquels il croit trouver des arguments plutôt en faveur de sa théorie que de la mienne. Je commencerai par les expériences de M. Warwick. M. Navez affirme que cet auteur n'aurait fait que dire qu'il aurait entendu dans un téléphone Bell sans plaque, mais que cela ne veut pas dire qu'il ait compris. Or voici ce que M. Warwick dit dans sa Note :

« Alors j'ai essayé sans qu'il y eût rien d'interposé et j'ai placé mon oreille tout contre l'aimant et la bobine, et ce qui est vraiment très-curieux, sans aucune plaque vibrante, j'ai pu entendre faiblement, et en écoutant attentivement j'ai pu comprendre tout ce qu'on disait. La chose a été répétée plusieurs fois : la transmission mécanique du son était impossible, etc (Voir *Les Mondes* du 2 Mai, page 5). »

En second lieu, le passage de M. Preece auquel j'ai fait allusion est emprunté à une brochure de ce savant intitulée : "*Sur quelques points physiques étant en rapport avec le téléphone*".

Après avoir cité une lettre de M. Edison du 25 Novembre 1877 dans laquelle celui-ci dit avoir fait des expériences avec des téléphones ayant un diaphragme de cuivre au lieu d'un diaphragme de fer, M. Preece ajoute : « J'ai répété ces expériences, mais l'effet fut si faible qu'il était à peine distinct et, quoique intéressant au point de vue scientifique, il ne m'a pas paru pratique. »

Or la pratique n'a rien à faire avec la question qui nous occupe, et l'action des diaphragmes en cuivre au point de vue de la réception des sons ne peut pas être plus expliquée avec la théorie de M. Navez que celle des téléphones sans diaphragme.

Je n'ai pas prétendu que M. Blyth avait fait des expériences avec des téléphones sans diaphragme, mais ce qu'il dit des effets qu'il a obtenus est inexplicable avec la théorie de M. Navez.

Quant à l'expérience de M. Guillemin que M. Navez tourne en faveur de son opinion, j'avoue ne pas saisir la finesse de son raisonnement, car M. De la Rive la cite précisément, comme moi, en faveur de notre opinion commune. Nous voyons une action de contraction magnétique qui détermine un effet matériel, effet que j'admets parfaitement et que je regarde comme une conséquence de l'action moléculaire.

Enfin, M. Navez se méprend complètement et j'ignore qui a pu l'induire en erreur à cet égard dans la rédaction de ma dernière lettre, en disant que je regarde les sons produits dans les fils télégraphiques comme le résultat du passage d'un courant. Je n'ai jamais dit une pareille énormité, et j'ai consacré un paragraphe entier dans mon « Exposé des applications de l'électricité », tome II, page 480 et dans mon « Traité de télégraphie électrique », page 245, pour démontrer le contraire.

Je n'ai parlé de ces effets dans ma lettre que pour indiquer ce que j'entendais par le mot vibrations longitudinales.

En résumé tout le mémoire de M. Navez, d'ailleurs fort bien fait, ne prouve rien contre les idées théoriques que j'ai émises, et je crois que devant les phénomènes qu'on découvre tous les jours, il serait imprudent de soutenir que la véritable théorie de ces effets est trouvée. Nous avons affaire à un élément nouveau qui n'est pas encore suffisamment étudié, et le mieux est de dire que **l'explication du téléphone est encore incertaine**.

Je vous prie, Monsieur le Directeur, d'agréer, etc.

Paris, le 7 Août 1878. TH. DU MONCEL.

Voici maintenant la lettre de M. Navez.

Monsieur,

Dans sa dernière lettre, M. du Moncel m'accuse de tronquer les passages de son travail que je cite pour les discuter. L'accusation est grave parce qu'elle implique une idée de mauvaise foi, mais elle ne peut m'atteindre. En effet, M. du Moncel perd de vue que ses notes et les miennes ayant été insérées en même temps dans les bulletins de l'Académie (*L'Académie royale de Belgique*), le public savant a toujours pu comparer les citations avec le texte complet: je m'en rapporte à son appréciation.

M. du Moncel me demande comment j'explique « avec ma théorie des mouvements attractifs du diaphragme des téléphones, la reproduction de la parole par un récepteur dépourvu de tout organe électro-magnétique ? »

Je demande à mon tour à M. du Moncel comment il explique la reproduction de la parole par un récepteur dépourvu de tout organe électro-magnétique, alors qu'il considère le noyau, c'est-à-dire l'organe électro-magnétique du système Bell comme le « siège du son reproduit ? »

M. Edison a trouvé le principe fécond de la modification de l'intensité du courant électrique par la compression des corps conducteurs imparfaits et, spécialement du charbon.

M. Hughes, si le fait annoncé par M. du Moncel se vérifie, aura prouvé que le principe dû à M. Edison est réciproque, c'est-à-dire que les variations du courant produisent des mouvements mécaniques dans les charbons. Cette découverte, M. Hughes pourra à bon droit la considérer comme sienne et elle lui fera plus d'honneur que l'invention du microphone amplificateur du son, laquelle n'est qu'une extension du principe de M. Edison. L'action du courant sur le charbon étant admise, la reproduction de la parole par le récepteur Hughes s'explique tout simplement par les vibrations mécaniques de la membrane avec laquelle le charbon est en contact. Le courant électrique ne peut évidemment avoir aucune action moléculaire sur le diaphragme en parchemin.

J'ai sons les yeux une lettre de M. Hughes dans laquelle, après avoir dit qu'il partage les idées de M. du Moncel, il ajoute en parlant de son nouveau récepteur « il a aussi un pouvoir vraiment mécanique puisqu'il a la force suffisante pour « donner le mouvement au diaphragme. » Ces idées de M. Hughes ne s'accordent nullement avec celles de M. du Moncel, lequel se refuse à admettre les vibrations mécaniques du diaphragme dans le récepteur Bell. Elles ne s'accordent pas plus avec l'interprétation que donne M. du Moncel des résultats de l'expérience faite par M. Luvini (*Août 1878. HAVEZ*). Cette interprétation me paraît, au reste, tout-à-fait inexacte. Si l'action du courant électrique a été sans effet sur le niveau de l'eau dans le tube capillaire, on ne peut en conclure qu'il n'y a pas eu de déplacement de surface. D'après les expériences de M. Joule, un cylindre en fer, sous l'action d'un courant électrique, s'allonge en même temps qu'il diminue de diamètre. L'électro-aimant tubulaire de M. Luvini a dû subir des effets analogues et sa capacité intérieure a pu ne pas varier, l'allongement étant compensé par le rétrécissement.

La discussion me paraît épuisée ; les pièces sont étalées, le public savant peut apprécier.

Recevez, Monsieur, etc.

Le mois suivant, le "*Journal télégraphique*" du 25 septembre 1878, en rubrique "Sur la théorie du téléphone",

Les dernières lettres sur la théorie du téléphone publiées dans notre Numéro du mois d'Août ont provoqué respectivement, de M. du Moncel et de M. Navez, des réponses que nous insérons ci-après avec les extraits des documents auxquels elles se réfèrent. Nous espérons, d'ailleurs, que ce seront les dernières communications que nous recevrons au sujet d'une polémique dont la prolongation ne saurait plus offrir, ce semble, d'intérêt pour nos lecteurs. Comme l'ont dit successivement les deux parties en litige, la discussion est épuisée et c'est au public à apprécier.

Voici, d'abord, la lettre de M. du Moncel.

Monsieur le Directeur,

Je suis encore obligé de répondre à M. Navez que dans la dernière lettre à laquelle il fait allusion, je n'ai fait que rétablir le texte de ma note, tel qu'il a paru aux Comptes-rendus de l'Académie des sciences (1), et en second lieu que je n'ai jamais nié l'intervention de vibrations mécaniques issues des effets moléculaires. Il peut s'en assurer en relisant ma première note qui a provoqué la discussion et mon avant-dernière lettre à laquelle il a répondu.

Je dois lui faire encore observer que si M. Edison a appliqué d'une manière très-heureuse le principe fécond de la modification de l'intensité du courant électrique par la compression des corps conducteurs imparfaits, c'est moi qui ai le premier découvert ce principe, et cela dès l'année 1856. J'ai eu occasion de l'étudier depuis à plusieurs reprises, en 1864, en 1872, en 1874 et en 1875, et j'ai rapporté dans les Comptes rendus de l'Académie des sciences du 22 et du 29 Juillet 1878 les différents passages de mes Mémoires où j'en parle (2). (Voir la lettre de M. W. Thomson à ce sujet) (3)

1) Voir le *Journal télégraphique* du 25 Mars 1878, p. 61, ligne 37 en descendant.

2) Voici les passages rappelés dans les Comptes-rendus susmentionnés du 22 et du 29 Juillet dernier:

« Une chose assez curieuse à constater, et qui paraît au premier abord en contradiction avec la théorie qu'on s'est faite de l'électricité, c'est que la plus ou moins grande pression exercée entre les pièces de contact des interrupteurs influe considérablement sur l'intensité du courant qui les traverse. Cela tient souvent à ce que les métaux de l'interrupteur ne sont pas toujours dans un état parfait de décapage au point de contact, mais peut-être aussi à une cause physique encore mal appréciée. Ce qui est certain, c'est que dans les interrupteurs où la pièce mobile de contact est sollicitée par une force extrêmement minime, le courant éprouve souvent des affaiblissements assez notables pour faire manquer la réaction électrique qu'on attend d'eux. » (*Exposé des applications de l'électricité*, page 246, édition de 1866).

« La résistance du milieu intermédiaire avait pour valeur, avec la poussière sèche de charbon de bois, de 1,200 à 2,000 kilomètres de fil télégraphique, et avec les poussières métalliques ou de charbon de cornue, de 1,200 à 2,000 mètres, suivant l'état plus ou moins brillant de la surface des grains métalliques et leur degré de tassement autour des électrodes, etc. »

(*Comptes-rendus* du 2 Décembre 1872).

« Quand on chauffe les limailles métalliques, aussi bien que les poussières des minerais métalliques très-conducteurs et celles du graphite ou du charbon de cornue, leur conductibilité, au premier moment, semble diminuer plus ou moins, mais elle augmente ensuite rapidement dans de grandes proportions « L'amoindrissement de conductibilité que l'on constate, en premier lieu, proviendrait-il d'une augmentation réelle de résistance que ces corps auraient acquise sous l'influence de la chaleur, à l'instar des corps métalliques massifs, et l'augmentation de conductibilité que l'on constate après, et qui est infiniment plus développée, proviendrait-elle de la dilatation des particules de la limaille, dilatation qui fournirait dès-lors, entre elles, un contact mieux assuré et analogue à celui qui résulterait d'une augmentation de pression exercée sur la limaille? Il est bien difficile de se prononcer; toujours est-il que la meilleure conductibilité qu'acquiert l'air interposé entre les grains de limaille ne paraît pas jouer un grand rôle, etc. »

(*Comptes-rendus* du 2 Novembre 1875).

