

TÉLÉPHONES
ET
PHONOGRAPHERS

ÉTUDE COMPLÈTE DE CES INVENTIONS

PAR

ALFRED NIAUDET

Ingenieur civil

24 gravures dans le texte



PARIS

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE

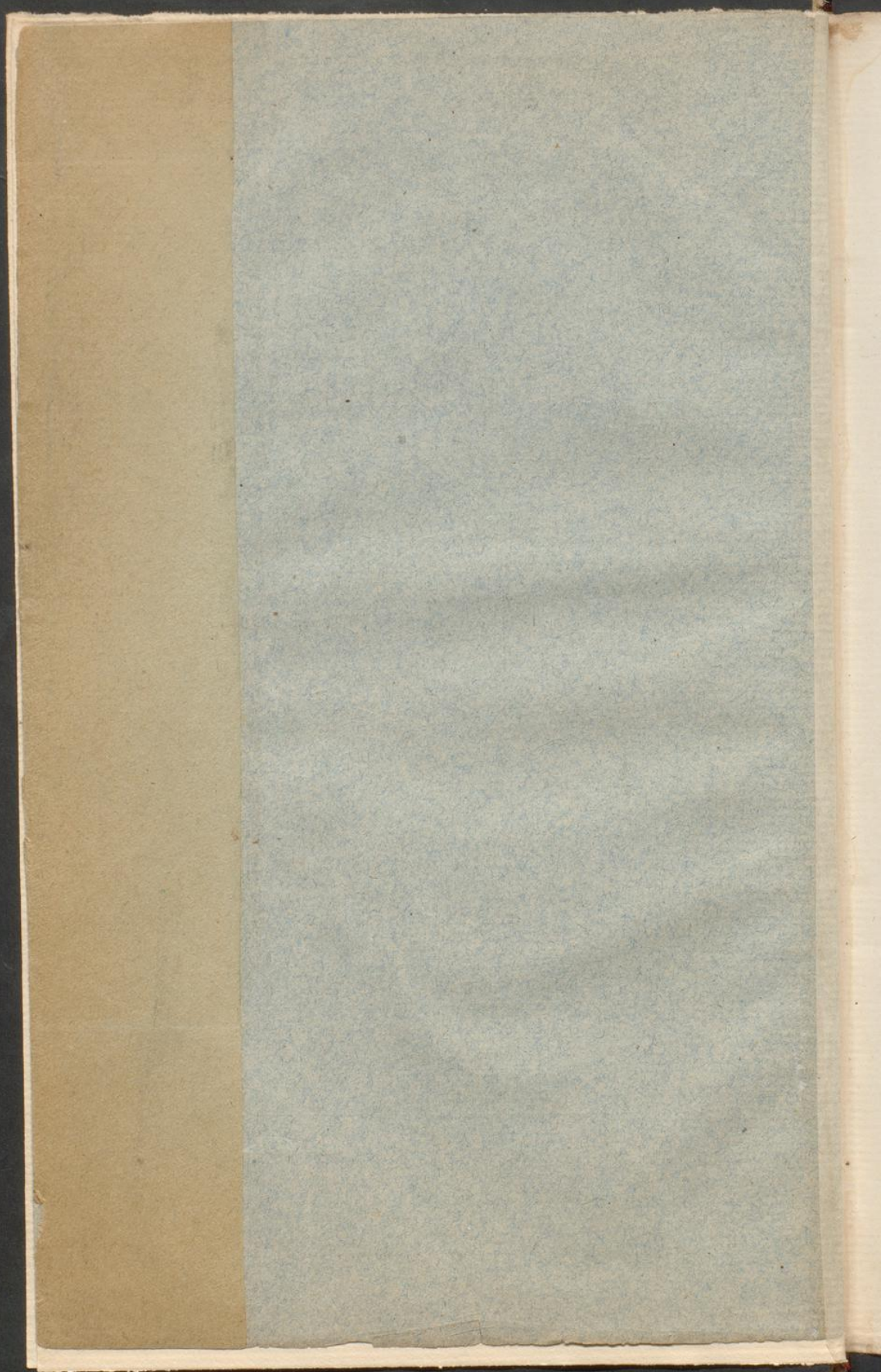
J. BAUDRY, LIBRAIRE-ÉDITEUR

15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15

MÊME MAISON A LIÈGE

Tous droits réservés

1878 (36.141 →)



TÉLÉPHONES
ET
PHONOGRAPHES

PARIS — TYPOGRAPHIE TOLMER ET ISIDOR JOSEPH
43, rue du Four-Saint-Germain, 43

TÉLÉPHONES
ET
PHONOGRAPHES

ÉTUDE COMPLÈTE DE CES INVENTIONS

PAR

ALFRED NIAUDET

Ingénieur civil

24 gravures dans le texte

Pro captu lectoris

PARIS

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE
J. BAUDRY, LIBRAIRE-ÉDITEUR
15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15
MÊME MAISON A LIÈGE

Tous droits réservés

1878 (Mai?)
—
—



A. Serret.

TELEPHONES

PHONOGRAPHES

ETUDE COMPARATIVE DE CES INVENTIONS

ALFRED NIEUDET

21 Boulevard des Capucines, Paris

Paris, 1881

PARIS

LEBLANC, BOULANGER
A. BAUDRY, LIBRAIRE-EDITEUR
RUE MONTMARTRE, 11
RUE MONTMARTRE, 11



INTRODUCTION.

On peut classer les télégraphes de diverses façons, par exemple de la manière suivante : Télégraphes optiques, électriques, acoustiques, pneumatiques.

Les télégraphes optiques sont les plus anciens en date, et conserveront leur utilité malgré tous les progrès qu'on pourra faire faire aux autres systèmes plus récemment inventés. La télégraphie optique a d'ailleurs été elle-même presque renouvelée dans ces dernières années ; on en a augmenté la portée ; on a réussi à empêcher que les signaux ne soient vus par d'autres que par le correspondant intéressé ; on a perfectionné les moyens de transmission. Ces progrès sont tels qu'il est, paraît-il, possible, dès aujourd'hui, de communiquer entre la France et la Corse avec les nouveaux moyens, et de communiquer aussi bien la nuit que le jour ; toujours, excepté

par des temps de brouillard épais fort rares dans le Midi. Il ne paraît pas possible d'imaginer un système plus économique et moins susceptible de dérangements. Sa vitesse de transmission est inférieure à celle d'un télégraphe électrique sous-marin; mais il serait fort aisé de la doubler ou de la multiplier, en doublant ou multipliant les appareils suivant les nécessités croissantes du service.

Au point de vue militaire, les télégraphes optiques défont les indiscrétions, ne peuvent pas être coupés par les espions ou les colonnes ennemies. Ils permettent également d'établir immédiatement une communication entre deux corps d'armée ou deux groupes d'officiers, à la seule condition que les deux points à mettre en rapport se voient l'un de l'autre, ou en voient un troisième placé en arrière de la ligne de défense et choisi à l'avance.

Les télégraphes électriques sont les plus répandus, et ceux qui ont donné lieu au plus grand nombre d'inventions ingénieuses. Ces appareils peuvent mettre en communication deux points quelconques, pourvu qu'un fil les relie, fil métallique isolé; ils franchissent des distances quelconques, les continents, les fleuves et les mers.

Si familiarisé qu'on soit avec ces procédés admirables, on ne peut se défendre d'une certaine émotion quand on se trouve en conversation réglée avec un homme qu'on n'a jamais vu, et avec un pays qu'on ne connaît que de nom, à une distance énorme;

quand on cause, par exemple, comme l'a fait un de mes amis, il y a quelques années, de Constantinople à Aberdeen, ou quand on parle au travers de l'Atlantique, de Brest à Saint-Pierre, ce qui se fait tous les jours actuellement.

Les appareils de la télégraphie électrique sont diversifiés d'une quantité de manières; les uns ne donnent que des signaux fugitifs qu'il faut saisir au passage; les autres donnent des signaux écrits, et ceux-là seuls justifieraient pleinement leur nom de télégraphes.

Parmi ces derniers, il y en a qui tracent des signaux conventionnels qu'on doit ensuite déchiffrer; il y en a qui impriment les lettres en caractères romains ordinaires; il y en a enfin qui tracent des figures et reproduisent des dessins aussi compliqués qu'on veut et jusqu'à des portraits.

Les télégraphes pneumatiques ne sont pas, à proprement parler, des télégraphes; ils n'écrivent pas, ils transportent des papiers. Ce sont des moyens de transport très-rapides, qui sont devenus d'importants accessoires de la télégraphie proprement dite. On les trouvera décrits d'une manière complète et attachante dans l'ouvrage de M. Bon-temps, *les Systèmes télégraphiques*.

A cette catégorie de moyens de transport rapides on peut rattacher l'emploi des pigeons voyageurs, qui a été remis à la mode par le siège de Paris, mais qui a été employé d'une manière systématique

au moyen âge par les souverains musulmans de l'Égypte et de la Syrie, comme nous l'avons exposé dans *les Annales télégraphiques* d'après un mémoire arabe traduit et publié par Volney dans son *Voyage en Égypte et en Syrie*.

Les télégraphes acoustiques ou téléphones ont été plus modestes que tous les précédents jusqu'à ces temps derniers, mais ils viennent de recevoir des perfectionnements si inattendus et si extraordinaires, qu'il ne semblera pas surprenant que nous ayons entrepris d'en publier une étude spéciale et assez étendue.

TÉLÉPHONES

ET

PHONOGRAPHERS

PREMIÈRE PARTIE

ÉCHOS TÉLÉPHONIQUES.

On sait généralement qu'il y a à Paris, au Conservatoire des Arts-et-Métiers, une salle rectangulaire voûtée, située au rez-de-chaussée, dans laquelle se produit un phénomène acoustique intéressant. Si deux personnes se placent dans deux angles opposés, elles peuvent entretenir une conversation à voix basse, malgré la distance qui les sépare et les objets qui sont placés entre elles. Il paraît que les ondes sonores réfléchies par la voûte vont d'un interlocuteur à l'autre en passant par dessus la tête de la foule qui remplit la salle, sans que cette foule en ait conscience.

Tandis qu'une conversation se tient ainsi entre deux angles de la pièce, une autre peut être engagée, sans troubler la première, sur l'autre diagonale du rectangle, et entre les deux autres angles.

Cet écho est remarquable en ce que ses effets sont réciproques et identiques dans les deux directions.

Les visiteurs qui font cette expérience chaque dimanche au Conservatoire des Arts-et-Métiers, font

de la téléphonie; c'est une téléphonie bornée à quatre points conjugués deux à deux; mais c'est de la téléphonie proprement dite.

Tous les échos ne mériteraient pas l'appellation de téléphones; car le plus souvent ils sont unilatéraux, mais l'écho du Conservatoire n'est pas le seul de son espèce; on en cite un à Muyden, près d'Amsterdam, et il serait facile aux architectes de construire des salles produisant des effets semblables. Il suffirait de donner à la voûte une forme elliptique et de marquer les foyers comme place à prendre par les interlocuteurs.

Nous avons voulu noter ces phénomènes en passant, pour montrer comment des résultats auxquels on arrive péniblement et difficilement, ont été quelquefois réalisés par le hasard, soit dans la nature, soit dans les travaux antérieurs d'hommes qui ne les cherchaient pas.

PORTE-VOIX OU TÉLÉPHONES NON ÉLECTRIQUES.

Tuyaux acoustiques

Les premiers téléphones proprement dits dont nous ayons à parler sont les tuyaux acoustiques. Ce sont de longs tubes qu'on fait généralement de métal, mais qu'on a fait quelquefois de gutta-percha, et au moyen desquels deux personnes font commodément la conversation, à très-peu près comme elles feraient à une distance de quelques mètres dans une même pièce.

Les tuyaux acoustiques transmettent les sons de la voix avec toutes leurs délicatesses; ils respectent même assez bien le timbre de la voix et permettent de reconnaître, pourvu qu'on la connaisse bien, la personne qui parle.

Les tubes acoustiques généralement employés en France ont un diamètre de 3 centimètres qui suffit pour l'intérieur des maisons ordinaires.

Mais à mesure que la longueur des tuyaux est plus grande, ou que le nombre des coudes augmente, la voix s'entend moins bien. De plus, par les tassements continuels des maisons, les tubes subissent des déplacements, des disjonctions, et souvent, au bout d'un certain temps, ils arrivent à ne plus rien laisser entendre.

A la vérité, si on augmente le diamètre des tuyaux en même temps que leur longueur, on rend la communication possible à grande distance; mais si elle reste possible au point de vue physique, elle devient bientôt impossible par la dépense qu'elle entraîne, sauf, bien entendu, pour des cas tout spéciaux.

M. Casanova a établi pendant le siège de Paris un tuyau acoustique de 600 mètres de long, entre l'avancée de Billancourt et la porte de Versailles (fortifications de Paris). C'était un tuyau de laiton enterré dans le sol; les ordres se transmettaient sur le ton ordinaire de la conversation, tout à fait comme si les deux correspondants avaient été en présence l'un de l'autre. Nous ne savons malheureusement pas quel était le diamètre de ce tube.

C'est ici le lieu de rappeler les expériences faites en 1808, par Biot, sur les tuyaux allant de la machine de Marly à l'aqueduc de Louveciennes; ces tuyaux avaient 951 mètres de long.

« Je voulus, dit Biot, déterminer le ton auquel la
« voix cessait d'être sensible, je ne pus y parvenir;
« les mots dits aussi bas que quand on parle à l'oreille
« étaient reçus et appréciés; de sorte que, pour ne pas
« s'entendre, il n'y aurait eu absolument qu'un moyen,
« celui de ne pas parler du tout. »

Biot fit jouer un air de flûte à l'une des extrémités et constata qu'on l'entendait à l'autre sans altération aucune dans le timbre ou dans la mesure.

Des expériences beaucoup plus variées ont été faites par M. Regnault de 1862 à 1866; elles nous fournissent d'utiles renseignements sur la portée des tuyaux acoustiques.

Nous voyons, par exemple, qu'un coup de pistolet chargé d'un gramme de poudre n'était plus entendu après avoir parcouru :

1,150 mètres dans un tuyau de 0^m,108 de diamètre intérieur.

3,810 mètres dans un tuyau de 0^m,300.

9,550 — dans un tuyau de 1^m,10.

Ces chiffres montrent combien est limitée la portée des téléphones acoustiques qu'on peut pratiquement établir; car personne ne peut songer à faire placer des porte-voix de 1 mètre ni même de 30 centimètres de diamètre.

M. Regnault et M. Kœnig, qui l'assistait dans ces importantes expériences, ont constaté que les sons aigus se propagent moins vite que les sons graves, et que, par suite, à une grande distance la mesure est altérée, la mélodie dénaturée et le timbre modifié.

Ces résultats n'ont qu'un intérêt théorique; ils montrent cependant que les téléphones acoustiques seraient très-imparfaits à une certaine distance, alors même que leur prix d'établissement ne serait pas une raison plus que suffisante pour les écarter.

Troubles accidentels dans l'audition.

Un fait curieux nous a été signalé, et nous le considérons ici, parce que le téléphone électrique nous en présentera l'analogie. Voici ce que c'est ;

Au Grand Hôtel du Louvre, à Paris, il existe un porte-voix de 180 mètres de long environ qui longe un tuyau de conduite d'eau. Il arrive fréquemment que les deux bouts du porte-voix font entendre un bruit singulier qui rend toute conversation impossible et qu'on attribue à un ébranlement de la paroi résultant du mouvement de l'eau dans le tuyau voisin.

Influence de la surface intérieure.

M. Regnault, dans ses expériences, a constaté que la nature de la surface intérieure des tuyaux a une influence très-notable sur la distance à laquelle on peut être entendu dans un tuyau de diamètre donné.

Plus cette surface est unie, mieux on entend. La même opinion est formulée par les hommes pratiques, comme M. Casanova, qui recommandent l'emploi du laiton de préférence à tout autre matière pour faire des tuyaux acoustiques.

Audition par plusieurs personnes.

En général, un porte-voix ne peut être entendu que par un seul auditeur qui applique son oreille à l'entonnoir par lequel se termine le tuyau acoustique. Il n'est pas impossible de faire davantage. Je me souviens d'avoir vu dans mon enfance de grands entonnoirs de 30 centimètres à leur grand diamètre, servant d'embouchures à des porte-voix établis chez M. Breguet ; ces entonnoirs étaient attachés au plafond d'une pièce dans toute laquelle on pouvait entendre les sons amenés par le tuyau. Quand on voulait répondre, on n'avait qu'à se tourner dans la direction de cette embouchure et à parler plus ou moins haut suivant les cas. Dans la journée, les bruits extérieurs rendaient cet appareil

quelque peu confus ; mais, dans le silence de la nuit, le moindre bruit fait dans la pièce en question était reçu à l'autre bout du porte-voix ; celui des pages d'un livre tournées, celui de la plume grinçant sur le papier, étaient entendus.

Ceci nous amène à dire qu'il faut se défier des porte-voix, car ils permettent souvent à une personne indiscreète d'entendre ce qui se dit dans une pièce où ils aboutissent.

Système d'avertissement.

Toute combinaison télégraphique ou téléphonique doit être complétée par un système d'avertissement : avant de parler à son correspondant, il faut appeler son attention ; cela est vrai pour une conversation à tenir dans un salon, cela est plus vrai encore lorsqu'on est séparé de son interlocuteur par une grande distance.

Le principal défaut des télégraphes optiques, c'est précisément qu'ils n'ont pas de moyen d'avertissement préliminaire ; il faut que chaque stationnaire regarde de temps à autre si son collègue a un avis à lui transmettre.

Avec les porte-voix actuels, le mode d'avertissement est excellent ; il consiste dans l'emploi d'un sifflet emmanché sur le tuyau acoustique. Pour appeler, on souffle dans son embouchure, l'air est ébranlé et traverse le sifflet de l'autre station qui est immédiatement entendu. On peut siffler fort ou doucement à volonté ; c'est une combinaison excellente, dont l'invention d'ailleurs n'est pas ancienne, si simple qu'elle soit. Nous croyons qu'elle était inconnue en France il y a une trentaine d'années.

Emploi des tuyaux à gaz.

Il faut noter que dans certains cas les tuyaux à gaz pourraient être employés comme porte-voix sans cesser de servir de conducteurs au gaz d'éclairage. Il suffirait de les munir d'embouchures au fond desquelles il y aurait une membrane peu perméable au gaz. On parlerait et on s'entendrait ainsi au travers de la membrane; sans doute, un peu moins bien que par le moyen des tuyaux acoustiques ordinaires, qui sont dispensés de l'intermédiaire de ces deux membranes, mais on s'entendrait encore. Un inconvénient notable de ces dispositions, c'est que le tuyau du gaz n'irait pas directement et seulement aux deux points à mettre en communication téléphonique; par suite, le son serait envoyé à la fois dans plusieurs directions et n'arriverait qu'affaibli au point destinataire.

Malgré ces défauts, les tuyaux à gaz pourraient être utilisés pour des communications à grande distance, parce qu'ils présentent souvent un grand diamètre et des coudes dont on pourrait profiter pour établir l'embouchure du porte-voix dans une orientation favorable.

Ce genre de communication pourrait être utile soit aux Compagnies de gaz elles-mêmes, soit à l'autorité militaire dans des villes assiégées, parce qu'elles peuvent être facilement établies et presque sans dépense.

Porte-voix à liquides.

On vient de voir, dans ce qui précède, que l'air et les autres gaz peuvent servir de véhicule à la parole. On sait que les liquides sont au moins aussi propres, à transmettre le son à de grandes distances. Les grandes conduites d'eau qui existent dans les villes et qui ont

servi, vides, aux expériences de M. Regnault sur la vitesse du son dans l'air pourraient être utilisées pleines, aussi bien que vides, et servir à des communications téléphoniques.

On trouve dans les ouvrages d'acoustique, notamment dans le livre de M. Tyndall, *Le Son*, des expériences qui montrent que le son d'un diapason peut être transmis par une colonne d'eau à une table d'harmonie. Il y a donc lieu de croire que, par des dispositions spéciales, on pourrait arriver à transmettre les sons de la voix par l'eau des conduites de distribution aussi bien que par l'air qui remplit les porte-voix ordinaires.

Ceci nous servira de transition pour arriver à décrire les téléphones dans lesquels la transmission du son se fait, non plus par un gaz ou un liquide, mais par un solide, corde, fil métallique ou baguette rigide.

PORTE-VOIX A FICELLE.

On doit citer, parmi les téléphones acoustiques, le *Porte-voix à ficelle* qu'on appelle aussi *Télégraphe des amoureux*.

Cet appareil, qui se vend chez les marchands de jouets, se compose de deux cornets de fer-blanc fort semblable aux cornets qu'on emploie pour jouer aux dés.

Le fond du cornet est formé d'une membrane tendue. Au milieu de la membrane est attaché un fil ou cordon de coton ou de soie qui va aboutir à l'autre cornet.

Quand deux personnes se mettent aux deux bouts de ce cordon, ayant chacune à la main un de ces cornets, elles peuvent échanger une conversation à voix

basse, l'une tenant son cornet à la bouche, l'autre à l'oreille.

Les personnes habiles arrivent à parler dans leur cornet de manière à n'être pas entendues de leurs voisins, tandis que leur correspondant placé à l'autre bout de la ficelle ne perd pas un mot de leur discours.

La seule chose nécessaire pour bien entendre, c'est que le fil soit tendu. Il est utile également d'éviter que le cordon touche des points d'appui, des murs, des meubles, mais cette précaution n'est pas absolument indispensable, et on arrive à s'entendre même en la négligeant.

On ne sait pas encore quelle est la limite de la portée de ces instruments ; on a cru d'abord qu'elle ne dépassait pas quelques mètres, mais on cite déjà des expériences à 1,000 pieds anglais, soit 300 mètres et il est fort probable qu'on pourrait aller beaucoup plus loin.

Il est possible qu'on arrive à utiliser cet appareil dans certains cas spéciaux, au travers d'une cour d'usine, d'un côté à l'autre d'une gare de chemin de fer, d'un côté à l'autre d'une rivière, notamment dans les endroits où sont établis des bacs, ou même dans des conditions moins faciles.

Mode de suspension.

Quand la distance est grande, il faut nécessairement donner au cordon des points d'appui ; cela peut être fait de différentes façons.

On peut faire usage de petits tambours de basque dont la membrane est traversée au milieu par le cordon, de manière à s'infléchir et à faire un angle très-ouvert.

On peut encore, comme l'a fait M. Antoine Breguet, mettre le tambour de basque en dehors de la ligne brisée formée par le fil; c'est-à-dire que le fil aboutit sous un angle de 25 degrés par exemple et en repart sous le même angle et du même côté, exactement comme ferait un rayon lumineux se réfléchissant sur le point central de la membrane; on pourrait appeler ce mode d'attache, *suspension par réflexion*, tandis que le précédent est une *suspension par traversée*. M. Antoine Breguet a également essayé des tubes de diamètres variés courbés à l'angle voulu, qui présentent à leurs deux extrémités des membranes auxquelles viennent s'attacher les deux bouts du cordon. D'une membrane à l'autre la transmission du son a lieu par l'air. C'est un téléphone à ficelle interrompu par un téléphone à air. C'est un relais du téléphone à ficelle, mais malheureusement c'est un relais qui ne rend qu'une partie de l'intensité qu'on lui donne, à l'inverse des relais de la télégraphie ordinaire, qui rendent augmentée à volonté l'intensité du courant qu'on y fait aboutir.

Un dernier mode de suspension paraît être employé en Amérique sur deux petites lignes de 150 et de 300 mètres, servant à des communications d'un caractère commercial. Voici en quoi il consiste : le fil est soutenu de distance en distance par des cordes verticales d'un mètre de long, accrochées à des supports. Le fil traverse une boucle faite à la partie inférieure des cordons suspenseurs. Dans cette disposition, il doit se perdre peu de son par les supports, à cause de la flexibilité des suspensions, de leur longueur et de leur direction sensiblement perpendiculaire à la ligne de transmission. C'est précisément parce que ces conditions favorables font défaut que le son se transmet

mal quand le fil du téléphone appuie sur des murs ou d'autres points d'appui fixes.

C'est, croyons-nous, cette méthode qu'il faudra suivre quand on voudra transmettre des sons à grande distance par le moyen de cordes.

Nature des cordes.

On emploie habituellement pour les téléphones jouets, des cordons de coton; il paraît certain que des cordonnets de soie donneraient de meilleurs résultats.

On peut faire usage aussi des fils métalliques, à l'exemple du colonel Goulier. Ce savant a imaginé, comme on sait, un télégraphe à l'usage militaire; sa méthode exige l'emploi d'une base de 40 mètres de long; il la mesure au moyen d'un fil métallique tendu entre les deux opérateurs et faisant une flèche connue; certains signaux ou commandements se transmettent par ce fil d'une extrémité à l'autre de la base, en pinçant très-légèrement le fil métallique, comme une corde de guitare, avec l'ongle du petit doigt; c'était là une communication téléphonique qui paraît avoir précédé l'invention du porte-voix à ficelle, car elle date de l'année 1864.

Inventeur du porte-voix à ficelle.

Nous avons eu grand'peine à découvrir l'inventeur de ce joli appareil dont la place est marquée dans tous les cabinets de physique et qui pourra trouver des applications pratiques.

Nous devinions seulement que l'invention était récente, car elle n'est indiquée ni dans le joli ouvrage de M. Radau (de 1867) dans lequel sont réunis tant de curieux renseignements et de piquantes trouvailles

d'érudition, ni dans *Le Son*, de Tyndall (de 1869), ni dans l'ouvrage tout récent de M. Gavarret, *De la Phonation et de l'Audition* (1877), ni dans l'ouvrage de Lord Raleigh qui porte aussi la date de 1877, tandis qu'il paraît certain qu'il en sera fait mention dans tous les livres qui consacreront à l'avenir un chapitre à l'Acoustique.

Nous avons heureusement appris à temps que cette belle expérience est due à M. Weinhold, professeur à Chemnitz, et qu'elle est décrite dans son ouvrage *Vorschule der Experimental Physik*, Leipzig, 1872, p. 315 à 218.

Cet appareil présente un fort grand intérêt au point de vue acoustique. Il montre en effet qu'une membrane tendue peut vibrer à l'unisson de tous les sons simultanés et successifs qui se présentent dans l'articulation d'une phrase parlée ou chantée, ce qu'on était fort loin de croire ou plutôt ce que les acousticiens niaient par de très-fortes raisons.

Il montre de plus que ces vibrations sont perpendiculaires au plan de la membrane, tandis qu'on pouvait supposer qu'elles étaient d'une nature plus compliquée; en effet, il n'est pas possible d'admettre qu'une corde attachée perpendiculairement à une membrane lui donne ou reçoive d'elle, d'autres mouvements que des mouvements dans le sens de la longueur de cette corde ou des vibrations dans des plans perpendiculaires au plan de la membrane elle-même.

Quelques personnes se demandent quelles figures ont les lignes nodales qui se produisent dans les vibrations de la plaque; il suffit d'un peu de réflexion pour voir qu'il n'y a pas de lignes nodales du tout, ou plutôt qu'il n'y en a qu'une, circulaire, qui se confond avec la bague qui maintient le pourtour de la

plaque ou membrane. En effet, tout étant symétrique autour du centre, il ne peut y avoir aucune ligne nodale partant du centre, ni d'aucun point de la surface et allant vers la circonférence. De plus, il ne peut y avoir de lignes nodales circulaires, car les lignes nodales qui correspondent à un son ne correspondent pas à l'autre, et puisque la membrane vibre successivement à l'unisson de sons fort différents, les lignes nodales, s'il s'en produit, sont constamment déplacées (1).

En réalité, on doit admettre que les vibrations partent du centre et vont à la circonférence par un mouvement de translation exactement semblable à celui qu'on observe à la surface de l'eau dans un bassin circulaire au centre duquel on jette des pierres.

Audition par plusieurs personnes.

Le téléphone à ficelle a été présenté jusqu'ici comme un appareil seulement propre à mettre deux personnes en communication. Mais on peut attacher une ficelle secondaire au cordon principal, dans le voisinage d'un des cornets et le tendre dans une direction peu différente de celle générale du cordon; et on entendra également dans les deux cornets voisins. On pourrait aller plus loin, et faire entendre par trois ou quatre personnes munies de cornets distincts, ce que dit une cinquième à l'autre bout de la ligne. Cela ne paraît pas présenter d'intérêt pratique, mais seulement un intérêt de curiosité.

On peut encore, paraît-il, faire entendre un même

(1) Il est certain qu'une membrane circulaire attaquée par son centre peut présenter des lignes nodales circulaires et concentriques, mais c'est à la condition qu'elle vibre à l'unisson d'un son choisi. On peut voir à ce sujet la *Physique* de Jamin, tome II, page 594 (2^e édition).

discours par plusieurs personnes placées sur la ligne même du fil de communication; il suffit pour cela que cette ligne ou fil présente un nœud un peu gros correspondant à la place de chaque auditeur, et que ce nœud soit appliqué par lui dans le voisinage de son tympan. Ces expériences méritent d'être notées, non-seulement à cause de leur intérêt propre, mais parce que nous verrons que les téléphones électriques présentent les mêmes facilités et peuvent être ainsi employés en combinaison.

Système d'avertissement.

Il semble qu'il serait facile de combiner un système d'avertissement mécanique pour le téléphone à ficelle. Le cordon peut en effet servir, comme un cordon de sonnette, à frapper sur un timbre ou à agiter une clochette.

Cela revient à dire qu'on emploierait le cordon d'abord comme une simple transmission de *mouvement ordinaire* avant de l'employer à transmettre des *mouvements vibratoires* destinés à faire entendre la voix à distance.



VITESSE DU SON.

Avant de quitter le sujet des porte-voix mécaniques qui vient de nous occuper, nous ferons observer que la vitesse de transmission du son n'est pas la même dans ces différents appareils. Dans les tuyaux acoustiques, cette vitesse est parfaitement connue par des expériences nombreuses et notamment par celles de M. Regnault (1).

(1) *Mémoires de l'Académie des sciences*, 1868, t. XXXVII.

Ces dernières l'ont fixée à $330^m,6$ par seconde dans l'air sec à la température de zéro, quelle que soit d'ailleurs la pression atmosphérique.

Cette vitesse est grande, mais le temps nécessaire à la propagation est appréciable dans beaucoup de cas, et dans le porte-voix de 600 mètres établi par M. Casanova que nous avons mentionné plus haut, on voit qu'il s'écoulait près de deux secondes entre l'articulation des paroles et leur audition à l'autre bout.

Il va sans dire que ce retard n'est sensible qu'au début d'une phrase et que l'auditeur perçoit tous les sens qui lui sont envoyés dans le même temps qu'il les percevrait s'il était à un mètre de son correspondant.

Le retard ne se fait sentir que pour la première syllabe de chaque dépêche transmise ; mais on voit qu'il s'écoule près de quatre secondes entre le moment où on finit une phrase et le moment où on peut recevoir le commencement de la réponse.

Si on faisait des porte-voix à liquide, à eau par exemple, la vitesse de transmission y serait beaucoup plus grande ; on peut l'indiquer comme égale à 1,435 mètres à 15 degrés, sauf des corrections dans le détail desquelles il est hors de propos d'entrer ici.

Enfin, dans les porte-voix à ficelle, la vitesse est plus grande encore, mais variable avec la nature de la corde employée ; il est possible de constater avec ces derniers appareils que le son arrive plus vite par la corde que par l'air, pourvu que la corde soit un peu longue (100 ou 150 mètres par exemple).

DES QUALITÉS DU SON.

Nous avons parlé dans ce qui précède de l'intensité, de la hauteur et du timbre des sons ; avant d'aller

plus loin, il est nécessaire de définir ces termes d'une manière précise.

Tout le monde sait que les phénomènes du son résultent de vibrations qui se produisent par une cause ou une autre dans un corps donné, et qui se transmettent par divers intermédiaires, le plus souvent l'air seul, à la membrane du tympan.

Si ces vibrations sont très-peu étendues, le son ne parvient que faiblement ; si elles sont plus étendues, le son est plus fort : voilà l'intensité.

Si les vibrations sont plus rapides dans un corps sonore que dans un autre, le ton est plus aigu dans le premier, plus grave dans le second : voilà la hauteur du son. C'est là encore une notion fort simple et avec laquelle presque tout le monde est familier.

Si une corde vibre, si un tuyau résonne, si une voix humaine chante ou parle, elle rend un son qu'on reconnaît aussitôt et qu'on attribue sans hésitation à l'instrument qui l'a produit. Si on a l'oreille exercée, on dit aussitôt : voilà le *la* normal, ou son octave ou son *ut* grave ou telle autre note ; mais le moins musicien des hommes ne manquera pas de savoir que le *la* en question a été fourni par tel instrument à corde, tel instrument à vent, ou par une voix. Cette différence qu'on a toujours observée entre la même note fournie par les divers instruments est ce qu'on appelle le timbre. Jusqu'à ces dernières années, la nature du timbre était inconnue ou à peine soupçonnée, et c'est grâce aux travaux récents de M. Helmholtz qu'on a maintenant l'explication complète de ce phénomène.

Un son simple ne peut différer d'un autre que par la hauteur et par l'intensité ; mais il n'y a aucun son dans la nature qui soit absolument simple. Quand nous entendons une note et que nous lui donnons un nom,

c'est le nom du son fondamental que nous lui attribuons, mais ce son principal est accompagné de plusieurs autres plus aigus, et dont le nombre et l'intensité varient avec l'instrument producteur.

Ces sons accompagnateurs sont connus depuis longtemps et sont appelés harmoniques; si le son fondamental fait un certain nombre a de vibrations par seconde,

le premier harmonique en fait un nombre double	2	a
le second	—	triple 3 a
le neuvième	—	décuple 10 a

Chaque note jouée sur un violon est en réalité un accord de 10 notes, la fondamentale et les neuf premiers harmoniques.

Si la même note est jouée sur une flûte, elle n'est accompagnée que des trois premiers harmoniques.

Si elle est jouée sur la clarinette, elle est accompagnée du second, du quatrième, du sixième et du huitième harmonique, tandis que les premier, troisième, cinquième, septième manquent.

L'intensité relative de ces harmoniques dans l'ensemble qui constitue la note est d'ailleurs variable, suivant les instruments; tel harmonique est à peine appréciable aux procédés d'analyse mis en œuvre par Helmholtz, tandis que tel autre peut être discerné par l'oreille d'une personne exercée sans le secours d'aucun appareil adjuvant.

On comprend maintenant que le timbre des divers instruments résulte de l'accompagnement du son principal, par un certain nombre de sons harmoniques d'une intensité relative variable pour chacun d'eux et pour chaque instrument.

On a étudié également la voix humaine et découvert que chaque voyelle diffère des autres par le timbre,

c'est-à-dire par le nombre et l'intensité relative des sons harmoniques qui accompagnent le son principal.

Nous ne pouvons entrer ici dans le détail de ces découvertes importantes, mais nous avons cru nécessaire à notre exposition d'en donner la formule générale. Nous renvoyons, pour le surplus, au livre de M. Gavarret, *De la Phonation et de l'Audition*, Paris, 1877.

DEUXIÈME PARTIE

TÉLÉPHONES ÉLECTRIQUES.

CHAPITRE PREMIER.

Les appareils propres à transmettre le son au moyen de l'électricité pour lesquels a été imaginé le nom de téléphone ne datent pas d'hier; mais l'attention avait été fort peu attirée jusqu'à ces derniers temps sur les tentatives faites par divers inventeurs dans cette direction. Aucun ouvrage de télégraphie électrique ne les mentionne, ni français, ni anglais, ni allemand (1).

Si peu appréciés qu'aient été ces travaux avant l'apparition des derniers venus des téléphones, leur mérite était fort grand, et si on les a méconnus c'est sans doute parce que personne ou presque personne ne voyait la possibilité de réaliser les immenses progrès accomplis récemment et d'arriver à la transmission de la voix.

Aujourd'hui nous n'aurons aucun mérite à leur rendre justice, et leur description doit être donnée concurremment avec celle des appareils perfectionnés qui font l'objet principal de cette publication.

(1) L'ouvrage américain de Prescott a un chapitre sur les téléphones; mais sa publication est postérieure à celle des travaux de M. Bell.

Téléphone de Reis.

Le premier appareil transmetteur du son est dû à M. Phil. Reis, de Friedrichsdorf (près Hombourg), qui lui donna le nom de téléphone. La première publication y relative date de 1861 et se trouve dans les *Jahres Berichte des Frankfurter Vereins der Naturwissenschaften*, 1860-1861, p. 57 à 64.

Cet appareil se compose de deux parties distinctes : le transmetteur et le récepteur, reliés naturellement l'un à l'autre par deux fils ou par un fil et la terre, comme dans la télégraphie électrique ordinaire.

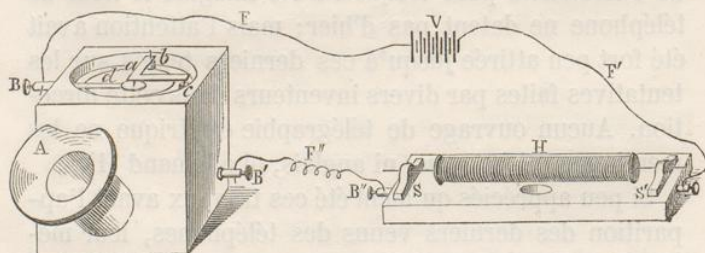


Fig. 1.

Les deux instruments sont représentés figure 1. Le transmetteur est une boîte de bois présentant deux ouvertures : l'une latérale A, pourvue d'une embouchure dans laquelle on parle ou qu'on présente à un instrument de musique ; l'autre supérieure, fermée par une membrane comme la peau d'un tambour. Au centre de cette membrane est un petit disque de platine relié par une bande métallique radiale *d* à l'une des bornes B de l'appareil et par suite au fil F sur lequel est la pile V. Un trépied métallique *a b c*, fort léger, repose par son pied *a* formé par une pointe de platine, sur le

centre de la membrane. Les pieds b et c constituent l'axe autour duquel se font les mouvements vibratoires que le trépied doit prendre. Le pied b repose dans un godet de fer au milieu d'une goutte de mercure; ainsi est établie la communication avec la borne B' et le fil F'' qui va au récepteur.

Quand la membrane vibre sous l'influence des sons qu'on lui fait entendre, elle se dérobe sous la pointe de platine du trépied, qui ferme le circuit pendant le repos; puis elle se relève, rétablit le contact et recommence ainsi une série de mouvements alternatifs qui produisent un égal nombre de ruptures et de fermetures du courant.

Ainsi cet appareil transmet sur la ligne une série de courants discontinus périodiques.

Le *récepteur* se compose d'une bobine H assez longue au milieu de laquelle est placée une tige d'acier semblable à une aiguille à tricoter, qui, placée horizontalement, repose sur deux petits supports de bois SS' montés eux-mêmes sur une caisse sonore. Les bouts du fil de la bobine sont reliés l'un avec le fil F' , l'autre avec la terre ou le fil F'' .

Dans la bobine circulent donc des courants dont la discontinuité est due aux vibrations de la membrane. Or, c'est un fait connu depuis longtemps, qu'une tige d'acier placée dans ces conditions s'allonge légèrement quand la bobine est parcourue par un courant et qu'elle se raccourcit, quand le courant est rompu. Il résulte de là que cette tige rendra un son quand le courant sera très-rapidement et périodiquement établi et rompu. Le son produit sera plus grave ou plus aigu, suivant que les courants ainsi envoyés seront plus ou moins fréquents.

On comprend, dès à présent, comment le son rendu

par la tige d'acier du récepteur est à l'unisson du son produit par la membrane du transmetteur et comment une série de sons rendus par l'une seront conséquemment rendus par l'autre.

Il importe de remarquer que si la hauteur du son est ainsi fidèlement transmise et reproduite, l'intensité du son ne le sera pas. En effet, la différence entre un son fort et un son faible au point de départ, à la membrane, est dans l'amplitude plus ou moins grande des vibrations de cette membrane; mais ces vibrations sont isochrones tant que le son ne change que d'intensité; par suite, la durée des envois de courant ne change pas avec la force du son. A plus forte raison cet appareil ne peut-il rendre le timbre, et, en résumé, des trois qualités du son : hauteur, intensité, timbre, une seule est respectée par l'instrument imaginé par M. Reis.

Nous avons commencé cette exposition par la description du téléphone de Reis, non pas parce qu'il est le premier en date, mais parce qu'il est très-simple.

Dès à présent nous allons abandonner l'ordre historique des inventions et faire connaître le plus parfait des téléphones aujourd'hui connus, celui de M. Alexandre Graham Bell, parce qu'il est d'une simplicité absolue.

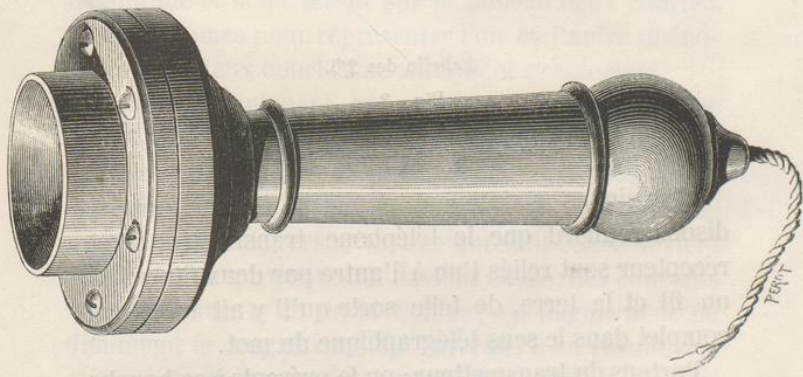
Cet appareil appartient à la catégorie des téléphones articulants, tandis que celui de Reis est de ceux qu'on appelle téléphones musicaux, parce qu'ils sont capables de faire entendre des sons musicaux, mais incapables de rendre toutes les modulations de la parole humaine.

CHAPITRE II.

TÉLÉPHONE DE BELL.

Description de l'instrument.

Cet appareil est identique pour la transmission et pour la réception. Il est représenté par la figure 2 qui en montre l'aspect extérieur, et par la figure 3 qui est une coupe longitudinale et fait voir ses différentes parties.



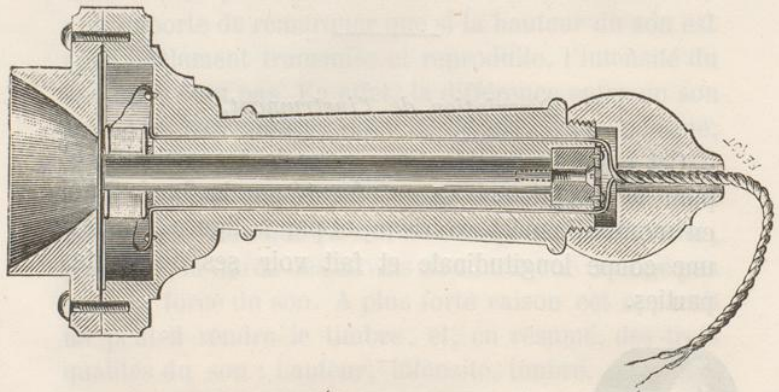
Échelle des $\frac{2}{3}$.

Fig. 2.

Une membrane de fer très-mince est placée devant l'embouchure de l'appareil.

Derrière cette membrane est une tige d'acier, aimantée, perpendiculaire à la membrane. Sur cette tige d'acier, une toute petite bobine de cuivre, très-courte et très-voisine de la membrane.

Voilà tout le téléphone, qui est enfermé dans une sorte de fourreau de bois dont la forme suit le profil de l'appareil intérieur.



Échelle des 2/3.

Fig. 3.

Fonction de l'instrument.

Examinons maintenant comment il fonctionne et disons d'abord que le téléphone transmetteur et le récepteur sont reliés l'un à l'autre par deux fils ou par un fil et la terre, de telle sorte qu'il y ait un circuit complet dans le sens télégraphique du mot.

Partons du transmetteur ; on le présente à sa bouche, on parle dans l'embouchure, comme on parlerait dans un vulgaire porte-voix ; la membrane vibre à l'unisson de tous les sons que produit successivement et même simultanément la voix ; de ces vibrations il résulte des rapprochements et éloignements de la membrane de fer par rapport au pôle de l'aimant et par suite des courants d'induction alternativement renversés dans le fil de la petite bobine.

On sait, en effet, que tout mouvement réciproque

entre un aimant entouré d'un fil conducteur et un morceau de fer, entraîne la production de courants électriques, dits courants d'induction, dans le fil.

Quand le fer s'approche de l'aimant, le courant d'induction est d'un sens que nous appellerons direct; quand le fer et l'aimant s'éloignent, le courant est de sens inverse.

L'intensité de ces courants dépend de l'étendue et de la rapidité du mouvement réciproque, et, par conséquent, dans le téléphone, de l'amplitude et de la durée des vibrations de la membrane.

Par suite, la production des courants dans ce petit appareil suit les mouvements vibratoires de la membrane et si on faisait sur le tableau deux courbes ou diagrammes pour représenter l'un et l'autre phénomène, ces deux courbes se suivraient exactement.

Venons maintenant au récepteur, qui est, comme nous l'avons dit, identique au transmetteur.

La série d'actions, de phénomènes, que nous avons analysés dans le premier appareil, se reproduit ici dans un ordre inverse; tout ce qui était cause devient effet, tout ce qui était effet devient cause. Les courants arrivent dans le fil de la bobine; ils augmentent ou diminuent le magnétisme du barreau; il en résulte des attractions de la membrane ou des diminutions d'attraction et finalement des mouvements de va-et-vient de cette membrane, des mouvements vibratoires.

Ces mouvements vibratoires sont absolument correspondants, pour le nombre, pour l'amplitude, pour la nature, à ceux de la première membrane et si on présente ce second instrument à son oreille, on entend toute la succession des sons qui ont impressionné la première.

Si on considère l'ensemble formé par les deux appa-

reils et le circuit, on voit que c'est un système absolument réversible, comme l'étude de l'électricité en présente beaucoup. Ce caractère manquait à l'appareil de Reis, mais on verra par la suite qu'il se rencontre dans d'autres systèmes téléphoniques.

Faiblesse des sons reçus.

Nous avons dit que les mouvements de la seconde membrane étaient correspondants à ceux de la première ; nous n'avons pas dit qu'ils fussent identiques, égaux. Il est bien entendu, en effet, que le mouvement perpétuel n'est pas réalisé ici et que dans le système en question, nous avons, comme dans toutes les machines, une perte résultant de la transmission et des transformations de la force.

Il y a là une des raisons qui expliquent pourquoi les sons rendus à l'oreille par le récepteur sont très-affaiblis.

Mais cette raison n'est pas la seule, ni même la principale ; nous croyons que la perte entre la membrane du transmetteur et celle du récepteur est fort petite, et si le système considéré n'est pas parfait au point de vue mécanique, ce qui n'est pas possible, il est très-voisin de l'être.

Nous pensons que la principale cause de diminution de puissance de la voix se rencontre entre l'organe de la voix et la membrane du transmetteur. On remarque, en effet, que la personne qui parle dans un téléphone peut être entendue dans toute la pièce où elle se trouve, si grande qu'elle soit ; il y a donc lieu de penser que les vibrations qui passent de la voix à la membrane en représentent qu'une faible partie de celles qui,

produites par les organes de la voix, ébranlent l'air qui entoure l'orateur (1).

(1) Nous croyons donc que si on veut augmenter le volume du son transmis par le téléphone et donner une audibilité plus grande à cet appareil, il n'y a pas tant à chercher dans les dispositions des organes actuels que dans la manière de faire entrer le son dans le transmetteur, ou en d'autres termes d'ébranler la membrane.

Nous exprimons ici une opinion personnelle, et certaines personnes très-autorisées en ont une différente, M. Demoget (de Nantes), par exemple, qui a fait des expériences d'un grand intérêt. Il se mettait sur un terrain découvert et s'éloignait de son interlocuteur, de manière à comparer l'intensité du son venant directement par l'air, et le son arrivant par le téléphone. Son aide répétait toujours la même syllabe et autant que possible avec la même intensité. Le résultat de l'expérience a été celui-ci : l'intensité était égale pour les deux sons quand la distance des deux opérateurs était de 90 mètres, et celle du téléphone à l'oreille de 5 centimètres.

M. Demoget en conclut que les intensités des deux sons étaient entre elles comme 81,000,000 et 25, ou, en d'autres termes, que l'un des sons était inférieur à la trois-millionième partie de l'autre. Mais tenant compte de ce que le sol pouvait avoir une influence sur le résultat, il réduit à $\frac{1}{1,500,000}$ le rapport probable des deux intensités.

Enfin, cet observateur remarque que l'intensité des sons est proportionnelle au carré de l'amplitude des vibrations et croit pouvoir conclure des chiffres précédents que les amplitudes des vibrations sont 1800 fois $\left(\frac{9000}{5}\right)$ plus petites dans le téléphone récepteur que dans le transmetteur. Mais c'est là une conclusion tout à fait forcée et point du tout légitime ; M. Demoget admet implicitement que la membrane du téléphone transmetteur produirait un ton aussi fort que la voix qui l'a ébranlée ; c'est là une chose manifestement fautive, et il serait facile de corriger d'un terme les calculs de M. Demoget.

La membrane n'ayant qu'une très-petite portion de sa surface exposée aux vibrations sonores qui viennent la frapper, une surface égale à celle d'un pain à cacheter environ, il faudrait considérer cette membrane comme occupant une petite partie de la surface d'une sphère au centre de laquelle serait le corps sonore, et dont toute la surface recevrait le son avec la même intensité. Du calcul de ces deux surfaces on

Théorie exacte de l'appareil.

Nous avons jusqu'ici expliqué en gros la manière dont fonctionne l'appareil, et cette explication générale est suffisante pour le grand nombre, car elle a suffi à conduire l'inventeur à sa découverte.

Quelques personnes cependant aimeront à suivre de plus près l'analyse des phénomènes.

Si on étudie le mouvement vibratoire de la membrane, on voit qu'il peut être représenté (fig. 4) par une sinusoïde 1 2 3 4 5 6 7 8... dont les abscisses répondent au temps et les ordonnées aux déplacements du centre de la membrane autour de sa position de repos.

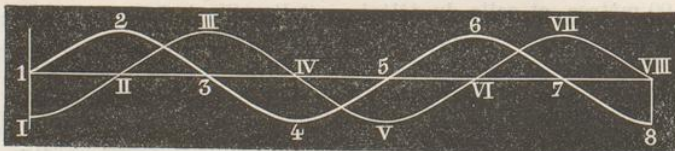


Fig. 4.

M. Dubois Raymond a remarqué le premier que les variations d'intensité du courant produit ne sont pas représentées par la même courbe; en effet, la force électro-motrice du courant d'induction est représentée par la fonction dérivée de celle qui représente les mou-

déduirait la fraction du son qui peut être communiquée à la membrane. On obtiendrait ainsi une fraction par laquelle il faudrait multiplier le rapport indiqué par M. Demoget.

Mais une fois cette correction faite, il faudrait encore songer que les vibrations sonores de l'air peuvent être réfléchies en très-grande proportion par la membrane, et que c'est seulement une très-petite fraction inconnue de la force vive des vibrations frappant la membrane, qui la mettent en vibration et entrent dans le jeu du système téléphonique.

vements réciproques du fer et de l'aimant. Dans le cas présent la dérivée de $y = a \sin x$ est $y' = a \cos x$, et par conséquent la courbe des intensités du courant est une cosinusoïde rapportée à la même origine que la première courbe.

En réalité une cosinusoïde ne diffère pas d'une sinusoïde, ou n'en diffère que par son origine; c'est ce que la figure 4 rappelle; on y voit la courbe $y = a \cos x$ représentée en

I II III IV V VI VII VIII...

Cette seconde courbe est, comme la première, composée de parties égales placées au-dessus et au-dessous de l'axe x , c'est-à-dire positives et négatives.

Cette disposition de la courbe explique comment un galvanomètre même fort délicat est impuissant à accuser l'existence des courants du téléphone; les courants positifs se succédant avec une extrême rapidité, leurs actions sur l'aiguille sont compensées, balancées et finalement inappréciables au galvanomètre.

La seule différence que la seconde courbe présente avec la première, c'est qu'elle est transportée d'une demi-longueur de vibration simple.

Et comme cette seconde courbe représente en même temps les variations d'intensité du courant et les mouvements de la membrane du téléphone récepteur, on voit que les mouvements des deux membranes, celle du transmetteur et celle du récepteur, ne sont pas absolument synchrones, mais croisés. Pour parler le langage des acousticiens, ces deux mouvements vibratoires présentent une *différence de phase*; cette différence est d'une demi-vibration simple.

Ce résultat curieux annoncé par M. Dubois Raymond, qui y est arrivé par l'analyse mathématique fort

simple qui précède, a été vérifié par M. Koenig expérimentalement en employant la méthode optique, imaginée il y a quelques années par M. Lissajous.

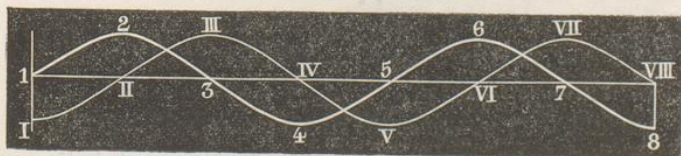
Les personnes qui sont peu familières avec le langage mathématique nous sauront gré de leur montrer que ce résultat curieux de la différence de phase peut être compris et aurait pu être découvert par une personne réfléchie mais ignorant ce que signifient les mots de fonction et de fonction dérivée.

Il faut avant tout se rendre bien compte de ce qu'est un mouvement vibratoire, et pour cela l'étudier dans la forme qui est la plus facile à suivre dans toutes ses particularités, c'est-à-dire dans le mouvement pendulaire. Considérons un pendule à secondes, formé par une boule suspendue à un fil d'un mètre de long à peu près; au repos il se tient dans la verticale. Qu'on l'écarte de cette position en le portant vers la droite; au moment où l'on vient à le lâcher, il descend, sa vitesse va en croissant, il arrive à la position verticale, et par suite de sa vitesse acquise continue son mouvement et va en remontant vers la gauche; à mesure qu'il monte, sa vitesse va en diminuant, et il s'arrête au moment où il parvient à la hauteur de laquelle il est parti. Il redescend alors et tout ce que nous avons vu qu'il faisait en partant de droite pour aller à gauche, il le recommence dans l'ordre inverse en allant de son point culminant à gauche pour retourner à son point culminant à droite. Il recommence ainsi indéfiniment son mouvement de droite à gauche et de gauche à droite.

On peut appeler oscillation double un mouvement double du pendule qui, partant de droite et allant à gauche est revenu à droite; on peut appeler oscillation simple, l'excursion du point culminant de droite au

point culminant de gauche. Un pendule à secondes est celui qui fait une oscillation simple en une seconde.

Dans ce mouvement pendulaire, trois points sont particulièrement intéressants. À chaque point culminant, à droite ou à gauche, la vitesse est nulle; en effet, dans chacun de ces points le pendule, après avoir utilisé sa vitesse acquise dans la remontée, s'arrête et change le sens de son mouvement. À chaque passage dans la verticale le pendule a une vitesse maximum; la même chaque fois, puisque chaque fois elle est capable de faire remonter la boule à la même hauteur, mais alternativement dirigée vers la droite ou vers la gauche. Ainsi, trois points principaux nous frappent dans cette étude; les deux points culminants où la vitesse est nulle et le point le plus bas de la course où la vitesse est maximum. Ce sont ces particularités que la courbe 1 2 3 4 5 6 7 8 montre clairement. Cette courbe pourrait être à la rigueur tracée par un pendule lui-même sur un papier disposé convenablement, qui se transporterait perpendiculairement au plan du mouvement pendulaire.



Les points 1, 3, 5, 7 répondent aux passages du pendule dans la verticale; les points 2, 6, etc., répondent aux termes des excursions vers la droite, les points 4, 8, etc., aux termes des excursions vers la gauche.

Tout ce que nous venons de dire du mouvement du pendule peut être dit d'un mouvement vibratoire quelconque; un corps quelconque qui vibre passe par sa

position de repos avec une vitesse maximum et arrive sans vitesse aux deux termes de ses excursions à droite et à gauche. On peut faire et l'on fait souvent écrire à un corps vibrant la courbe de son mouvement ; cette courbe est une sinusoïde, c'est-à-dire une courbe présentant les caractères généraux de celles représentées par la figure.

On appelle, en France, vibration simple, le mouvement fait par le corps partant de sa position de repos et y revenant, et vibration double le mouvement fait en partant, du point extrême de la course à droite, par exemple, et y revenant.

Ces préliminaires posés, appliquons-les à la membrane du téléphone transmetteur. Son point milieu, par exemple, partant de la position moyenne ou de repos représentée par la ligne droite 1 3 5 7, s'écartera d'abord vers le haut et arrivera au point marqué 2 qui est le terme de son excursion ; il reviendra à la position moyenne en 3, pour s'en écarter vers le bas jusqu'au point extrême marqué 4, etc., etc. Voyons enfin comment les courants d'induction se produisent dans le fil de la bobine, pendant ces mouvements de la membrane vers le haut, c'est-à-dire vers l'aimant, et ensuite vers le bas, c'est-à-dire en s'éloignant de l'aimant.

Il faut bien comprendre que la cause de la production des courants induits, c'est le déplacement de l'armature (de la membrane) par rapport à l'aimant. Plus ce mouvement est rapide, plus grande est la force électro-motrice du courant. Chaque fois qu'il y a un temps d'arrêt dans le mouvement de la membrane la force électro-motrice devient nulle et l'intensité du courant se réduit à zéro.

Chaque fois que la vitesse change de signe, c'est-à-

dire, chaque fois que le mouvement change de sens, la force électro-motrice change aussi de signe, c'est-à-dire que le courant change de sens. Enfin à chaque instant où la vitesse atteint un maximum, soit dans un sens, soit dans l'autre, la force électro-motrice (I) passe aussi par un maximum.

Reprenons la figure 4; au moment où la membrane est en 1, sa vitesse de translation est maximum et la force électro-motrice est maximum; si donc on veut représenter ses variations par une courbe, il faudra donner à cette courbe une hauteur maximum I à cet instant.

Quand la membrane sera au point 2, extrême de son excursion vers le haut, sa vitesse sera nulle et par conséquent la force électro-motrice arrivera à zéro, ce qui justifie le point II de la seconde courbe. A cet instant le mouvement de la membrane change de sens et par suite la force électro-motrice change de signe; à partir de ce moment, les ordonnées de la seconde courbe doivent être portées de l'autre côté de l'axe.

Ce raisonnement continué justifiera les points III, IV de la courbe, et ainsi de suite.

Nous sommes donc fondé à dire que la courbe I II III IV, etc., représente les variations de la force électro-motrice du courant d'induction. C'est là le fait formulé en une seule ligne, en disant que la courbe des variations du courant est la dérivée de la courbe (sinusoïde) des mouvements de la membrane.

Si l'on examine ce qui se passe dans le téléphone récepteur, on voit que les mouvements de la membrane y suivent exactement les variations de l'intensité du courant. Il est clair que, quand le courant est annulé, la

(1) On remarquera qu'il est indifférent ici de parler de la force électro-motrice ou de l'intensité, puisque la résistance ne change pas.

membrane est dans sa position moyenne ou de repos ; et que, d'autre part, le maximum d'intensité du courant correspond au maximum d'éloignement de la membrane de cette position moyenne. Il est clair aussi que, quand le courant change de sens, le mouvement de l'armature doit aussi changer de sens, et enfin que, quand la force du courant approche d'un maximum, ses variations et celles de la vitesse du mouvement de l'armature sont fort petites. En un mot, on doit admettre que la même courbe représente la force variable du courant d'induction et le mouvement de la membrane du récepteur.

Par conséquent donc, si la courbe 1 2 3 4 5 représente le mouvement de la membrane du transmetteur, la courbe I II III IV V représente celui de la membrane du récepteur ; ces deux membranes ne vibrent pas synchroniquement, mais présentent une différence de phase qui est d'une demi-vibration simple.

Dans cette question, on a vu l'analyse mathématique annoncer un fait et l'expérience le vérifier ensuite ; cet exemple est curieux et montre combien l'étude théorique de l'électricité est déjà avancée.

Nous reviendrons d'ailleurs sur ces délicates considérations à propos du timbre.

Appareils en dérivation ou en circuit.

Jusqu'ici nous avons considéré deux appareils seulement, un à chaque station, à chaque extrémité du fil. Mais rien n'empêche d'avoir deux téléphones à chaque endroit et de les placer en dérivation l'un par rapport à l'autre. On a pu dériver le courant dans six téléphones à la fois sans que les sons rendus par chacun d'eux soient devenus sensiblement moins forts,

On peut également mettre plusieurs téléphones dans le même circuit, et il nous semble que c'est la meilleure manière de les associer. On a pu faire entendre à vingt personnes, ayant chacune un téléphone à l'oreille, des phrases transmises par un vingt et unième appareil. Et enfin il ne serait pas impossible d'engager une conversation à trois interlocuteurs dont l'un serait à Paris, l'autre à Saint-Cloud, l'autre à Versailles.

Il importe de remarquer que ces facilités singulières présentées par le téléphone ne lui sont pas particulières, mais se retrouvent dans presque tous les systèmes de télégraphie électrique. Il n'est pas rare d'avoir dans la pratique courante quatre ou cinq stations de télégraphe Morse embrochées sur le même fil; quand l'une d'elles transmet, toutes les autres reçoivent simultanément, et une quelconque d'entre elles peut interrompre la station qui parle pour lui répondre ou pour parler à une troisième.

Mais cette possibilité de mettre plusieurs téléphones dans le circuit a une importance particulière pour la pratique; elle permet de donner deux téléphones à chaque interlocuteur qui peut alors entendre avec ses deux oreilles; il résulte de là une audition beaucoup plus nette, comme nous allons le dire dans un instant.

Emploi de l'instrument.

Les personnes qui essayent pour la première fois le téléphone éprouvent un mécompte; elles entendent mal. Il faut se tenir en garde contre cette première impression. Il faut comprendre qu'il est difficile d'entendre, si l'on se trouve placé dans un endroit où il y a un grand bruit. Dans les expériences publiques, notamment, les personnes qui mettent l'oreille au télé-

phone sont singulièrement gênées par la présence dans la salle d'un grand nombre de personnes qui parlent entre elles et produisent un bruit général et ambiant, duquel il est difficile de s'isoler.

Pour rendre l'audition nette, il y a un grand avantage à employer deux téléphones; on les place un à



Fig. 5.

chaque oreille comme le montre la figure 5, en ayant soin de les bien appliquer contre le pavillon de l'oreille afin d'arrêter autant que possible les sons étrangers et de les empêcher de venir frapper le tympan.

D'ailleurs, quand on engage une correspondance, il est utile de maintenir constamment un instrument à l'oreille pour ne rien perdre des interruptions ou des paroles coupées de son interlocuteur; cela est rendu possible par l'emploi de deux appareils dont un

seul est transporté de la bouche à l'oreille. C'est là ce que la figure 6 est destinée à montrer.

En général, quand des personnes non habituées font des expériences, il arrive que chacun veut entendre et que personne ne se donne la peine de parler.

Pour réussir, il faut quelque attention ou un peu



Fig. 6.

d'habitude; il faut, pour ne pas mettre à une rude épreuve la patience de son correspondant, ne jamais cesser d'écouter avec un appareil et lui dire un mot de temps à autre pour lui montrer qu'on l'écoute et qu'on le comprend.

D'ailleurs, il n'est pas nécessaire de parler très-haut et l'audition est tout aussi nette quand on parle bas que quand on crie.

Nous insistons sur la faiblesse des sons transmis,

parce que beaucoup de personnes trompées par les articles à sensation des journaux quotidiens, sont étonnées de mal entendre et s'attendent, sans s'en rendre bien compte, à entendre leur interlocuteur au travers d'un fil électrique, comme s'il était à côté d'eux sur le même canapé.

A l'occasion des inventions extraordinaires auxquelles cet ouvrage est consacré, les journaux politiques ont presque constamment mêlé des récits imaginaires et des projets tout à fait saugrenus à l'exposition des faits acquis à la science, faits qui tenant du merveilleux ne demandaient cependant aucun encadrement romanesque. Dans ce mélange de sérieux et de non sérieux, le public s'est embrouillé et a été amené à s'étonner de ce que ce qui est si extraordinaire ne le fût pas encore davantage.

Guérites téléphoniques.

Pour entendre très-bien et très-sûrement, M. Dalmau (de Barcelone) a fait construire des guérites bien fermées et matelassées, dans lesquelles les bruits extérieurs ne pénètrent pas et où prennent place les personnes chargées de recevoir la correspondance. Les *camaras telefonicas* comme on les appelle en espagnol permettent d'entendre très-bien des sons très-affaiblis par la distance, comme nous le dirons plus loin.

Portée de l'appareil.

Il a été fait aujourd'hui tant d'expériences dans le nouveau monde et dans l'ancien qu'il n'y a intérêt à mentionner que les plus extraordinaires. M. Bell a pu causer un jour avec un de ses collaborateurs à la

distance de 250 milles anglais, soit 400 kilomètres environ. Il était à New-York et son aide, M. Watson, était à Boston. On avait choisi un dimanche pour faire cette expérience, parce que le dimanche est, aux États-Unis, un jour de repos très-strictement observé, pendant lequel toutes les communications télégraphiques sont suspendues; on était ainsi à l'abri des actions inducibles exercées par les fils voisins, actions dont nous parlerons tout à l'heure.

En Europe, la plus longue distance à laquelle on ait correspondu, à ma connaissance, est celle de Barcelone à Saragosse, 366 kilomètres. M. Dalmau (de l'Académie des sciences de Barcelone) était dans la première ville et M. Pablo Palacios dans l'autre. L'expérience fut faite entre deux et trois heures du matin pour les raisons indiquées plus haut. Grâce à l'emploi d'une guérite téléphonique à Barcelone, tout fut entendu clairement. A Saragosse, au contraire, faute de ce secours on n'entendit bien que des interjections et des exclamations.

Il était intéressant d'essayer le téléphone sur les lignes sous-marines; la plus longue sur laquelle on ait réussi est celle de Dartmouth (côte anglaise) à l'île de Guernesey, de 60 milles (90 kilomètres) de longueur.

On n'est pas parvenu à s'entendre sur les câbles de France en Algérie qui sont à la vérité beaucoup plus longs. Il est fort possible que 90 ou 100 kilomètres soient à peu près la limite; la quantité d'électricité mise en jeu par le téléphone est si faible qu'on s'étonne qu'elle soit suffisante à une transmission sur des lignes d'une grande capacité comme sont les câbles sous-marins.

Résistance possible du circuit.

On sait que l'action d'une résistance artificielle sur le fonctionnement des appareils télégraphiques n'est pas équivalente à celle d'une ligne ou aérienne ou sous-marine de même résistance théorique. Il est cependant intéressant de voir quelle résistance peut être introduite dans le circuit sans diminuer sensiblement l'audibilité. M. Bell a essayé jusqu'à 60,000 ohms, soit 6,000 kilomètres de fil de fer de 4 millimètres de diamètre.