« Le degré de la pression de la plaque de platine contre le bois a tellement influé sur l'intensité des courants transmis qu'étant de 12 degrés avec un serrage maximum, elle est revenue à zéro quand la plaque était abandonnée à son propre poids et à 5 degrés seulement avec un faible serrage. Il résulte de ces premières expériences que c'est à l'humidité aspirée à travers ses pores que le bois doit en très-grande partie sa conductibilité relative, et que cette conductibilité est en rapport avec le degré de pression des plaques de communication. (*Comptes-rendus* du 6 Juillet 1874). (Voir sur le même sujet les Numéros du 10 Août et du 7 Septembre 1874, du 2 Mai 1875).

« Avec des bobines de 186 spires, le décapage du fil fait au papier d'émeri n'a fait varier l'isolation que dans le rapport de 1,06 à 1,35 ; mais, dans d'autres conditions, par exemple quand l'hélice est enroulée sur un tube de verre et les spires fortement serrées, ce rapport est infiniment plus grand. Quoi qu'il en soit, quand le contact devient parfait entre les spires, aucun effet magnétique n'est produit. Ainsi un fil amalgamé enroulé en hélice ne détermine aucune attraction, et si l'on entoure l'hélice d'un électro-aimant à une seule rangée de spires d'une chemise de papier d'étain, les effets attractifs sont diminués considérablement.

Il résulte de tout cela que la juxtaposition des spires d'une hélice magnétisante les unes contre les autres constitue un contact imparfait qui, comme dans les limailles métalliques, oppose à la propagation des courants électriques une résistance considérable; mais cette résistance ne peut évidemment pas expliquer à elle seule une isolation des

spires de l'hélice magnétique aussi complète que celle que nous avons constatée.

La preuve, c'est que le contact de ces spires suffit pour conserver presque sans déperdition de force d'action du courant lorsqu'on a coupé en un ou plusieurs points le fil de l'hélice magnétisante. »

(Annales télégraphiques, tome VIII, p. 211, livraison de Mars-Avril 1865).

3) Voici cette lettre de Sir W. Thomson, telle que l'a publiée en traduction la Correspondance scientifique du 6 Août dernier. Nous la reproduisons in-extenso, car outre le témoignage invoqué par M. du Moncel, nous sommes heureux de voir le jugement porté par Sir W. Thomson sur le litige qui s'est élevé entre M. Hughes et M. Edison, en accord avec la manière dont nous l'avions apprécié nous-mêmes dans notre Numéro du 25 Juillet dernier (p. 151).

« Cowes, 30 Juillet 1878.

« Monsieur ,

« Au plaisir que le public a éprouvé en prenant connaissance de ces magnifiques découvertes qui, sous le nom de téléphone, de microphone et de phonographe, ont tant étonné le monde savant, est venu se mêler dernièrement, très-inutilement, j'ai besoin de le dire, un des incidents les plus regrettables qui puissent se produire. Il s'agit d'une réclamation de priorité accompagnée d'accusation de mauvaise foi, qui a été lancée par M. Edison contre une personne dont le nom et la réputation sont depuis longtemps respectés dans l'opinion publique.

« Avant de faire intervenir le public dans une semblable affaire, M. Edison aurait dû évidemment discuter sa réclamation avec M. Preece qui était, depuis l'origine de toutes ces inventions, en correspondance avec lui ; ou bien encore, il aurait pu, en s'adressant directement aux journaux publics, établir sa réclamation, en montrant avec calme la grande similitude qui pouvait exister entre son téléphone à charbon et le microphone de M. Hughes qui l'avait suivi. Le monde scientifique aurait alors pu juger le débat avec calme, il aurait pu s'y intéresser et examiner sainement ce qu'il pouvait y avoir de commun entre les deux inventions. Mais, par son attaque violente dans les journaux contre MM. Preece et Hughes et en les accusant de piraterie, de plagiat et d'abus de confiance, il a ôté tout crédit à sa réclamation aux yeux des personnes compétentes. Bien d'ailleurs n'était moins fondé que ces accusations. M. Preece fit lui-même la description détaillée du téléphone à charbon de M. Edison à la réunion de l'Association britannique qui eut lieu à Plymouth, en Août dernier ; il en fit ressortir le mérite, et les journaux publics en rendirent compte d'après sa communication.

Les magnifiques résultats présentés, au commencement de l'année, par M. Hughes, avec son microphone ont été décrits par lui-même sous une forme telle qu'il est impossible de mettre en doute qu'il n'ait travaillé sur son propre fonds et en dehors de toutes les recherches de M. Edison qu'il n'avait pas le plus petit intérêt à s'approprier.

« Il est vrai que le principe physique appliqué par M. Edison dans son téléphone à charbon et par M. Hughes dans son microphone est le même, mais il est également le même que celui employé par M. Clérac, fonctionnaire de l'Administration des lignes télégraphiques françaises, dans son tube à résistance variable qu'il avait donné à M. Hughes et à d'autres en 1866 pour des usages pratiques importants, appareil qui, du reste, dérive entièrement de ce fait signalé il y a longtemps par M. du Moncel que l'augmentation de pression entre deux conducteurs en contact produit une diminution dans leur résistance électrique.

« Je veux espérer que M. Edison finira par voir qu'il s'est laissé entraîner dans une mauvaise voie, et qu'il n'aura, par conséquent, pas de repos qu'il n'ait rétracté ses accusations. Il devra alors publier sa rétractation aussi largement que ses attaques. »

W. THOMSON

Enfin je dois encore dire à M. Navez que les expériences de M. Hughes ne sont pas à vérifier, car elles ont été répétées devant un grand nombre de personnes, et M. Edison lui-même, d'après un renseignement qu'il vient d'envoyer au journal l'Electricité, avait déjà observé ce phénomène dès l'année 1877.

Voici en effet le texte de cette réclamation: 24 Septembre 1877, Télégraphe parlant.

« Ce soir en essayant des parleurs, nous avons remarqué que les sons ordinaires étaient reproduits très-haut. Quand j'avais fait éloigner le receveur de M. Batchelor, celui-ci remarqua ou il crut entendre M. Adam parler dans le transmetteur. Cherchant à se rendre compte de cet effet, il répéta l'expérience et reconnut qu'il ne s'était pas trompé, et il continua la conversation avec M. Adams pendant plusieurs minutes en n'employant que leurs transmetteurs. La pile se composait de 12 éléments et le circuit était de 1,200 ohms (120 kilomètres de fil télégraphique). Mais avec 100, on pouvait fonctionner sur une ligne. Toutefois, comme les sons transmis étaient un peu bas, les sons reproduits l'étaient également, et même n'étaient

pas toujours entendus. Je me propose d'entreprendre une série d'expériences avec un récepteur basé sur le principe de l'expansion en me servant de différentes compositions. »

TH. A. EDISON, MAC BATCHELOR, J. ADAMS.

(Extrait du registre d'expériences de M. A. Edison).

Je n'ai pas besoin de répéter que ces effets ont été également obtenus par MM. Blyth, Courtenay, Millar, Wiesendanger et une foule d'autres personnes. Aujourd'hui, ces appareils sont même très-perfectionnés et sont en vente chez MM. Chardin et Berjot, Gaiffe, etc.

Du reste il faut que M. Navez se familiarise avec ces sortes de reproductions de la parole, car, en outre des expériences rapportées dans ma dernière note, en voici plusieurs autres dont on vient de me donner connaissance.

1° Si dans un téléphone Bell ordinaire on supprime le noyau magnétique et qu'on le remplace par un tube de cuivre épanoui sur la bobine de manière à former un anneau de même diamètre que le diaphragme, on obtient, sous l'influence d'un microphone et d'une pile de 6 éléments Leclanché, la reproduction de la parole avec une force plus grande que dans les conditions ordinaires d'un téléphone Bell.

2° Si entre les pôles d'un aimant en fer à cheval on adapte un noyau de fer doux mis en contact avec ces pôles et sur lequel sera enroulée une hélice magnétisante, on pourra entendre parfaitement la parole en fixant cet aimant sur une planche et en amplifiant les vibrations communiquées par lui à la planche au moyen d'un microphone à charbon vertical.

Suivant M. Hughes on entendrait avec cette disposition presque aussi bien qu'avec un téléphone Bell ordinaire. M. E. Varley, dans une lettre publiée dans le Télégraphie Journal du 15 Septembre, a confirmé l'exactitude de cette expérience et en indique même plusieurs autres, en ajoutant qu'elles ont confirmé les travaux de M. du Moncel qui a fait, dit-il, avancer considérablement la question, en jetant une grande lumière sur les actions, imparfaitement connues jusqu'ici, qui sont enjeu dans le téléphone articulant.

3° En adaptant sur une même planche deux microphones à charbon vertical et en les mettant en rapport, l'un avec un téléphone servant de récepteur, l'autre avec un autre microphone servant de transmetteur, on entendra dans le téléphone les paroles prononcées dans ce dernier microphone, et les deux autres formeront relais sans l'intervention d'aucun organe électro-magnétique. Il suffira pour cela d'une pile placée dans chaque circuit.

Je pourrais citer encore d'autres expériences, entre autres une de M. Paul Boy (d'Alger) qui ferait croire que l'on peut faire parler un téléphone sans que le courant transmis passe à travers la bobine de l'aimant, et rien qu'en traversant l'aimant dans sa longueur, mais je me borne aux précédentes

parce qu'elles émanent d'expérimentateurs habiles qui pourront prouver à M. Navez, quand il le voudra, la vérité de leur dire.

Je dois encore ajouter que plusieurs expérimentateurs, entre autres MM. Millar, Buchin et Lloyd, ont construit des téléphones sans diaphragme qui reproduisent très-bien la parole.

Enfin M. Navez n'a qu'à lire le Télégraphie Journal du 1er Septembre pour être convaincu que beaucoup de personnes ne partagent pas ses idées. Je renvoie du reste le lecteur aux trois articles qui ont été publiés dans le journal l'Electricité des 20 Août, 5 et 20 Septembre 1878, aux Comptes-rendus de l'Académie des sciences du 9 Septembre et à la Correspondance scientifique du 24 Septembre, pour qu'il puisse reconnaître que la majorité des savants dont parle M. Navez pourra bien se changer quelque jour en une très-grande minorité.

Je ne veux pas abuser de votre complaisance pour vous ennuyer davantage d'un débat dont M. Navez a voulu faire, bien malgré moi je vous assure, une affaire d'amour-propre.

Je termine donc ici ma plaidoirie en vous priant de me croire votre tout dévoué

TH. DU MONCEL.

Voici maintenant la lettre de M. Navez.

Bruxelles, 31 Août 1878.

Monsieur le Directeur,

Du moment que M. du Moncel admettrait un déplacement de surface pendant la vibration de la plaque, nous serions bien près de nous entendre. Voilà ce que j'écrivais en Mai dernier (1). Mais mon honorable contradicteur n'admettait pas, alors, un déplacement de surface pendant la vibration. Pour soutenir son opinion, M. du Moncel citait des expériences ; il avait placé sur la lame du récepteur Bell de l'eau, de la poudre de lycopode, des gouttelettes de mercure sans pouvoir constater la plus petite ride, même en employant un rayon de lumière pour amplifier les effets produits (2).

Maintenant M. du Moncel écrit que « par le mot vibration moléculaire il n'a jamais entendu parler d'une vibration exempte d'effets mécaniques Pour lui, comme pour M. Hughes, les vibrations longitudinales dont il a parlé doivent être accompagnées d'un mouvement vibratoire des surfaces une vibration matérielle peut résulter de contractions et de dilatations moléculaires quand ces actions peuvent se développer librement (3). »

1) Voir le Bulletin de l'Académie royale de Belgique, Mai 1878 et le Journal télégraphique, N° 6, page 115.

2) Voir le Journal télégraphique, N° 5, page 96.

3) Voir le Journal télégraphique, N° 8, page 158.

On voit que les idées de M. du Moncel sur les vibrations moléculaires se sont beaucoup modifiées et qu'il s'est mis d'accord avec M. Hughes et le mode d'action du microphone

récepteur.

M. du Moncel n'est-il pas en contradiction avec lui-même, lorsqu'il nie l'existence de vibrations par attraction de la plaque du récepteur Bell, parce que ces vibrations ne sont pas décelées au moyen du lycopode, de l'eau ou du mercure, tandis qu'il admet, dans cette même plaque, des vibrations moléculaires avec déplacement de surface, lesquelles restent également sans effet visible sur le lycopode, l'eau ou le mercure? Moi, j'admets parfaitement des vibrations moléculaires avec déplacement de surface ; mais, je me bâte d'ajouter que ce ne sont pas ces vibrations qui font parler la plaque du récepteur Bell.

Je passe à la discussion de l'expérience réalisée par M. Hughes pour prouver que la plaque du récepteur Bell ne vibre pas par attraction (Voir le Journal télégraphique, N° 158.).

La démonstration de M. Hughes repose sur ce fait : que les effets, par attraction, de deux téléphones Bell, identiques entre eux, mais agissant par leurs pôles contraires sur une même plaque et à petite distance l'un de l'autre, doivent se neutraliser. Or, l'expérience prouvant que ces effets ne se neutralisent pas, M. Hughes en conclut que le diaphragme ne vibre pas par attraction. Ce raisonnement serait quelque peu plausible si la plaque, pour vibrer, prenait appui sur le pourtour du téléphone. Mais on sait qu'il n'en est point ainsi puisque la hauteur du son, le ton, est indépendant de l'ouverture de la plaque. On peut donc considérer le système employé par M. Hughes comme étant composé de deux téléphones compris dans le même circuit électrique et agissant chacun par son organe électro-magnétique sur la partie de la plaque en regard de laquelle il se trouve pour y déterminer des espaces internodaux (concommérations) variables et indépendants pour chaque centre d'attraction.

Voici encore une autre explication du phénomène; on pourra choisir. Avant le passage du courant, il y a équilibre entre les attractions qu'exercent les deux aimants et la réaction due à l'élasticité de la plaque. Aussitôt qu'un courant ondulatoire passe dans la bobine commune, les différentes forces en présence sont modifiées d'une manière continue et il en résulte, dans la plaque, des mouvements qui sont des vibrations. Il n'est pas du tout nécessaire, pour qu'une plaque de téléphone vibre utilement, que les vibrations soient symétriques par rapport au centre de cette plaque ; il suffit qu'elles résultent de l'action d'un courant ondulatoire.

Le mot ondulatoire caractérise parfaitement le mode d'action des éléments téléphoniques qui concourent à la reproduction de la parole. Ainsi, on peut fort bien dire que, dans le récepteur Bell, les attractions qui agissent sur la plaque sont ondulatoires. La parole n'est, après tout, que du son ondulatoire.

Bien n'est plus propre à donner des idées saines sur la théorie des téléphones que l'étude comparée de ces instruments sous le rapport des actions ondulatoires. Permettez-moi, Monsieur, d'en dire quelques mots.

Le téléphone Bell articule mieux qu'aucun autre parce que les courants d'induction qui le font parler sont parfaitement ondulatoires ; ces courants naissent et cessent d'exister en restant toujours dans un rapport constant avec la parole qui les produit et sans éprouver des ruptures accidentelles. Si le système Edison est moins parfait que le système Bell, sous le rapport de l'articulation, c'est que, dans le premier, l'organe qui produit l'ondulation, le charbon, bien qu'il soit très-sensible, fonctionne cependant avec moins de régularité que la plaque conductrice de l'envoyeur Bell.

Dans le microphone de M. Hughes, l'équilibre instable du léger cylindre en charbon renferme les variations ondulatoires entre des limites très-rapprochées qui correspondent respectivement à la pression maximum, qui est elle-même très-faible, et à la rupture du circuit. Lorsque l'on fait usage de ce petit appareil dans l'obscurité et en parlant près du cylindre oscillant, on voit des étincelles jaillir du sommet de ce cylindre, preuve que des disjonctions sont produites. Ces considérations font saisir la spécialité du microphone. Il amplifie les sons faibles et les reproduit d'autant mieux qu'ils sont moins articulés. La reproduction est au reste très-imparfaite et, si la mouche que l'on entend, dit-on, marcher pouvait parler, on ne comprendrait certes pas un mot de son discours.

Très-sensible au rythme, le microphone peut reproduire les sons de la musique et des chants d'ensemble émis à une distance suffisante pour que les ondes sonores ne l'attaquent pas trop brusquement. Mais quand il s'agit d'employer le microphone comme parleur, il faut lui faire subir des modifications ayant pour objet d'empêcher les disjonctions et de régulariser les mouvements vibratoires. On y parvient, jusqu'à un certain point, en faisant usage d'un cylindre oscillant plus grand et plus pesant, ou bien en réglant la pression aux points de contact au moyen d'un ressort. Dès lors l'appareil envoyeur cesse d'être un microphone; il tombe dans le système Edison et présente une application de ce système peu heureuse.

Il y a cependant une différence importante et indépendante de la forme, entre l'envoyeur (transmetteur) Edison et le microphone ; dans le premier appareil, l'ondulation est obtenue par la compression d'un charbon entre deux pièces métalliques, tandis que dans le second l'ondulation résulte du contact de charbon à charbon, disposition beaucoup plus efficace.

C'est sur le principe de contact entre charbons qu'a été établi, par mon fils et moi, en Février dernier, alors qu'il n'était pas encore question du microphone de M. Hughes, l'envoyeur Edison modifié dont la description se trouve dans le Bulletin de l'Académie royale de Belgique du 2 Mars 1878 (Voir aussi les Comptes-rendus de l'Académie des sciences de Paris, séance du 18 Mars 1878.).

Dans cet appareil, l'organe modificateur de l'intensité du courant électrique est une pile de rondelles en charbon solidaire de la plaque vibrante et comprimée par une tige métallique libre dont le poids est réglé d'après les effets que l'on veut obtenir. L'intensité du son reproduit varie en raison inverse du poids de la tige tandis que l'articulation du son augmente avec le poids.

On peut opérer, au moyen de cet envoyeur, en parlant sur le flanc de la colonne de rondelles ; mais les résultats sont beaucoup plus intenses et surtout plus réguliers, lorsque l'on parle dans un cornet communiquant, par un tuyau acoustique, avec la plaque vibrante sur laquelle est établi l'organe modificateur du courant.

Un ancien et très-habile constructeur d'appareils télégraphiques, M. Lippens, après avoir vu et entendu fonctionner notre envoyeur Edison modifié, s'est fait breveter pour un transmetteur qui, en principe, ne diffère pas de celui dont je viens de parler. Cet appareil auquel l'inventeur donne le nom de *mégaphone*, consiste en deux plaques en ébonite placées aux deux extrémités d'une boîte cylindrique, en regard l'une de l'autre et dans une position verticale. Au centre de chaque plaque est fixée une pièce en charbon ; une troisième pièce de la même matière repose librement sur les extrémités des deux premières. On parle devant une des deux plaques. Le mégaphone, comme les autres parleurs, pour employer l'expression adoptée par M. Hughes, présentera des qualités qui le rapprocheront soit de l'envoyeur Bell, soit du microphone Hughes, suivant que la pièce libre en charbon sera plus ou moins mobile sous l'action des vibrations.

L'emploi du contact entre charbons a certainement augmenté ce que l'on pourrait appeler le rendement économique du téléphone, c'est-à-dire la combinaison de l'intensité et de l'articulation du son. Si les deux facteurs de ce rendement pouvaient être évalués en nombres, le produit que l'on obtiendrait du couple Edison modifié envoyeur et Bell récepteur, serait de beaucoup supérieur à celui qui représenterait la valeur de deux Bell conjugués. Bans un système téléphonique quelconque, il y a toujours un rapport entre l'intensité et l'articulation du son, plus avantageux que tout autre quant au but définitif que l'on veut atteindre ; c'est pour cette raison qu'un bon envoyeur doit comporter un moyen de réglage. Ainsi, dans l'envoyeur à colonne de rondelles en charbon, le rapport entre l'intensité et l'articulation du son se régie par le poids de la tige métallique comprimant la pile de rondelles.

Au point où en est la question des téléphones, les recherches ayant pour objet l'amélioration de la qualité du charbon ou la découverte d'une matière plus efficace que celles employées jusqu'à présent pour rendre le courant électrique ondulatoire, présentent le plus grand intérêt. M. du Moncel dit, dans sa lettre, que « par les expériences de M.

Hughes, il est démontré que les sons articulés sont beaucoup mieux reproduits avec des charbons de sapin métallisés qu'avec des charbons de cornue. » Cela est exact ; je l'ai reconnu depuis longtemps et le fait se trouve consigné dans le H° 4 du Journal télégraphique, page 73 !

(Le charbon dont il s'agit est fabriqué pour l'éclairage électrique par M. Gaudain à Paris. On trouve sa fabrication ment décrite dans l'ouvrage de M. Fontaine ayant pour titre: Eclairage par l'électricité, Paris, Baudry, 1877).

Je m'aperçois que je me suis beaucoup plus occupé des expériences de M. Hughes que de ma discussion avec M. du Moncel. Mon honorable contradicteur me le pardonnera puisque, dans chacune de ses lettres, il a témoigné le désir d'en finir.

D'ailleurs, ce que je pourrais encore répliquer se trouve déjà, en substance, dans les notes et lettres précédentes et je ne veux pas abuser de la bienveillance avec laquelle vous avez accueilli mes communications dans votre excellent journal.

Veuillez, Monsieur, avec mes remerciements, recevoir l'assurance de ma considération la plus distinguée.
NAVEZ.

Charlottenburg, en décembre 1878. Traduction du texte par téléphone. de **Eduard Hagenbach**

La théorie du téléphone de Bell a été clarifiée dans ses points essentiels par les travaux de MM. **E. Du Bois-Reymond, L. Hermann, H. F. Weber et Helmholtz.**

On a toujours supposé que les déformations de la lamelle de fer vibrante étaient proportionnelles, d'une part, à l'amplitude des vibrations de l'air et, d'autre part, aux fluctuations temporelles du potentiel électromagnétique des masses magnétiques du téléphone.