Avec les téléphones à main ordinaires on éteint la voix avec une moindre résistance; il est donc probable que M. Bell a fait dans ces expériences usage de téléphones à longue portée dont nous parlerons plus loin.

Il faut remarquer en effet que ces résultats n'ont rien d'absolu et ne peuvent être donnés que comme des indications générales.

Les téléphones sur lesquels nous avons opéré avaient une résistance de 60 unités en fil de cuivre de haute conductibilité.

Il est certain qu'en augmentant la quantité de fil placé dans les téléphones on arriverait à les rendre capables de transmettre des sons perceptibles avec des résistances intercalaires encore plus grandes que celles dont nous venons de parler.

M. Bell a fait à ce sujet une expérience plus curieuse; il a coupé le circuit et y a intercalé une personne sans que le téléphone cessât d'être entendu. Cette personne tenait dans les mains les deux portions du fil coupé et les courants par conséquent la traversaient par les bras et le corps.

Il a poussé l'expérience jusqu'à mettre dans le cir-

cuit seize personnes formant chaîne en se tenant par la main.

Ces expériences, du moins la première, ont été répétées par quantité de personnes et peuvent l'être à tout moment et par tout le monde.

Introduction de voltamètres dans le circuit.

Nous avons nous-même fait une expérience dont le résultat nous a surpris ; nous avons intercalé un voltamètre dans le circuit sans qu'il en soit résulté de changement sensible dans l'intensité des sons. Ce voltamètre avait des électrodes de platine et le liquide était tantôt de l'eau acidulée, tantôt de l'eau pure ; le résultat était toujours le même. Que peut-on conclure de cette expérience ? Un instant nous avons songé à en conclure que la force électro-motrice maxima des courants du téléphone est très-supérieure à celle nécessaire pour la décomposition de l'eau ; mais cette conclusion n'est pas légitime, car nous avons constaté bien des fois avec un galvanomètre sensible une déviation dans un circuit contenant un voltamètre et un seul élément Daniell ; dans ces expériences, la force électro-motrice du courant est insuffisante pour décomposer l'eau et cependant à chaque nouvelle fermeture du circuit on voit une déviation se produire au galvanomètre, déviation temporaire d'ailleurs, car l'aiguille revient presque aussitôt au zéro.

Si l'on tient compte de cette observation, on voit que les courants alternativement renversés peuvent traverser l'eau sans cependant avoir une tension suffisante pour la décomposition de l'eau.

En somme donc on n'a pas le droit de tirer une conclusion relative à la force électro-motrice maximum

des courants engendrés par le téléphone. Je dis maximum, car cette force varie de zéro jusqu'à deux maxima, l'un positif, l'autre négatif.

Introduction dans le circuit du rhéotome de Ducretet.

On sait que M. Ducretet a construit un voltamètre propre à arrêter les courants d'un certain sens et à ne les laisser passer que dans le sens opposé. Ce voltamètre a une électrode d'aluminium et une de platine.

Nous nous sommes demandé si les courants négatifs du téléphone seraient arrêtés par le rhéotome en question, et si les courants positifs circulant seuls ne pourraient pas agir sur l'aiguille du galvanomètre.

Il n'en est rien et l'on a pu mettre jusqu'à quatre voltamètres (ayant chacun deux électrodes d'aluminium) sans diminuer d'une manière appréciable l'intensité du son et la facilité de la communication téléphonique. Cette expérience avec quatre voltamètres tend à prouver qu'il n'est pas possible d'arriver par cette méthode à trouver une limite supérieure de la force électro-motrice des courants téléphoniques.

Introduction d'un condensateur dans le circuit.

M. Jablochhoff qui emploie de grands condensateurs, pour obtenir certains effets intéressants d'éclairage électrique, avec des courants alternatifs, devait naturellement songer à faire la même tentative avec les courants téléphoniques.

Voici comment il a procédé: il a introduit un condensateur dans le circuit, c'est-à-dire qu'il coupait le circuit complètement et faisait aboutir ses deux parties disjointes aux deux faces d'un grand condensateur.

Cette disposition n'empêchait pas la transmission téléphonique, et cependant la continuité métallique n'existait pas.

Cette expérience donne peut-être l'explication de celles faites avec les voltamètres ; on peut en effet regarder un voltamètre comme un condensateur puisqu'il présente deux lames métalliques séparées par une substance (l'eau) relativement très-peu conductrice (quoique moins mauvaise conductrice que le taffetas qui sert à la confection des condensateurs de M. Jablochhoff).

Du retour par la terre.

On devinerait, si même nous ne l'avions pas dit, que les communications téléphoniques, de même que celles de la télégraphie électrique ordinaire n'exigent pas l'emploi de deux fils et que le second fil ou fil de retour peut être supprimé si l'on conduit à la terre deux fils courts qui sont comme les amorces du fil supprimé. C'est ce qu'on appelle le retour par la terre, par suite d'une vieille habitude de langage, qui n'est plus en harmonie avec la connaissance que nous avons aujourd'hui de la nature du phénomène.

Mais dans la télégraphie ordinaire il faut prendre de très-grandes précautions pour assurer à chaque station la communication avec la terre, et au contraire avec les téléphones il suffit du moindre contact pour assurer la perte à la terre. C'est ce qui a été établi par M. Bell dans des expériences qu'il a faites avec M. Gower et qui doivent être rapportées.

Ces messieurs se placèrent dans un jardin à cent mètres de distance environ ; chacun avait un téléphone à la main et un fil bien isolé les mettait en communication.

Le second fil partant du téléphone, au lieu d'être mis à la terre, pouvait être tenu dans la main de l'expérimentateur, et la même manière de faire pouvait être adoptée aux deux bouts, sans que la communication fût interrompue. La communication avait donc lieu au travers de leurs corps dans le sens de la hauteur, malgré l'interposition de leurs bas et de leurs souliers.

Le temps était beau et le gazon sur lequel se tenaient ces messieurs semblait parfaitement sec.

Quand on se tenait dans les allées, sur du gravier, les voyelles, quoique très-affaiblies, pouvaient encore être entendues ; les mêmes résultats étaient obtenus quand on se tenait debout sur un petit mur de briques d'un pied de haut.

Mais quand l'un des opérateurs montait sur une pierre de taille toute transmission cessait.

Une dernière particularité fort intéressante est rapportée par M. Bell comme suit :

« M. Gower établissait, de son côté, la communication à la terre en se tenant sur le gazon, et, de mon côté, je variais les conditions ; et, pendant que M. Gower soutenait une note continue, je montai sur une planche de bois ; à mon grand étonnement j'entendis encore le son sortir distinct du téléphone. En examinant de plus près les conditions dans lesquelles je me trouvais, je vis que quelques brins d'herbe touchaient le bout de mon soulier ; en échappant à leur contact, je parvins à arrêter le son ; mais je vérifiai qu'il suffisait que mon pied touchât un pétale de marguerite pour obtenir des sons. »

A propos de cette expérience, nous ferons une observation applicable à beaucoup d'observations du même genre, qui portent sur la limite d'audibilité. Quand on transmet par le téléphone des sons musicaux et surtout un son musical toujours le même, on l'entend dans

des conditions où on n'entendrait pas de paroles articulées et où toute conversation serait impossible.

En d'autres termes, si on part des conditions dans lesquelles la conversation peut être échangée, et qu'on les rende de plus en plus défavorables, on arrive à n'entendre plus que quelques voyelles, et enfin on arrive à ne percevoir que des sons soutenus que l'oreille parvient à découvrir après un moment d'attention.

Il faut donc bien distinguer entre les expériences de téléphonie scientifique, si grand que soit leur intérêt, et les expériences de téléphonie pratique dans lesquelles on soutient une véritable conversation.

Actions inductrices des fils voisins. Bruits anormaux.

Dans les expériences de téléphonie qui se font sur des lignes télégraphiques proprement dites, il se produit presque constamment un phénomène dont il est important de parler ici.

Le téléphone est mis en action par des courants d'une faiblesse extrême; et on conçoit que des courants très-faibles peuvent le troubler. Si des fils sont placés à quelque distance de celui qui sert au téléphone, l'action inductrice des courants qui les parcourront, s'exercera. Chaque fois qu'ils seront interrompus et rétablis, il se produira des courants induits dans le fil du téléphone, et on entendra des claquements de la membrane vibrante, ou plutôt des deux membranes vibrantes, car les deux appareils sont naturellement affectés de la même façon. Ce sont là les sons anormaux qu'on entendra toutes les fois qu'on opérera sur des lignes à plusieurs fils et surtout aux heures du service le plus actif.

Quelquefois ces bruits anormaux prennent une net-

teté et un intérêt particulier ; si tous les fils voisins se taisent à l'exception d'un seul servant à une transmission en Morse, on reçoit dans les téléphones la dépêche aussi distinctement que par l'appareil auquel elle est directement adressée.

Des employés très-exercés à l'appareil Hughes peuvent même quelquefois deviner, ou plus exactement lire au son, avec le téléphone, des lambeaux de dépêche transmis par un fil voisin.

D'ailleurs, lors même que les bruits produits par l'induction n'ont pas cette netteté, on distingue de temps à autre des transmissions par l'appareil à cadran, d'autres par l'appareil Wheatstone, d'autres par le Hughes ou le Morse.

Le plus souvent on n'entend qu'une série confuse de bruits sans signification qui ont été fort justement comparés, par M. Preece, au bruit de la grêle frappant les carreaux.

Dans un grand nombre de cas, les bruits anormaux dont nous venons de parler n'empêchent pas absolument la communication téléphonique ; ils ne font que la gêner et la troubler. C'est, dit M. Bell, comme si on parlait dans un ouragan ; de temps à autre on cesse de s'entendre, quelquefois aussi il est absolument impossible d'échanger un seul mot.

Il y a deux moyens de soustraire le téléphone à ce trouble causé par l'induction. Le premier consiste à employer deux fils de communication au lieu d'un, et à renoncer au retour par la terre. Il y a avantage à placer ces deux fils très-près l'un de l'autre, auquel cas, les actions inductrices, s'exerçant également sur tous deux, produisent des courants égaux et de sens contraire l'un à l'autre dans le circuit du téléphone, où par conséquent ils se détruisent.

Le second moyen consiste à envelopper le fil conducteur d'une couverture métallique, qui constitue comme un écran (1) pour l'induction. Si, par exemple, le conducteur du téléphone est enveloppé dans une gaine de plomb comme sont ceux employés en France pour les communications souterraines, le conducteur est garanti contre les actions inductrices qui viennent de nous occuper.

Avant de quitter ce sujet, nous dirons que ces actions inductrices ont été observées dans des circonstances où elles étaient très-intenses malgré une très-grande distance entre le fil inducteur et le fil induit. M. Bell parle de 40 pieds de distance dans une expérience faite par M. le professeur Blake. Ce résultat n'a rien d'incroyable, parce que si l'action inductrice est très-faible à cause de l'intervalle qui sépare les deux fils, elle est augmentée par la grande longueur des fils qui courent parallèlement l'un à l'autre.

L'expérience la plus étonnante sur ce sujet est celle que M. A. Champvallier, directeur de l'École d'artillerie à Clermont a fait connaître à l'Académie des sciences (2).

Il y a à Clermont-Ferrand deux fils télégraphiques, l'un appartenant à l'École d'artillerie (14 kilomètres), l'autre appartenant à l'Observatoire météorologique (15 kilomètres) et allant de la ville au sommet du Puy-de-Dôme. Ces deux fils sont parallèles sur 10 kilomètres de long; d'ailleurs, sur une longue partie de leur longueur, d'autres fils les accompagnent.

(1) On sait que ce moyen est employé pour graduer l'intensité des courants d'induction dans les appareils électromédicaux. Un cylindre de laiton constitue cet écran, et on l'enfoncé plus ou moins pour varier la violence des secousses.

(2) Comptes rendus de l'Académie, 4 février 1878.

Dans ces conditions, la correspondance téléphonique se fait parfaitement sur l'un et l'autre fil. On lit au son les dépêches transmises avec le Morse sur les autres fils qui servent au service télégraphique ordinaire, toutes choses communes et vulgaires.

Mais on arrive à s'entendre entre les deux fils qui nous occupent. L'action inductrice des courants téléphoniques, multipliée par la longueur (10 kilomètres), est suffisante pour que, aux extrémités du premier fil, on entende avec un téléphone ordinaire la correspondance échangée entre les extrémités du second fil. On reconnaît le timbre de la voix, on distingue si c'est un homme ou une femme qui parle, et parfois même, dans des conditions de silence absolu, on a pu entendre une dépêche et la comprendre. Il importe d'indiquer que les deux fils, réagissant ainsi l'un sur l'autre, sont partout à une distance d'au moins 85 centimètres et que sur l'une et l'autre ligne le retour a lieu par la terre.

Autres causes de bruits étrangers.

L'induction des fils voisins n'est pas la seule cause de bruits étrangers produits dans les téléphones. Il est probable que bien souvent, sur les lignes aériennes notamment, il y a de véritables dérivations d'un fil à l'autre résultant des imperfections de l'isolement. Quand la terre est dans le circuit, on a nécessairement aussi des bruits résultant de l'action des courants naturels terrestres, et le professeur Peirce a eu occasion d'entendre les bruits les plus extraordinaires pendant une aurore boréale (1).

(1) Conférence de M. Bell. *Journal of the Society of Telegraph Engineers*, vol. VI, pag. 414. Séance du 31 octobre 1877.

Transmission du timbre.

Nous l'avons déjà dit, ce ne sont pas seulement la hauteur et l'intensité relative des sons qui se retrouvent dans le téléphone; c'est encore leur timbre. La voix d'un ami se reconnaît tout de suite, la voix d'une femme se distingue de celle d'un homme. Sans doute, la voix n'arrive pas à l'oreille avec son caractère musical sans aucune variation. Vous entendez, non pas la voix, mais l'image de la voix; de même que vous reconnaissez une personne en voyant son image dans un miroir et que vous sentez que c'est son image et non pas elle que vous voyez. A une image par réflexion si parfaite qu'elle soit, le miroir donne un caractère spécial, qui est différent pour un miroir étamé ordinaire, pour un miroir d'argent, pour un miroir de cuivre. De même aussi dans le téléphone, la voix parvient à l'audition légèrement touchée par la nature de la membrane ou des membranes de fer qui lui ont servi de véhicule. Elle l'est d'ailleurs aussi dans les tuyaux acoustiques.

Quoi qu'il en soit de ces imperfections, il n'est pas contestable que la transmission du timbre ne soit réalisée par l'appareil de Bell; et de ce fait M. Dubois Raymond a tiré une conclusion fort intéressante au point de vue de l'acoustique.

Nous la rapportons, quoiqu'elle ne soit pas de nature à intéresser tous les lecteurs.

On a vu dans ce qui précède que les différences de timbre entre deux sons de même hauteur tiennent à la proportion des différents harmoniques qui accompagnent le son principal. On peut se demander également si la manière dont ces différents harmoniques

sont combinés, par rapport au point de départ, n'a pas aussi quelque influence sur le timbre; en d'autres termes, on peut se demander si une différence de phase dans un ou plusieurs des harmoniques n'altérerait pas le timbre résultant.

Cette question s'est posée à M. Helmholtz, qui l'a résolue négativement par des raisons mathématiques fort délicates appuyées d'expériences qui n'étaient pas faciles à répéter.

M. Kœnig l'a résolue de même par la construction d'un fort bel appareil qui n'existe qu'à un seul exemplaire et qui est actuellement, croyons-nous, à l'Université de Philadelphie. C'est une sirène à sons multiples, par laquelle sont produits à la fois plusieurs sons choisis à volonté dans l'échelle harmonique, et auxquels on peut donner des différences de phase.

L'expérience prouve que, malgré ces différences arbitrairement produites, le timbre d'une voyelle est constamment fourni par une combinaison d'harmoniques choisie, par un mélange déterminé pour le rang et pour l'intensité.

M. Dubois-Raymond a fait observer que le fait de la transmission par le téléphone des timbres les plus variés tranche la même question. En effet, il a remarqué, comme nous avons vu plus haut, qu'il y a une différence de phase d'un quart de vibration double entre le téléphone transmetteur et le récepteur.

Cette remarque s'applique aux sons simples, mais la même chose se produit pour tous les sons coexistants et donnant par leur ensemble la sensation du timbre.

Seulement le retard d'un quart de phase qui se produit pour tous a une tout autre valeur pour chacun d'eux, et, en résumé, le mélange de vibrations qui parvient au téléphone récepteur est très-différent du

mélange au point de départ, — en ce qui concerne les phases, et cependant le timbre est conservé.

Cette ingénieuse observation a certainement un grand intérêt; mais on voit aussi que l'appareil de M. Kœnig tranche la question posée d'une manière plus générale et plus définitive.

Vitesse de transmission par le téléphone.

A propos des porte-voix ordinaires et des téléphones à ficelle, nous avons montré qu'il y a un retard sensible entre le départ des sons et leur arrivée; la vitesse de l'électricité est si grande qu'il n'y a aucun retard appréciable quand on fait usage du téléphone électrique.

Il est remarquable que cette instantanéité est presque gênante; il arrive, en effet, souvent, que les premiers mots de la réponse ne sont pas bien entendus, parce qu'on n'a pas eu le temps d'amener le téléphone de sa bouche à son oreille.

Il est curieux aussi d'observer, même à une distance de 15 mètres, un retard entre l'arrivée des sons directement par l'air et l'arrivée par le téléphone.

Observations diverses.

M. Kœntgen a observé que le son d'un diapason vibrant 24,000 fois par seconde pouvait être transmis par le téléphone; d'où on peut conclure que 24,000 courants alternativement renversés peuvent être successivement transmis dans l'espace d'une seconde, sur une ligne (courte sans doute, — nous ne savons pas sur quelle longueur l'observation a été faite). A coup sûr, ce résultat n'a rien de contradictoire avec ce qu'on savait antérieurement; mais il est certainement très-frappant et présente les choses sous un aspect nouveau fort intéressant.

CHAPITRE III

APPLICATIONS DU TÉLÉPHONE DE BELL.

A. — APPLICATIONS TÉLÉGRAPHIQUES.

Nous désignons de cette façon toutes les applications du téléphone à une conversation ou communication proprement dite. On verra par la suite que ce ne sont pas les seules.

Emploi domestique.

Partout où les porte-voix sont en usage à grande distance, on trouvera économie à leur préférer les téléphones. En effet, un bon porte-voix coûte environ 3 fr. 50 c. le mètre courant, tout posé; tandis qu'un câble à deux conducteurs, pour téléphone, coûte, tout posé, au maximum, 0 fr. 50 c. Le seul avantage que présente jusqu'ici le porte-voix, c'est la commodité de son avertissement, c'est-à-dire du sifflet. Mais les différents systèmes avertisseurs téléphoniques dont nous avons parlé sont très-acceptables, et pourront d'ailleurs être perfectionnés.

Dès à présent beaucoup de personnes emploient le téléphone à Paris, dans des bureaux, pour des besoins commerciaux ou industriels.

Il est probable qu'on trouvera avantage, dans les grands hôtels, à mettre des téléphones dans toutes les

chambres. Le voyageur sonnera et ensuite parlera au bureau de l'hôtel; il demandera ce qu'il voudra, et ses ordres seront promptement exécutés, parce qu'ils passeront par le maître de la maison ou un délégué spécial. Les domestiques n'auront qu'une course à faire au lieu de deux, et ne dérangeront le voyageur qu'une fois au lieu de deux. On comprend qu'il faudra au bureau de l'hôtel une sonnerie d'appel et un indicateur, comme il y a actuellement; dans les chambres des voyageurs, il ne faudra que le bouton d'appel, qui y est déjà, et un ou deux téléphones.

Dans les maisons particulières, et notamment dans ces grandes maisons à cinq et six étages, qui sont en grande majorité à Paris, le téléphone a également sa place indiquée. On l'établira entre le concierge et les locataires. Grâce à cet appareil, on pourra éviter aux visiteurs la peine de monter chez leurs amis s'ils sont sortis. Le concierge pourra annoncer au locataire l'arrivée d'une lettre à son adresse, et le locataire pourra envoyer son domestique la chercher. Pour cette application, un seul téléphone ou une paire, suffiront chez le concierge pour parler successivement aux différents locataires; mais il lui faudra en outre un indicateur et une sonnerie pour être appelé, et un bouton pour appeler.

Emploi dans l'industrie et le commerce.

Déjà beaucoup d'industriels ont établi des lignes télégraphiques entre les différents bâtiments de leur exploitation et leur bureau central, ou entre leur maison d'habitation et leur usine. Nous pourrions citer telle fabrique de sucre et tel établissement métallurgique qui ont quinze ou dix-huit postes télégraphiques réunis par un véritable réseau de fils.

Le téléphone rendra ces communications plus faciles et plus efficaces, car il est accessible, même à un homme qui ne sait ni lire ni écrire, même à un vieillard dont la main a perdu l'assurance nécessaire à la manœuvre d'un télégraphe ordinaire ; et enfin, la simplicité extrême de l'appareil et l'absence de pile suppriment presque toute cause de dérangement.

Ces communications se généraliseront rapidement, et les directeurs d'usines, les chefs de maisons commerciales sentiront de plus en plus que, grâce à ces moyens nouveaux, ils peuvent être présents partout à la fois, en ce sens qu'ils peuvent constater la présence de chacun de leurs subordonnés à son poste.

En cas d'accident grave, d'incendie par exemple, l'alarme est donnée instantanément, et les mesures sont prises dans des conditions de promptitude qu'aucune autre combinaison ne permettrait de réaliser.

Il y a lieu d'espérer que la législation va changer en France et que l'État, sans abandonner un monopole fort productif, autorisera l'emploi de lignes privées, non-seulement au travers de la campagne, mais même dans les villes. Il en existe déjà quelques-unes à Paris, à titre de tolérance ; nous sommes convaincus que le nombre en sera fort grand dans quelques années, et que l'État, qui aura établi et loué les lignes, ou qui aura fait payer un droit pour l'autorisation, en tirera grand profit. Ce sera un impôt payé volontairement, comme celui des tabacs, celui des postes et des dépêches télégraphiques actuelles.

Services d'incendie.

On a senti déjà, depuis quelques années, la nécessité de compléter l'organisation de pompiers dans les grandes villes par l'établissement de communications

télégraphiques. Il y a lieu de penser que le téléphone sera souvent adopté pour ces usages, par la raison surtout que, dans les petits postes de pompiers, le personnel n'est pas fort lettré et serait souvent embarrassé de manœuvrer les télégraphes même les plus simples.

Il a été question même d'établir, pour l'attaque de grands incendies, des lignes téléphoniques volantes pour la transmission rapide des ordres.

Service des administrations télégraphiques.

Il est probable que le téléphone sera souvent employé par les administrations pour leur service propre. Mais il n'est pas certain qu'il puisse être mis par elles à la disposition générale du public; voici ce que dit à ce sujet le *Journal télégraphique international*, publié à Berne :

« En effet, supposons l'appareil parfait, arrivé aux dernières limites de son perfectionnement, et pouvant fonctionner à toute distance avec ou sans relais.

« 1° Pour transmettre une dépêche avec tous les avantages que comporte le système, il faudrait que l'expéditeur pût parler directement au destinataire sans l'intermédiaire d'employés.

« Or, tous ceux qui connaissent l'organisation des réseaux savent que cela n'est pas possible, qu'il faut nécessairement des bureaux intermédiaires de dépôt, et que le public ne peut être admis dans les bureaux de transmission et de réception; par conséquent, l'expéditeur devra remettre sa dépêche écrite.

« 2° L'employé une fois chargé de ce soin, l'appareil a déjà perdu un de ses principaux avantages.

« car cet employé devra lire la dépêche, la prononcer à
« son correspondant ; mais si cette dépêche est écrite
« dans une langue étrangère, cela devient évidemment
« impossible.

« 3^e Enfin, aujourd'hui les administrations pos-
« sèdent des instruments qui permettent d'expédier les
« dépêches avec une vitesse plus grande que celle qu'on
« obtiendrait en les expédiant par la voix. »

Ces objections ne sont pas sans réplique, et nous lisons qu'en Allemagne le docteur Stephan, directeur général des télégraphes de l'État, vient de faire imprimer des instructions pour l'usage du téléphone :

« Des bureaux spéciaux voisins du bureau télégra-
« phique ordinaire seront ouverts aux communica-
« tions téléphoniques. Quand un message téléphonique
« devra être envoyé, le bureau de départ appellera le
« bureau destinataire, et les fils seront reliés. Les
« envoyeurs sont invités à parler lentement, clairement,
« sans forcer la voix, les syllabes bien séparées et
« toutes exactement prononcées. Une pause doit être
« faite après chaque mot pour permettre à l'employé
« chargé de la réception, de l'écrire. Celui-ci, après
« avoir compté les mots, répète la dépêche par
« manière de vérification. La taxe est appliquée à tant
« par mot, comme pour les dépêches ordinaires. »

La plus sérieuse objection à cette manière de faire est dans la lenteur de la transmission ; si on voulait transmettre entre deux villes importantes de longues dépêches par téléphone, il faudrait qu'au poste récepteur il y eût un employé écoutant et écrivant en écriture sténographique les mots qui lui seraient envoyés. Telle est l'idée ingénieuse qu'a proposée M. Herman ; mais jusqu'à quel point est-elle pratiquement réalisable ? C'est ce que l'avenir nous apprendra.

Il est certain seulement que 150 mots par minute, débités lentement et intelligiblement, représenteraient une vitesse considérable de transmission télégraphique, et que les appareils rapides actuels exigent une préparation, ou une grande habileté de manœuvre, et sont sujets à de fréquents arrêts ou dérangements, tandis que le téléphone n'a pas ces inconvénients.

Emploi dans les armées.

Les officiers paraissent à peu près unanimes à admettre que le téléphone sera fort utile dans un grand nombre de cas :

1° Il est employé déjà sur les champs de tir, et spécialement sur ceux de l'artillerie. Avec la grande portée des armes à feu aujourd'hui en usage, on sentait déjà la nécessité d'employer des communications télégraphiques entre le but et le départ; le téléphone présente, dans ce cas, des avantages évidents sur tous les autres systèmes télégraphiques.

2° Pour la défense des places, pour la transmission des ordres du commandant aux différentes batteries, il y a grande apparence que le téléphone sera fort utile; c'est du moins l'avis d'hommes dont la compétence est indiscutable.

3° On a combiné depuis longtemps des appareils destinés à être employés sur le champ de bataille. M. Trouvé notamment a combiné un appareil Morse (à lecture au son) qui pourrait être mis dans une poche de gilet comme une grosse montre; mais il était obligé d'employer une pile dont le poids et le volume étaient incomparablement plus grands. Nous-même avons réalisé un appareil qui figure à l'Exposition universelle de 1878, et qui dispense de la pile; c'est un Morse

magnéto-électrique, dont le manipulateur est un petit *exploiseur* et le récepteur un électro-aimant à armature polarisée fonctionnant comme parleur.

Ces combinaisons sont aujourd'hui fort dépassées par le téléphone, qui fonctionne sans pile, comme notre appareil, et dont la simplicité de construction défie toute comparaison.



Fig. 7.

Dans le service militaire, on devra l'employer avec un crochet porté à dos par un télégraphiste, comme le montre la figure 7. A la vérité, cette figure, qui représente l'ensemble combiné par M. Trouvé, indique, au-dessous de la bobine de fil isolé, une boîte qui est la pile du même inventeur ; le nouveau système dispensera de transporter cet important et lourd accessoire, et

permettra d'avoir un fil plus long sans fatiguer davantage le porteur.

Une circonstance intéressante est à noter ici : M. Trouvé avait cru nécessaire d'employer un câble à deux fils avec son télégraphe; nous croyons qu'il avait raison, et que la difficulté d'obtenir *une bonne terre* (nécessaire à la télégraphie ordinaire) était ainsi heureusement tournée. Mais nous avons montré que pour les communications téléphoniques, il n'était pas nécessaire d'assurer avec autant de perfection la perte à la terre et que cette perte pouvait être obtenue suffisante par les moyens les plus imparfaits en apparence. Il résulte de là, croyons-nous, que sur la bobine du crochet à employer avec le téléphone il suffit de mettre un simple conducteur isolé, au lieu du câble à deux conducteurs qui était en usage jusqu'ici. De ce chef on gagnera encore un certain poids, et on pourra allonger d'autant la longueur de fil portée par un homme non surchargé.

Le mérite très-grand de ce fil porté à dos, c'est qu'il se déroule par la marche du porteur sans aucun artifice et sans aucun aide; avec cette combinaison on peut établir une ligne télégraphique d'un kilomètre en dix minutes, vitesse qui ne paraît pas pouvoir être jamais dépassée.

4° Toutes les dispositions ont été prises pour employer le téléphone à des communications entre le sol et un ballon captif destiné à servir d'observatoire pour suivre les mouvements de l'ennemi. Des expériences doivent se faire à bref délai. Dans ce cas spécial, le retour par la terre étant impossible, il paraît évident qu'il faudra de toute nécessité avoir deux fils conducteurs entre le ballon et la terre. Il nous paraît cependant possible d'échapper à cette nécessité par des arti-

fices dont il serait peu à propos de parler ici, puisqu'ils n'ont pas encore été expérimentés.

5° Avant de quitter le sujet des applications militaires, il paraît nécessaire de revenir en quelques mots sur la possibilité que donne le téléphone de découvrir par un fil voisin les dépêches qui se transmettent en Morse sur un fil employé par l'ennemi.

Nous avons dit qu'en temps ordinaire les lignes étant chargées d'un grand nombre de fils activement occupés, les actions inductrices sur un quelconque d'entre eux employé à la téléphonie sont nombreuses et ne font entendre généralement qu'un bruit confus. Mais en temps de guerre il arrivera fort souvent qu'un seul fil sera employé à la fois sur une ligne parcourant un pays envahi par l'ennemi; et un homme intelligent et résolu pourra, au moyen d'un téléphone de poche, aller écouter dans un endroit désert les dépêches et les ordres transmis, sans faire usage que des fils existant. Il préférera même ceux qui auront été coupés quelque temps auparavant et les emploiera dans les endroits où ils viennent toucher le sol, ce qui le dispensera même d'escalader les poteaux, car il lui sera inutile d'atteindre le fil sur lequel il voudra exercer sa surveillance.

Indépendamment de ce moyen très-subtil, il sera possible d'établir une dérivation très-résistante sur un fil servant aux communications de l'ennemi, d'y intercaler un téléphone, et d'entendre tout ce qui se transmettra sans laisser découvrir sa présence et son indiscrétion.

Il importe de comprendre que les lignes télégraphiques aériennes sont ainsi exposées à bien des indiscrétions, auxquelles échappent en grande partie les lignes souterraines qui sont très-nombreuses, en Allemagne, par exemple.

On doit noter enfin que les courants téléphoniques, si faibles qu'ils soient, peuvent exercer des actions inductrices assez fortes pour qu'on puisse lire au son sur un fil voisin avec un autre téléphone; d'ailleurs les communications téléphoniques peuvent être entendues par dérivation, et il y a encore là un danger dont il faut se défier.

Ce sujet n'est pas épuisé, car M. Bell nous a indiqué un procédé très-ingénieux pour empêcher un téléphone intercalé au milieu d'une ligne, d'entendre ce qui se dit entre deux autres placés aux deux bouts. Nous nous bornons à donner cette indication, pour montrer combien on peut encore chercher et trouver sur ce terrain si neuf et si étendu.

Emploi dans la marine.

On peut, au moyen de câbles isolés à la gutta-percha, établir une communication téléphonique entre deux navires placés à quelque distance l'un de l'autre dans une rade. M. Pollard en a fait l'expérience dans la rade de Cherbourg, en présence de l'amiral et de nombreux officiers.

On espère arriver à mettre en communication l'officier placé sur la passerelle et le mécanicien au fond du navire et résoudre ainsi le problème si souvent cherché de la transmission des ordres à bord des grands navires à vapeur.

La défense des côtes au moyen des torpilles paraît devoir être facilitée par l'emploi du téléphone; voici comment :

Les abords des villes maritimes sont en temps de guerre semés de torpilles qui doivent faire explosion par l'envoi d'un courant électrique lancé par une sta-

tion A, au moment où un navire ennemi passe au-dessus de l'une d'elles. Mais pour que le marin posté en A sache que le bâtiment assaillant est au-dessus de la torpille n° 17, par exemple, il ne suffit pas qu'il le voie dans l'alignement de cette torpille, il faut encore qu'un second observatoire, ou station B, suivant également le navire ennemi avec ses lunettes et ses cercles divisés, lui dise qu'il le voit sur le même alignement. Il faut donc entre ces deux observatoires, une communication tout à fait instantanée comme la parole est à petite distance et la parole portée par le téléphone à grande distance.

Applications diverses.

Nous mentionnerons en passant des expériences faites en France et en Angleterre pour faire communiquer le fond des mines avec le jour, des essais faits pour relier un plongeur dans son scaphandre avec le bateau qui le porte, des organisations centralisées qui fonctionnent en Amérique et au moyen desquelles un abonné peut être mis en rapport, par un bureau central, avec un de ses amis, un de ses fournisseurs, ou un de ses clients, également abonnés.

B. APPLICATIONS INDUSTRIELLES.

A côté des applications dans lesquelles le téléphone sert à une conversation proprement dite, il s'en présente d'autres dans lesquelles l'appareil sert à entendre, au loin, un bruit dont la continuité, la variété, l'interruption fournissent d'utiles renseignements.

Surveillance de la ventilation dans les mines.