Cependant, il n'est pas tout à fait évident qu'une plaque de fer rigide, même mince, obéisse sans réserve aux forces qui s'exercent sur elle.

Dans le cas d'un diaphragme élastique souple, par exemple une fine pellicule de caoutchouc, où son élasticité propre n'a qu'un effet négligeable, même en cas de déformations notables, et est donc négligée, où la masse à déplacer et le frottement moléculaire interne à vaincre sont également relativement faibles, une telle déformation parfaite se comprend aisément ; il n'en va pas de même pour les corps élastiques rigides à module d'élasticité élevé. Pour de tels corps, il faudra davantage de circonstances et de temps pour les mettre en vibration ; nous savons également que les plaques élastiques rigides possèdent un nombre limité de fréquences propres, dont les fréquences dépendent d'une part des dimensions, de l'élasticité et de la densité de la plaque, et d'autre part de la manière dont elle se décompose en sections individuelles se déplaçant en sens inverse lors de la vibration.

Le nombre de demi-tons peut devenir très important, surtout dans les plaques minces, et les amplitudes de vibration peuvent être relativement proches si le nombre de divisions est significatif, mais elles ne se superposent jamais parfaitement. Les influences de l'inertie interne et de l'élasticité inhérente mentionnées ici augmentent et diminuent avec l'amplitude et disparaissent pour des amplitudes infinitésimales. On peut donc affirmer que la propriété des membranes minces et inélastiques de répondre immédiatement et parfaitement à toute influence s'applique également aux corps élastiques rigides si les amplitudes sont extrêmement faibles. Que les oscillations dans le téléphone soient faibles ne fait aucun doute.

Globalement, la plaque de fer du téléphone vibre comme une membrane souple, ce qui explique l'efficacité surprenante de la transmission des sons. Cependant, la rigidité de la plaque n'a-t-elle pas une influence dans certaines circonstances et en cas d'imperfections de l'appareil ? C'est la question à laquelle répondra la brève étude qui suit. Lorsqu'on utilise différents téléphones Bell pour transmettre les tonalités de diapasons puissants, certains téléphones semblent avoir une préférence pour certains diapasons et transmettre leurs tonalités relativement mieux. Cependant, il s'agit d'une expérience où le jugement subjectif joue un rôle si important qu'il est déconseillé d'en tirer des conclusions définitives. La situation est différente lorsqu'on utilise les barres sonores KBI, bien connues pour la génération de tonalités, qui servent à déterminer la limite supérieure d'audibilité. Il faut alors généralement choisir non seulement entre une meilleure et une moins bonne transmission, mais aussi entre une écoute directe et une directionnelle.

Les expériences furent menées avec des téléphones Bell que j'avais obtenus de M. M. Hipp et dans lesquels on pouvait insérer des plaques de différentes épaisseurs, variant entre 0,12 et 0,18 mm. Les deux postes téléphoniques, reliés par des fils conducteurs, étaient suffisamment éloignés l'un de l'autre pour qu'il n'y ait pas d'écoute directe des barres sonores.

Au poste d'écoute, on frappait une barre sonore, et on tenait le téléphone aussi près que possible de celle-ci ; au poste de réception, on portait le téléphone à l'oreille, et l'on notait alors si la tonalité était entendue clairement, faiblement, très faiblement ou pas du tout.

Afin de minimiser autant que possible la subjectivité de l'évaluation, M. Alb. Riggenbach, étudiant, et moi-même portions tour à tour le téléphone à l'oreille, chacun notant ses observations sur une feuille de papier sans connaître celles de l'autre ; seules les observations dont les résultats concordaient étaient retenues.

Les dix barres de ton que j'ai utilisées produisaient les notes de l'accord majeur dans chaque octave et couvraient la gamme de la cinquième à la huitième octave au-dessus du do central, selon l'accord Chandini, qui, comme chacun sait, est à la base de l'appareil royal.

La barre de ton la plus longue, avec la note la plus grave, produit 4 096 vibrations (8 192 vibrations simples), la barre de ton la plus courte, avec la note la plus aiguë, produit 32 768 vibrations (65 536 vibrations simples).

Sans téléphone, la limite d'audibilité se situe parfois à la septième octave au-dessus du do central, fréquemment à la septième octave au-dessus du mi, et chez les enfants et les jeunes, souvent seulement à la septième octave au-dessus du ne ; pour entendre la huitième octave au-dessus du do central, je ne connais qu'un seul cas, d'après mon expérience.

On peut donc dire que les limites d'audibilité se situent, en nombres ronds, entre 15 000 et 35 000 vibrations. La flamme sensible tyndallienne réagit très fortement à toutes ces hautes fréquences. Les vibrations se produisent ainsi, l'air les propage, et seule l'oreille ne les perçoit pas.

Si les sons aigus de cette onde sonore sont transmis par téléphone, on constate immédiatement que le seuil d'audibilité est nettement plus bas. Des expériences menées avec différents téléphones ne m'ont jamais permis d'entendre une note supérieure au do au-dessus du do central ; parfois, le seuil se situait déjà entre le do au-dessus du do central et le mi au-dessus du do central.

Le seuil d'audibilité n'a jamais été atteint. Je note à cette occasion que le son sourd, toujours aussi aigu, du coup, qui est vraisemblablement le son intrinsèque du marteau, est perçu en toutes circonstances, même lorsque le seuil d'audibilité est dépassé, et cela vaut aussi bien pour la perception directe que pour la transmission par téléphone.

Il ressort donc des expériences susmentionnées que le seuil d'audibilité, lors de l'utilisation du téléphone, est généralement inférieur d'environ deux octaves à celui de la perception directe. Que le défaut de transmission réside ici dans l'appareil objectif du téléphone et non dans l'appareil subjectif de l'oreille est évident ; de plus, j'ai répété l'expérience avec un plus grand nombre d'étudiants et me suis ainsi convaincu qu'avec le téléphone, la limite est exactement la même pour des personnes qui présentent des limites très différentes en perception directe.

La question se pose maintenant : à qui la faute ?

À la ligne, à l'aimant ou à la plaque de fer vibrante ?

- Des perturbations de la propagation régulière du son dans la ligne étaient concevables si, aux hautes fréquences d'oscillation, le second courant opposé était injecté dans la ligne avant que le premier n'ait achevé son parcours. Que l'absence de sons aigus ne puisse s'expliquer de cette manière est évident : l'insertion de résistances de valeurs différentes dans la ligne ne fait qu'affaiblir l'intensité des sons aigus, sans rien changer à la limite de l'audibilité.

- La seconde question, à savoir si le défaut provient de l'inertie des aimants ou de celle des plaques (c'est-à-dire que les aimants ne peuvent suivre la variation du magnétisme, ni les plaques l'exécution des oscillations), est ainsi résolue en faveur des plaques ; le remplacement des plaques, et non des aimants, entraîne un changement d'aspect.

On peut donc affirmer que si le nombre de vibrations de l'air par seconde, ou les variations du magnétisme qui déterminent les vibrations de la plaque, dépassent un certain seuil, la plaque ne peut plus suivre le rythme de ses propres vibrations. Ceci se comprend aisément si l'on considère que la plaque de fer ne réagit pas immédiatement à la force qui la met en mouvement, mais que des contraintes internes doivent se former et des frottements moléculaires être surmontés avant que l'effet ne se manifeste par une accélération de la masse en mouvement. Si cette dernière n'intervient qu'après l'action des causes opposées, alors les causes successives, périodiquement très rapides et de sens opposé, s'annulent mutuellement. Dans notre cas, un phénomène très similaire se produit, comme avec un manomètre à eau, insensible aux fluctuations de pression rapides du sifflet, ou avec un galvanomètre, insensible aux variations rapides du courant d'une bobine d'induction ou d'un téléphone. Comme je l'ai déjà mentionné, le seuil d'audibilité variait selon les téléphones utilisés ; l'hypothèse selon laquelle l'épaisseur de la plaque serait le facteur déterminant et que sa dépendance à cette épaisseur pourrait être vérifiée expérimentalement n'a pas été pleinement confirmée. Ceci est probablement dû, d'une part, au fait que les propriétés d'élasticité et de rigidité, qui ne sont certainement pas exactement les mêmes dans les différentes plaques, ont également une incidence, et d'autre part, à une influence qui provoque un autre phénomène, déjà brièvement évoqué plus haut, mais qu'il convient maintenant d'examiner plus en détail. Ce phénomène consiste en une sorte de seuil de propagation pour certaines tonalités dans les téléphones. Ceci est naturellement démontré par le fait curieux que certaines tonalités sont omises à la limite, c'est-à-dire que des tonalités disparaissent, tandis que des tonalités plus aiguës redeviennent clairement audibles. C'est ce qui s'est produit, par exemple, avec différentes connexions téléphoniques : le « c » de la cinquième ligne était clairement audible, le « e » suivant ne l'était pas, puis le « e » devenait audible, le « c » de la sixième ligne et les autres ne l'étaient plus.

Un cas encore plus frappant, que j'ai observé uniquement avec la connexion de deux téléphones équipés de disques de 0,13 mm d'épaisseur, consistait en l'audibilité du do à cinq lignes, puis l'omission du do et du sol, la note aiguë du do à six lignes réapparaissait très clairement ; tandis qu'ensuite toutes les notes plus aiguës devenaient inaudibles.

L'explication de cette omission de notes ou de cette prédominance de certaines notes réside apparemment dans l'influence des fréquences intrinsèques du disque. Les déformations étant faibles, le disque du téléphone vibre à chaque note ; mais il le fait plus facilement et avec une amplitude relativement plus grande lorsque la tonalité est également une tonalité intrinsèque du disque. À la limite, lorsque le disque peine à suivre, des vibrations sensiblement audibles ne se produisent que lorsque sa propre élasticité supporte les influences extérieures, tandis que la tonalité ne se développe pas avec une intensité suffisante si cette interaction mutuelle favorable n'a pas lieu. Il est évident que des facteurs subjectifs, notamment la sensibilité de l'organe auditif, jouent un rôle multiple dans les observations de ce type. Il serait donc hautement souhaitable que les expériences soient répétées sous un autre angle, et que les épaisseurs des disques soient variées dans des limites encore plus larges que dans mes expériences.

Enfin, je tiens à préciser que les résultats de mes expériences, indépendamment des grands thèmes de la théorie de l'induction abordés notamment par MM. Weber et Helmholtz, rendent impossible une transmission fidèle du timbre par téléphone. En particulier, lorsque le timbre repose sur des harmoniques aiguës, une altération est inévitable. D'après mes recherches, le phonographe est encore moins sensible aux aigus que le téléphone ; les notes du « Clang-Rabel » du roi n'y laissent aucune trace perceptible. Ceci explique également la très mauvaise reproduction, par le phonographe, du « Vocal », caractérisé par une harmonique aiguë.

Bien que les travaux d'Helmholtz, de du Bois-Reymond et de Bernstein aient apporté de nombreuses réponses sur le fonctionnement des nerfs et des muscles, la poursuite de ce projet nécessitait de comprendre le fonctionnement d'un nerf individuel, ce qui fut grandement facilité par la possibilité de rendre son activité électrique audible.

Les premiers efforts dans ce sens utilisèrent la technologie du téléphone, récemment inventé, pour écouter les nerfs et les muscles, voire les activer par la voix à distance.

Peu après qu'Alexander Graham Bell eut rendu public son téléphone en 1876, les physiologistes commencèrent à expérimenter avec cet appareil. Comme l'a montré Axel Volmar, « le potentiel du téléphone pour l'observation acoustique des courants électriques musculaires et nerveux fut très tôt reconnu et exploité de manière fructueuse »¹. Nous situons les découvertes de Volmar dans le contexte plus large de l'étude des signaux neuronaux.

En novembre 1877, quelques jours seulement après avoir reçu un appareil Bell, du Bois-Reymond réalisa une expérience avec son sens habituel du spectaculaire. Après avoir fixé l'extrémité réceptrice de l'électrode téléphonique au nerf d'un muscle de la cuisse d'une grenouille, lorsqu'il « disait, chantait, sifflait » zucke ! (« tressaillit ! ») dans le microphone, le muscle tressaillait.

Cette scène surprenante n'impliquait cependant pas la communication du sens du mot, car « même le fait de poser un entonnoir sur la table avec un certain poids » suffisait si le microphone captait ce son. Il remarqua que le muscle de la grenouille restait immobile en réponse à liege still ! (« reste tranquille ! »), non pas parce qu'il comprenait le sens du mot, mais parce que « les sons avec des harmoniques caractéristiques plus graves sont plus efficaces que ceux avec des harmoniques plus aiguës », comme le u de zucke comparé au i de liege. Ici, du Bois-Reymond s'inspira des travaux de Helmholtz sur les diapasons imitant les voyelles humaines afin de comprendre les signaux électriques qui relient la voyelle et la grenouille. Du Bois-Reymond fit le lien avec d'autres expériences utilisant un archet de violon pour mettre un aimant en vibration, provoquant ainsi un courant électrique qui entraînait la contraction musculaire d'une grenouille, un « tétanos acoustique ».

Pour lui, le téléphone était l'une des nombreuses interventions soniques sur l'activité nerveuse, partageant avec l'appareil d'induction de Helmholtz l'utilisation de courants électriques, qu'ils soient générés par un diapason ou par la voix.

Peu après, en 1878, Bernstein et Ludimar Hermann (un autre élève de du Bois-Reymond) utilisèrent le téléphone pour recevoir, et non seulement émettre, des signaux neuronaux. Après qu'un autre chercheur eut mis en doute la précision de son interrupteur acoustique (voir figure 15.13), Bernstein utilisa le téléphone pour démontrer que son dispositif produisait effectivement des courants dont les fréquences étaient déterminées par la vibration de son ressort. Après avoir branché un téléphone pour recevoir le signal du ressort réglé sur une fréquence arbitraire (ici, environ 180 à 190 Hertz),

« on entendait immédiatement la même hauteur dans toute la pièce, mêlée à un cliquetis souvent entendu lorsque la plaque téléphonique [du combiné], actionnée par les forts courants nécessaires à l'interrupteur, heurtait le noyau de fer. » Malgré ce cliquetis, la hauteur du ressort vibrant actionnant le nerf était parfaitement audible.

En 1878, Hermann tenta d'utiliser un téléphone pour détecter les très faibles courants générés par les nerfs. Comme Bernstein, il observa lui aussi que le téléphone pouvait capter les vibrations de l'appareil inducteur de manière si audible qu'il entendit la fréquence de vibration « à plusieurs mètres du combiné », lui-même situé à un mètre de l'inducteur. Il espérait donc qu'entendre les hauteurs exactes des sons musculaires au téléphone permettrait de clarifier leur physiologie. Pourtant, il ne pouvait percevoir les courants nerveux induits par le téléphone qu'un « bruit de crépitement », car l'appareil de Bell n'était pas suffisamment sensible.

La même année, l'intérêt pour l'utilisation du téléphone dans l'étude des nerfs se répandit rapidement à travers l'Europe et au-delà, comme le souligne Volmar.

À Paris, **Jacques-Arsène d'Arsonval** (qui avait été l'assistant du célèbre physiologiste Claude Bernard) utilisa les téléphones plus sensibles de Siemens et Halske pour a que « le téléphone le plus rudimentaire est au moins cent fois plus sensible que le nerf pour détecter de faibles variations électriques ».

Le téléphone était également bien supérieur au galvanomètre de du **Bois-Reymond**, qui (malgré ses bobines sensibles) « manquait d'instantanéité et dont l'aiguille, du fait de son inertie, ne pouvait pas indiquer les variations électriques rapides qui se produisent (par exemple) dans un muscle tétanisé ».

Pour tester la présence d'un faible courant provenant d'un muscle, d'Arsonval proposa « d'envoyer le courant à travers le téléphone et, afin d'obtenir des variations, j'interromps le courant mécaniquement avec un diapason. Si aucun courant ne circule dans le téléphone, celui-ci restera silencieux, mais si au contraire il y a le plus faible courant, le téléphone vibrera à l'unisson avec le diapason. »

Une fois de plus, le diapason se révélait un instrument précieux, capable de moduler les courants nerveux délicats. D'Arsonval ne doutait pas que l'utilisation du téléphone « fournirait des résultats intéressants dans l'étude de l'électricité animale que j'étudierai de cette nouvelle manière ».

Plus tard dans l'année, à Saint-Petersbourg, le physiologiste et médecin géorgien **Ivan Tarchanow** (Tarkhnishvili) confirma les affirmations de d'Arsonval concernant la sensibilité du téléphone.

Tarchanow utilisa un diapason de 100 hertz (environ un sol bémol, deux octaves en dessous du do central) pour créer l'induction électrique stimulant un muscle. Ensuite, à l'aide de « deux simples téléphones Bell, il suffit de placer un téléphone sur chaque oreille pour percevoir une tonalité claire qui reproduit la hauteur du diapason. ».

Il réalisa cette expérience sur les muscles d'une cuisse de grenouille et d'un bras humain : « Tant que les mains restent complètement au repos, il n'y a pas la moindre trace de tonalité dans le téléphone.

Dès que les muscles d'une main se contractent, une tonalité claire se fait entendre et s'éteint lorsque les muscles commencent à se détendre. »

Comme le note **Volmar**, le choix des mots de Tarchanow montre qu'il pensait que l'ouïe, tout comme la vision, était capable de produire une « manifestation » des courants nerveux.

Pour ce faire, Tarchanow souligna la plus grande clarté obtenue en utilisant les deux oreilles, probablement influencée par l'utilisation de longue date du stéthoscope binaural (datant au moins des années 1850) ainsi que par les expériences d'Alexander Graham Bell sur la téléphonie « stéréoscopique ».

Quand **Bernstein** retourna dans ce domaine, en 1881, il entendit lui aussi « un cliquetis distinct » en stimulant les muscles de grenouilles avec son interrupteur acoustique, en utilisant des courants dont les fréquences atteignaient 700 Hertz.

Pour décrire ces fréquences, il employa une terminologie musicale afin de donner les hauteurs des diapasons qu'il utilisait pour produire ces courants, montrant ainsi à quel point il concevait ces expériences en termes d'appareil musical sous-jacent.

Cette sensibilité au son musical caractérisa également sa description d'expériences où le muscle était injecté de strychnine pour induire un autre type de tétanos, ce qui produisit « au téléphone, un chant grave et très clairement audible ».

TÉLÉPHONE. Application à l'électricité musculaire

Extraits de *"Physiologie des muscles et des nerfs... par Charles Richet, 1882 "*

Il semble que le fait d'un bruit musculaire dans la systole soit en contradiction avec l'hypothèse que la contraction du cœur est une secousse simple. Mais nous ne connaissons pas assez le mécanisme intime de la contraction, pour en conclure que la systole cardiaque résulte de la fusion de plusieurs secousses élémentaires. Sommes-nous autorisés à dire avec certitude que la secousse provoquée par une seule excitation électrique n'est pas composée elle-même de plusieurs vibrations plus petites. Je ne sais pas si la secousse unique d'un muscle donne un bruit musculaire, et je ne crois pas que cette recherche spéciale ait été faite méthodiquement. Elle serait d'autant plus difficile que, même pendant le repos, il y a encore un bruit musculaire, dû à la tonicité.

En appliquant le stéthoscope sur un muscle vivant, on entend toujours un bruissement sourd qui se renforce chaque fois que le muscle se contracte. On a proposé de distinguer parce moyen la mort réelle de la mort apparente, et il est de fait que sur un cadavre on n'entend rien d'analogue au bruit musculaire. Toutefois il faut une oreille déjà assez exercée pour distinguer nettement la vibration musculaire, de sorte que ce procédé ne pourra jamais devenir vulgaire.

M. **BOUDET** (livre *"Des applications dit téléphone et du microphone à la physiologie et à la clinique, Paris, 1880"*) a vérifié avec le téléphone ce fait intéressant que M.

MAREY avait déjà avancé il y a longtemps, à savoir que la tonalité du bruit musculaire est d'autant plus élevée que l'énergie de la contraction est plus grande. Il a montré aussi qu'un muscle tendu et en état de tonicité donne un bruit qui augmente avec le poids tenseur du muscle. On sait que la tension du muscle par un poids provoque un certain état actif, ou, comme on dit, la tonicité du muscle, quand ce muscle est en rapport avec les centres cérébro médullaires.

Pour bien apprécier les sons les plus faibles, M. **BOUDET** a construit divers appareils microphoniques et microtéléphoniques, pour la description desquels je renvoie à ses publications.

M. **HERING**, en auscultant l'œil d'un animal vivant, a pu entendre les bruits musculaires produits par les muscles de l'œil. Il a constaté que le curare, qui abolit la tonicité musculaire en supprimant l'innervation motrice, fait cesser le bruit des muscles de l'œil, bruit qu'on entend constamment, même lorsque l'organe paraît être en repos. En effet, les muscles d'un animal vivant ne sont jamais en un réel repos, mais reçoivent toujours des excitations nerveuses faibles.

Contraction volontaire. — Nous arrivons à l'étude d'un des plus importants problèmes de la physiologie musculaire. Les muscles, lorsqu'ils exécutent les mouvements volontaires que le cerveau leur commande par l'intermédiaire des nerfs, vibrent-ils à la manière d'un muscle excité par des courants fréquemment interrompus, ou ont-ils une très longue secousse ? Autrement dit, l'excitation venue du cerveau ou de la moelle est-elle unique et prolongée, ou constituée par une série de petites excitations brèves et fréquentes ? Est-elle continue ou discontinue ?

Bien des physiologistes, MM. **HELMHOLTZ**, **BRÜCKE**, **KRONECKER**, **HERMANN**, ont essayé de résoudre la question. Ils ne sont pas arrivés à une conclusion absolument certaine.

- L'expérience la plus importante est celle que nous indiquons plus haut, celle d'**HELMHOLTZ** et de **BERNSTEIN** : le muscle, excité par des courants d'un certain rythme, vibre à l'unisson de ces courants. Or, comme il vibre aussi lorsqu'il est mû par l'excitation nerveuse, sa vibration révèle alors le rythme véritable des vibrations nerveuses qui l'ébranlent.