C'est ainsi qu'un ingénieur pourra avoir dans son

bureau un téléphone lui disant à tout instant que la ventilation, dans un point particulier de la mine, se fait régulièrement. Ce téléphone est relié avec un autre placé à côté d'une roue mise en mouvement par l'air servant à la ventilation. Si le courant d'air est arrêté, ou ralenti, la roue l'est également et le bruit qu'elle produit et fait entendre, le trahit aussitôt. C'est, sous un autre forme, l'omniprésence du directeur, et son contrôle s'exerçant non pas seulement sur les hommes, mais même sur les appareils.

C. APPLICATIONS SCIENTIFIQUES.

Emploi du téléphone comme galvanoscope.

L'extrême sensibilité du téléphone le rend propre à dénoncer l'existence de courants très-faibles et permet de l'employer comme galvanomètre ou galvanoscope; mais il n'accuse que les courants alternativement renversés ou simplement interrompus. Si donc on veut constater l'existence d'un courant constant, il y a lieu de mettre le téléphone dans le circuit de ce courant et de le couper à intervalles, soit à la main, soit au moyen d'un appareil interrupteur à mouvement d'horlogerie ou de toute autre disposition.

Il n'est pas même nécessaire de mettre le téléphone dans le circuit du courant qu'on veut étudier, si on a quelque raison pour ne pas le faire; il suffit, en effet, de placer un fil auquel on relie le téléphone, parallèlement à un fil dans lequel circule le courant dont on veut constater l'existence, et dont on doit ouvrir et fermer le circuit comme dans le premier cas. Il peut être commode d'enrouler ces deux fils parallèles sur une bobine commune et de mettre un

barreau ou des fils de fer doux dans l'axe de cette bobine; il en résulte une augmentation notable des actions inductrices qui se produisent à chaque interruption du courant dont on cherche à démontrer l'existence.

Le téléphone a sur les galvanomètres ordinaires une infériorité marquée; il n'indique pas le sens du courant et ne donne que très-vaguement idée de son intensité. Mais il est fort possible qu'on imagine quelques moyens de discerner le sens des courants en même temps que leur existence.

Cet inconvénient, d'ailleurs, ne doit pas être exagéré; il y a en effet une foule de cas dans lesquels on emploie le galvanomètre à constater que des courants se font équilibre et qu'aucun courant ne circule dans une portion du circuit. Pour toutes les mesures électriques faites par une des méthodes dites de réduction à zéro, la méthode du pont de Wheatstone, par exemple, le téléphone remplacera sans inconvénient sensible un galvanomètre d'une excessive sensibilité; en effet, quand on approche du zéro, on entend le son rendu par le téléphone baisser, baisser graduellement jusqu'à cesser d'être perceptible; si on va au delà du point d'équilibre, le téléphone se fait entendre de nouveau (1).

Quant aux avantages que présente le téléphone sur les galvanomètres, ils sont très-apparents :

1° Le téléphone est un appareil d'un prix extrêmement réduit, accessible aux plus petites bourses; il est environ dix fois moins coûteux que le moindre galvanomètre digne de ce nom ;

(1) On remarquera que rien n'empêche de faire des téléphones à deux fils, qu'on emploierait comme des galvanomètres différentiels.

2° Un galvanomètre demande une installation soignée, un réglage préalable; il n'en faut approcher qu'avec de grandes précautions, après avoir enlevé les clefs qu'on peut avoir sur soi, de peur de mettre l'aiguille en mouvement anormal.

Le galvanomètre n'est pas en général un instrument transportable, et si on veut l'employer à bord d'un navire ou en voyage, il faut le faire construire exprès et sur des modèles spéciaux.

Le téléphone est un appareil essentiellement transportable, point délicat et qui donnera ses indications au milieu d'une construction en fer aussi bien que dans les conditions les plus favorables réalisées à grand-peine dans les cabinets de mesure actuels;

3° La lecture des indications des galvanomètres est pénible. Avec les uns, le retour de l'aiguille au zéro est fort lent et est la cause de pertes de temps très-notables et souvent fort pénibles, qu'on n'évite que par de petits moyens d'adresse que tout le monde ne sait pas employer. Avec les autres, ceux à réflexion de Thomson, le retour au zéro est à peu près instantané, mais la lecture exige l'emploi d'une lampe allumée et des artifices pour obtenir l'obscurité au moins au voisinage de l'échelle de mesure.

Ces difficultés n'existent pas pour le téléphone.

Nous avons hâte d'ajouter que nous ne prétendons pas un instant que le temps des galvanomètres soit passé; nous voulons dire qu'un nouveau galvanoscope d'une exquise sensibilité a fait son apparition et que quantité de personnes qui ne pouvaient pas faire usage des galvanomètres anciens pourront observer aujourd'hui des phénomènes très-déliés et peu accessibles aux moyens anciens.

Certaines observations tendent à prouver que le

téléphone cesse d'être efficace dans des circuits d'une très-grande longueur; mais il est possible que cette impuissance tienne à ce qu'on n'a pas employé de téléphones appropriés à de très-longues lignes. La question ne paraît pas, quant à présent, tranchée contre les téléphones.

D'autre part, il y a des cas où cet instrument donne des indications alors que tous les galvanomètres sont en défaut: la preuve en a été donnée par M. d'Arsonval.

C'est par les expériences de ce savant, faites au Collège de France, que nous terminerons cette petite étude.

M. d'Arsonval a fait usage de l'appareil d'induction de Dubois-Raymond, dans lequel les deux bobines inductrice et induite peuvent être écartées jusqu'à très-grande distance, pour réduire à volonté l'intensité du courant induit. Après avoir amené la bobine induite à une distance de l'inductrice, telle que la patte de grenouille ne trahît plus aucun courant, il substitua à la grenouille un téléphone, et constata qu'il rendait des sons et que la distance entre les fils inducteur et induit pouvait être encore beaucoup augmentée sans que le téléphone cessât d'accuser à l'oreille le passage intermittent d'un courant induit.

En second lieu, M. d'Arsonval a réalisé ce que nous proposons plus haut; il a interrompu le circuit du courant dont il voulait constater l'existence au moyen du téléphone employé comme galvanoscope. La disposition qu'il a adoptée est la suivante: un diapason (à 400 vibrations doubles) vibre au devant d'un électro-aimant et interrompt à chacune de ses vibrations un circuit dans lequel est l'électro-aimant en question et la source présumée du courant galvanique. On pince le diapason à la main et ses vibrations prolongées pendant une

fraction de minute font vibrer le téléphone à son unisson, si le courant douteux existe réellement. On a pu ainsi constater le courant résultant d'une différence d'un degré dans la température des deux pointes d'une pince thermo-électrique.

Enfin M. d'Arsonval a appliqué le téléphone à constater le courant *propre* de la grenouille, c'est-à-dire le courant qui prend naissance entre deux parties d'un muscle quand le nerf qui y aboutit est tétanisé. On excite le nerf par des secousses inductrices très-faibles; ces secousses produisent un tétanos dans le muscle et le courant propre prend naissance. Le courant *propre* est ici intermittent et agit sans aucun intermédiaire sur un téléphone, de manière à lui faire rendre un son.

CHAPITRE IV.

AVERTISSEURS.

Un système télégraphique n'est complet qu'à la condition d'être accompagné d'une combinaison destinée à appeler l'attention; il faut que cet appel ou avertisseur s'adresse à l'oreille, car l'employé chargé du service ne peut pas, en général, être astreint à rester devant son appareil toute la journée (1).

Avec le téléphone, un avertisseur est plus indispensable qu'avec tout autre télégraphe, parce que, en son absence, il faut de toute nécessité tenir constamment le téléphone à l'oreille pour savoir si le correspondant a quelque chose à dire.

Sonneries électriques.

Le système le plus simple et le plus efficace qu'on puisse employer consiste à faire usage des sonneries ou sonnettes électriques qui sont en usage dans la télégraphie ordinaire.

Si la distance entre les deux stations est petite, on peut établir un fil spécial pour la sonnerie. De cette façon la communication de la sonnerie et celle du télé-

(1) Dans les services gouvernementaux, ou ceux des Compagnies de câbles sous-marins, les employés n'ont absolument d'autre occupation que celle de recevoir les dépêches; et les systèmes avertisseurs sont moins nécessaires.

phone sont toujours établies; et on évite la manœuvre du commutateur à laquelle on est obligé autrement. Dans ces conditions, il faut dans chaque station : deux téléphones — une sonnerie — un bouton d'appel à réception ou clef Morse — et une pile. Il suffit de trois ou quatre éléments dans chaque station, si la distance est petite, comme nous le supposons.

Si la distance est un peu grande et que l'addition d'un fil spécial pour la sonnerie soit inadmissible au point de vue de l'économie, ce qui est le cas général, il faut s'arranger pour faire servir le fil successivement à la sonnerie et au téléphone. Il faut alors ajouter au poste, tel que nous l'avons inventorié tout à l'heure, un commutateur à deux directions pour mettre la ligne en communication tantôt avec la sonnerie, tantôt avec les téléphones.

L'inconvénient de ce commutateur est qu'on peut oublier après une conversation de le replacer *sur sonnerie* et qu'alors on met son correspondant dans l'impossibilité de vous appeler de nouveau. On a combiné, pour tourner cette difficulté, un *commutateur automatique* qui est très-satisfaisant. Quand la communication n'a pas lieu, on accroche les deux téléphones à deux supports ou patères. L'une de ces patères est disposée à bascule; quand elle supporte le téléphone, elle descend et établit la communication de la ligne avec la sonnerie. Quand on est appelé par le tintement de cette sonnerie, on doit répondre par un coup de sonnette au correspondant; puis on prend les téléphones à la main et on se dispose à correspondre. Mais la *patère mobile*, allégée du poids du téléphone, bascule, se relève, rompt la liaison de la ligne avec la sonnerie et la met en communication avec les téléphones. La conversation finie, le fait de replacer les téléphones sur leurs patères suffit

à remettre les choses dans le premier état, c'est-à-dire dans la position d'attente.

Avertisseur musical ou chanteur.

On a cherché à éviter la sonnerie et on y est arrivé d'une manière extrêmement simple et heureuse par l'appareil avertisseur que nous allons décrire et qu'on pourrait appeler *chanteur*.

Quand on chante devant la membrane de cet appareil, membrane en tout semblable à celle du téléphone, on la met en vibration. Dans ses excursions, elle vient toucher par son centre à la pointe de platine d'une vis montée en regard. A chaque contact ainsi produit, le circuit d'une pile électrique est fermé et le courant envoyé dans les téléphones de la station correspondante. Le nombre de ces contacts est égal au nombre des vibrations de la membrane et le son rendu par cette membrane est reproduit par les téléphones placés dans le circuit. Si on se reporte à ce que nous avons dit du transmetteur du téléphone de Reis, dont cet appareil ne diffère que par une meilleure construction, on voit que la hauteur des sons est transmise, mais non l'intensité.

Cette combinaison simple fait rendre aux téléphones récepteurs des sons musicaux qui sont entendus dans toute une pièce et qui constituent un appel moins bruyant que la sonnerie, mais suffisant dans un grand nombre de cas.

Avec cet appareil, il est utile d'avoir un commutateur automatique ou autre; mais on peut à la rigueur s'en passer, en disposant les choses de telle sorte que les courants de la pile, envoyés par le *chanteur*, aillent en dérivation, partie dans ceux de la station éloignée, partie dans ceux de la station même qui appelle. Si la pile est forte, ce partage est sans inconvénient,

Jusqu'ici cet appareil présentait un petit défaut au point de vue pratique. L'excursion de la membrane est si peu étendue, l'ajustement de la vis doit être si précis, que du jour au lendemain et du matin au soir on trouvait l'appareil dérégulé et il fallait à nouveau toucher à la vis. Ce réglage n'est pas difficile; quand on essaie l'appareil en chantant dans son embouchure et tournant lentement la vis, on arrive tout d'un coup à un timbre de mirliton; c'est là le signe que le contact se produit entre la plaque vibrante et la pointe de la vis, et on n'a qu'à arrêter la vis au moyen d'un écrou ou d'une vis de serrage.

Nous sommes arrivé à supprimer cet embarras en employant une membrane de laiton au lieu de celle de fer qu'on avait employée par habitude, ici comme dans le téléphone. Avec la membrane de fer, il arrivait que les changements de température (et notamment ceux produits par l'haleine) produisaient des déformations, parce que la bague qui l'entoure est en laiton.

Quand toutes les parties sont faites du même métal, ces changements ne se produisent plus et le réglage une fois fait persiste indéfiniment.

Le cuivre réussit également, sans doute parce qu'il conduit très-bien la chaleur, beaucoup mieux que le laiton qui conduit lui-même mieux que le fer.

Il est intéressant de remarquer que les sons entendus dans le téléphone récepteur dans lequel arrivent les courants transmis par le *chanteur* ont sensiblement le timbre du violon. Cela tend à prouver qu'ils sont très-riches en harmoniques.

Autres systèmes avertisseurs.

Le même problème peut être résolu de plusieurs autres façons,

On peut, au lieu du chanteur, employer un diapason qui envoie des courants intermittents en nombre réglé par la hauteur du son sur lequel il est accordé.

Le diapason est ébranlé à la main, soit qu'on le frappe avec un marteau de liège, soit qu'on le pince entre deux doigts, soit enfin qu'on le frotte avec un archet. Les vibrations ainsi produites durent assez longtemps pour appeler l'attention de la personne qui doit recevoir l'avis; il est, d'ailleurs, facile de renouveler cet appel.

On peut faire rendre au téléphone récepteur le même son que rend le diapason ou un son à l'octave aigu suivant la disposition adoptée.

L'emploi d'une bobine d'induction à la station de départ est favorable, et donne plus d'intensité au son reproduit à la station d'arrivée; les courants de plus haute tension donnent, en effet, de meilleurs résultats dans la téléphonie, comme nous l'expliquerons au chapitre VII. Le courant de la pile est envoyé dans le circuit inducteur de la bobine; les courants induits sont envoyés par la ligne au récepteur.

AVERTISSEURS MAGNÉTO-ÉLECTRIQUES.

On a cherché différents moyens de se dispenser de l'emploi d'une pile, dans l'idée que son entretien est assujettissant. Il faut dire ici que les piles actuelles réduisent cet inconvénient presque à rien; il existe en effet des piles qui ne consomment les matières dont on les compose que pendant le temps où le circuit est fermé; ce sera au plus quelques minutes par jour, si elles ne servent qu'à des appels; et par conséquent on pourra les abandonner à elles-mêmes, sans entretien, pendant

deux ou trois ans, pourvu qu'on évite toute évaporation de l'eau y contenue.

Quoi qu'il en soit, les avertisseurs sans pile ont leur intérêt et nous devons faire connaître les principaux.

Avertisseur à diapason.

Plusieurs personnes, parmi lesquelles M. Toepler (à Dresde), M. Blondlot (à Paris) et M. Koentgen ont employé avec assez de succès deux diapasons à l'unisson, placés dans les deux stations correspondantes; chacun d'eux a une de ses branches en présence d'un téléphone dont elle remplace la membrane; les courants engendrés par les vibrations de l'un des diapasons produisent des vibrations correspondantes dans l'autre. On peut même employer pour cet usage la seconde extrémité de l'aimant du téléphone ordinaire qui fonctionne ainsi comme avertisseur par un bout et comme téléphone par l'autre (M. Koentgen).

M. Toepler a, parmi d'autres dispositions, réalisé les suivantes : Un diapason était aimanté et, chacune de ses branches était mobile devant un petit électro-aimant, dans le fil duquel des courants s'induisaient par les vibrations du diapason.

Dans un autre cas, les noyaux de fer doux étaient portés par les branches de diapason et lors des vibrations entraient dans les bobines, montées à part et fixes.

L'introduction variable du fer aimanté dans les bobines induisait les courants.

Avertisseur de Lorenz.

L'appareil représenté par la figure 8 est le transmetteur de M. Lorenz. L'aimant N S est placé suivant un diamètre du timbre ou cloche d'acier Tr. Quand, avec le marteau M poussé par un ressort, on vient à frapper

le timbre dans une direction perpendiculaire à celle de l'aimant, les vibrations ont leur maximum d'étendue en face des pôles et il en résulte la production de courants d'induction relativement énergiques dans les bobines du fil placées aux deux bouts de l'aimant.

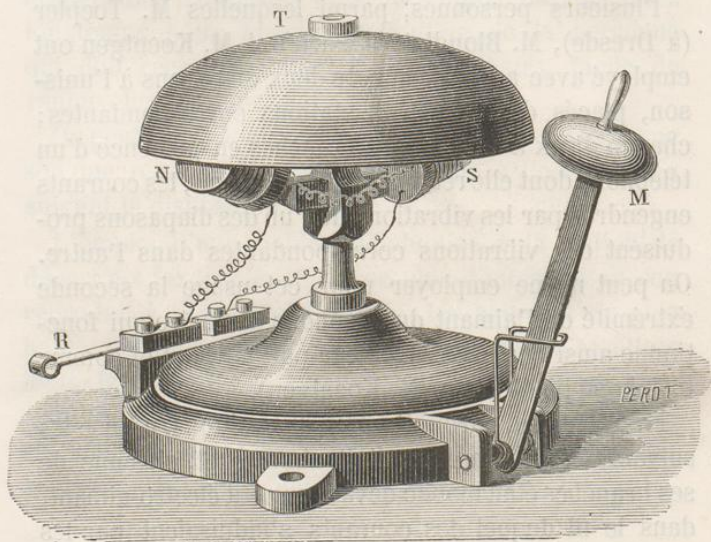


Fig. 8. — Échelle des 2/5.

Ces courants sont envoyés à la station correspondante, et y sont reçus dans des téléphones de Bell peu modifiés. Ces récepteurs présentent des bobines plus fortes que les téléphones ordinaires, et en outre on leur ajoute un résonnateur. C'est un long cône de fer-blanc, tronqué près de son sommet de manière que sa base étroite soit très-voisine de la partie centrale de la membrane du téléphone.

Pour que ce résonnateur ait tous ses avantages, il faut qu'il soit accordé sur la cloche du transmetteur ;

il faut régler la longueur du cône sur le son rendu par cette cloche.

Cet appareil rend des sons qu'en entendra facilement dans un bureau de travail. Nous avons vérifié que, avec un peu d'attention, on l'entend encore à 10 ou 12 mètres dans une grande salle de concert vide, et à 5 ou 6 mètres quand cette même salle est remplie de public. On peut donc admettre que l'avertisseur Lorenz fournit un appel suffisant pour un grand nombre de cas.

Les téléphones à résonnateur peuvent d'ailleurs servir à la conversation à peu près comme les autres.

Il faut remarquer que le transmetteur à cloche présente un commutateur (que notre figure ne fait pas bien voir) qui met l'appareil habituellement en court circuit. Quand donc on veut appeler, il faut d'une main appuyer sur le commutateur (à ressort) pour mettre l'appareil en circuit, et de l'autre main armer le ressort en écartant le marteau, puis le lâcher brusquement.

Appel magnéto-électrique à arrachement.

Nous-même avons voulu obtenir un appel suffisant dans le téléphone ordinaire, et nous y avons réussi en employant comme transmetteur ou producteur de courant un appareil semblable en principe à l'Exploseur magnéto-électrique ou coup de poing. Chaque fois qu'on arrache l'armature de cet appareil en frappant sur le bouton, on produit un courant d'induction très-énergique. Cette grande intensité tient à ce que l'armature est d'abord au contact des pôles de l'aimant et qu'elle en est arrachée brusquement. On a d'ailleurs un moyen d'augmenter la tension du courant produit par cet arrachement. Le moyen consiste à mettre l'appareil en court circuit pendant la première période du mouve-

ment de l'armature de manière à lancer sur la ligne non pas le courant d'induction, mais l'extra-courant de rupture de ce courant. Cette disposition singulière,

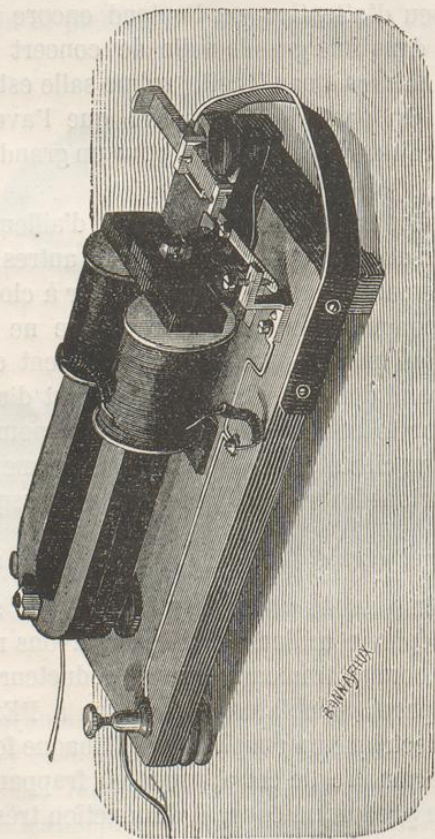


Fig. 9.

qui réussit dans l'exploseur employé à l'inflammation des amorces, est avantageuse aussi pour le téléphone.

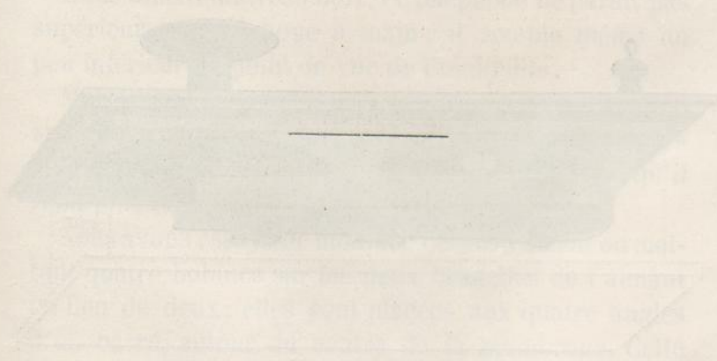
Un téléphone ordinaire dans lequel ce courant d'appel est envoyé produit un bruit assez analogue à celui

qu'on fait en frappant discrètement du doigt à la porte pour demander la permission d'entrer.

On entend ce bruit facilement dans toute une pièce de dimension ordinaire.

Le transmetteur se trouve habituellement en court circuit et par conséquent sa résistance ne peut en rien diminuer la facilité des communications téléphoniques ; il n'entre en circuit que quand on frappe sur le bouton et qu'on arrache l'armature. L'avantage de cet appareil est qu'il n'exige aucun autre récepteur que le téléphone ordinaire ou la paire de téléphones qu'on a habituellement dans chaque station.

Nous donnons ici la figure bien connue de l'explorateur, dont notre appel diffère par certaines dispositions, mais qui est identique en principe (fig. 9).



CHAPITRE V

DIVERSES FORMES DU TÉLÉPHONE DE BELL.

Nous n'avons fait connaître jusqu'ici que le téléphone à main qui est le plus répandu. Mais il est aisé de comprendre que les mêmes organes peuvent être disposés de diverses façons et qu'on peut réaliser un grand nombre d'appareils présentant certains avantages particuliers.

Téléphone à grandes distances.

L'appareil représenté par la figure 10 a été réalisé

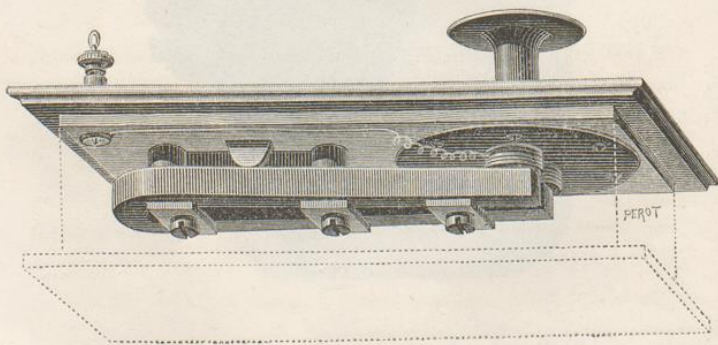


Fig. 10. — Échelle de 1/3.

par M. Bell avant son retour en Europe ; il a même précédé la forme dite téléphone à main.

Tout l'appareil est monté sur le couvercle de la boîte. La membrane est tenue à sa circonférence par huit ou dix vis ; à la place de cette membrane on a eu soin de pratiquer une chambre circulaire dans le bois pour que la plaque ne touche pas au couvercle et puisse vibrer. Mais l'expérience a montré qu'il y a intérêt à donner à cette chambre vide la moindre capacité possible. Si elle est creusée plus que le strict nécessaire au jeu de la membrane, il se produit des bruits de résonance qui troublent l'audition. Les pôles de l'aimant en fer à cheval sont placés devant la membrane et assez près du centre ; les deux bobines sont montées sur des noyaux de fer doux vissés dans les parties extrêmes de l'aimant.

Un mécanisme de bascule très-simple permet de régler l'appareil, c'est-à-dire de régler la distance entre la membrane et les bouts de noyaux de fer doux polaires. L'épaisseur la plus favorable de la membrane est entre 4 et 8 dixièmes de millimètre.

Dans un circuit très-court, ce téléphone ne paraît pas supérieur au téléphone à main ; il semble même un peu inférieur au point de vue de l'audibilité.

Mais quand la distance est grande, cet appareil a une supériorité marquée ; il paraît moins affecté par les actions inductrices étrangères, en même temps qu'il rend plus clairement le son de la voix.

Nous avons essayé de modifier cet instrument en mettant quatre bobines sur les deux branches de l'aimant au lieu de deux ; elles sont placées aux quatre angles d'un carré, autour du centre de la membrane. Cette forme modifiée rend certains sons avec une plus grande intensité. La différence est surtout marquée pour les courants énergiques envoyés par les avertisseurs.

Nous avons reconnu qu'il n'y a ni inconvénient ni

avantage sensible à allonger ou raccourcir le tuyau qui se termine par l'embouchure. Il paraît même constaté que si ce tuyau est réduit à presque rien, l'audition est moins satisfaisante.

Dans les publications anglaises ce même appareil est représenté d'une façon différente; les noyaux de fer doux et les bobines sont placés dans le prolongement des branches de l'aimant. Cette disposition est la première en date; elle n'a pas d'avantage technique et elle est d'un usage moins commode que celle figurée plus haut.

Téléphones à boîtes de métal.

Les téléphones ordinaires se dérèglent quelquefois par suite du travail du bois qui forme la boîte. Cet inconvénient peut être écarté par l'emploi de boîtes ou fourreaux d'ébonite au lieu de bois. On peut le supprimer également en trempant le bois dans la paraffine ou la stéarine fondues; cette imbibition n'empêche le bois ni d'être collé, ni de prendre le plus beau vernis au tampon.

Un dernier moyen peut être employé, qui consiste à placer les trois organes du téléphone sur une monture métallique. Beaucoup de dispositions différentes ont été essayées, qui toutes remplissent le but. L'appareil une fois constitué, on peut le loger dans un fourreau de bois ordinaire, ou lui donner une enveloppe de métal repoussé.

Téléphone montre.

L'appareil représenté en vraie grandeur par la figure 11 est la forme la plus réduite du téléphone qui ait encore été réalisée. Nous avons donné à l'aimant la forme en limaçon et nous l'avons placé dans un plan

parallèle à celui de la membrane. L'audition est aussi nette avec cet appareil malgré son petit volume, qu'avec

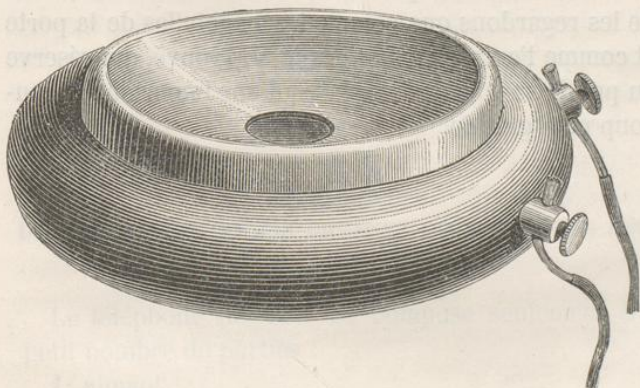


Fig. 11.

les téléphones à main ordinaires. L'appareil peut facilement être mis dans la poche et sa forme justifie le nom que nous lui donnons.

Téléphone à membranes multiples de Trouvé.

M. Trouvé a réuni quatre téléphones dont les membranes sont quatre faces d'un cube. Une cinquième face présente une embouchure et la sixième ferme le cube. Il obtient de cette façon l'effet concourant de quatre membranes, ce qui augmente l'audibilité; mais par contre il éloigne l'oreille de chacune d'elles par rapport à ce qu'on fait avec le téléphone ordinaire; de sorte qu'en fin de compte le gain est assez problématique.

L'ingénieur constructeur parisien a fait observer que sa méthode était susceptible de multiplication et qu'au lieu d'un cube il pouvait prendre un polyèdre régulier

à faces nombreuses qui toutes serviraient de membrane à un téléphone; on produirait ainsi un téléphone composé dont l'effet total serait avantageux.

Si intéressantes que soient ces combinaisons, nous ne les regardons que comme les bagateilles de la porte et comme l'entrée en matière de M. Trouvé, qui réserve au public savant des surprises d'une importance beaucoup plus grande.

CHAPITRE VI.

DISCUSSION DES DIVERS ORGANES DU TÉLÉPHONE BELL.

Le téléphone de Bell se compose seulement d'un petit nombre de parties :

- 1° aimant ;
- 2° membrane ;
- 3° bobine de fil ;
- 4° embouchure ;
- 5° boîte ou enveloppe.

On a beaucoup discuté déjà sur les formes à donner à ces différents organes et sur le rôle qu'ils jouent dans l'ensemble.

Nous sommes préparés par ce qui précède à examiner cette controverse, dans laquelle le dernier mot n'est pas encore dit.

Aimant.

La forme de l'aimant peut être droite et perpendiculaire à la membrane ; c'est la disposition que nous avons décrite le plus longuement ; c'est celle des appareils le plus répandus.

Les dimensions généralement adoptées en France sont : diamètre, 10 millimètres ; longueur, 10 centimètres.

Il est probable qu'on pourrait sans inconvénients diminuer le diamètre et la longueur de l'aimant, mais il faudrait en même temps diminuer l'épaisseur de la membrane.

Il est probable qu'il y a avantage à terminer l'aimant permanent par une petite pièce de fer doux sur laquelle se monte la bobine. Cette disposition présente de grands avantages dans l'exploseur magnéto-électrique représenté fig. 9 ; ces avantages sont des facilités pour la construction et une augmentation de puissance de l'appareil. Il paraît résulter de la comparaison des téléphones construits dans les divers pays que les meilleurs sont construits avec un noyau polaire de fer doux et que ce noyau doit avoir un diamètre moindre que celui de l'aimant.

Revenant à la forme de l'aimant, nous rappellerons que dans le téléphone fig. 11 on l'a modifiée profondément. L'aimant est réduit à une lame de 10 centimètres de longueur et de 10 millimètres de largeur tournée en spirale plate ou en limaçon. La bobine est montée sur un petit noyau de fer doux placé perpendiculairement au plan de l'aimant.

Enfin dans l'appareil fig. 10, on fait usage d'un aimant en fer à cheval. Cette disposition est la première en date ; et on s'étonne qu'elle ne soit pas de beaucoup la meilleure. Il est clair que la puissance d'un aimant en fer à cheval est, même à dimensions égales, beaucoup plus grande que celle d'un aimant droit ; il semblerait que le téléphone à aimant en fer à cheval et à deux bobines dût être de beaucoup le meilleur. Il n'en est rien cependant quand on veut transmettre les sons de la voix à une distance médiocre. Ces appareils à double action n'ont d'avantages que quand on veut les employer à grande distance ou si on entreprend de faire

entendre des sons musicaux ou des airs de musique à une assemblée un peu nombreuse ou dans une salle un peu grande ; dans ce cas, on emploie des transmetteurs à pile et les courants qui sont mis en œuvre ont une intensité beaucoup plus grande que ceux engendrés par l'action de la voix humaine ; ils rendent alors des sons d'une intensité telle qu'on peut facilement les entendre à dix mètres de distance, comme nous le dirons plus loin.

Les constructeurs consciencieux s'efforcent de faire usage dans les téléphones du meilleur acier connu, c'est-à-dire de celui qui donne les plus forts aimants. Quelques personnes croient cependant que des barreaux peu aimantés donnent d'aussi bons effets que les aimants les plus puissants. Il est certain que dans un téléphone ce qu'on doit rechercher, ce n'est pas tant une grande énergie de l'aimant, qui ne fait qu'augmenter la tension de la membrane au repos, qu'une variation considérable dans le magnétisme produite par les courants ondulatoires engendrés par le transmetteur. Or on ne peut pas affirmer que le plus fort aimant soit celui qui varie le plus sous l'influence de courants donnés. Il y a lieu de croire que cette question sera tranchée bientôt par des expériences convenables ; quant à présent, nous pouvons dire seulement que les meilleurs téléphones (venus d'Amérique) ont des aimants droits composés très-puissants.

Deux expériences doivent être citées ici : celle d'abord de M. Navez (Académie royale de Belgique ; avril 1878, *Bulletin*). « L'instrument reste muet, dit M. le colonel Navez, si on retire l'aimant pour le remplacer par un cylindre en fer doux fixé dans la bobine. « Il suffit d'approcher un aimant de ce fer doux pour « rendre la voix au téléphone. Il résulte de mes expé-

« riences que pour qu'un téléphone Bell fonctionne
« bien, il est indispensable que la plaque soit soumise
« à une tension magnétique initiale, obtenue au moyen
« d'un aimant permanent. »

La seconde expérience est celle du professeur Blake. Il construisit un téléphone (1) dans lequel une verge de fer doux de six pieds de long remplaçait l'aimant permanent. Un son continu étant fourni par le transmetteur, on reconnut que l'intensité du son dans le récepteur variait avec l'orientation de la barre de fer. Le maximum d'effet correspondait à la direction de l'aiguille d'inclinaison. Pour une direction perpendiculaire à celle-là, le téléphone était absolument silencieux.