Une autre expérience a été imaginée par **BRÜCKE**. Elle consiste à compter le nombre de mouvements volontaires qu'un muscle peut exécuter pendant un espace de temps donné. On prend, par exemple) un crayon à la main, et on essaye avec ce crayon de tracer aussi rapidement que possible une série de points sur du papier pendant un temps donné. On a ainsi le nombre maximum des mouvements spontanés qui peuvent être exécutés par les fléchisseurs des doigts, dans un intervalle de temps facilement mesurable. Or le nombre des mouvements spontanés ne peut guère dépasser 8 ou 10 par seconde, et les plus habiles pianistes ne sauraient arriver à une plus grande agilité.

Si l'on compare ces mouvements spontanés aux mouvements provoqués par des excitations électriques, on voit qu'on peut exciter les muscles avec des courants interrompus vingt fois par seconde, sans que les secousses cessent d'être tout à fait distinctes. Donc, si le muscle ne répond pas plus de 10 fois par seconde à l'excitation de la volonté, ce n'est pas par impuissance mécanique, c'est par suite de l'impuissance du système nerveux central à provoquer plus de 10 excitations isolées par seconde.

D'ailleurs les secousses volontaires, quand on tâche de leur donner le minimum de durée possible, ne peuvent jamais être aussi rapides que les secousses provoquées dans les mêmes muscles par des excitations électriques. Si l'on représente par 2 la durée d'une secousse électrique, la durée minimum d'une secousse volontaire sera de 3 1.

...

Une méthode intéressante pour constater qu'il y a des courants électriques dans le muscle consiste à interposer un téléphone dans le circuit récepteur du courant musculaire. En effet la plaque vibrante du téléphone est actionnée par des courants électriques très faibles. Chaque fois que le courant passe, la plaque téléphonique se déplace. Si l'on vient alors, par un interrupteur quelconque placé sur le trajet des fils récepteurs, à interrompre le courant musculaire, on constate, en plaçant son oreille au téléphone, qu'il y a une vibration téléphonique, et que le son possède une tonalité qui correspond au nombre des interruptions. Cette expérience démontre qu'il y a un courant électrique dans le muscle. Car, si l'on détruit la substance musculaire par un poison quelconque ou un caustique, toutes les autres conditions de l'expérience restant absolument identiques, on n'entendra plus aucun son. M. **HERMANN**, qui a le premier institué cette expérience, fait remarquer qu'elle est assez curieuse, propre à démontrer dans un cours l'existence de l'électricité musculaire, mais que cependant elle n'apprend rien de nouveau relativement à la fonction électrique des muscles.

Si, au lieu de faire des sections transversales dans le muscle, on fait des sections obliques, et qu'on réunisse à la surface longitudinale les différentes parties de la surface oblique, on trouve que le courant va en se modifiant suivant des lois assez simples. De même, en réunissant deux surfaces transversales et deux surfaces longitudinales, on n'a de courant électrique que si les points dont on recueille l'électricité ne sont pas homologues. Les traités classiques de physiologie donnent des figures très claires qui vous feront saisir ces variations dans la tension électrique d'un rhombe musculaire. Un cas particulier est le cas où la surface transversale d'un muscle, au lieu d'être artificielle, comme celle qu'on fait en coupant perpendiculairement un faisceau musculaire, est naturelle. Cette surface transversale naturelle n'est autre que l'union des faisceaux musculaires au tendon. Du **BOIS-REYMOND** a expliqué les phénomènes électriques qu'on observe alors, en supposant une certaine disposition des molécules électriques hypothétiques dont il a admis l'existence. C'est ce qu'il a appelé la **parélectronomie**.

DU BOIS-REYMOND. — Versuche am Telephone (Recherches sur le téléphone)

Lorsque deux téléphones sont en expérience, le mouvement de la membrane du téléphone récepteur n'est pas en concordance avec celui de la membrane du téléphone expéditeur. Les deux mouvements sont en désaccord d'un quart de vibration; de plus, lorsque le son transmis est complexe, ce qui est le cas le plus ordinaire, les mouvements pendulaires dont il se compose se reproduisent.

Du moins, c'est ce que M. du Bois-Reymond a cherché à démontrer....

Une autre expérience de M. MAREY prouve encore que les courants sont discontinus, constitués par des flux successifs. En effet, si l'on interpose dans le circuit un téléphone, on entendra un bruit répondant à plusieurs secousses successives. M. MAREY a pu l'observer à Paris, donnait des décharges qui faisaient vibrer le téléphone. Le son répondait, pour les secousses faibles, à 10 vibrations par seconde; et, pour les secousses fortes, à 165 vibrations. M. ROBIN a constaté aussi que la raie donne des secousses qu'on peut entendre avec le téléphone...

Fin 1880 Les études sur le téléphone, au moins aussi nombreuses, ont été couronnées de succès.

D'abord les installations téléphoniques se sont multipliées dans les divers pays dans une proportion beaucoup plus grande qu'on n'aurait pu l'espérer, et tellement grande, que maintenant plusieurs gouvernements, entr'autres ceux d'Allemagne, d'Angleterre et de Suisse, veulent en prendre le monopole. En Amérique, les bureaux se sont multipliés dans une proportion inouïe; il y en a 318 en fonction, et le nombre des abonnés dans chacun d'eux s'est accru dans une telle mesure, que le service en est devenu très difficile, et qu'il a fallu combiner des appareils spéciaux pour le faciliter. Le système de ce genre le plus perfectionné est celui de MM. C.-C. Haskins et C.-V. Wilson.

En France le mouvement est plus lent; cependant les trois Compagnies, aujourd'hui fusionnées, qui ont exploité, à Paris, ce système de télégraphie domestique, projettent d'installer des bureaux dans plusieurs villes de France. Bordeaux a commencé, et nous voyons sur la liste des villes qui demandent organisation de ce service : Rouen, Le Havre, Marseille, Lille et la banlieue de Paris.

L'Allemagne et l'Angleterre sont plus avancées que nous, surtout au point de vue de l'annexion des services téléphoniques aux services télégraphiques, et aujourd'hui plusieurs villes d'Allemagne, entr'autres Berlin, Stuttgart, vont avoir des bureaux de téléphonie domestique.

C'est à Liverpool, à Manchester et Birmingham, à Edimbourg et Glasgow, que la téléphonie a été le plus appliquée dans la Grande-Bretagne, et la Belgique s'en occupe très activement. Il est à supposer que dans deux ans, ces services seront organisés partout.

Quant aux instruments, d'innombrables recherches ont été faites pour les perfectionner, et des résultats nouveaux et tout à fait remarquables viennent d'être obtenus par M. le docteur Cornélius Herz. Depuis deux mois environ, des travaux suivis ont été faits sur les lignes télégraphiques de l'État en présence de M. le Ministre des postes et des télégraphes et des personnages les plus importants du Gouvernement français.

On a parlé dans diverses directions et surtout sur la ligne Paris-Tours ; dès le début la conversation avait été admirablement entretenue entre Paris et Orléans, et on a ensuite essayé avec succès Paris-Tours, Orléans-Bordeaux (500 kilomètres), Paris-Brest, Paris-Bordeaux-Tours (1.000 kilomètres environ), Tours-Brest, par Paris bureau central, distance dépassant 1200 kilomètres, et tout cela sur un seul fil et avec un seul élément Leclanché.

Mais ce qui offre le plus grand intérêt dans les travaux du docteur Herz, c'est qu'il est arrivé à supprimer avec son récepteur les bruits d'induction provenant des fils voisins et de la terre.

Parmi les recherches les plus intéressantes faites en 1880, nous devons mentionner spécialement, et en dehors de celles dont nous venons de parler, les travaux de M. Ader qui a construit un téléphone à surexcitation qui est excellent, et un indicateur téléphonique aujourd'hui employé dans quelques bureaux français. Il a entrepris en même temps des expériences théoriques très intéressantes qui ont montré que de petits chocs entre les particules de fer composant le noyau magnétique d'un téléphone pouvaient transmettre la parole sans l'intermédiaire d'une pile. D'un autre côté, il a fait voir que les actions électriques intermittentes provoquent dans un fil de fer muni d'une hélice, des mouvements brusques dont le sens indique que l'action du courant a pour effet de placer le noyau magnétique dans ses conditions normales, quand, par une disposition quelconque, une action mécanique est exercée sur ce noyau. D'autres travaux ont été faits sur ce sujet par M. Righi, mais ses conclusions sont moins nettes et moins positives.

M. Herz est parvenu à faire parler le condensateur chantant dès le commencement de l'année dernière, et de son côté, M. Dunand est arrivé très récemment au même résultat.

MM. Preece, Wilbrand, Dunand ont fait aussi parler un simple fil de platine tendu contre un diaphragme et traversé par un courant ondulatoire. Enfin quelques modifications dans la disposition des transmetteurs microphoniques ont permis d'obtenir des sons plus purs et plus forts qu'avec les systèmes usités l'année dernière. De ce nombre sont les transmetteurs de Blake, de Crossley, d'Ader, de Herz, etc., etc. Mais l'invention qui a fait le plus de bruit, est le photophone de M. G. Bell, qui permet de transmettre la parole par l'action d'un faisceau lumineux, modifiée sous l'influence de la voix, et projetée sur du sélénium, ou même sur beaucoup d'autres corps réduits à l'état de lames minces. Cette découverte qui, jusqu'ici, n'a pas eu beaucoup d'applications, est très intéressante au point de vue scientifique, et permet de croire que beaucoup d'autres inventions, fondées sur la propriété photo-électrique du sélénium, pourront naître d'ici à peu de temps. Déjà on a mis en avant, en se basant sur elle, l'idée de transmettre à distance des effets lumineux, même les images des corps, et plusieurs appareils ont dès maintenant reçu des noms appropriés à cet usage, tels que téléphotos, diaphotes, etc.; mais jusqu'ici aucune expérience sérieuse n'est venue montrer la possibilité de la réalisation matérielle de cette idée, et nous en sommes encore à attendre les beaux appareils annoncés si pompeusement d'Amérique, il y a quelques six mois. Il est certain que le problème est bien difficile à résoudre, et nous avons publié dernièrement un article qui le démontre péremptoirement.

La télégraphie électrique a été en 1880 assez stationnaire, du moins en ce qui touche les inventions électriques.

Aujourd'hui la question se présente dans de tout autres conditions qu'il y a quelques années, et il est possible que cette substitution soit heureuse, du moins dans les grands bureaux....

DU MONCEL

Théories temporelles classiques

Les théories temporelles (ou fréquentielles) classiques proposaient que le mécanisme auditif périphérique n'effectue pas d'analyse fréquentielle, mais transmette plutôt le signal au système nerveux auditif central pour traitement. Ces théories ont été qualifiées de « théories du téléphone » par analogie avec la manière dont un signal téléphonique est transmis. Bien qu'il existe plusieurs théories de ce type, la théorie du téléphone de Rutherford (1886), proposée peu après la description de la théorie de la résonance par Helmholtz, est la plus connue.

Elle proposait que la cochlée n'est pas sensible à la fréquence sur toute sa longueur, mais que toutes ses parties répondent à toutes les fréquences. Le rôle des cellules ciliées est simplement de transmettre tous les paramètres de la forme d'onde du stimulus au nerf auditif, et l'analyse est effectuée à des niveaux supérieurs. Puisqu'un neurone ne peut répondre que de manière binaire (tout ou rien), la seule façon pour lui de transmettre l'information de fréquence est de se décharger autant de fois par seconde qu'il y a de cycles dans le stimulus (par exemple, il doit se décharger 720 fois par seconde pour transmettre un son de 720 Hz).

La théorie temporelle classique présuppose donc que les fibres du nerf auditif peuvent se décharger suffisamment rapidement pour représenter cette information. Il n'y a pas de problème aux basses fréquences ; cependant, une limite supérieure au nombre de décharges par seconde est imposée par la période réfractaire absolue du neurone.

La période réfractaire absolue est le temps nécessaire après la décharge pour que la cellule rétablisse la polarisation de fréquence dont elle a besoin pour se décharger à nouveau ; elle dure environ 1 ms. La fibre ne peut pas se décharger pendant la période réfractaire absolue, quelle que soit l'intensité de la stimulation.

Cette période est suivie d'une période réfractaire relative pendant laquelle le neurone répondra si le stimulus est suffisamment fort. La période réfractaire absolue de 1 ms correspond à une fréquence de décharge maximale de 1000 fois par seconde.

Ainsi, la théorie fréquentielle simple peine à expliquer comment les sons de fréquence supérieure à environ 1000 Hz peuvent être transmis par le nerf auditif et perçus par l'auditeur.

Un second problème des théories du téléphone est que les lésions de la partie basale de la cochlée entraînent une perte auditive dans les hautes fréquences.

Ceci contredit la théorie fréquentielle, qui stipule que les différentes parties de la cochlée ne sont pas sensibles différemment à la fréquence....

En Allemagne l'expérience téléphonique, la méthode téléphonique.

À cette époque, le téléphone fascinait les physiologistes mélomanes de Berlin.

En juin 1881, Franz von Mendelssohn (cousin du compositeur) téléphona aux Helmholtz et leur joua une composition de Joseph Joachim.

Anna, la seconde épouse d'Hermann, rapporta que « les sons étaient parfaitement audibles, jusqu'aux plus fines nuances du son du violon ». Joachim, qui écoutait également, put juger qu'il entendait « l'Amati, et non le Stradivarius » de Mendelssohn. Anna pensa que « cette omniprésence du lointain est étrange et fantomatique ».

Quelques années plus tard seulement, de tels moments étranges étaient devenus monnaie courante. Comme le note **Volmar**, dès 1888, « l'expérience téléphonique » de **du Bois-Reymond** était devenue si courante que William Stirling l'intégra comme exercice de laboratoire dans son ouvrage introductif, *Outlines of Practical Physiology*.

Au cours de la décennie suivante, les chercheurs cherchèrent des moyens de conserver les données obtenues par téléphone, que **Hermann** appelait « études phonophotographiques » et **Bernstein** « études phototéléphoniques ».

Ces dispositifs hybrides comportaient un appareil optique qui transformait le signal téléphonique en un faisceau lumineux mobile, lequel pouvait ensuite être projeté sur un tambour rotatif recouvert de papier photographique. Bien que d'autres chercheurs aient encore utilisé des galvanomètres pour mesurer les courants, les téléphones et les diapasons se sont souvent révélés des éléments utiles de ces dispositifs.

Par exemple, en 1895, J. Burdon Sanderson a noté que « lorsqu'un muscle est stimulé par des courants alternatifs de haute fréquence parcourant son nerf, l'effet est le même que si l'excitation était continue.

La méthode la plus simple pour tester cela expérimentalement consiste à utiliser des courants téléphoniques.

Lorsque, par exemple, la note do (notée par l'espace do dans la clé de sol, c'est-à-dire une octave au-dessus du do central) est chantée fort à un téléphone dont les bornes sont reliées aux électrodes d'excitation, le nerf reçoit plus de mille excitations par seconde par des courants circulant alternativement dans des directions opposées. L'image résultante (figure 16.1), prise avec une plaque photographique mobile, montre la « variation négative » initiale ainsi que la réponse ultérieure du nerf au do chanté. Dans cette expérience, par un heureux hasard, le téléphone a été enregistré par le galvanomètre avant même que le nerf ne reçoive le courant téléphonique, de sorte que la photographie montre à la fois la forme du courant stimulant et celle de la vibration musculaire en réponse.

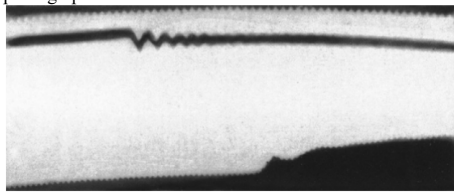


Figure 16.1

Photographie de J. B. Sanderson (1895) illustrant une expérience où la note do était chantée par téléphone à un nerf de grenouille.

La courbe supérieure représente la réponse de base du galvanomètre, qui recevait le courant téléphonique avant même le nerf (courant médian). La réponse du nerf montre la « variation négative » initiale ainsi que sa vibration continue à la fréquence du do, s'atténuant progressivement avec le temps.

En 1900, le physiologiste russe **Nikolai Wedensky** décrivait la « méthode téléphonique » comme « pratiquement irremplaçable » car « on peut suivre n'importe quel point arbitraire du nerf sans interrompre sa connexion avec le muscle ».

Considérant l'ensemble des instruments, il concluait que « pour étudier tout processus complexe de la fibre nerveuse, il est nécessaire d'utiliser le muscle, le téléphone et le galvanomètre. Chacun de ces appareils s'exprime dans son propre langage et se révèle être un bon témoin dans certaines conditions et un témoin faible dans d'autres ».

Son appareil complet (figure 16.2) incluait toutes ces modalités multiples afin de mieux comprendre l'action nerveuse et musculaire, pour laquelle il trouvait les possibilités de timbre du téléphone particulièrement révélatrices.

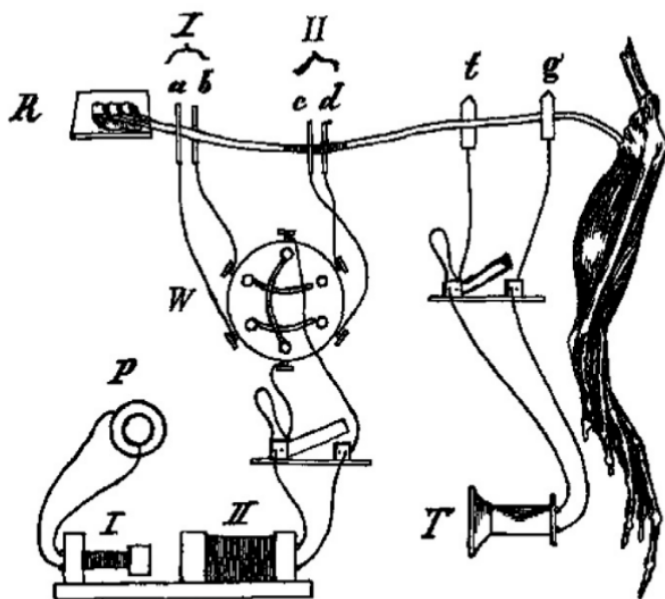


Figure 16.2

Schéma du dispositif expérimental de Nikolai Wedensky (1900). Un appareil à induction (P, avec bobines I et II) génère des courants dont la fréquence est régulée par la roue rotative W. Ces courants circulent ensuite dans le fil situé en haut et atteignent un muscle de grenouille. Un téléphone T peut être connecté au circuit pour écouter le courant entrant ainsi que la réponse musculaire. Dans d'autres expériences, Wedensky utilisait un diapason électromagnétique pour réguler la fréquence.

Dans certaines études, il était facile de distinguer un son physiologique d'un autre grâce à leurs timbres particuliers.

Lorsque je stimule [le muscle] avec des courants que l'on commence déjà à entendre au téléphone, j'entends d'abord le son musculaire, puis finalement, après que la fatigue musculaire due à la stimulation se soit installée, le « Le son calme des cycles de courant, d'un timbre différent de celui qu'il avait perçu jusqu'alors sans aucune modification. » Il pouvait même entendre au téléphone les différentes phases de l'action du poison sur les nerfs, qui évoquait un son initial caractéristique de « courants stimulants très forts et très modérés », se transformant en « un son faible et étouffé, compliqué par des bruits nerveux » après que le poison eut commencé à agir.

Comme Laennec et Bernstein, Wedensky s'appuyait sur son expérience sonore pour décrire ce qu'il entendait, comme le bruit profond « semblable à une cascade lointaine » lors d'une contraction volontaire.

Parallèlement à ces développements concernant les modes d'observation sonores, le galvanomètre a lui-même connu de nombreux développements en tant qu'instrument de physiologie. Le physicien néerlandais Willem Einthoven a conçu une version particulièrement puissante vers 1901 afin de mesurer les très faibles courants électriques du cœur. Le galvanomètre d'Einthoven (figure 16.3a) a été conçu pour réaliser les premiers électrocardiogrammes, en faisant passer le courant cardiaque à travers un filament extrêmement fin de quartz recouvert d'or ou d'argent, passant entre de puissants électroaimants.

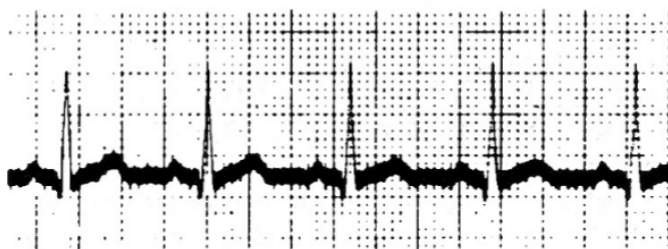
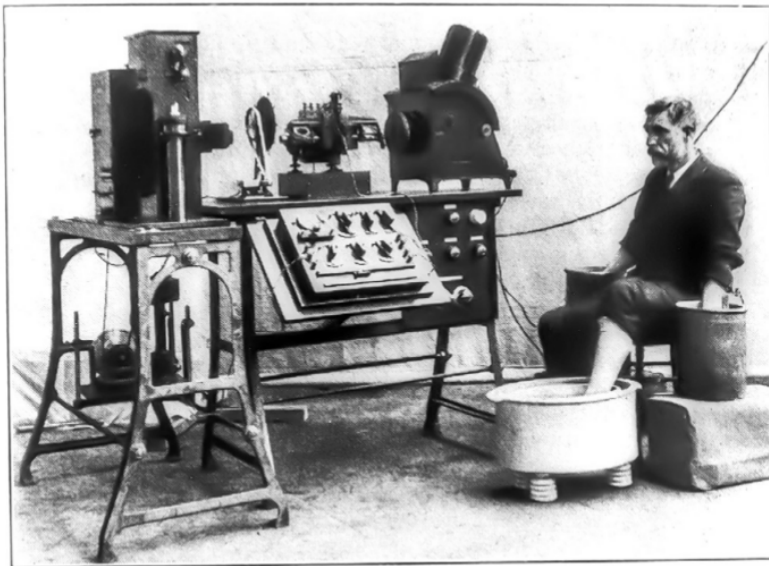


Figure 16.3

- (a) Un galvanomètre à corde d'Einthoven fabriqué en 1911 ; le patient est assis, un bras et une jambe immergés dans des solutions salines concentrées (conductrices).
 (b) Un des premiers électrocardiogrammes réalisés sur le galvanomètre à corde (1902).