Un point paraît donc acquis : c'est qu'un aimant est nécessaire et qu'un électro-aimant de fer doux sans acier ne donne aucun effet satisfaisant. D'ailleurs il est fort difficile d'obtenir du fer parfaitement doux et il est probable que le magnétisme permanent dont on ne peut les débarrasser est plus fort que celui que peuvent déterminer les courants téléphoniques ordinaires (2).

Les aimants employés dans les téléphones sont tantôt simples, tantôt composés. Ceux que nous avons figurés sont simples. Quelques personnes croient que les aimants

(1) *Researches in Electric Telephony*, par A. Graham Bell. *Journal of the Soc. of Telegraph Engineers*; vol. VI, p. 414. 1878.

(2) Il en serait autrement si on faisait l'expérience en prenant pour transmetteur un téléphone à pile, par exemple un appareil d'Edison comme l'a fait M. Navez. Nous croyons seulement que, si un récepteur à électro-aimant parfait, c'est-à-dire sans aucun magnétisme permanent est commandé par un téléphone à pile, il doit rendre des sons à l'octave de ceux entendus par le transmetteur.

composés de trois ou quatre lames sont plus avantageux. On ne peut affirmer que la principale qualité d'un aimant téléphonique soit la force magnétique ; il est donc possible que les aimants composés aient un avantage particulier qui n'est pas encore démontré pour nous.

Nous avons employé des aimants Jamin dans des téléphones doubles, du genre de celui de la figure 10. Dans les petits téléphones à main, ils ne paraissent pas avoir de raison d'être.

M. Blyth a fait devant la Société royale d'Edimbourg une expérience qu'il faut citer ici. Des sons ont pu être entendus avec un téléphone récepteur dans lequel on avait supprimé l'aimant. Cette expérience paraît s'expliquer par l'attraction réciproque des courants induits dans la plaque et des courants qui circulent dans la bobine et les induisent. Cette explication est confirmée par ce fait que l'audition est la même avec une membrane de cuivre qu'avec une membrane de fer.

Il est probable que les sons entendus étaient excessivement faibles et nous ne pouvons pas regarder cette intéressante expérience de M. Blyth comme contredisant l'explication que nous avons donnée de la fonction du téléphone. On peut dire que plusieurs causes concourent à l'effet total ; mais il est certain que la principale est bien celle que nous avons indiquée dans le chapitre I^{er}.

Membrane.

On emploie, pour constituer les membranes des téléphones, de la tôle de fer très-mince. L'épaisseur de 2 à 3 dixièmes de millimètre est généralement adoptée.

L'épaisseur qui donne le meilleur résultat dépend du diamètre de la plaque ; plus elle est petite, plus il faut qu'elle soit mince.

Cependant l'appareil peut fonctionner encore avec des plaques d'une très-grande épaisseur, comme l'a constaté M. Ant. Bréguet. Mais il importe de remarquer que ces expériences portaient sur la transmission du son d'un diapason (remplaçant la membrane du téléphone transmetteur), et non pas sur la reproduction de la voix humaine. Cette distinction est nécessaire, comme nous l'avons déjà dit ; parce que les sons musicaux persistants sont beaucoup plus faciles à percevoir que les articulations rapidement changeantes de la parole.

On a cru pouvoir conclure de cette expérience et de quelques autres, que dans le téléphone la membrane n'est qu'un organe tout à fait accessoire et point nécessaire ; que ce ne sont pas les vibrations de la membrane qu'on entend, mais celles de l'aimant, comme on les entend dans le téléphone de Reis. Nous ne pouvons partager cette opinion, et la simple expérience suivante suffirait à fixer la nôtre. Quand un téléphone de Bell chante sous l'influence de courants envoyés par un avertisseur à pile, dit chanteur, on l'entend dans toute la pièce ; mais si, comme nous l'a montré M. Bell, on met la main sur l'embouchure, on cesse complètement d'entendre, et si on met la queue de l'instrument à l'oreille on, ne perçoit qu'un son extrêmement faible (1).

(1) Cette expérience présente une autre particularité fort intéressante. L'appareil, avons-nous dit, chante. Son timbre est invariable par la raison que la cause des vibrations est invariable et que le nombre seul des envois de courant change. Si cependant on met la main au-dessus de l'embouchure de l'instrument, de manière à former un résonnateur de forme variable, on est surpris par des timbres différents pour chaque position de la main, et dont quelques-uns donnent l'impression des voyelles *o*, *e*, etc., etc. Il y a là, croyons-nous, un intéressant sujet d'études.

On peut aller plus loin et supprimer tout à fait la membrane ; l'expérience est encore tout à fait concluante, on n'entend plus rien.

On peut, aussi, mettre une plaque épaisse au lieu d'une membrane ordinaire ; on entend médiocrement. Toutes ces particularités s'expliquent aisément comme on va voir.

D'un autre côté il serait impossible de soutenir que l'aimant ne vibre pas ; si on songe au principe de l'égalité de la réaction et de l'action, on voit que la force vive se partage entre les deux organes et que c'est le plus léger et le plus mobile des deux qui fait les vibrations les plus étendues.

Dans les appareils ordinaires la membrane est beaucoup plus mobile que l'aimant et ce sont ses vibrations qui jouent le principal rôle de beaucoup. Pour contrôler cette assertion, M. Ant. Bréguet a renversé les conditions du problème et a renversé les rôles des deux organes. A la membrane était substituée une masse de fer très-lourde ; l'aimant robuste ordinairement employé était remplacé par une petite aiguille aimantée, mobile dans l'axe d'une bobine fixée solidement. L'aiguille était attachée au centre d'une mince feuille de bois circulaire. Avec cet appareil c'est l'aimant qui est mobile et qui fait entendre des sons, tandis que la masse de fer doux ne lui sert que d'attache pour ses attractions variables, sans avoir aucun mouvement vibratoire sensible.

Si nous poussons le raisonnement jusqu'à l'extrême, nous reconnaitrons que si les deux organes avaient tous deux une masse très-considérable, les faibles forces mises en jeu ne détermineraient aucun mouvement appréciable.

De cette discussion, nous croyons qu'on peut tirer

une conséquence pratique. Il est possible que les vibrations de l'aimant gênent l'audition de celles de la membrane et il y a intérêt à les réduire à un minimum. Par conséquent il vaut mieux dans le téléphone ordinaire employer un aimant d'une certaine masse qu'un fort petit, et d'une manière générale il faut le disposer de manière à étouffer les vibrations.

Ce résultat peut être obtenu de différentes façons ; dans certains appareils construits en Amérique, on verse de la paraffine liquide dans le fourreau de bois qui entoure l'aimant. Ce liquide se solidifie aussitôt et soude le tout en une seule masse qui n'a aucune sonorité. Nous ne savons si c'est en vue de ce résultat seul qu'on a mis cette paraffine, mais elle nous paraît avoir au moins cet avantage.

Dans le téléphone de poche, forme montre, fig. 14, l'aimant ne prend aucune part aux vibrations et le noyau de fer doux fixé au fond de la boîte n'a pas assez de longueur pour que ses vibrations soient marquées ; c'est là sans doute une des raisons qui font que cet appareil s'entend d'une façon particulièrement claire et nette.

La membrane métallique condense la vapeur de l'haleine, quand on parle dans l'embouchure, et se rouillerait bientôt, si on n'adoptait quelque moyen de protection. On peut employer de la tôle étamée, ou fer-blanc mince (1). Mais en général on adopte des plaques de tôle dites *ferro-type* qui sont fabriquées pour la photographie ; ces plaques sont recouvertes d'un vernis noir très-beau.

(1) On peut encore mettre sur la membrane une feuille de caoutchouc très-mince qui la garantit à la fois contre la rouille et contre les variations de température dont nous allons parler tout à l'heure.

Plusieurs personnes ont remarqué qu'après un moment d'usage certains téléphones sont plus clairs qu'au début; cela a d'abord paru incroyable et être le résultat d'une illusion. Le fait est cependant vrai et facile à expliquer : la chaleur de l'haleine fait dilater la membrane et comme elle est tendue vers l'aimant, elle ne peut que s'approcher du pôle ; ce rapprochement donne dans certains cas un meilleur réglage qui explique l'amélioration obtenue dans l'audition.

Cette explication ne paraîtra pas douteuse quand on saura que par un échauffement plus considérable on amène la membrane au contact de l'aimant et on rend le téléphone muet. Cet effet se produit en mettant un téléphone devant un feu de cheminée pendant un instant même très-court.

Ce défaut tient à ce que la membrane est fixée à sa circonférence, soit par des vis, soit par un serrage énergique entre deux parties de bois. Pour le corriger, il suffit de mettre la membrane dans une cavité un peu plus grande que son diamètre, de manière qu'elle ait du jeu, et de la maintenir à sa place au moyen d'une bague formée d'un fil de laiton faisant ressort. Dans ces conditions, si la membrane se dilate, elle s'étend tout autour sans changer sa courbure, car elle peut aisément glisser sous la bague de laiton.

Cette idée heureuse proposée par M. Roger, de Paris, a été appliquée dans le téléphone de poche, représenté fig. 11. Cet appareil, une fois bien réglé, ne se dérègle pas par des changements de température.

On emploie quelquefois un autre moyen, qui consiste à serrer la membrane, suivant sa circonférence, entre deux lames de caoutchouc, qui permettent sans doute de petits mouvements de dilatation de la membrane quand elle est échauffée.

Quand on fait usage d'une membrane circulaire, il est évident qu'il y a avantage à faire agir l'aimant bien au milieu.

Cependant M. Bell, dans l'appareil fig. 10, a employé deux bobines, et par conséquent a attaqué la membrane en deux points symétriques par rapport au centre.

Pour rendre la symétrie plus complète, nous avons construit un appareil avec quatre bobines placées aux quatre angles d'un carré dont le centre coïnciderait avec celui de la membrane. Cet instrument nous a donné de bons résultats avec des courants de pile; mais il n'a pas de supériorité marquée sur les autres pour la transmission de la parole.

En dernier lieu, nous avons pensé que la meilleure disposition pour un téléphone à deux bobines consiste à employer une membrane de forme elliptique et à mettre les deux pôles en regard des foyers. Un appareil de ce genre est en construction et figurera à l'Exposition universelle.

Vibrations propres et vibrations forcées de la membrane.

Les personnes qui ont étudié la physique savent qu'une verge, une corde, une membrane, un corps sonore quelconque rendent, si on les livre à eux mêmes, un son fondamental avec lequel peuvent coexister certains harmoniques. Il leur est assez difficile de comprendre qu'une membrane téléphonique puisse vibrer à l'unisson de tous les sons possibles. Il faut se rendre compte que si une membrane est commandée mécaniquement et fortement, par une corde par exemple, elle opérera aux mouvements que lui transmettra cette corde; elle pourra être ainsi amenée

à faire une allée et venue par seconde, ou cent allées et venues, ou un autre nombre; elle frappera l'air comme si elle vibrait naturellement et en vertu de sa propre élasticité, et fera entendre un son arbitrairement choisi.

C'est là ce qu'on peut appeler les *vibrations forcées* de cette membrane; et ce que nous disons là de la membrane téléphonique nous aurions dû le dire de l'aimant droit dans le téléphone de Reis; nous pourrions le dire d'un diapason même qui serait commandé par une force dominant son élasticité.

Dans le téléphone les vibrations sont presque toutes *forcées*, soit par la force de la voix, soit par les actions combinées du courant et de l'aimant.

Elles ne le sont pas tout à fait toutes. Si une note est chantée à la hauteur du son fondamental de la membrane, elle est mieux rendue que toute autre; les vibrations ont plus d'étendue et les sons plus d'intensité.

C'est là ce qui explique que les voix de femmes et d'enfants (relativement aiguës) soient plus heureusement rendues par les téléphones dont les membranes ont de 3 à 5 centimètres de diamètre, et les voix d'hommes (plus graves) par des membranes de 7 à 8 centimètres comme l'a observé M. Demoget.

C'est aussi l'un des motifs pour lesquels M. Bell emploie plusieurs téléphones à la fois pour faire entendre un air de musique à une assemblée; ces téléphones ne sont pas identiques, les uns rendent mieux certaines notes et les autres d'autres notes. On obtient là, jusqu'à un certain point, l'effet produit par un chœur de voix qui sont toutes fondues ensemble, mais dont plusieurs se distinguent parfois et enrichissent beaucoup l'effet général, en lui donnant une variété que n'aurait

pas, par exemple, un orgue donnant des sons d'égalé intensité totale.

Bobine.

La forme adoptée par M. Reis est celle qui se présente la première à l'esprit ; c'est celle qui est en usage dans presque tous les appareils électro-magnétiques. Déjà cependant dans l'appareil télégraphique de Hughes, on voit des bobines relativement courtes aux deux pôles d'un aimant ; nous avons adopté la même disposition en 1867 dans l'exploseur (fig. 9).

Si on prend la peine d'y réfléchir, on voit que dans la ligne neutre de l'aimant il ne se produit aucun changement quand une armature est déplacée devant les pôles ; il n'y a donc aucun intérêt à mettre du fil autour de la partie moyenne du barreau. M. Bell a commencé, paraît-il, par employer une bobine couvrant comme celle de Reis toute la longueur de l'aimant ; puis il diminua graduellement la longueur de la bobine, et, trouvant toujours que l'effet produit était le même, sinon meilleur, il en vint à adopter la disposition fig. 3.

On dit que plus la bobine est basse, meilleur est l'effet ; cela est possible, mais on n'en a pas donné de raisons. La résistance du fil mis dans cette bobine peut être beaucoup variée sans grand avantage ou inconvénient. Il paraît certain cependant que sur une ligne longue il vaut mieux employer des téléphones d'une résistance assez grande.

Au lieu d'une bobine de bois on peut enrouler le fil dans un moule sur des joues et une partie centrale de papier ; on baigne le tout dans la paraffine et on forme ainsi une masse qui se tient seule et qui occupe un volume un peu moindre que la bobine de bois représentée fig. 3.

Mais il faut écarter absolument l'emploi des bobines métalliques qui constitueraient un véritable écran pour l'induction ; elles nuiraient dans le transmetteur et le rendraient tout à fait sourd ; mais elles ne présenteraient probablement aucun inconvénient dans les récepteurs.

Embouchure.

La forme de l'embouchure qui est employée dans les téléphones à main (fig. 3 et fig. 11), n'est pas la première à laquelle on ait songé. Il paraît qu'elle est due au professeur Peirce (de Providence) qui a donné à M. Bell une constante assistance. On peut facilement constater expérimentalement qu'on entend moins bien si on enlève l'embouchure et qu'on écoute devant la membrane libre. La forme d'embouchure adoptée ne découvre que la partie centrale de la membrane ; elle permet d'appuyer l'instrument contre le pavillon de l'oreille ou contre la bouche sans qu'on coure le risque de toucher la membrane et de paralyser ses vibrations.

Une autre embouchure a été adoptée pour le téléphone à deux bobines (fig. 10). Il est remarquable que le tube de cette embouchure peut être plus ou moins long sans qu'il en résulte de différence sensible dans l'audibilité de l'instrument.

Un point important dans la construction des téléphones pour la transmission de la voix, c'est de ne laisser entre la membrane et le dessous de l'embouchure que le plus petit espace possible, juste assez pour que la membrane vibre librement. Si on néglige cette condition, il se produit des bruits de résonance qui gênent l'audition des paroles.

« Beaucoup d'inventeurs, dit très-bien M. Navez (1),
« cherchent à améliorer le téléphone de Bell en aug-
« mentant l'intensité du son par des moyens qui pro-
« duisent la résonance. Ces moyens sont radicalement
« mauvais ; ils donnent lieu à différents faisceaux d'on-
« des sonores qui affectent l'oreille en retard les uns
« sur les autres et troublent l'audition de la parole.

Quand on veut construire des téléphones pour faire entendre des airs de musique, ou des sons musicaux en général, soit pour amuser un public, soit pour appeler un correspondant et réaliser un *appel* ou *avertisseur*, il y a au contraire avantage à favoriser la production des effets de résonance. Il convient donc de laisser une chambre assez vaste entre la membrane et l'arrière de l'embouchure ; il faut aussi agrandir le diamètre de cet orifice pour faciliter la sortie du son.

Cette distinction entre les téléphones musicaux et les téléphones articulants (destinés à reproduire la parole) est très-importante. Beaucoup de personnes ont des idées empruntées à l'acoustique et à l'étude des instruments de musique, qui seraient très-bonnes pour les téléphones musicaux ou les avertisseurs ; elles les essayent, à tort, à la transmission de la parole et les abandonnent sans leur trouver leur véritable application.

À cette question se rattache un problème qui nous a embarrassé quelques jours. On sait qu'il y a des salles dans lesquelles un bruit assez faible produit un effet assourdissant pour une personne placée dans un endroit déterminé. Il y a à Naples une grande salle de biblio-

(1) Note sur un système de téléphonie par M. Navez.
— Acad. Royale de Belgique, *Bulletins*, 2^e série, t. XLV,
n^o 3, 1878.

thèque, dans laquelle on fait cette expérience pour tous les voyageurs ; un livre est fermé brusquement et, si vous êtes au point convenable, un bruit très-intense et très-prolongé vous revient, tandis que les lecteurs répartis au hasard dans la salle continuent leur travail sans s'apercevoir de rien d'extraordinaire. Ce sont là des effets d'écho ; ils prouvent qu'il n'est pas impossible d'augmenter pour l'oreille l'effet d'un bruit ou son déterminé. Cette augmentation tient à ce que le son revient à l'oreille renvoyé par la réflexion, qu'il revient de plusieurs côtés à la fois et qu'il revient plusieurs fois. Mais ces échos ne peuvent donner qu'un bruit confus et loin d'augmenter le volume de la parole, la rendraient tout à fait confuse.

Il n'est donc pas déraisonnable de chercher à augmenter l'effet produit par un téléphone musical, comme on le fait pour tous les instruments de musique, par des effets de résonance ; mais il n'y a pas à chercher dans cette direction le moyen d'augmenter la force de la voix, le volume des sons articulés.

Boîte ou fourreau.

On est dans l'habitude d'enfermer le téléphone dans une boîte ou un fourreau de bois. On emploie souvent aussi pour cet usage l'ébonite ou caoutchouc durci, matière admirable qui se moule et prend un beau poli. On peut également employer des fourreaux de métal.

Les grandes boîtes dans lesquelles on loge les téléphones à aimant en fer à cheval, comme celui représenté fig. 10, sont faites de bois. On comprend que cette boîte n'est pas un organe indispensable et, en fait, on construit des téléphones pour la démonstration qui n'ont aucune enveloppe ou boîte.

En général on laisse un vide assez considérable dans

ces boîtes derrière la membrane ; il est possible qu'il se produise dans cette chambre intérieure des effets de résonance nuisibles ; peut-être gagnerait-on quelque chose à réduire le volume au minimum. C'est ce qu'a fait M. Navez dans le téléphone représenté par la figure 2 de son Mémoire (*Bulletins de l'Académie royale de Belgique*), t. XLV, n° 3, 1878. C'est aussi ce qu'on a cherché à faire dans le téléphone de poche (fig. 11).

Tuyaux conducteurs du son.

Plusieurs personnes, parmi lesquelles M. Navez, disent avoir trouvé avantage à employer un tuyau de caoutchouc pour amener le son à l'oreille. Ce tube est engagé sur un petit bout de tube de cuivre placé perpendiculairement à la membrane. L'extrémité qui aboutit à l'oreille doit être rétrécie au moyen d'une petite pièce d'ivoire ou d'ébonite qu'on met très-près du tympan.

M. Mc. Kendrick, professeur de physiologie à Glasgow, a trouvé qu'en fixant devant la membrane une capsule de stéthoscope de Koenig, avec plusieurs orifices et plusieurs tubes de caoutchouc y aboutissant, on peut faire entendre autant de personnes à la fois qu'il y a de tuyaux, — exactement comme avec le stéthoscope multiple de M. Koenig cinq personnes à la fois peuvent ausculter le même malade.

M. Navez recommande également l'emploi d'un tuyau de caoutchouc entre la bouche et la membrane du téléphone transmetteur. Il est difficile d'admettre qu'il n'y ait pas là une cause de perte d'intensité.

CHAPITRE VII

TELÉPHONES DIVERS.

PRÉAMBULE.

On a assuré que l'illustre Wheatstone avait dès 1840 réussi à transmettre des sons par l'électricité; et on en a donné comme preuve une lettre publiée par l'*Athenæum* de cette époque; mais quand on lit avec soin cet article (1), on voit que le tic-tac d'une pendule était répété par une autre pendule liée à la première par un fil électrique. Ce n'est pas là ce qu'on peut appeler transmission du son par l'électricité; l'auteur de l'article qui faisait de la chronique musicale et non pas de la physique, a pu s'y tromper; mais de ce qu'il a écrit que la *transmission des sons par le fil électrique* était réalisée, il ne résulte pas qu'elle le fût alors.

Téléphone de Reis.

M. Petrina, professeur de physique à Prague, paraît avoir été le premier qui ait construit un appareil propre à la reproduction à distance des sons par l'électricité (2), au sens que nous venons de préciser. On

(1) Cet article est reproduit dans la brochure, *All about the Telephone*, 1878, Londres.

(2) *Dingler's Polytechnisches Journal*, 1852, t. CXXVI, p. 397. *Berliner Musik Zeitung*, 1852, n° 33.

trouve, en effet, dans des journaux allemands de 1852, que ce savant disposait une série de languettes, qui, lorsqu'on les frappe à la main, mettent en vibration, à l'aide d'un courant électrique, une petite verge de fer. Avec chaque languette on peut obtenir un son différent. On en emploie ainsi un nombre suffisant, on les accorde comme on ferait des cordes d'un piano, et on joue comme sur un clavier. Aussi longtemps que la languette est abaissée, le son correspondant est maintenu, et quand on la quitte, le son cesse de se faire entendre et ne laisse après lui aucune résonnance.

Jusqu'ici on ne voit qu'un instrument de musique sans mérite particulier, mais voici l'important : Deux instruments semblables, placés à une distance raisonnable, peuvent être mis en communication de façon que, quand on joue sur l'un, l'autre se fait entendre.

Le *Journal de Dingler* ajoute que l'inventeur doit donner une description complète de son instrument ; mais il ne semble pas que cette promesse ait été tenue. On voit qu'il fallait à M. Petrina autant de fils conducteurs qu'il voulait donner de notes différentes. Son appareil ne pouvait être qu'un objet de curiosité scientifique et on s'explique qu'il n'ait pas poursuivi le perfectionnement matériel d'une idée certainement très-ingénieuse.

TÉLÉPHONE DE REIS.

Après Petrina vient Reis. Voici les dates exactes des documents dans lesquels sont consignés ses travaux.

— *Jahresberichte des Frankfurter Vereins der Naturwissenschaften*, 1860-1861, pp. 57-64.

— *Dingler's Journal*, 1863, t. CLXVIII, pp. 185-187; *Ueber Fortpflanzung der Töne auf willkürlich*

weite Entfernungen, mit Hilfe der Elektrizität (Telephonie).

— *Dingler's Journal*, 1863; *Ueber verbesserte Telephone*, t. CLXIX, p. 378.

Dans cette dernière note, M. Reis annonçait que ses appareils téléphoniques étaient en vente à Francfort, chez M. Albert, mécanicien.

— *Cosmos*, journal de l'abbé Moigno, t. XXIV, pp. 349-352. Télégraphe acoustique ou Téléphone.

Nous avons entre les mains un prospectus commercial publié par M. Reis et daté du mois d'août 1863, qui décrit l'instrument tel que nous l'avons fait connaître, et en donne une figure qui ne diffère en rien d'important de celle que nous avons donnée fig. 1.

Nous n'avons pas à revenir sur la description que nous avons présentée comme une sorte d'introduction à celle du téléphone de Bell.

TRAVAUX DE VARLEY.

Un des électriciens les plus ingénieux de l'Angleterre, Cromwell Varley, doit être cité ensuite. Ses travaux sont consignés dans un brevet anglais qui date de 1870. Ce document est un des plus intéressants parmi ceux que nous avons étudiés à l'occasion du présent ouvrage. C'est un petit mémoire très-condensé, et cependant très-clair; on peut dire que dans chaque alinéa, il y a une idée nouvelle. On ne peut douter que ce mémoire n'ait eu une grande influence sur les travaux postérieurs; la notoriété de l'auteur, sa réputation en Europe et en Amérique autorisent à l'affirmer; on peut même en donner une preuve singulière, c'est que la spécification, publiée comme tous

les brevets anglais par le bureau du Grand Sceau, a eu une première édition épuisée, et qu'une seconde a été imprimée; c'est celle-là que nous avons sous les yeux.

Il est intéressant de remarquer que depuis un an ou deux, c'est-à-dire depuis le jour où on a tant parlé des téléphones, de leur invention, des antériorités, etc., etc.

M. Varley n'a jamais fait une revendication.

Et cependant cet habile physicien ne s'était pas borné à concevoir les dispositions ingénieuses qu'il signale; il avait exécuté les appareils, et il va jusqu'à indiquer les dimensions de chaque organe, les diamètres des fils et leurs longueurs et toutes les particularités qu'un constructeur pourrait désirer pour répéter ses expériences.

M. Varley (1) se proposait de fournir des moyens de transmettre simultanément deux dépêches par un même fil; l'une d'elles devait être transmise par les moyens ordinaires, et l'autre par des envois intermittents de vagues électriques. Pour faire comprendre cette idée si originale, M. Varley choisit une comparaison dans la mécanique. Il suppose une corde tendue entre deux points extrêmes passant sur deux poulies et terminée par des poids; il remarque que si à une extrémité on abaisse le premier poids, le second s'élève et que ces mouvements peuvent être considérés comme des signaux; il assimile ces mouvements à ceux des courants intermittents ordinaires, dans un fil télégraphique. Il observe ensuite qu'en produisant des vibrations dans ce fil et les étouffant, on peut pro-

(1) *Annales télégraphiques*, 1877, nov. déc. — 3^e série, t. IV. L'ouvrage de Prescott ne fait pas mention des recherches de Varley, ni sur la transmission multiple, ni sur la transmission des sons.

duire encore, des signaux d'un autre genre dont la transmission ne trouble pas celle des premiers et n'est pas troublée par elle.

Ce sont des courants à alternations rapides qui constituent l'analogue des vibrations mécaniques du fil pris pour terme de comparaison.

Transmetteur.

M. Varley indique plusieurs moyens de produire les courants vibratoires ou, pour parler plus exactement,

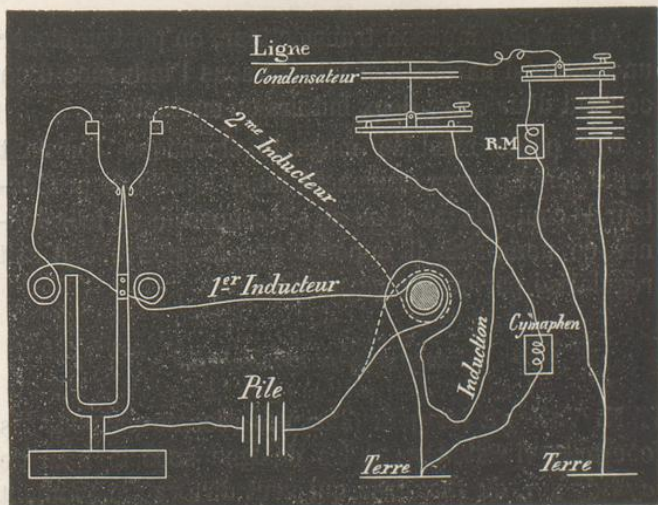


Fig. 12.

des séries des courants alternativement renversés et se succédant à intervalles rapprochés.

Son appareil comprend un diapason dont une des branches porte un appendice qui envoie le courant d'une pile unique alternativement dans deux fils distincts. Ces deux fils sont enroulés en sens inverse sur

un noyau composé de fils de fer doux ; ce sont des courants inducteurs d'une bobine d'induction ; un troisième fil enroulé par-dessus est le fil induit de cet appareil, et les courants qui y prennent naissance et qui sont alternativement de sens inverse, sont envoyés sur la ligne.

On verra par la suite combien les deux organes principaux de cet appareil (diapason et bobine d'induction) ont été souvent réemployés.

Autres transmetteurs.

Au lieu du diapason transmetteur, on peut employer une anche d'harmonium vibrant sous l'influence d'un courant d'air entre deux butoirs ou contacts.

Une petite machine magnéto-électrique tournant rapidement pourra également jouer le rôle de producteur de courants *vibratoires*, s'il est permis de leur donner ce nom. Mais il importe que le mouvement soit régularisé par un bon régulateur.

Récepteur ou cymaphen.

M. Varley a imaginé plusieurs récepteurs pour les courants vibratoires ; il les désigne sous le nom de *cymaphen*, du mot grec qui veut dire vague, voulant comparer le mouvement alternatif progressant du courant au transport des ondes à la surface de la mer. Le premier de ces appareils, celui qui a donné les meilleurs résultats pourrait recevoir le nom de *monocorde électrique*. Une corde, ou fil d'acier de 1^m,40 de long environ est tendue sur deux chevalets placés eux-mêmes sur une table de résonance (fig. 43).

Au milieu de la corde est placé un organe électro-

magnétique, représenté à part à plus grande échelle dans la figure 13 bis.

La corde C C passe dans l'axe d'une bobine B, de telle façon qu'elle puisse vibrer librement. Autour de cette bobine sont placés deux aimants permanents à pôles contrariés; entre ces pôles N S passe la corde

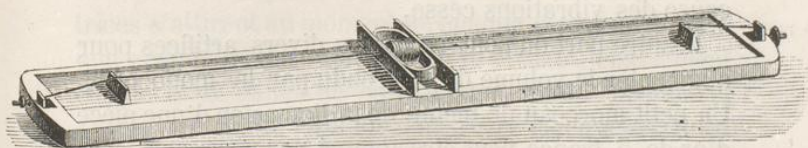


Fig. 13.

C C et quand un courant est envoyé dans le fil de la bobine B, les pôles développés dans la corde sont attirés et repoussés concurremment par ceux des aimants permanents.

On comprend que si au lieu d'un courant unique, c'est une série de courants renversés qui sont envoyés dans la bobine, il en résulte une série d'attractions vers

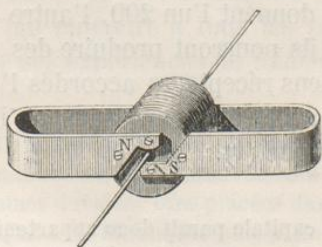


Fig. 13 bis.

le haut et vers le bas qui produisent des vibrations transversales dans la corde.

Pour obtenir un bon résultat, il convient de mettre la corde du récepteur à l'unisson du diapason transmet-

teur, ce qu'on fait facilement comme dans tous les instruments à cordes, en la tendant au moyen d'une vis. Dans ces conditions, dit M. Varley, l'action de courants très-faibles est sensible.

Il peut y avoir avantage à employer un étouffoir, composé d'un morceau de feutre ou de cuir appuyant sur la corde vibrante, pour l'arrêter aussitôt que la cause des vibrations cesse.

D'autre part on peut employer divers artifices pour augmenter le volume de son rendu par le monocorde. Un petit morceau de métal, de la dimension d'une pièce d'or de 5 francs peut être appuyé par un ressort léger sur la table d'harmonie, près de son centre. Quant la table vibre assez pour que la pièce saute, le son prend une intensité cinq ou six fois plus grande. — On peut écouter les sons rendus par la table au moyen d'un stéthoscope et percevoir ainsi des sons très-faibles.

M. Varley signale également que deux séries distinctes de courants vibratoires peuvent être transmises et reçues simultanément sur un même fil, pourvu que leurs périodes soient notablement différentes. Si deux transmetteurs donnent l'un 200, l'autre 900 courants par seconde, ils pourront produire des signaux dans deux cymaphens récepteurs accordés l'un pour 200, l'autre pour 900 vibrations, sans qu'il y ait aucun trouble réciproque (1).

(1) Cette idée capitale paraît donc appartenir à M. Varley; mais nous devons signaler qu'une idée du même genre avait été proposée par M. de Coincy en 1865, pour un but différent. Cet inventeur, qui appartenait alors à l'administration française des télégraphes, fit construire deux séries de cinq lames vibrantes pareilles deux à deux. Les lames avaient des nombres et vibrations qui étaient entre eux comme 2, 3, 5, 7, 11 par exemple, c'est-à-dire comme des nombres premiers

Récepteur à condensateur.

Un second appareil récepteur du son est formé simplement par un condensateur. M. Varley s'est aperçu qu'une succession de courants alternativement inversés envoyés dans un condensateur, lui fait rendre un son; on comprend en effet que les feuilles conductrices s'attirent au moment de chaque charge et s'écartent ensuite quand la décharge se produit, exactement comme deux balles de sureau électrisées s'attirent et s'éloignent quand elles cessent d'être électrisées. Il est vrai que cela suppose une certaine élasticité dans le condensateur et ne se produirait guère dans une bouteille de Leyde ordinaire. Cette expérience a été entendue par beaucoup de personnes à Paris dans ces derniers temps, parce que M. Jablochhoff emploie des condensateurs de grande dimension qu'il charge et décharge alternativement par des envois de courants renversés fournis par des machines magnéto-électriques. Il n'a pas manqué de s'apercevoir que, dans ces circonstances, ses condensateurs rendaient un son et il les a fait entendre à tous les physiciens qui sont venus voir ses expériences de lumière.

entre eux; de telle sorte que l'une ne pouvait pas être mise en branle par la communication des mouvements de l'autre. Les cinq premières lames devaient être placées dans une station centrale; les cinq autres, identiques aux premières, devaient être placées dans cinq stations différentes mises en communication directe. L'une quelconque des lames du poste central étant mise en vibration et envoyant des courants périodiques, mettait en branle une seulement des cinq lames des stations secondaires; celle-ci fermait un courant local, qui faisait agir une sonnerie. L'ensemble constituait un système de rappel de la communication directe.