On l'appelle galvanomètre à « fil » en raison de ce fil conducteur.

Le courant qui le traverse provoque alors son mouvement dans le champ magnétique et projette une ombre sur un rouleau de papier photographique en mouvement, dont la vitesse de déplacement enregistre la coordonnée temporelle de l'image, remplaçant ainsi le diapason de Helmholtz.

L'électrocardiogramme obtenu ressemble beaucoup à ceux réalisés aujourd'hui (figure 16.3b).

Mais le remplacement d'une observation sonore — la vibration de la corde — par sa trace visuelle sur le papier tendait à masquer, voire à dissimuler, la vibration sonore qui sous-tendait l'ensemble du dispositif.

Pour cette découverte, Einthoven reçut le prix Nobel de physiologie ou médecine en 1924, mais son instrument était un monstre de 270 kilogrammes (en raison du refroidissement à eau des électroaimants) qui nécessitait cinq personnes pour fonctionner. Bien que beaucoup plus sensible que les galvanomètres précédents, son fil de quartz se cassait facilement, ce qui rendait l'instrument délicat et difficile à utiliser.

De nombreuses mesures de courants physiologiques, en particulier, posaient problème aux instruments comme le galvanomètre, conçu pour des courants beaucoup plus importants. Bien que Wedensky, entre autres, ait réalisé des expériences d'amplification des faibles courants nerveux, des progrès substantiels ne furent accomplis qu'après la mise au point des amplificateurs à plusieurs étages nécessaires à la production de transmissions radio exploitables.

Là encore, les nécessités militaires ont servi de catalyseur. Comme le notait Rudolf Höber en 1919, la Grande Guerre a stimulé le développement d'une technologie capable d'« amplifier les courants faibles à un degré quasi arbitraire ».

L'un des nouveaux amplificateurs à tubes à vide à trois étages lui a permis de reproduire les observations de Bernstein et Wedensky en amplifiant les courants d'action de plus d'un million de fois. Höber a constaté que les sons nerveux et musculaires « ainsi magnifiés pouvaient facilement être mis en évidence dans des conditions favorables, entendus au téléphone, avec une observation attentive dans un atelier calme ». Grâce à ce volume et à cette clarté accrus, il pouvait distinguer plus facilement que Wedensky les différentes fréquences de stimulation (toujours fournies par un diapason électronique).

Par son téléphone, Höber entendit un spectre saisissant de hauteurs et de timbres provenant d'un muscle de l'avant-bras humain stimulé successivement à « 50 Hz, un bourdonnement fort ; 100, un son semblable à celui d'un violoncelle ; 160, un son plus aigu et plus fort, à l'unisson avec la fréquence de stimulation ; 256, un son légèrement inférieur à la fréquence de stimulation, mêlé à du bruit ; 512, un bruit fort ; 850, un bruit de grattement fort. »

Höber considérait manifestement ces descriptions de timbre comme une partie importante de ses observations expérimentales et les utilisa en milieu clinique pour évaluer les sons qu'il entendait des muscles de patients souffrant de contractions spastiques après une apoplexie ou une encéphalite, ainsi que les sons musculaires très différents de patients catatoniques.

Dans une postface, Höber appliqua ces techniques pour rendre les sons du cœur humain audibles même dans un grand auditorium : « Si l'on fait passer par l'amplificateur le courant qu'un microphone capte à partir des sons du cœur et il plaçait un pavillon [Schalltrichter] sur le téléphone, permettant ainsi d'entendre clairement, même de loin, le rythme, ainsi que d'éventuelles arythmies et l'accentuation du premier ou du deuxième bruit [du cœur]. En plaçant un pavillon ou un mégaphone sur le téléphone, Höber créa manifestement un haut-parleur rudimentaire du type de ceux qui commençaient déjà à être utilisés pour la reproduction sonore des radios ou des phonographes.

De cette manière, des sons qui auparavant ne pouvaient être perçus qu'en tendant l'oreille dans une pièce calme pouvaient désormais remplir un auditorium entier. Höber regrettait que le bruit de fond important « perturbe encore une perception plus fine » des détails sonores plus subtils et prévoyait de « rechercher au plus vite des solutions pour remédier » à ces problèmes.

En réponse à l'appel de Höber, au milieu des années 1920, l'électrophysiologiste autrichien Ferdinand Scheminzyk avait mis au point des techniques améliorées, intégrées à ce qu'il appelait un électrostéthoscope, l'étape suivante de la technologie sonore initiée par Auenbrugger et Laennec.

Certes, les travaux de Scheminzyk ne représentaient qu'une tentative parmi d'autres d'appliquer les nouveaux amplificateurs électroniques aux problèmes persistants de l'auscultation cardiaque. Nous les retenons en raison de la manière dont Scheminzyk a synthétisé plusieurs aspects des travaux de Höber, notamment l'amplification sonore des bruits cardiaques et musculaires, ainsi que la mesure des courants amplifiés à l'aide du galvanomètre à corde.

L'article de Scheminzyk de 1927 présentait son appareil composite, un instrument de pointe pour l'exploration audible de l'état cardiaque en temps réel (figure 16.4).



Figure 16.4

Photographie de Ferdinand Scheminzky (1927) de son appareil d'amplification des bruits cardiaques. Le microphone M, suspendu par la capsule d'enregistrement K au-dessus du thorax du patient, produit un courant traversant un amplificateur à tubes à trois étages (Tk, I, II, III) placé sur la table à côté de lui, qui alimente ensuite le haut-parleur L.

L'étrange ressemblance de cette photographie avec des scènes du laboratoire du Dr Frankenstein dans de vieux films ne doit pas détourner l'attention d'une lecture plus attentive de cette image. Contre un mur couvert de schémas et de graphiques du cœur, le haut-parleur projette les sons amplifiés du patient, permettant une auscultation immédiate et accessible à tous. Il a pris soin d'utiliser les meilleurs microphones à charbon disponibles pour obtenir « une fidélité de reproduction sensiblement supérieure, surtout à faible courant », appliquant ainsi les préoccupations contemporaines en matière de qualité sonore afin d'élucider ce qu'il appelait le « caractère tonal » des bruits cardiaques, en particulier les subtiles nuances de la pathologie cardiaque.

Ces microphones donnaient des résultats bien meilleurs que ceux des téléphones ordinaires et permettaient également une meilleure audition et discussion des bruits cardiaques même dans un grand auditorium, utile pour la formation médicale et la consultation clinique.

Scheminzky utilisait également son dispositif pour réaliser des enregistrements visuels permanents, ainsi que pour entendre ces sons sur le moment.

Il utilisa un galvanomètre à corde Edelmann pour produire une représentation graphique du courant du microphone, en regard d'un repère temporel d'une horloge.

Pour contrôler le son à l'origine de ces images, il utilisa un téléphone, intégrant ainsi les modes d'observation sonore et visuel.

Ses graphiques comprennent des enregistrements sonores de la valve tricuspide du cœur et des muscles faciaux (figure 16.5).

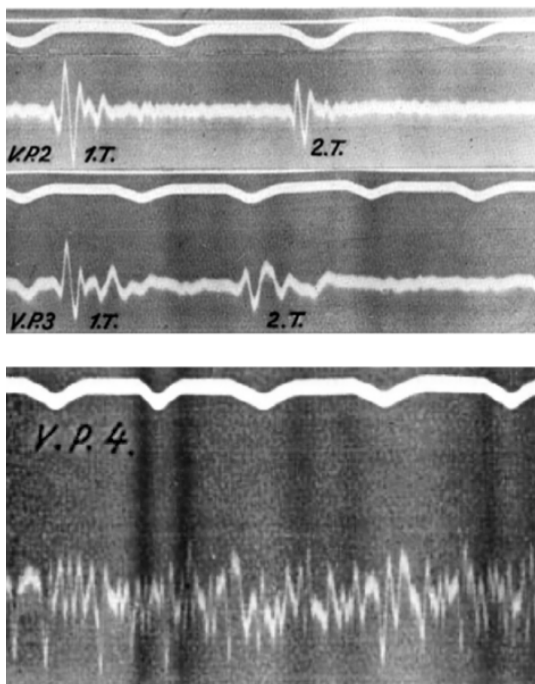


Figure 16.5

Images de Ferdinand Scheminzky (1927) montrant les signaux de microphone : (a) bruits cardiaques non amplifiés de la valve tricuspide de deux patients sains (V.P.2, V.P.3), montrant les premier et deuxième bruits cardiaques (1.T, 2.T) ; (b) bruits musculaires amplifiés du muscle masséter en contraction, stimulés par un diapason électromagnétique. En haut de chaque image, un signal temporel (provenant d'une horloge Jacquet) indique des intervalles de 1/5 de seconde.

Le diapason électromagnétique demeura sa source pour stimuler les muscles masséters, utilisant des courants généralement à basses fréquences (20 et 50 Hz), proches ou inférieures au seuil d'audibilité humaine. Scheminzky remarqua en particulier la capacité du microphone à charbon à enregistrer ces sons même lorsque l'oreille humaine ne le pouvait pas, démontrant ainsi l'utilité de ces méthodes sonores pour surmonter les limitations de l'audition sans aide auditive.

Bernstein et ses prédécesseurs avaient trouvé des indices suggestifs des mécanismes électriques et chimiques sous-jacents à l'action nerveuse, par des inférences tirées de phénomènes tels que les bruits musculaires. Cependant, confirmer, clarifier et approfondir ces explications nécessitait d'étudier l'« atome » de l'action nerveuse, le neurone individuel et son comportement précis.

Les courants électriques impliqués étant extrêmement faibles, les instruments de mesure peinaient à répondre correctement à l'observation d'un neurone individuel en activité, même avec amplification.

Plus fondamentalement, l'écoute des nerfs et des muscles que nous avons envisagée dans les deux chapitres précédents (et en fait depuis Laennec) était essentiellement analogique, en ce sens qu'elle consistait à entendre le paysage sonore interne du corps rendu audible par des appareils comme les stéthoscopes ou les téléphones qui amplifient les sons faibles mais continus.

Comme nous le verrons dans le chapitre suivant, l'amplification des signaux de neurones individuels a permis d'accéder à un nouveau domaine de sons binaires, non continus — soit allumés, soit éteints, sans nuance intermédiaire. Le tournant sonore a ainsi conduit à un nouveau domaine d'écoute des fréquences de ces impulsions binaires discrètes, qui sont généralement perçues comme des rythmes