Voici comment est construit le condensateur de M. Varley :

Des feuilles de papier d'étain (d'un pied carré, par exemple) sont séparées par des feuilles de papier mince et sec; celles de rang impair sont réunies entre elles; celles de rang pair le sont également. Avec un nombre de feuilles variant entre 20 et 50, on entend un son très-fort moyennant 500 renversements de courant par seconde et un potentiel de 50 à 400 volts. Il convient de choisir du papier d'épaisseur très-uniforme, de le plonger dans une solution de gomme laque et, quand il est sec, de couvrir une de ses faces d'or en feuille. Deux feuilles ainsi préparées sont superposées par leurs faces non dorées et sont placées entre deux feuilles d'étain.

Récepteur à anche.

M. Varley a également placé une anche d'harmonium dans une bobine réceptrice des courants alternés; cette anche était une lame d'acier aimantée et vibrait comme aurait fait une aiguille galvanométrique. L'intensité du son rendu par cette anche est beaucoup augmentée, si on fait passer un faible courant d'air dans la direction voulue.

Autres récepteurs acoustiques.

On peut encore recevoir les sons au moyen d'une lame d'acier comme celles des boîtes à musique placées dans une bobine, avec son extrémité saillante et jouant entre les deux pôles d'un puissant aimant permanent; cette lame vibre aussi longtemps que les courants sont transmis.

Relais téléphoniques

Le premier récepteur, que nous avons appelé monocorde électrique, peut être transformé en un relais. Il suffit de placer sur le fil ou corde une petite gaine d'or ou de platine, au voisinage du point où la bobine détermine la vibration, et d'amener au contact un petit ressort de même métal; on obtient ainsi, avec une pile locale, un renforcement du son. On pourrait également envoyer ces courants de relais sur une autre ligne.

Récepteur optique.

Si on place le fil du monocorde électrique devant une fente très-étroite, pratiquée dans un écran, et si derrière cet écran on allume une flamme, on pourra obtenir des signaux optiques indépendamment des signaux acoustiques. En effet, au repos, la corde vibrante arrêtera la lumière envoyée à la fente, tandis que les vibrations la dégageront; et si on place en avant une lentille, on pourra projeter sur le tableau l'image agrandie de la fente, qui apparaîtra et disparaîtra suivant le mouvement ou le repos de la corde.

Autres récepteurs optiques.

M. Varley indique un moyen de produire des signaux optiques dans des tubes de Geissler; c'est un moyen réalisable sans doute, puisqu'il a été réalisé, mais peu pratique; nous n'en parlons que pour montrer combien d'idées a remué cet ingénieux inventeur.

Il montre également comment on peut employer un galvanomètre à réflexion pour recevoir les courants *vibratoires*. Sous leur influence, le miroir vibre et le pinceau réfléchi sur l'échelle-écran apparaît élargi

et moins brillant; quand l'envoi des courants cesse, le pinceau lumineux redevient plus brillant et plus étroit. Ces alternatives peuvent composer des signaux de durée courte ou prolongée comme ceux de l'alphabet Morse.

Transmission simultanée.

Nous avons dit, en commençant, que le but auquel tendait M. Varley était la transmission simultanée de deux dépêches, la première envoyée par des appareils Morse par exemple, l'autre par les nouveaux procédés vibratoires. Pour éviter l'action des courants ordinaires sur les cymaphen, il emploie des condensateurs à chaque station (fig. 12), qu'il intercale entre la ligne et les nouveaux instruments. Si la ligne est parcourue par des courants vibratoires, ils n'affectent pas le récepteur Morse; mais ils produisent dans le condensateur une série de charges et décharges rapides qui en déterminent de correspondantes sur la seconde face du condensateur, par lesquelles le cymaphen est affecté et amené à rendre un son. Si, au contraire, on veut transmettre, on envoie à la seconde face du condensateur une série de courants alternativement renversés, qui déterminent un effet correspondant sur l'autre face du condensateur, la première, celle qui communique à la ligne; par conséquent, des courants alternatifs correspondants sont envoyés sur la ligne.

A la vérité, cette disposition a un inconvénient: c'est que les courants vibratoires ne sont pas entièrement employés à la charge du condensateur à la réception; une partie en est perdue à la terre au travers du récepteur Morse. Une perte analogue se produit à la station de départ.

Cependant il est probable qu'en suivant ces indica-

tions données il y a huit ans par M. Varley, on pourrait communiquer téléphoniquement sur toutes les lignes sans interrompre ni troubler les communications actuelles. Ce serait un moyen bien simple de doubler la capacité commerciale du réseau existant. Les expériences de M. Jablochhoff que nous avons rapportées au chapitre II, page 46, suffisent à établir que la transmission des paroles articulées n'est pas troublée par l'interposition d'un condensateur entre le récepteur et le transmetteur.

Transformation des effets vibratoires.

M. Varley a indiqué deux procédés pour faire agir les courants dits vibratoires sur les appareils ordinaires, de manière qu'il serait possible de recevoir au moyen d'un Morse ordinaire ou d'un galvanomètre de Thomson une dépêche transmise au moyen de ces courants d'alternatives rapides, qui, sans un artifice spécial, détruisent chacun l'effet du précédent. Le premier procédé consiste dans l'emploi de deux tubes de Geissler et de piles très-puissantes; nous le mentionnons pour mémoire sans le décrire. Le second nous arrêtera un moment; les dispositions sont représentées par la figure 14.

A cinq éléments Daniell sont opposés trois éléments secondaires, formés par des lames de platine plongeant dans de l'acide sulfurique étendu. Les trois éléments secondaires se polarisent sous l'influence des cinq Daniell et tout courant est arrêté; les deux pôles négatifs étant mis à la terre, les deux positifs sont attachés à deux fils qui sont enroulés en sens inverse sur un électro-aimant et aboutissent à la face inférieure d'un condensateur dont la face supérieure est reliée à la ligne. Si

une succession de courants alternatifs ou vibratoires vient par la ligne au condensateur, des courants correspondants se produisent de la face inférieure à la terre en traversant les appareils. Considérons un premier courant, de même sens que celui de la pile, il s'ajoute à celui-ci et polarise la pile secondaire, ou pour mieux dire augmente sa polarisation. Aussitôt après, un second courant part du condensateur, il est

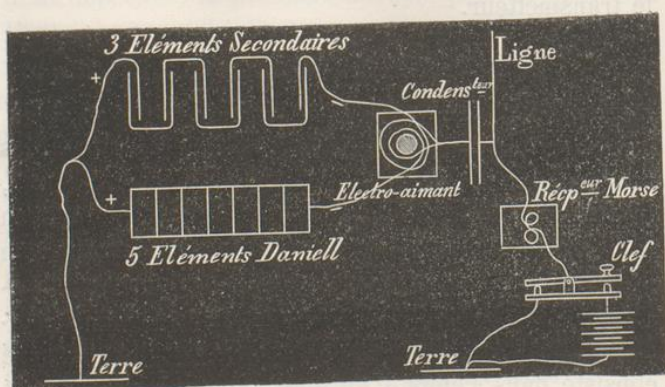


Fig. 14.

de sens inverse au premier et par conséquent de même sens que celui de la pile secondaire; il s'ajoute à ce dernier et par leur addition ils deviennent capables de l'emporter sur la pile Daniell et par suite se déchargent à la terre au travers de ces cinq couples. Ces effets se succèdent ainsi; le courant du condensateur allant à la terre tantôt par la pile secondaire, tantôt par l'autre; mais il résulte de la disposition des fils de l'électro-aimant que ces courants alternativement inverses par leur origine, circulent toujours dans le même sens autour du fer doux et, en résumé, une

action intermittente et contrariée se trouve transformée en une action continue.

TRAVAUX DES ÉLECTRICIENS AMÉRICAINS.

Nous renonçons à exposer dans l'ordre historique la suite des découvertes relatives à la téléphonie. Elles ont été si nombreuses dans ces dernières années que la seule tâche que nous puissions nous imposer est de noter les principales, sans pouvoir nous astreindre à fixer, pour chacun des inventeurs, tous les points sur lesquels il a précédé les autres.

Il nous serait particulièrement difficile de faire ce partage en ce qui touche les travaux des électriciens américains, parce que nous n'avons pas sous les yeux les publications originales qu'ils ont faites à mesure des progrès qu'ils réalisaient.

Sur ce point spécial, nous donnons un extrait d'un article excellent de la *Philadelphia Press* reproduit par *The Telegraphic Journal* (15 août 1877) et par les *Annales télégraphiques*.

« Parmi ces inventeurs, trois surtout ont obtenu des
« résultats intéressants et pour les savants et pour le
« public en général. Ce sont : MM. Thomas A. Edison,
« de Menlo Park, New-Jersey; Elisha Gray, de Chicago;
« et Alex. Graham Bell. L'idée originaire de chacun
« d'eux était de produire un système de transmission
« multiple pour la télégraphie Morse ordinaire; le *modus*
« *operandi* étant l'emploi des diapasons ou autres
« appareils vibratoires donnant un certain nombre de
« notes. Deux séries de diapasons accordés deux à
« deux, étaient placées aux deux stations reliées par
« un fil unique. » Chacun de ces diapasons pouvait

envoyer sur la ligne une série de courants qui agissaient sur les diapasons récepteurs au moyen d'électro-aimants; un seul de ces derniers obéissait, à savoir celui qui était accordé à l'unisson du transmetteur. Un second diapason transmetteur pouvait être mis en jeu sans troubler les alternatives de repos et de mouvement du premier récepteur, et agissait sur un second récepteur. Ces différents diapasons récepteurs fournissaient ainsi une série de communications en langage Morse qui se lisaient à l'oreille comme avec un vulgaire parleur Morse.

« Chacun de ces messieurs réussit, jusqu'à un certain point, à atteindre le but qu'ils poursuivaient; mais ils virent qu'il y avait grand intérêt à changer de route et à rechercher la transmission des sons. »

Transmetteurs musicaux.

L'article de la *Philadelphia Press* que nous citons attribue à M. Edison l'invention de l'appareil que nous avons décrit plus haut sous le nom de *Chanteur* et que nous avons considéré comme un excellent avertisseur à employer avec les téléphones de Bell (voir chap. IV).

Au reste, il faut bien reconnaître qu'à cela près de la nature de la membrane (qui est métallique), cet appareil ne diffère en rien du transmetteur musical de Reis.

Dès l'année 1874, M. E. Gray (de Chicago) a construit un certain nombre d'appareils propres à transmettre des sons de diverses hauteurs.

Nous les décrivons sommairement; ne les ayant pas vus, nous n'en pouvons donner une idée que d'après les journaux anglais qui ont reproduit des publications américaines.

Dans ces appareils, nous trouvons un transmetteur, présentant un clavier semblable à ceux des pianos ordinaires, mais réduit à deux octaves. A chaque touche correspond une verge d'acier accordée sur un certain ton et pouvant donner un son d'un certain rang dans l'échelle musicale. Les vibrations de ces verges sont produites par une combinaison analogue à celle des diapasons employés par Lissajous, Helmholtz et tous les acousticiens. Cette combinaison est un peu plus compliquée que celle généralement employée en Europe ; elle présente deux électro-aimants placés des deux côtés de la verge et agissant alternativement ; cette complication relative s'est imposée à l'auteur quand il a voulu non plus seulement entretenir, mais encore produire instantanément ces vibrations.

Quand une touche est abaissée, la verge correspondante entre en vibration et continue à vibrer aussi longtemps qu'on maintient le doigt sur la touche. Mais ce n'est pas tout : les vibrations de cette verge produisent des envois et interruptions du courant d'une pile dite principale, qui vont déterminer dans le récepteur la production d'un son correspondant.

Ces récepteurs du son présentent une grande variété, mais dans tous les cas, ils sont commandés par un fil de ligne unique et par une seule pile de ligne.

Un de ces récepteurs se compose d'électro-aimants montés sur des boîtes de résonance. L'armature de chacun d'eux est fixée solidement à un pôle et est à une très-petite distance ($1/64$ de pouce) de l'autre. Cette armature est portée par son milieu sur une petite rondelle qui l'écarte de la paroi de la caisse d'harmonie, et l'électro-aimant est placé debout sur cette armature et perpendiculairement à la paroi.

Une série de boîtes résonnantes et d'électro-aimants

sont ainsi disposés les uns à côté des autres et accordés chacun sur une des notes du transmetteur. Tous les électro-aimants sont dans le même circuit, mais une seule des armatures vibrera, celle réglée à l'unisson de la verge qui est actuellement en vibration. Si cependant deux notes sont touchées à la fois sur le clavier, deux armatures seront animées au récepteur et les deux sons seront rendus simultanément.

On peut d'ailleurs, paraît-il, composer le récepteur d'un seul électro-aimant et d'une seule boîte de renforcement; il n'est à l'unisson d'aucune des notes, il n'en rend aucune avec l'intensité maximum qui correspond à un accord soigneusement établi, mais il les rend toutes.

Ces appareils réalisent un progrès sur le téléphone de Reis dont nous avons parlé au début, mais ils présentent comme lui cette infériorité que l'intensité du son n'est pas transmise au récepteur, mais seulement sa hauteur.

On doit donc les classer parmi les téléphones musicaux, par opposition aux téléphones articulants comme celui de Bell; mais il faut bien comprendre que la musique qu'ils font entendre à distance est une musique très-rudimentaire, puisqu'elle est réduite aux notes de deux octaves sans forte ni piano.

EXPÉRIENCES DE LA COUR.

M. Paul La Cour, sous-directeur de l'*Institut météorologique* de Copenhague, a poursuivi avec beaucoup de persistance et de succès des expériences sur la transmission des sons par l'électricité.

Il employait, au départ et à l'arrivée, des diapasons

accordés l'un sur l'autre; le premier faisant fonction de transmetteur et interrompant périodiquement un courant électrique qui arrive au récepteur et met en vibration le second diapason.

L'objet de M. Lacour n'était pas la transmission de sons; il se proposait de résoudre le problème de la transmission télégraphique multiple. Plusieurs diapasons de hauteurs différentes étaient réunis dans le même circuit à la station d'arrivée. Une série de diapasons à l'unisson des premiers était à la station de départ; chacun d'eux mettait à volonté son correspondant en vibration, mais était sans action sur les autres; de telle sorte que deux ou trois pris au hasard pouvaient être simultanément mis en action et commander leurs correspondants, sans que les courants multiples ainsi transmis interférassent les uns avec les autres.

Les diapasons récepteurs servaient à commander des récepteurs Morse et fonctionnaient comme des relais; les diapasons transmetteurs étaient commandés par des clefs Morse, et l'ensemble réalisait la transmission multiple (1).

Nous ne pourrions pas sans sortir de notre sujet faire connaître les travaux de M. La Cour; ils se trouvent consignés dans deux brevets anglais n° 2999 du 2 septembre 1874 et n° 843 du 29 février 1876.

Nous dirons seulement que cet inventeur est de ceux qui ont employé les premiers l'intermédiaire d'une bobine d'induction, et qui ont affirmé que cette addition est favorable à la transmission des courants vibratoires.

(1) *Annales télégraphiques*, 3^e série, t. IV, p. 521.

TRAVAUX D'EDISON.

Récepteur téléphonique électro-chimique d'Edison.

M. Edison s'est efforcé de produire un récepteur téléphonique différent de celui de Bell, et il a eu recours, à cet effet, à un phénomène qu'il avait découvert quelque cinq ans auparavant.

Quand un fil de platine frotte sur une feuille de papier mouillée de certaines solutions, il se produit une certaine résistance au mouvement; mais, si on fait passer un courant par le fil de platine, le papier, et un support métallique quelconque sous le papier, le pôle négatif de la pile étant relié au fil de platine, le frottement cesse tout à coup, et le fil glisse comme sur la glace. Chaque fois que le courant est rompu, le frottement réapparaît, et disparaît de nouveau quand le courant est rétabli. Cette expérience curieuse n'a pas été expliquée jusqu'ici, mais c'est sans doute parce qu'on n'a pas voulu s'en donner la peine, car il ne paraît pas très-difficile de le faire.

Quoi qu'il en soit, c'est sur ce principe que M. Edison a fondé son récepteur téléphonique. Cet instrument se compose d'un tambour ou cylindre creux, fonctionnant comme boîte résonnante; il tourne autour de son axe au moyen d'une manivelle et entraîne une bande de papier sans fin et mouillé d'eau alcaline (potasse). Un ressort platiné à son extrémité appuie sur le papier avec une grande force. Les alternatives de passage et de rupture du courant produisent des variations dans le frottement et, par suite, des vibrations de la paroi du tambour qui donnent des sons correspondants à ceux du transmetteur.

Ce récepteur extraordinaire a réussi à reproduire les sons musicaux, mais il paraît impropre à la transmission de la parole, comme le dit la *Philadelphia Press*. Il paraît que M. Edison a renoncé à cette méthode et s'est efforcé d'en imaginer d'autres plus faciles à perfectionner et à rendre pratiques.

Transmetteur téléphonique à plombagine d'Edison.

M. Edison a observé que la conductibilité de la plombagine est très-modifiée quand on varie la pression qu'on lui fait supporter entre deux pièces métalliques (1). Il a attribué les variations de résistance qu'il a observées à la pression; mais, aujourd'hui, on est d'accord pour admettre que lorsque la pression change, la conductibilité de la plombagine ne change pas, et pour attribuer le changement à une autre cause. A mesure qu'on serre davantage la pièce métallique contre la plombagine, le nombre des points de contact augmente; le contact est amélioré et la résistance au passage est diminuée.

Quoi qu'il en soit de la vraie cause du phénomène, M. Edison l'a appliqué à la construction d'un transmetteur téléphonique. Cet appareil est représenté, dans sa forme actuelle, par la figure 15 que nous avons copiée dans le *Journal of the Franklin Institute* (avril 1878). L'aspect extérieur est assez semblable à celui du téléphone de Bell (fig. 2.) L'embouchure et la membrane sont exactement les mêmes.

Derrière cette membrane, et à quelque distance, est de une rondelle de charbon *g* placée entre deux disques platine *e*, *f* reliés à une pile et à une ligne; les varia-

(1) *Annales télégraphiques*, 3^e série, t. IV, p. 543.

tions de pression exercées sur cet organe composé se traduisent en variations exactement correspondantes de la résistance.

On comprend que les mouvements vibratoires de la membrane, convenablement transmis, peuvent produire des changements de pression et, par suite, des variations de résistance du circuit et d'intensité du courant correspondants.

M. Edison transmet les vibrations de la membrane au moyen d'un petit morceau de tube de laiton *m* placé au centre et d'une rondelle de verre *h*, qui porte

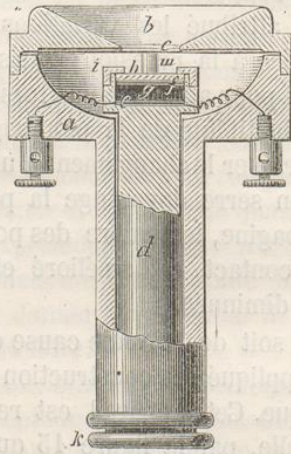


Fig. 15.

sur le premier disque de platine. Une barre *d*, qui traverse le manche de l'instrument, aboutit à une vis *k* au moyen de laquelle on règle la pression initiale des disques de platine et de charbon. Les variations d'intensité du courant transmetteur produisent, dans un téléphone de Bell, des mouvements de la membrane qui donnent des sons correspondants à ceux entendus par la membrane du transmetteur d'Edison.

Expériences de M. Pollard.

M. Pollard, ingénieur de la marine, à Cherbourg, a été un des premiers, en France, à répéter les expériences téléphoniques. Sur une description de journal de l'appareil d'Edison, il disposa un transmetteur extrêmement simple et assez satisfaisant. Derrière la membrane et perpendiculairement, il mettait un crayon de poche (porte crayon d'argent), dont la mine venait toucher le centre de la membrane. Ses vibrations avaient pour effet de donner un contact de surface variable avec la pointe du crayon. Le courant de six ou huit éléments allait de la membrane par la plombagine à la monture métallique du crayon, puis à la ligne et à un téléphone Bell récepteur. La transmission de la parole était très-nette, mais l'intensité du son rendu était à peu près la même que celle du système Bell complet (1).

Expériences de M. Salet.

M. Salet a fait les mêmes expériences avec une disposition différente. Au lieu d'une pointe de charbon venant toucher la membrane, il plaçait trois épingles sur un morceau de liège fixé au centre de la membrane et dont les têtes, formant un triangle, appuyaient sur un morceau de graphite ou de charbon de cornue. Sur une ligne fort courte à la vérité, ce téléphone, si grossier qu'il fût, a donné les sons articulés les plus intenses que nous ayons jamais entendus. Nous regrettons que l'auteur n'ait pas poursuivi énergiquement cette série d'expériences, qui avaient porté aussi sur le choix de la matière, charbon de cornue, graphite, etc. (2).

(1) *Comptes rendus de l'Académie*, 7 janvier 1878.

(2) *Comptes rendus de l'Académie*, 14 janvier 1878.

Emploi de la bobine d'induction.

Les téléphones fondés sur la variation de résistance d'un organe placé dans un circuit, comme celui d'Edison, présentent un inconvénient assez grave; ces variations de résistance peuvent produire un notable changement d'intensité dans un circuit court, mais elles n'en doivent produire que d'insensibles dans un circuit long. Plusieurs personnes ont eu l'idée de faire agir les courants de résistance variable sur le fil inducteur d'une bobine de Ruhmkorff placée à la station qui transmet, et d'obtenir ainsi des effets marqués à cause de la faible résistance de ce circuit local. Les courants induits sont envoyés sur la ligne, et leur haute tension est une condition favorable à la transmission téléphonique, comme il est aisé de le comprendre.

MM. Navez père et fils, qui ont fait d'excellentes expériences, indiquent les dispositions suivantes comme les plus convenables pour la bobine d'induction. Le fil inducteur de 0^{mm} 04 a 20 mètres de long et est disposé en 3 couches. Le fil induit de 0,5^m 23 à 120 mètres de long. Il suffit de quatre ou cinq éléments Leclanché pour exciter cet appareil.

D'ailleurs l'emploi des courants d'induction a un autre avantage qui n'a pas encore été clairement expliqué et que voici :

Considérons un courant d'intensité variable circulant dans le fil inducteur d'une bobine de Ruhmkorff. Les variations produisent des courants d'induction positifs ou négatifs suivant qu'elles sont en augmentation ou en diminution. Mais les différences de potentiel sont beaucoup plus grandes dans le fil induit que dans l'inducteur. Or, la résistance d'un circuit téléphonique est fixée et par conséquent les variations d'inten-

sité sont d'autant plus grandes que les variations de potentiel sont plus notables. Et enfin, les mouvements de la membrane du récepteur sont d'autant plus étendus que les variations d'intensité sont plus notables dans un même temps. Dès lors, on comprend que les sons qu'elle rend seront plus intenses, grâce à l'intermédiaire de la bobine d'induction.

Différence de phase.

On se souvient de l'observation faite par M. Dubois Raymond sur deux téléphones Bell, l'un transmetteur, l'autre récepteur, et de la différence de phase qu'il a signalée entre les mouvements de leurs membranes.

Il est curieux de remarquer que cette différence de phase n'existe pas quand le transmetteur est à résistance variable (téléphone d'Edison à plombagine, par exemple) et le récepteur un téléphone ordinaire de Bell.

Mais si l'on intercale dans le circuit une bobine d'induction, la différence de phase reparaît.

Modifications de MM. Navez.

Ces expérimentateurs ont eu l'idée très-heureuse de multiplier l'effet produit dans le téléphone d'Edison en employant plusieurs petites rondelles très-minces de charbon de cornue, superposées et placées entre une membrane de cuivre argenté et un butoir solide.

Cet appareil fonctionne avec quatre ou cinq éléments Leclanché; on l'emploie avec une bobine d'induction, que nous avons décrite au paragraphe précédent, et qui se place au voisinage du transmetteur. Le récepteur est comme toujours un appareil de Bell, auquel MM. Navez

ont fait quelques modifications dont nous avons parlé ailleurs. On trouvera le compte rendu des expériences de ces messieurs dans les *Bulletins de l'Académie Royale de Belgique*, 2^e série, t. XLV, 1878.

Expériences de M. Weyher.

Un ingénieur, bien connu pour des travaux d'un tout autre ordre, a fait, au commencement de cette année (1878), des expériences que nous devons rapporter ici.

M. Weyher ne les a pas publiées quand il les a faites ; mais la partie essentielle en est consignée dans un brevet de janvier.

« Dans un coin d'une chambre, écrit-il, j'ai suspendu une feuille de tôle noire (c'est-à-dire recouverte d'une légère couche d'oxyde) ou de laiton que j'ai fait varier, sans grande différence d'effet, en épaisseur de $\frac{1}{10}$ de $\frac{m}{m}$ à $1 \frac{m}{m}$ et en surface de $15 \text{ cm} \times 10$ à 30×25 . »

La plaque communique à une ligne qui aboutit à un téléphone récepteur dans une chambre éloignée.

« Un fil de cuivre très-fin (n^o 31, carcasse) soutient une petite balle de coke ou de charbon de cornue ou d'acier brûlé qui vient appuyer très-légèrement sur la plaque en un point voisin du centre, et servent à compléter le circuit, » dans lequel est mise une pile.

Les vibrations de la plaque, déterminées par des bruits produits dans son voisinage, déterminent des variations de pression au contact du coke et, par suite, des changements de résistance du circuit et finalement d'intensité du courant, par lesquels le téléphone récepteur est mis en vibration à l'unisson.

La plaque vibrante peut être placée verticalement

ou horizontalement; on a pu même placer les contacts sur une porte de bois qui tenait lieu de plaque vibrante.

Avec toutes ces dispositions on entend les bruits qui se font dans la pièce dans laquelle est la plaque vibrante; si on met l'appareil sur une cheminée, on entend le mouvement de la pendule qui est placée à côté; on entend le tic-tac d'une montre suspendue contre la plaque; on entend les paroles prononcées ou les sons d'une boîte à musique placée à l'autre bout de la pièce.

Ces expériences présentent un fort grand intérêt, à notre avis, et montrent entre autres choses que l'oxyde de fer peut à la rigueur remplacer le charbon comme corps destiné à produire des variations de résistance.

M. Weyher a d'ailleurs donné une autre forme à son appareil transmetteur; sur une planche de bois horizontale, il tend deux fils de fer de 80 centimètres de long et de $1/2$ ^m/_m de diamètre. Ces fils sont parallèles, placés à un centimètre l'un de l'autre, et montés sur des chevalets qui les tiennent à distance de la planche.

Sur ces fils on place un petit morceau de coke; le courant d'une pile entre par l'un des fils, passe par le charbon et suit par l'autre fil. Les vibrations et l'air environnant sont suffisantes pour faire varier le contact, et produire tous les effets qu'on obtient avec la plaque vibrante.

Microphone de Hughes.

Ce qui précède nous amène naturellement à parler d'une série d'expériences récemment faites par M. Hughes, dès longtemps connu comme l'inventeur du plus répandu des télégraphes imprimant les dépêches en caractères romains.

M. Hughes a constaté par divers moyens que les

plus légères vibrations imprimées à un système dans lequel un morceau de charbon sert de véhicule à un courant électrique, produisent des modifications suffisantes dans le contact pour produire des effets téléphoniques. C'est à cause de l'extrême sensibilité de ce moyen de percevoir les sons que M. Hughes a donné le nom de *microphones* aux appareils très-variés qui permettent de faire ces expériences.

Nous ne pouvons songer à décrire tous les microphones, car chacun les construit à sa manière; nous en ferons connaître seulement quelques-uns.

A. Le premier appareil qui soit venu à notre connaissance est établi sur un couvercle de boîte à cigares, sur lequel sont montés au moyen de pièces métalliques deux morceaux de charbon de cornue dans lesquels on a pratiqué des cavités à peu près hémisphériques. Entre ces deux supports de charbon est placé un très-gros et très-court crayon de même matière qui repose sur tous deux.

Le courant d'une pile de deux ou trois éléments traverse ce système et va, par une ligne de faible longueur, à un téléphone récepteur de Bell.

Quand on parle devant cet appareil, même à voix basse et même à une distance de un mètre ou davantage, on entend au récepteur très-clairement les paroles prononcées et toutes les particularités de l'émission des sons; on entend le tic-tac d'une montre accrochée sur la planche de bois du microphone. A la vérité, l'audition n'est nette et satisfaisante que si le réglage du transmetteur est satisfaisant; et ce réglage n'est obtenu que par des tâtonnements faits un peu au hasard.

B. Une seconde disposition également réalisée par M. Hughes est la suivante :

Une planchette de bois repose sur des supports

formés de tubes de caoutchouc; sur cette planche est monté un petit morceau de charbon, ou enclume, auquel aboutit le pôle de la pile. Un bâton de charbon est suspendu vers, une de ses extrémités par des fils métalliques qui communiquent à la ligne; ces fils font légèrement ressort et appuient l'autre extrémité du bâton sur l'enclume.

C'est avec cet appareil qu'on entend les pas d'une mouche enfermée dans une petite cage et marchant sur la planchette de bois placée horizontalement.

On trouvera des détails sur les expériences et les vues de M. Hughes dans les publications de la Société Royale à laquelle il a fait une communication le 8 mai 1878, dans le *Telegraphic Journal* des 15 mai et 1^{er} juin, etc., etc.

C. Parmi ces expériences, nous rapporterons encore celle qu'il fait en couchant deux clous d'emballage sur un support quelconque et mettant en travers et par-dessus un troisième clou qui touche les deux premiers et repose sur eux. Les vibrations imprimées à ce système par des paroles prononcées ou des sons chantés dans le voisinage produisent des changements dans le contact des clous entre eux et, par suite, des changements de résistance d'un circuit dont ils font partie; d'où résultent des effets téléphoniques assez satisfaisants.

Les microphones peuvent être faits de toute sorte de façons et n'exigent qu'un peu de soin, sans qu'il soit nécessaire d'employer à leur construction des ouvriers exercés.

Il est intéressant d'observer qu'on est arrivé ainsi à amplifier les sons très-faibles dans les circuits courts, mais pas encore à amplifier les sons intenses ni dans des circuits de grande longueur; d'ailleurs il est évident

qu'on est ici dans une très-bonne voie, et il est probable qu'avant peu de nouveaux progrès seront réalisés.

Si nouvelles que soient ces dispositions, elles ont déjà permis d'obtenir des résultats très-extraordinaires; nous citerons le plus frappant.

M. Louis J. Crossley, de Halifax (Angleterre), a placé sur la chaire d'un prédicateur un microphone, sans doute très-minutieusement réglé, et a réussi à faire entendre à une dame âgée, que l'état de sa santé tenait éloignée de l'église depuis plusieurs années, tout le sermon, les chants et le service, et cela à une distance de plusieurs kilomètres et à l'insu du prédicateur. Tel est du moins le fait rapporté par le *Telegraphic Journal*.

Relais à pression.

M. Edison a fait connaître un relais qui, par ses propriétés, se rattache à notre sujet.

La première description de cet appareil se trouve dans le *Journal of the Telegraph* de New-York, 1^{er} juin 1878.

Sur les pôles d'un électro-aimant sont placées deux petits disques de charbon ou de plombagine et par dessus une armature de fer doux; une pile locale fournit un courant qui passe par le noyau l'électro-aimant, les morceaux de charbon, l'armature et va ensuite à un récepteur.

Quand l'électro-aimant du relais est au repos, c'est seulement le poids de l'armature qui presse les disques de charbon, la résistance au contact est grande et le récepteur reste inerte. Quand, au contraire, un courant de ligne excite l'électro-aimant du relais, l'armature est attirée, la pression augmentée, la résistance au contact est diminuée et le récepteur mis en mouvement.

D'après le journal américain que nous citons, la résistance peut varier de quelques centaines d'unités à quelques unités.

Ce que cet appareil présente de plus saillant c'est que les variations d'intensité du courant principal sont reproduites proportionnellement (ou à peu près) dans le second circuit, ce qu'on n'avait jamais obtenu jusqu'ici.

M. Edison se proposait de reproduire par ce moyen les vibrations acoustiques; nous ne savons pas quels essais il a faits dans cette direction.

Nous avons réalisé dernièrement une idée fort analogue, qui consiste à placer sur la membrane d'un téléphone ordinaire récepteur de Bell un appareil microphonique d'une forme ou d'une autre. Le premier téléphone de Bell fonctionnant comme relais, un courant local traverse le microphone et fait agir un autre téléphone Bell en amplifiant les sons du premier.

Cette expérience si simple a donné d'assez bons résultats, et il y a lieu d'espérer qu'on fera de rapides progrès dans cette voie. Dès à présent d'ailleurs elle a, croyons-nous, un intérêt particulier en ce qu'elle montre l'existence des vibrations de la membrane du téléphone récepteur. Ces vibrations sont tellement petites qu'aucun moyen optique n'a pu les mettre en évidence; même en les multipliant quatre cents fois, au moyen d'un rayon lumineux, on n'a pas réussi à les rendre sensibles.

Notre expérience rend ces vibrations sensibles en les transmettant et les reproduisant dans un autre appareil.

Nous avons reproduit non pas seulement des sons musicaux, mais même des sons articulés; et ainsi s'est trouvé démontré le fait que : dans des vibrations

tellement petites qu'aucun procédé de multiplication ne peut les rendre visibles, le microphone est capable de démêler toutes les particularités infiniment variées qui correspondent au timbre des voyelles et à l'articulation des consonnes.

Ce que l'oreille seule avait pu déceler, le microphone peut à son tour le distinguer et qui, plus est, le reproduire.

*Comparaison du microphone et du téléphone
à plombagine.*

Une discussion très-vive s'est élevée récemment entre M. Edison et M. Hughes, sur la priorité de l'invention du microphone; quoiqu'elle ne soit pas encore terminée, nous ne pouvons éviter l'obligation de formuler un avis sur le point en litige.

Notre ami M. Preece a été, bien à tort, mêlé à cette discussion.

M. Preece, électricien distingué et professeur admirable, a beaucoup contribué à répandre en Europe la connaissance des brillantes découvertes exposées dans cet ouvrage. Quand M. Hughes a voulu publier ses expériences, il a trouvé M. Preece prêt à l'assister de sa parole et de son autorité scientifique. Mais M. Preece n'a pas été l'associé de M. Hughes dans ses recherches, comme on paraît le croire en Amérique.

De plus, toutes les personnes qui connaissent M. Preece savent qu'il est incapable d'une indiscrétion et qu'il ne poursuit que la vérité et la diffusion de la vérité.

M. Edison a certainement eu tort d'employer des expressions trop vives et de mêler les journaux politiques et quotidiens à une discussion que les hommes techniques peuvent seuls suivre et juger.

Ces réserves faites, nous prenons absolument le parti de M. Edison.

A la vérité, M. Hughes a fait un grand nombre d'expériences dont quelques-unes sont très-intéressantes, et a montré que M. Edison lui-même n'avait pas vu toutes les conséquences de l'extraordinaire sensibilité du moyen qu'il avait indiqué le premier.

Mais M. Edison a, le premier, montré le parti que la téléphonie pouvait tirer de la propriété de variations de résistance au contact d'un morceau de charbon.

M. Edison ne s'était pas borné à essayer le charbon, il avait essayé d'autres matières; et sur ce point d'ailleurs M. Hughes a encore été devancé par M. Weyher.

M. Hughes croit avoir démontré ce « principe général » que la résistance d'un grand nombre de corps est modifié par les « vibrations sonores et autres vibrations mécaniques ». Nous ne pensons pas que M. Hughes ait en aucune façon démontré ce principe; ses expériences montrent seulement une fois de plus que la résistance au contact est très-notablement changée par les moindres différences de pression. Il nous semble même que les expériences de M. Hughes sont de nature à faire douter de l'exactitude du principe général formulé plus haut. M. Hughes, en effet, dans sa communication à la Société Royale du 8 mai 1878, explique qu'il n'a pas pu reconnaître de variations de résistance dans un fil métallique tendu et mis en vibration. Il ajoute qu'il n'a obtenu d'effet qu'au moment où le fil s'est cassé sous l'effort des vis qui le tendaient; cet effet ne peut être rapporté qu'à l'extrà-courant de rupture et n'a aucun rapport avec les vibrations.

Dans le microphone, comme dans le téléphone à

charbon, nous voyons des mouvements vibratoires d'une extraordinaire ténuité produire des variations de pression suffisantes pour changer l'intensité d'un courant local. Sans doute, les effets obtenus par M. Hughes sont fort extraordinaires, mais ils s'expliquent par cette affirmation d'Edison, que « la « résistance varie de plusieurs centaines d'ohms à « plusieurs ohms, » et qui se trouve dans le *Journal of the Telegraph* du 1^{er} juin 1877.

M. Hughes se fait certainement illusion sur la marche qu'a suivie son esprit; il a pris sans s'en rendre compte le chemin indiqué par Edison et il a montré que cette méthode fournit des ressources inattendues pour constater des vibrations ou des sons, là où l'on ne croyait pas qu'il y en eût. Son mérite n'est que là, mais c'est un mérite fort grand; nous nous plaignons à le reconnaître.

Microtasimètre ou thermoscope d'Edison.

M. Edison a imaginé d'employer le principe de son téléphone à dénoncer de très-petits changements de pression et il a réalisé un appareil auquel il a donné le nom de *microtasimètre*.

Cet instrument se compose d'un disque de charbon placé dans le circuit d'une pile, entre deux lames de platine, le tout comprimé par une tige rigide commandée à cet effet par une vis micrométrique. Les moindres variations de la pression produisent un déplacement important de l'aiguille d'un galvanomètre combiné avec un pont de Wheatstone.

Cet appareil peut être utilisé comme un thermoscope d'une extrême sensibilité; en effet, il suffit d'approcher la main de la tige qui exerce la pression dont nous

avons parlé pour y produire une dilatation et par suite un changement de pression du charbon et finalement un mouvement de l'aiguille galvanométrique.

Arrivera-t-on à rendre les indications de cet instrument comparables à elles-mêmes et à réaliser ainsi un véritable thermomètre? C'est ce que l'avenir nous apprendra.

La *Scientific American* du 22 juin 1878 ajoute à ces renseignements, que M. Edison se propose de construire sur le même principe quantité d'instruments, parmi lesquels des baromètres et des hygromètres. Nous en attendrons la description avec impatience.

Récepteur téléphonique de M. Blyth.

M. James Blyth a présenté, le 3 juin, à la Société Royale d'Edimbourg une série d'expériences dont la dernière est tout à fait extraordinaire et inattendue.

Il a constaté qu'un appareil microphonique pouvait servir, non-seulement de transmetteur téléphonique, comme nous l'avons vu dans ce qui précède, mais même comme récepteur de sons transmis par un appareil identique.

Ce microphone de M. Blyth se composait d'un petit pot de confitures dans lequel il avait placé des fragments grossiers de coke avec deux électrodes de fer blanc glissés entre les parois du pot et les escarbilles.

Cet appareil, avons-nous dit, pouvait servir à la fois de transmetteur et de récepteur avec l'intervention bien entendu, d'un courant de pile. Deux éléments de Grove suffisaient, paraît-il, à donner une communication téléphonique distincte.

M. Blyth a essayé d'aller encore plus loin et de se

passer de la pile en employant comme transmetteur un téléphone de Bell (magnéto-électrique), et comme récepteur son appareil à escarbilles; il a obtenu, même ainsi, la transmission des sons; mais c'étaient des sons faibles et difficiles à distinguer.

TÉLÉPHONES A RÉSISTANCE VARIABLE, A LIQUIDES.

Transmetteur de Bell.

M. Bell a construit à Philadelphie un transmetteur téléphonique fondé sur les variations de la résistance du circuit. Cet appareil a précédé le téléphone magnéto-électrique du même auteur et a été abandonné pour ce dernier.

Cependant ce téléphone à résistance variable ne doit pas être passé sous silence.

Un fil de platine (fig. 16) était attaché verticalement à une membrane tendue et placée horizontalement; il plongeait dans de l'eau placée dans une petite coupe métallique. Les vibrations de la membrane rapprochaient et éloignaient le fil de platine du fond et la coupe et faisaient par suite varier la résistance d'un circuit. « Quand on parlait devant la membrane, les « sons articulés étaient reproduits » dans un récepteur placé dans une chambre peu éloignée, non pas dans le récepteur que nous employons aujourd'hui, mais dans un autre qui avait été réalisé alors et qui était beaucoup moins parfait. « Les sons rendus étaient « plus intenses quand on substituait à l'eau pure, de « l'eau acidulée ou de l'eau salée à saturation. On obtient également des sons en remplaçant le platine par « de la plombagine plongeant dans du mercure, dans

« une solution de bichromate de potasse, dans de l'eau
« salée, de l'eau acidulée ou de l'eau pure » (1).

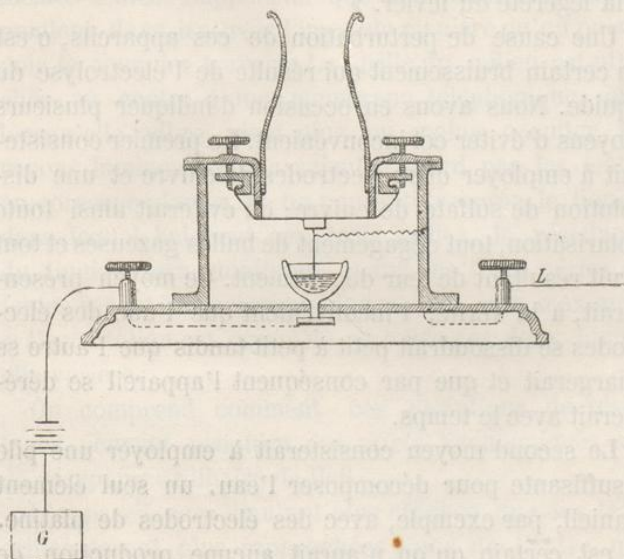


Fig. 16.

Nous dirons un peu plus loin quels inconvénients présente cet appareil par rapport au transmetteur à plombagine d'Edison.

Transmetteur de Salet.

M. Salet a repris ces expériences. Il a substitué
« au fil de platine un petit levier d'aluminium portant
« une lame de platine; à une très-faible distance de
« celle-ci, s'en trouvait une seconde en relation avec

(1) *Researches in Electric telephony*. A. Graham Bell. — *Journal of the soc. of Teleg. Engineers*. Vol. VI. 1877.

« la ligne. Les vibrations de la membrane, triplées ou « quadruplées dans leur amplitude, ne sont pas « altérées dans leur forme, grâce à la petitesse et à « la légèreté du levier. »

Une cause de perturbation de ces appareils, c'est un certain bruissement qui résulte de l'électrolyse du liquide. Nous avons eu occasion d'indiquer plusieurs moyens d'éviter cet inconvénient. Le premier consisterait à employer deux électrodes de cuivre et une dissolution de sulfate de cuivre; on éviterait ainsi toute polarisation, tout dégagement de bulles gazeuses et tout bruit résultant de leur dégagement. Ce moyen présenterait, à la vérité, l'inconvénient que l'une des électrodes se dissoudrait petit à petit tandis que l'autre se chargerait et que par conséquent l'appareil se dérèglerait avec le temps.

Le second moyen consisterait à employer une pile insuffisante pour décomposer l'eau, un seul élément Daniell, par exemple, avec des électrodes de platine. Il est certain qu'on n'aurait aucune production de bulles de gaz, et il semble qu'en employant une pile d'une faible résistance intérieure on obtiendrait des variations suffisantes d'intensité dans un court circuit.

Il est certain d'ailleurs que les téléphones en question ne doivent être employés qu'avec des bobines d'induction; de telle sorte que le circuit dont on fait varier la résistance soit un circuit local.

Nouvelle disposition de Salet.

M. Salet a imaginé une autre disposition plus avantageuse que la précédente. Imaginez deux petites grilles d'ébonite placées en regard l'une de l'autre dans un liquide; en d'autres termes, deux lames d'ébo-

nite parallèles l'une à l'autre et percées d'orifices longs et étroits comme les jours d'une persienne. Entre ces deux lames en est placée une troisième percée des mêmes fentes. Supposons que ces fentes se correspondent dans les trois lames de manière qu'on puisse voir le jour au travers. La grille du milieu est attachée au centre d'une membrane téléphonique, qui, lorsqu'elle vibre, vient plus ou moins occulter les rayons lumineux qui passaient d'abord par les fentes en correspondance. Si un courant traverse le liquide dans lequel baignent ces trois grilles, la résistance du liquide sera minimum quand les trois séries de fentes seront en correspondance; elle sera maximum si l'occultation est complète, et entre ces deux limites elle variera.

On comprend comment ces variations de résistance peuvent produire des effets téléphoniques sur un récepteur ordinaire de Bell.

L'appareil sera d'autant plus efficace que les trois grilles seront plus rapprochées l'une de l'autre, que celle mobile sera plus légère, et que les fentes seront plus étroites. Pour obtenir ces conditions favorables, M. Salet abandonne l'ébonite et emploie des feuilles d'aluminium protégées de façon ou d'autre contre l'action de l'acide.

TÉLÉPHONE DE M. ANTOINE BRÉGUET.

On connaît l'intéressant électromètre imaginé par M. Lippmann et fondé sur le fait de la dépendance réciproque de la constante capillaire et de la différence de potentiel, de deux liquides (mercure et eau acidulée, par exemple).

Si la différence de potentiel augmente par la mise

en communication des deux liquides avec les deux pôles d'une pile (ou d'une source électrique quelconque), le niveau du mercure dans un tube capillaire change aussitôt.

Et réciproquement, si le niveau du mercure est élevé ou abaissé par une cause mécanique, la différence de potentiel électrique change aussitôt entre les liquides.

Ce phénomène est donc parfaitement réversible et les appareils basés sur ce principe sont des machines réversibles; M. Lippmann l'a démontré d'une manière très-frappante par la construction d'un moteur électro-capillaire, qui tourne sous l'influence d'un faible courant et qu'on peut transformer en machine électrique en le tournant à la main.

L'extrême sensibilité de l'électromètre de M. Lippmann le rend capable d'accuser les courants produits par un téléphone de Bell. Ce point intéressant a été signalé par M. Page, le 16 février 1878, à la *Physical Society*, à Londres.

En pressant avec le doigt la membrane du téléphone de Bell, on fait avancer l'index mercuriel de l'électromètre dans une certaine direction et, en renversant les attaches, on le fait marcher en sens contraire. Nous croyons cependant que l'expérience ne réussit bien qu'en employant l'intermédiaire d'une bobine d'induction pour augmenter les variations de potentiel.

Quand on chante ou qu'on parle dans le téléphone, on voit l'index marcher vers l'extrémité du tube; et il est fort remarquable que cette direction du mouvement se maintient pour toutes les lettres et sons chantés, et ne change pas même quand on renverse les attaches. Cette invariabilité du sens du mouvement est un phénomène singulier, encore inexpliqué.

Quand nous avons vu ces expériences dans le labo-

ratoire même de M. Page et grâce à son extrême complaisance, nous avons été frappés des différences d'intensité accusées par l'électromètre; tandis que la voyelle *i* produit un mouvement à peine marqué, la voyelle *o* en produit un considérable.

M. Antoine Bréguet, sans connaître les travaux de M. Page, tirait au même moment, de l'électromètre de Lippmann, des effets beaucoup plus intéressants. Frappé surtout de la réversibilité de l'appareil et de l'instantanéité de ses mouvements, M. Antoine Bréguet a songé à en faire un téléphone à la fois transmetteur et récepteur.

L'une des formes de cet appareil est indiquée par la figure 17.

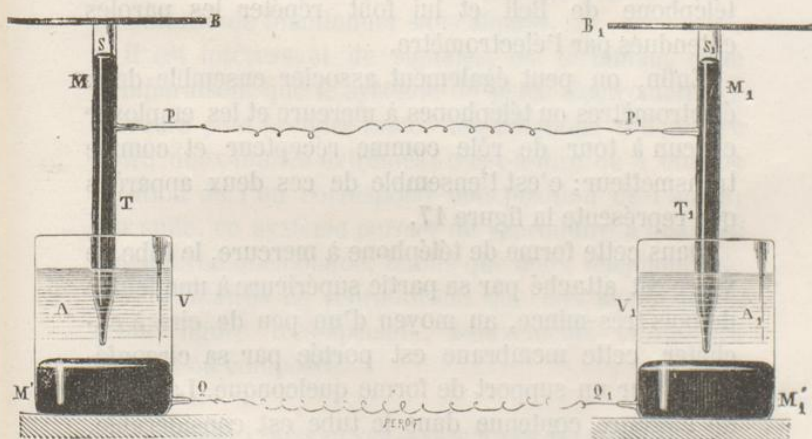


Fig. 17.

Le tube T est effilé par le bas; son orifice inférieur est capillaire. Il contient du mercure et plonge dans un petit vase contenant de l'eau acidulée et au fond duquel on met du mercure. Si on fait communiquer le mercure du tube

et celui du vase avec deux fils conducteurs, on constitue un électromètre de Lippmann rudimentaire. Si des courants ondulatoires engendrés par un téléphone de Bell sont envoyés dans cet appareil, ils produisent des alternatives de montée et de descente du mercure du tube, ou, en d'autres termes, des mouvements vibratoires qui reproduisent ceux de la membrane du téléphone de Bell. L'expérience montre qu'en plaçant l'oreille au-dessus de l'électromètre, on entend les mots prononcés et les airs chantés dans le téléphone de Bell.

On peut faire l'inverse, c'est-à-dire que si on parle au dessus de l'électromètre on produit des mouvements alternatifs vibratoires du mercure, desquels résultent des changements de potentiel entre les deux liquides, et finalement l'envoi de courants qui vont au téléphone de Bell et lui font répéter les paroles entendues par l'électromètre.

Enfin, on peut également associer ensemble deux électromètres ou téléphones à mercure et les employer chacun à tour de rôle comme récepteur et comme transmetteur; c'est l'ensemble de ces deux appareils que représente la figure 17.

Dans cette forme de téléphone à mercure, le tube de verre est attaché par sa partie supérieure à une feuille de bois très-mince, au moyen d'un peu de cire à cacheter; cette membrane est portée par sa circonférence sur un support de forme quelconque. La masse du mercure contenue dans le tube est considérable, de sorte que dans les mouvements vibratoires dont nous avons parlé, c'est le tube avec la membrane qui vibre, tandis que le mercure reste à peu près immobile.

Dans une autre disposition, la quantité de mercure était beaucoup diminuée; le tube était invariablement fixé par sa liaison avec un support solide, il était de

plus disposé en entonnoir, de sorte que, quand on parlait dans l'entonnoir, les vibrations de l'air se communiquaient favorablement au mercure qui se déplaçait par un mouvement alternatif.

Enfin, dans un dernier appareil, le mercure est réduit à des gouttes séparées par d'autres gouttes d'eau acidulée, composant ainsi une série d'éléments électro-capillaires associés en tension; la première et la dernière goutte mercurielle sont mises en communication avec les fils; le tube est monté perpendiculairement sur une membrane et il est fermé à la lampe à ses deux bouts.

Le téléphone à mercure, comme celui de Bell, fonctionne sans pile et est identique à lui-même pour la transmission et la réception. De plus, il présente cette singularité de fonctionner sans aimant.

Il est intéressant de signaler, en terminant cette comparaison, que le système de deux électromètres à mercure peut prendre toutes les positions d'équilibre entre deux limites extrêmes; c'est-à-dire qu'à chaque position de l'un correspond une position de l'autre; par suite, ce système permet de reproduire à distance une courbe quelconque, tandis que deux téléphones de Bell ordinaires ne reproduisent que des mouvements d'une figure très-spéciale, mouvements vibratoires simples ou composés.

OBSERVATIONS GÉNÉRALES SUR LES TÉLÉPHONES

Classification des différents systèmes téléphoniques.

Les téléphones musicaux sont les plus anciens; ils sont capables de reproduire à distance des sons musicaux; mais ils sont incapables de reproduire les variations de l'intensité du son originaire et le timbre.

Ils sont tous fondés sur l'emploi de courants interrompus comme ceux de la télégraphie ordinaire. Tel est le téléphone de Reis, celui de Gray, etc. Ils peuvent également mettre en œuvre des courants alternativement renversés, comme dans le système de Varley.

Les téléphones articulants, pour employer le nom que leur donne M. Bell, sont capables non-seulement de reproduire des sons musicaux de différentes hauteurs, mais de faire sentir les variations d'intensité et même celles du timbre. Ils peuvent reproduire toutes les modulations du langage parlé.

Parmi eux, les uns sont fondés sur les variations du potentiel sans variation de résistance du circuit; tels sont les systèmes de M. Bell et de M. Antoine Bréguet.

D'autres sont fondés sur les variations de la résistance sans changement de la force électro-motrice mise en jeu; tels sont les téléphones à pile, celui de M. Edison, celui de M. Salet et celui aussi de M. Bell décrit dans le présent chapitre.

Nous croyons que ces deux catégories ne resteront pas seules et qu'on en verra apparaître avant longtemps au moins encore une.

Intensité du son reproduit.

On a cru que les téléphones à pile présentaient un moyen assuré d'obtenir un grand volume de son au récepteur; on disait que la cause du son était dans la pile, tandis que dans le téléphone magnéto-électrique de Bell, elle était dans la voix de l'orateur. Il y a là quelque chose de vrai; mais il faut remarquer que ce n'est pas l'intensité du courant de la pile, mais la variation de cette intensité, qui détermine les mouvements de la membrane réceptrice. Il n'y a donc aucun rapport néces-

saire entre la force de la pile et celle du son reproduit par le récepteur.

L'addition de la bobine d'induction dans le système ne change rien à ce que nous venons de dire, et avec ou sans cet intermédiaire, l'intensité du son reçu ne dépend que des variations de l'intensité, résultant des changements de résistance.

Ce qui est vrai, c'est que le téléphone magnéto-électrique de Bell, si parfait qu'on puisse l'imaginer, ne pourra jamais reproduire la voix ou le son qu'avec une intensité inférieure, parce que le mouvement perpétuel est impossible. Et d'autre part, il n'est pas absurde d'espérer qu'on puisse, par des artifices convenables, reproduire les sons avec une intensité augmentée en faisant usage de téléphones à piles, par la raison qu'on met en jeu une force supplémentaire.

TROISIÈME PARTIE

PHONOGRAPHES

INTRODUCTION

Le téléphone et le phonographe sont deux instruments tout différents dans leur objet et dans leurs résultats actuels; il est possible cependant qu'on arrive à les combiner ensemble dans des systèmes téléphonographiques, comme nous le dirons bientôt.

À ce point de vue, nous sommes autorisés à les présenter ensemble dans un ouvrage unique. Il faut bien reconnaître que ce motif n'est pas le seul qui nous ait décidé; mais nous avons, comme le public en général, réuni dans notre pensée deux inventions qui ont apparu presque simultanément et qui toutes deux donnent aux phénomènes de l'acoustique un intérêt nouveau.

L'enregistrement des sons n'est pas chose nouvelle. Thomas Young décrit dans un ouvrage daté de 1807 (1) un instrument composé d'un cylindre animé

(1) *A Course of lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts*. London, 1807, t. I, p. 190. Cette intéressante citation est due à M. Melsens. Séance de la Soc. franç. de physique, 1874, p. 47.

à la fois d'un mouvement de rotation et de translation, et destiné à l'enregistrement des vibrations sonores. « Cet instrument, dit-il, peut servir à mesurer sans difficulté le nombre des vibrations des corps sonores, en leur appliquant un style qui décrira une trace ondulée sur le cylindre. Ces vibrations peuvent servir aussi, d'une manière bien simple, à mesurer de petits intervalles de temps; car si l'on fait vibrer un corps dont les vibrations ont une certaine fréquence, pendant que le cylindre tourne et qu'on fasse marquer ses vibrations sur le cylindre, ces traces constitueront un index correct du temps occupé par une partie de la révolution; et le mouvement d'un corps quelconque peut être comparé avec le nombre des alternations marquées pendant le même temps par le corps vibrant. »

Nous avons cité tout au long ce passage curieux, parce qu'il montre que Young a eu la première idée de l'inscription des vibrations sonores, et aussi celle de la méthode chronographique qui est si fréquemment employée aujourd'hui (1).

Il est juste de dire que cette indication donnée par le physicien anglais était tombée dans l'oubli, et de faire honneur à M. Duhamel d'avoir eu cette même idée en 1840 (voir *Comptes rendus de l'Acad.*).

Wertheim substitua aux verges de Duhamel le diapason qui a toujours été employé depuis dans la chronographie et dans la phonographie comme type et comme terme de comparaison (*Annales de ch. et ph.*, 3^e série, t. XII).

(1) Il paraît que Guillaume Weber a eu aussi, à son tour, l'idée de la phonographie; mais nous ne sommes pas en mesure de faire une citation exacte.

On doit à M. Scott de Martinville l'idée première d'employer les membranes comme intermédiaires pour l'inscription des sons transmis par l'air. L'appareil présenté à la Société d'encouragement, en 1857, a reçu le nom de *phonautographe*.

Phonautographe de Léon Scott de Martinville.

Cet appareil, tel que le construit aujourd'hui M. Kœnig, est représenté par la figure 18.

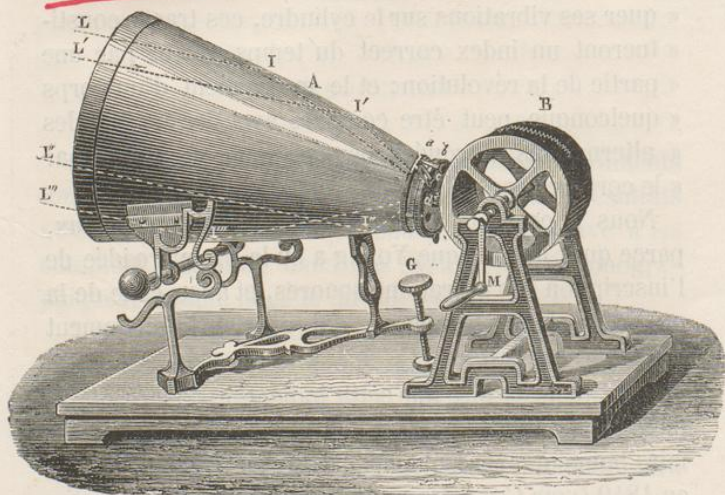


Fig. 18.

Il présente un grand paraboloïde A en tôle de zinc tronqué près de son sommet et fermé de ce côté par une membrane de baudruche maintenue par deux anneaux *a* et *b*.

Le centre de la membrane est au foyer du paraboloïde et par conséquent c'est en ce point que se concentrent les vibrations qui frappent la surface intérieure, venant

parallèlement à l'axe; c'est ce que montrent les lignes ponctuées LI, L'I', L'I''.

C'est aussi en ce point qu'est monté le style inscripteur, formé d'une soie de sanglier terminée par une barbe de plume et fixé à la membrane par une goutte de cire d'Espagne. Une petite pièce *c* appuie par une de ses extrémités sur la membrane et sert à la tendre plus ou moins par un mouvement à vis.

Le cylindre inscripteur B est recouvert d'une feuille de papier noircie au noir de fumée par l'exposition au-dessus d'une lampe ou d'une chandelle fumeuse. Il est porté sur un axe dont l'une des parties est taraudée et prend point d'appui sur un écrou fixe, de telle sorte que le cylindre tourne et avance à la fois; c'est là, on le voit, le cylindre décrit par Thomas Young.

Le style vibre aussitôt qu'un son est produit dans le voisinage du parabolôïde, et il suffit de faire tourner la manivelle pour obtenir une ligne sinueuse qui représente les vibrations de l'air.

L'inscription une fois faite, on coupe le papier avec un canif suivant une des génératrices du cylindre et on fixe l'épreuve en la passant dans un bain d'alcool pur ou légèrement additionné de gomme laque (1).

Expériences de M. Kœnig.

M. Kœnig a fait avec le phonautographe, en 1862, une très-longue série d'expériences consignées dans un album qui présente le plus grand intérêt. Ces expériences n'ont été publiées que d'une manière très-incomplète, mais l'album dans lequel elles se trouvent

(1) La figure 15 et la description (presque textuellement) du phonautographe sont empruntées au *Traité de Physique* de M. Jamin, 2^e édition.

consignées, a été vu par toutes les personnes s'intéressant à l'acoustique qui sont venues à Paris depuis une quinzaine d'années. Elles sont mentionnées dans les *Annales du Conservatoire des Arts et Métiers*,

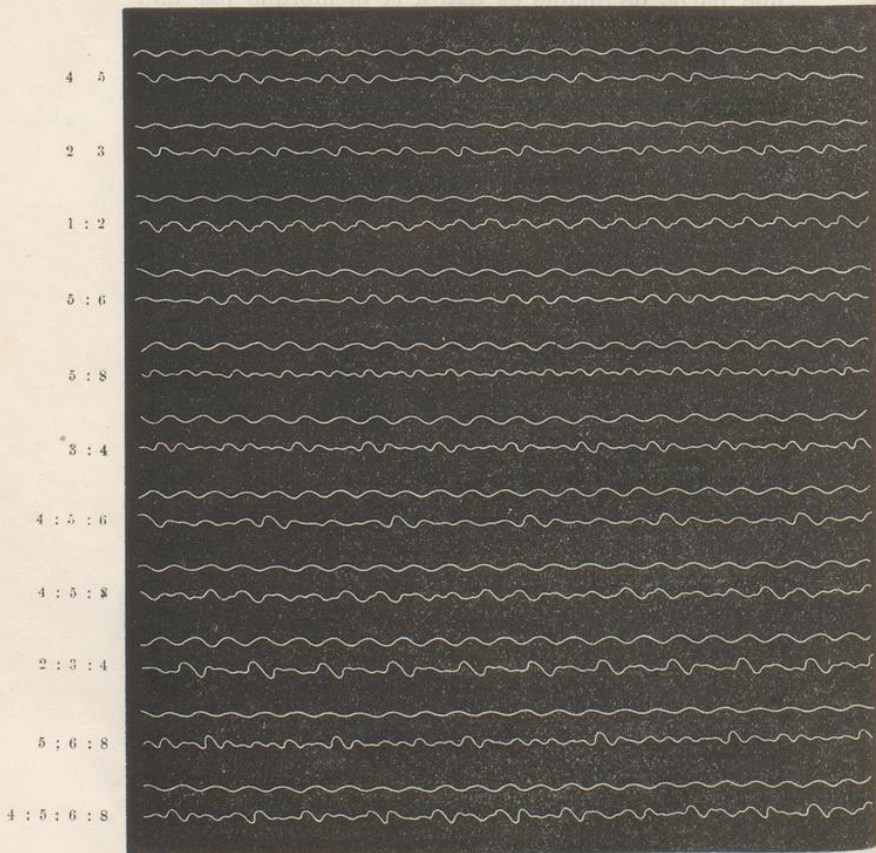


Fig. 19.

octobre 1864, dans le compte rendu de la soirée scientifique du 29 octobre.

La figure 19 donne un résumé de ces expériences gra-

phiques. Elle répond à onze expériences représentées chacune par deux lignes sinueuses. La ligne supérieure de chaque expérience représente un son grave donné par un diapason; ce sont des sinusoides simples; la seconde ligne présente la courbe résultant de la superposition de cette note fondamentale avec une autre, la tierce, la quinte, l'octave, etc., ou la superposition de trois notes, ou enfin les quatre notes de l'accord parfait vibrant ensemble et additionnant leurs effets sur la membrane du phonautographe. M. Kœnig a été plus loin encore et a enregistré l'air de musique bien connu qui répond à ces paroles : « Ah! vous dirai-je, maman. »

L'intérêt de ces courbes complexes est surtout dans ce fait qu'elles peuvent être tracées géométriquement à l'avance, et que la courbe tracée par le phonautographe présente d'une manière non douteuse tous les caractères du tracé théorique (1).

On peut, en effet, conclure de cette identité que la membrane a vibré simultanément à l'unisson des différents sons qui l'ont frappée. Mais il faut reconnaître que M. Edison, en faisant reproduire par la membrane les sons mêmes qu'elle a enregistrés, a rendu cette démonstration beaucoup plus frappante.

Logographe de M. Barlow.

Un célèbre ingénieur anglais, M. Barlow, a repris la question à ce point et présenté à la Société Royale (2),

(1) Voir *Physique* de Jamin, t. II, p. 629, 2^e édit.

(2) *Proceedings of the Royal Society*, vol. XXII, 1874. On the Pneumatic Action which accompanies the articulation of Sounds by the Human Voice, as exhibited by a Recording Instrument, 23 février. 16 avril, 1874.

en 1864, un instrument qui a été, depuis, appelé logographe. Originellement, M. Barlow annonçait seulement l'intention d'enregistrer les actions pneumatiques qui accompagnent l'articulation de la voix humaine, et de montrer que ces actions, pour la plupart inappréciables à l'observation ordinaire, peuvent être enregistrées, et qu'elles sont parfaitement concordantes dans des expériences successives. Encouragé par le succès, M. Barlow a songé à considérer son appareil comme un logographe, un instrument écrivant le discours, avec l'espoir d'en faire un secrétaire sténographe, dont l'écriture pourrait être ensuite déchiffrée.

Voici comment est construit le logographe dans sa forme actuelle : « Une sorte de trompette présente une
« embouchure ajustée sur un tube de 10 centimètres
« de long. L'extrémité de ce tube est fermée par une
« membrane de baudruche, de gutta-percha ou de
« caoutchouc très-mince qui a un diamètre de 5 centi-
« mètres environ. Cette membrane porte un style formé
« d'un poil de chameau mouillé d'encre à l'aniline (1).
« Une bande de papier Morse court devant ce style,
« entraînée par un mouvement d'horlogerie. En parlant
« dans l'embouchure, on fait vibrer la membrane, et le
« style trace sur le papier des courbes qui ressemblent
« à celles produites par le Siphon Recorder de Thomson.
« Ces courbes sont la représentation graphique des
« sons émis; le même mot ou le même son répétés
« donnent identiquement les mêmes courbes qu'ils ont
« déjà données. Les consonnes donnent lieu à une
« plus violente agitation que les voyelles. Cependant
« de légères perturbations se remarquent qui ajoute-

(1) *Telegraphic Journal*, april 1, 1878. *Account of meeting of Society of Telegraph Engineers*, 27 fév. 1878.

« raient à la difficulté de la lecture; mais il n'est pas
 « improbable que de nouveaux perfectionnements ap-
 « portés à l'appareil permettront à l'œil de déchiffrer
 « les mots représentés par ces courbes, aussi facile-
 « ment qu'on lit les signaux télégraphiques. »

Expériences du docteur Rosapelly.

Nous ne mentionnerons qu'en passant les expériences faites par M. Rosapelly, malgré leur très-grand intérêt. Cet expérimentateur, assisté des conseils de M. Marey, a enregistré les mouvements du larynx, ceux des lèvres et ceux du voile du palais traduits par l'émission de l'air par les narines. Il a précisé les caractères qui accompagnent la production des consonnes muettes, labiales et nasales. Trois courbes sont nécessaires pour caractériser les différentes syllabes dans cet ordre de recherches. De ces expériences on a pu tirer d'intéressantes conclusions pour la linguistique; nous y relèverons la première constatation de ce fait, que les consonnes sont représentées par des courbes inverses suivant qu'elles sont mises avant ou après la voyelle; c'est-à-dire que *ab* et *ba* sont représentées par des courbes symétriques, de même *am* et *ma* et ainsi des autres. On voit également que la courbe de *ap ma* et celle de *am pa* sont presque symétriques comme aussi *ab-ma* et *am-ba*. Nous disons presque et non pas absolument symétriques; c'est, en effet, là ce que montre l'examen des diagrammes (1), mais nous ne sommes pas préparés à discuter si les différences accusées tiennent à quelque imperfection de la mé-

(1) *Inscription des mouvements phonétiques*, Dr Rosapelly. — Travaux du laboratoire de M. Marey, année 1876.

thode employée, ou si elles répondent à une différence réelle dans les phénomènes.

Quoi qu'il en soit, on voit que les tracés obtenus par M. Rosapelly pourraient conduire à une inscription complète de la parole, qu'il serait possible de déchiffrer ensuite; de même qu'à l'examen d'un tracé sphygmographique, on arrive à deviner l'état de la circulation chez le sujet soumis à l'expérience.

C'est ici une solution physiologique du problème que M. Barlow a cherché à résoudre par la mécanique pure.

PHONOGRAPHE PARLANT D'EDISON.

Si M. Edison n'avait fait qu'un instrument capable d'enregistrer les sons, son invention n'attirerait pas

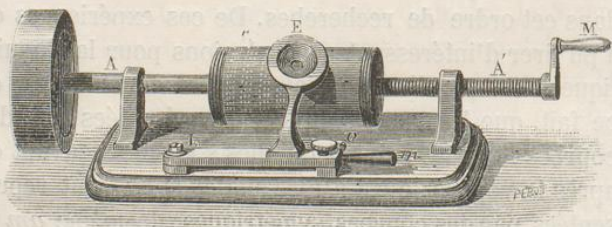


Fig. 20.

aujourd'hui une très-grande attention; mais il a eu la hardiesse de songer à reproduire les sons au moyen de la trace graphique laissée par eux et l'habileté d'y réussir.

Son appareil, tel qu'il est connu par le seul modèle montré en Europe, est représenté dans les fig. 20 et 21.

Un cylindre de laiton C est monté sur un axe AA' taraudé dans une de ses parties A; l'un des supports

sert d'érou fixe à cette vis ; et quand on tourne la manivelle M, chaque point du cylindre décrit une hélice. La surface du cylindre présente une rainure hélicoïdale dont le pas est le même que celui de la vis taillée sur l'axe. On y colle une feuille mince d'étain qui l'entoure complètement. Ce papier est suspendu au-dessus du vide présenté par la rainure hélicoïdale, et c'est dans cette partie que se fera l'enregistrement, comme nous allons le dire.

Tel est l'appareil enregistreur qui ressemble, comme

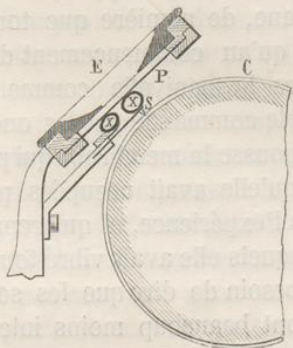


Fig. 21.

on voit, à celui du phonautographe de Scott. Voici maintenant l'appareil acoustique lui-même (fig. 21).

Il se compose d'une membrane métallique très-mince P, tenue dans une bague circulaire et suspendue à l'extrémité d'un support mobile. Devant cette membrane est une embouchure E, et toutes deux sont semblables aux organes correspondants du téléphone. Sous la membrane est un petit style S métallique, fort court et rigide, qui en suit tous les mouvements. Il est fixé à l'extrémité d'un ressort. Deux étouffoirs X, formés par des morceaux de tube de caoutchouc, amortissent



les vibrations de la membrane et celles du ressort porte-style.

Pour faire fonctionner cet appareil, on amène le support dans la position figurée, la membrane devant le cylindre et le style au contact du papier d'étain dans cette partie où il est tendu et libre en dessous. On parle dans l'embouchure pendant que le cylindre tourne; la membrane vibre et le style fait sur le papier d'étain des marques visibles à l'œil.

Pour reproduire les sons, il faut écarter la membrane et le style, ramener le cylindre en arrière et rapprocher la membrane, de manière que tout soit dans la même position qu'au commencement de l'inscription. On tourne alors la manivelle comme on l'avait fait d'abord; le style commandé par les ondulations de la feuille d'étain, pousse la membrane qui passe par toutes les positions qu'elle avait occupées pendant la première partie de l'expérience, et qui reproduit les sons à l'unisson desquels elle avait vibré tout à l'heure.

Il n'est pas besoin de dire que les sons rendus par l'instrument sont beaucoup moins intenses que ceux qu'on lui a fait d'abord enregistrer; mais ils sont parfaitement distincts et ils ont pu être entendus par deux cents personnes à la fois, se pressant dans la salle de la Société de physique, le 15 mars 1878, et depuis dans un grand nombre de réunions publiques et privées. L'appareil qui a été montré à Paris ne rend pas exactement le timbre de la voix de la personne qui lui a parlé; mais les voyelles et les consonnes sont parfaitement reconnaissables.

On annonce que M. Edison a récemment perfectionné son appareil, et que, dès à présent, il reproduit exactement le timbre de la voix humaine et rend les plus faibles chuchotements et le bruit de la respiration

entendus par la membrane. Après ce qu'il nous a déjà fait entendre, il y aurait mauvaise grâce à ne pas le croire sur parole, et il faut lui faire crédit de quelques semaines pour qu'il s'acquitte envers nous de cette promesse.

Parmi d'autres perfectionnements déjà réalisés, paraît-il, par l'inventeur, nous indiquerons encore celui-ci : dans de nouveaux appareils, le papier d'étain se place non plus sur un cylindre, mais sur un plateau dans lequel on a tracé une rainure qui a la forme d'une spirale d'Archimède, ou, pour parler le langage vulgaire la forme d'un limaçon. Le mouvement de ce plateau et de la membrane est combiné de telle sorte que le style inscripteur est toujours dans la rainure. Cette disposition est certainement plus compliquée que celle représentée par la figure 20 ; mais elle permet de placer plus aisément et plus promptement la feuille d'étain, et surtout elle permet, la feuille une fois écrite, de la placer sur un autre appareil qui fera la reproduction, ce second appareil pouvant être dans une autre ville et dans une autre partie du monde que le premier.

C'est dans ces conditions qu'il sera possible aux sociétés savantes de Paris d'entendre une communication verbale de M. Edison, communication qui aura été confiée à l'étain, quinze jours auparavant et qui aura passé l'Atlantique dans une enveloppe de lettre. Cette chose extraordinaire n'a pas encore été réalisée, mais elle le sera certainement pour peu que M. Edison veuille continuer de suivre la voie dans laquelle il est entré si brillamment.

Nous avons supposé implicitement, dans ce qui précède, que la rotation du cylindre était uniforme ; mais il est clair que le mouvement donné directement par la manivelle ne peut pas être parfaitement régulier. Pour



atténuer ce défaut, on a mis à la seconde extrémité de l'axe un lourd volant V, qui dans une certaine mesure régularise la vitesse. Il est facile de concevoir des appareils d'horlogerie, grâce auxquels on obtiendrait un mouvement très-uniforme; et on construit en Angleterre des phonographes ainsi disposés.

Quand il s'agit de reproduire les paroles articulées par la voix humaine, les inégalités de vitesse sont de peu de conséquence; le son monte ou baisse légèrement.

Mais quand on reproduit des sons musicaux, le défaut est plus sensible. On comprend, en effet, que, plus la rotation est rapide, plus le son rendu est aigu et la même inscription peut donner des notes très-différentes suivant qu'on tourne plus ou moins vite.

Et, par suite, si on inscrit sur le cylindre, successivement les quatre notes d'un accord parfait, on ne le rendra juste qu'à la condition de tourner tout à fait régulièrement et pendant l'inscription et pendant la reproduction du son; pour peu que la vitesse n'ait pas été uniforme l'une des deux fois, l'accord n'est pas juste.

On peut noter ici en passant que, avec le téléphone, les sons musicaux sont plus aisément rendus que les articulations de la voix; tandis qu'avec le phonographe tel que nous l'avons entendu, c'est l'inverse.

Une feuille d'étain impressionnée par une phrase ou un chant peut faire entendre cette phrase non-seulement une fois, mais même plusieurs fois. Mais, dès la seconde reproduction, l'intensité du son rendu est fort diminuée et se réduirait bientôt à rien. On comprend, en effet, que le papier d'étain, dont la mollesse se prête à l'enregistrement, ne permette pas indéfiniment la reproduction; pour corriger ce défaut, divers

moyens se présentent à l'esprit et malgré les difficultés d'exécution, nous ne doutons pas qu'on n'arrive à franchir ce pas.

Il paraît d'ailleurs que le papier d'étain n'est pas ce qu'il y a de mieux et que M. Edison a essayé avec succès des feuilles de cuivre très-minces.

Parmi les expériences auxquelles nous avons assisté, il faut noter la suivante.

On parle une première fois dans l'embouchure et l'on enregistre sur une portion du cylindre une phrase, en français par exemple; puis on revient au point de départ et l'on enregistre sur la même portion du papier une seconde phrase, en anglais. On remarque d'abord que, pendant l'enregistrement de la phrase anglaise, la française est reproduite par l'instrument, de sorte qu'on les entend toutes deux et que l'instrument a l'air de répondre dans une autre langue et au même instant à ce qu'on lui dit. On peut aller ainsi jusqu'à trois phrases inscrites sur le papier et l'une sur l'autre, et on peut les reproduire toutes les trois à la fois. A la vérité, la dernière inscrite est la plus distincte; mais en fixant son attention avec beaucoup d'énergie, on peut s'abstraire de cette dernière et entendre clairement l'avant-dernière ou la première.

Cette simultanéité et cette confusion produisent l'effet le plus comique en même temps qu'elles remplissent d'admiration les physiciens.

Le phonographe peut servir de transmetteur pour le téléphone: on peut mettre un téléphone transmetteur devant la membrane du phonographe pendant la reproduction; le téléphone sera impressionné par le phonographe et transmettra les sons qui l'auront frappé à un second téléphone à une distance quelconque. L'expérience a été faite; mais on pourrait faire

plus et mettre, devant la membrane du phonographe, un aimant de téléphone porteur de sa bobine et composer ainsi un téléphone dont la membrane serait celle du phonographe. On supprimerait ainsi un intermédiaire et l'effet serait plus satisfaisant; mais nous n'avons pas encore eu le temps de faire cette expérience.

Sera-t-il possible de faire l'inverse, de parler à Paris dans un téléphone, et de faire écrire dans un téléphonographe à Saint-Cloud les sons prononcés à Paris? On n'ose plus prononcer le mot *impossible*; mais, si l'on y réussit, ce sera, pour les gens compétents et sincères, un nouvel et immense étonnement; car les vibrations de la membrane du téléphone récepteur sont d'une amplitude extraordinairement petite (1).

Nous reproduisons ici, d'après le *Journal de physique*, un travail très-intéressant de M. Alfred Mayer, professeur au Stevens Institute of Technology, Hoboken, New-Jersey :

On peut réduire toutes les machines parlantes à deux types. Celle du professeur Faber, de Vienne, est l'exemple le plus parfait de l'un; celle de M. Edison est le seul exemple de l'autre.

Faber a étudié la source des sons articulés, et construit un organe vocal artificiel, dont les diverses parties remplissent à peu près les mêmes fonctions que les organes correspondants de notre appareil vocal. Une anche en ivoire, vibrant à des hauteurs variables, tient lieu de cordes vocales. Il y a une cavité buccale dont on peut changer rapidement les dimensions au moyen des touches d'un clavier. Une langue et des lèvres en gomme élastique font les consonnes; un petit moulin à

(1) Cette note sur le Phonographe a paru dans le *Journal de Physique* de d'Almeida (avril 1878).

vent, tournant dans la gorge de l'instrument, articule la lettre R; et l'on attache un tube à son nez lorsqu'il parle français. Voilà l'anatomie de ce mécanisme véritablement merveilleux.

Faber a attaqué le problème par le côté physiologique. M. Edison s'y est pris tout autrement. Il attaque le problème, non à la source des vibrations qui constituent la voix articulée; mais, en considérant ces vibrations comme faites, et sans rechercher comment; il fait en sorte qu'elles s'impriment sur une feuille de métal, et il reproduit ensuite, au moyen de ces impressions, les vibrations sonores qui les ont faites.

Faber a résolu le problème en reproduisant les *causes* mécaniques des vibrations de la voix; Edison l'a résolu en obtenant les *effets* mécaniques de ces vibrations. Faber a reproduit les mouvements de notre organe vocal; Edison a reproduit les mouvements que fait la membrane du tympan de l'oreille, lorsque cet organe reçoit des vibrations causées par les mouvements de l'organe vocal.

.....
Au moyen du procédé que nous allons décrire, nous avons obtenu, sur du verre noirci au noir de fumée, plusieurs tracés agrandis du contour ou profil des élévations et dépressions faites dans la feuille d'étain du phonographe de M. Edison. Une pointe pareille au style S est attachée au côté inférieur du bras court d'un levier délicat. Le long bras de ce levier porte une pointe de feuille de cuivre effleurant légèrement la surface verticale d'une plaque de verre noirci. La pointe du bras court du levier suit les élévations et les creux des sillons faits dans la feuille sur le cylindre. On faisait tourner le cylindre d'un mouvement lent et uniforme pendant que la plaque de verre avançait, la pointe de cuivre traçait

le profil agrandi des creux et saillies de la feuille sur le cylindre. Je dis exprès des *saillies*, parce que le sillon disparaît souvent tout à fait et diminue toujours en profondeur pendant la phase de retour de la pointe vibrante. Sans un examen spécial du caractère des impressions du phonographe, et en jugeant seulement de leur apparence à l'œil, on les eût pris pour de simples points et traits semblables à ceux de l'alphabet Morse.

Une autre méthode pour obtenir le profil des impressions sur la feuille consiste à la renforcer d'une substance facile à fondre et à couper ensuite les sillons au milieu.

L'instrument n'a pas été entre mes mains assez long-

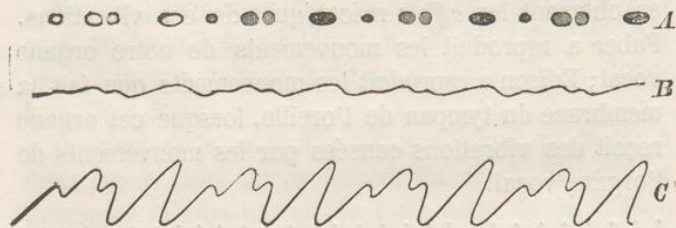


Fig. 22.

temps pour l'employer dans une suite d'expériences aussi soignées et aussi nombreuses qu'il le mérite. J'ai cependant obtenu plusieurs tracés, et j'ai étudié particulièrement le tracé des caractères du son *bat* (mot anglais). Si le petit nombre de ces expériences m'autorise à exprimer une opinion, je dirai qu'il y a beaucoup de ressemblance entre le profil des expressions sur le phonographe et les contours des flammes de Kœnig produites par le même son composé.

La figure 22 représente, en A, l'apparence à l'œil des impressions sur la feuille d'étain produite en chantant

a (de *bat*) contre la membrane de fer du phonographe; en B, le profil grossi de ces impressions obtenu sur du verre noirci par la méthode décrite ci-dessus; et en C, l'apparence des flammes de Kœnig quand on chante le même son très-près de la membrane. Je dis *très-près*, parce que la forme du tracé donné par une pointe attachée à une membrane en vibration sous l'influence d'un son composé, dépend de la distance de la source du son à la membrane. Le même son composé formera un nombre infini de tracés différents si l'on augmente peu à peu la distance de son point d'origine à la membrane; car, en augmentant cette distance, les ondes des composants du son tombent sur la membrane à des phases différentes de leur oscillation.

Si, par exemple, le son se compose de six harmoniques, l'éloignement de la source de la vibration sonore à une distance égale à $1/4$ d'une longueur d'onde correspondante au premier harmonique, équivaudra à un éloignement des 2^e, 3^e, 4^e, 5^e et 6^e harmoniques à des distances correspondantes à $1/2$, $3/4$, 1, $1 1/4$ et $1 1/2$ longueurs d'onde respectivement. Il en résulte évidemment que l'onde résultante est entièrement changée par ce déplacement de la source du son, bien que la sensation du son composé reste inaltérée.

Il est facile de démontrer ces faits par l'expérience en transmettant un son composé dans le cône de l'appareil de Kœnig pendant qu'on allonge le tube en cône et la membrane, au moyen du glissement d'un tube dans un autre comme dans un trombone. Ces expériences, que j'ai faites dernièrement avec un succès complet, expliquent le désaccord entre divers observateurs sur l'analyse de sons composés et surtout articulés, au moyen des flammes vibrantes de Kœnig.

On ne peut donc jamais espérer *lire* les impres-

sions et les tracés des phonographes, parce que ces tracés varieront, non-seulement avec le timbre de la voix, mais aussi avec la relation des temps d'origine des harmoniques de ces voix, et avec les intensités relatives de ces harmoniques.

Des expériences récentes démontrent que, plus le diaphragme ressemble à la construction de la membrane du tympan de notre oreille, où le marteau amortit les sons, plus il devient capable d'enregistrer et de répéter les vibrations sonores, car le mouvement d'une membrane ainsi pourvue n'obéit qu'aux vibrations aériennes qui la frappent.

M. Edison vient de m'envoyer les notes suivantes sur les résultats de ses expériences récentes :

« La grandeur du trou par lequel on parle affecte beaucoup l'articulation ; quand on parle contre le diaphragme entier, les sons sifflants (comme dans *shall*, *fleece*, *last*) se perdent ; pendant qu'un petit trou à vive arête produit un renforcement de ces mots et permet leur enregistrement. Une fente munie de dents, au lieu d'un trou rond, renforce aussi les mots.

« On peut mieux entendre, si l'on couvre l'embouchure E (fig. 21) de plusieurs couches de drap pour étouffer le pétillage de la feuille.

« Je vous envoie une feuille de cuivre sur laquelle j'ai fait des inscriptions à Ansonia (Connecticut) qu'on a pu entendre de 275 pieds en plein air, et peut-être plus loin. »

M. Edison m'a dit aussi avoir fait des inscriptions de vibrations sonores sur un cylindre en fer doux de Norwége, et avoir reproduit à l'aide de ces impressions les vibrations sonores qui en étaient la cause.

Lecture des tracés.

On a remarqué les ingénieuses raisons données par M. Mayer pour appuyer son opinion que le tracé phonographique ne pourra jamais permettre une traduction ou, en d'autres termes, une lecture.

Nous ne craignons pas de dire que ces raisons ne nous ont pas convaincu ; nous préférons croire que l'étude patiente des formes des consonnes suffirait à conduire à une véritable lecture. Quant aux voyelles, elles pourront différer d'une personne à une autre et suivant les circonstances de l'émission et de la réception par la membrane ; mais il est probable qu'un examen minutieux fera découvrir des caractères particuliers à chaque voyelle, qui permettront de les distinguer les unes des autres, malgré des variations que chacune d'elles présente par rapport à elle-même dans différents cas.

Il faut remarquer d'ailleurs que certaines langues, comme l'arabe, s'écrivent sans voyelles et que la lecture n'est que facilitée par l'addition des points diacritiques destinés à tenir lieu des voyelles.

Enfin, on doit réfléchir que l'écriture cursive est singulièrement différente d'une personne à une autre, qu'il y a toutes sortes de manières, inégalement faciles à déchiffrer, d'écrire, et que bien souvent on devine les mots plutôt qu'on ne les lit.

Il est probable que la lecture des tracés phonographiques sera comparable à celle d'une très-mauvaise écriture, et qu'elle n'arrivera jamais à la facilité que donnent les caractères romains imprimés.

Observations diverses.

MM. Fleming Jenkin et Ewing ont, les premiers, croyons-nous, appelé l'attention sur les faits suivants montrés par le phonographe (1).

Non-seulement les voyelles ne sont pas altérées quand on les reproduit à rebours ; mais la même chose s'observe avec les consonnes, avec les syllabes comme *ab* et *ba* et les mots tout entiers.

En ce qui concerne les consonnes, au moins, l'observation aurait pu être faite, comme nous l'avons indiqué, sur les tracés donnés par M. Rosapelly ; mais nous ne savons pas si elle avait été faite.

En ce qui touche les voyelles, on a ici une nouvelle preuve du fait que l'arrangement des divers harmoniques donnant le timbre peut être modifié sans que le timbre soit altéré.

Expériences de MM. Cornu et Mercadier.

Ces physiciens ont enregistré les vibrations sonores sans faire usage d'aucune membrane et nous ne croyons pas pouvoir passer sous silence les expériences par lesquelles ils ont prouvé que la phonographie est possible par l'intermédiaire d'un fil métallique.

« L'expérience prouve qu'un fil métallique d'acier,
 « de cuivre, de laiton, etc... sans tension, soutenu
 « seulement de façon que ses vibrations puissent s'ef-
 « fectuer librement, transmet à une de ses extrémités,
 « par vibrations transversales, les sons émis par un
 « corps sonore fixé à l'autre bout. Pour le démon-



(1) *Nature*, numéro du 28 mars 1878, page 423. Séance de la Société Royale d'Edimbourg du 18 mars 1878.

« trer, il suffit de prendre deux diapasons à miroir
« accordés exactement à l'unisson, de fixer un bout
« du fil à l'un d'eux et d'armer l'autre bout d'une
« barbe de plume portant un point brillant, placée en
« face du miroir du second diapason.

« Si l'on fait vibrer les deux diapasons, en plaçant
« convenablement la barbe de plume, on voit l'image
« du point brillant décrire une ellipse caractéristique
« de l'unisson, ellipse qui varie si l'on charge d'un
« poids, si léger qu'il soit (un peu de cire, par exem-
« ple), le diapason fixé au fil » (1).

Il est intéressant de rapprocher cette expérience de celle du téléphone à ficelle; dans ce joujou acoustique, nous avons vu le son transmis par les vibrations longitudinales d'un fil tendu; nous voyons ici les vibrations transversales jouer le même rôle. Il ne paraît pas douteux qu'il soit possible de construire un téléphone à fil non tendu qui vibrerait transversalement.

« On prend un pareil fil, continue M. Mercadier, de
« 5, 6, 8, 10 mètres de longueur, suspendu au moyen
« de rondelles étroites de caoutchouc (fig. 23); on soude
« à une extrémité une petite lame de laiton mince L,
« que l'on place entre la table d'harmonie d'un instru-
« ment à cordes et les pieds du chevalet: l'autre extré-
« mité est fortement pincée dans un lourd support S.
« Près du point fixé, on soude une lame de clin-
« quant C, à laquelle on attache une barbe de plume
« avec un peu de cire molle (cette disposition donne
« aux vibrations une amplitude plus grande que si la
« barbe était fixée directement au fil). Un instrumen-
« tiste se place de façon que le fil ne gêne pas les
« mouvements de son archet, et il joue des fragments

(1) *Journal de physique* de d'Almeida, t. 1^{er}, 1872, p. 114.

« de mélodies simples, dans un mouvement lent. Les vibrations des cordes se transmettent au chevalet, à la lame métallique, au fil et à la barbe de plume qui vibre synchroniquement. »

L'inscription se fait sur le noir de fumée par la méthode déjà indiquée plus haut.

« Les vibrations sont quelquefois compliquées d'har-

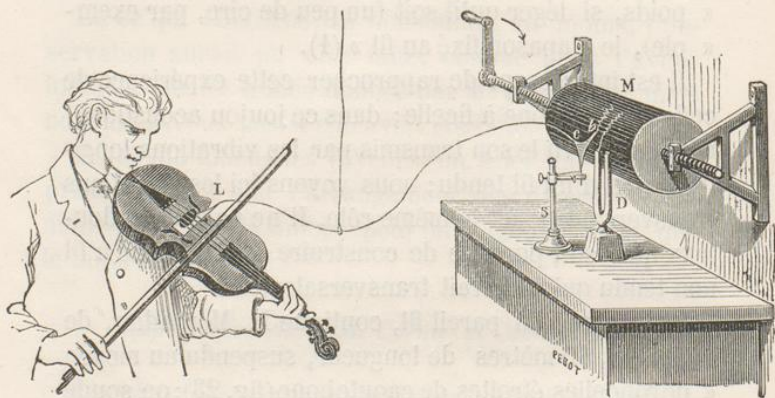


Fig. 23.

« moniques, ce sont presque toujours des octaves, rarement des quintes, très-rarement des tierces; il est, d'ailleurs, impossible de s'y tromper. »

On ne voit pas pourquoi le phénomène ne pourrait pas être renversé. Peut-être, un jour, entendrons-nous, en appuyant l'oreille sur le violon de la figure 23, cet instrument rendre les sons qu'il aura produits quelque temps auparavant, et qui auront été inscrits sur un cylindre du genre de celui d'Edison ou d'une façon analogue à celle imaginée par Edison.

Photographie des flammes de Kœnig.

M. Kœnig a imaginé une méthode très-sensible pour l'analyse des sons, méthode qu'il a perfectionnée de 1862 à 1872 (1). La sensibilité des flammes manométriques est extrême et l'examen attentif des variations de leurs formes au moyen d'un miroir tournant, a permis au savant acousticien d'étudier les voyelles; il les a trouvées différentes d'elles-mêmes avec la hauteur de la note sur laquelle elles sont chantées.

Il paraît qu'on est arrivé récemment à photographier les images fugitives observées par M. Kœnig et à réaliser ainsi une phonographie nouvelle. On trouvera des indications sur ce procédé dans le bel ouvrage de M. Marey: *La méthode graphique*, qui vient de paraître, mai 1878, et dans le livre du D^r Stein: *Das Licht*, Leipzig, 1877.

(1) Sur l'emploi des flammes manométriques, *Journal de physique*, II, 182, année 1873; *Annales de Poggendorff*, t. CXLVI, p. 161; *Philosophical Magazine*, janvier 1873.

est un ouvrage de haute importance pour
 l'histoire de la photographie. L'auteur
 y expose les principes de l'art de
 peindre sur verre, et les procédés
 employés pour la fabrication des
 verres peints, ainsi que les
 différentes manières de les
 employer. On trouve dans cet
 ouvrage de très belles gravures
 qui représentent les divers
 procédés de la peinture sur
 verre.

Il paraît qu'on est arrivé récemment à photographier
 les images peintes sur verre par M. Knapp. On trouvera
 dans son ouvrage de très belles gravures qui
 représentent les divers procédés de la
 photographie sur verre. On trouve
 dans cet ouvrage de très belles
 gravures qui représentent les
 divers procédés de la
 photographie sur verre.

On trouve dans cet ouvrage de très belles
 gravures qui représentent les divers
 procédés de la photographie sur verre.

On trouve dans cet ouvrage de très belles
 gravures qui représentent les divers
 procédés de la photographie sur verre.

TABLE DES MATIÈRES.

INTRODUCTION.

PREMIÈRE PARTIE.

Echos téléphoniques.....	5
Porte-voix ordinaires.....	6
Tuyaux acoustiques.....	6
Troubles accidentels dans l'audition.....	8
Influence de la surface intérieure.....	9
Audition par plusieurs personnes.....	9
Système d'avertissement.....	10
Emploi des tuyaux à gaz.....	11
Porte-voix à liquide.....	11
Porte-voix à ficelle.....	12
Mode de suspension du fil.....	13
Nature des cordes.....	15
Inventeur du porte-voix à ficelle.....	15
Audition par plusieurs personnes.....	17
Système d'avertissement.....	18
Vitesse du son.....	18
Des qualités du son.....	19

DEUXIÈME PARTIE.

TÉLÉPHONES ÉLECTRIQUES.

CHAPITRE PREMIER.

Préambule.....	23
Téléphone de Reis.....	24

CHAPITRE II.

TÉLÉPHONE DE BELL.

Description de l'instrument.....	27
Fonction de l'instrument.....	28

Faiblesse des sons reçus	30
Théorie exacte de l'appareil.....	32
Appareils en dérivation ou en circuit.....	38
Emploi de l'instrument.....	39
Guérites téléphoniques.....	42
Portée de l'appareil.....	42
Résistance possible du circuit.....	44
Introduction de voltamètres dans le circuit.....	45
id. du rhéotome de Ducretet.....	46
id. de condensateurs.....	46
Du retour par la terre.....	47
Actions inductrices des fils voisins.....	49
Autres causes de bruits étrangers.....	52
Transmission du timbre.....	53
Vitesse de transmission.....	55
Observations diverses.....	55

CHAPITRE III.

APPLICATIONS DU TÉLÉPHONE DE BELL.

A. — Applications télégraphiques	56
Emploi domestique.....	56
Emploi dans l'industrie et le commerce.....	57
Service d'incendie.....	58
Service des administrations télégraphiques.....	59
Emploi dans les armées.....	61
— dans la marine.....	65
Applications diverses.....	66
B. — Applications industrielles.....	66
Surveillance de la ventilation dans les mines.....	66
C. — Applications scientifiques.....	67
Emploi du téléphone comme galvanoscope.....	67

CHAPITRE IV.

AVERTISSEURS.

Sonneries électriques.....	72
Avertisseur musical ou Chanteur.....	74
Autres systèmes avertisseurs à pile.....	75
Avertisseurs magnéto-électriques.....	76
Avertisseur à diapason.....	77
— de Lorenz.....	77
Appel magnéto-électrique à arrachement.....	79

CHAPITRE V.

DIVERSES FORMES DU TÉLÉPHONE DE BELL.

Téléphones à grande distance.....	28
-----------------------------------	----

TABLE DES MATIÈRES.

175

Téléphones à boîte de métal.....	84
— montre.....	84
Téléphones à membranes multiples de Trouvé.....	85

CHAPITRE VI.

DISCUSSION DES DIVERS ORGANES DU TÉLÉPHONE
DE BELL.

Aimant.....	87
Formes et dimensions.....	87
Intensité.....	89
Aimants composés.....	90
Suppression de l'aimant.....	91
Membrane.....	91
Dimensions.....	91
Fonction.....	92
Action de la chaleur.....	95
Forme elliptique.....	96
Vibrations propres et vibrations forcées de la membrane	96
Bobine.....	98
Forme.....	98
Résistance du fil.....	98
Embouchure.....	99
Effets de résonance.....	100
Boîte ou fourreau.....	101
Tuyaux conducteurs du son.....	102

CHAPITRE VII.

TÉLÉPHONES DIVERS.

Préambule.....	103
Expériences de Pétrina.....	103
Téléphone de Reis.....	104
Travaux de Varley.....	105
Transmetteur.....	107
Autres transmetteurs.....	108
Récepteur ou cymaphen.....	108
Récepteur à condensateur.....	111
— à anche.....	112
Autres récepteurs acoustiques.....	112
Relai téléphonique.....	113
Récepteur optique.....	113
Autres récepteurs optiques.....	113
Transmission simultanée.....	114
Transformation des effets vibratoires.....	115
Travaux des électriciens américains.....	117

Transmetteur musical.....	118
Appareils téléphoniques de Gray.....	118
Expériences de La Cour.....	120
Travaux d'Edison.....	122
Récepteur électro-chimique.....	122
Transmetteur à charbon.....	123
Expériences de M. Pollard.....	125
— de M. Salet.....	125
Emploi de la bobine d'induction.....	126
Différence de phase.....	127
Modifications de M. Navez au transmetteur.....	127
Expériences de M. Weyher.....	128
Microphone de Hughes.....	129
Expériences de Louis J. Crossley.....	132
Relais à pression.....	132
Comparaison du microphone et du téléphone à charbon.....	134
Micro-tasimètre ou thermoscope d'Edison.....	136
Récepteur téléphonique de Blyth.....	137
Téléphones à résistance variable à liquides.....	138
Transmetteur de Bell.....	138
— de Salet.....	139
Nouvelle disposition de Salet.....	140
Téléphone de M. Antoine Bréguet.....	141
Observations générales sur les téléphones.....	145
Classification des différents systèmes téléphoniques.....	145
Intensité du son reproduit.....	146

TROISIÈME PARTIE.

PHONOGRAPHES.

Introduction.....	148
Phonautographe de Scott.....	150
Expériences de M. Kœnig.....	151
Logographe de M. Barlow.....	152
Expériences du D ^r Rosapelly.....	155
Phonographe parlant d'Edison.....	156
Expériences de M. Alfred Mayer.....	162
Lecture des tracés.....	167
Observations diverses.....	168
Expériences de Cornu et Mercadier.....	168
Photographies des flammes de Kœnig.....	171

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE
J. BAUDRY, ÉDITEUR-LIBRAIRE

A PARIS, rue des Saints-Pères, 15. — A LIÈGE, rue Lambert-Lebègue, 19.

CATALOGUE

PAR ORDRE ALPHABÉTIQUE DES NOMS D'AUTEUR

- ADAMI-RICHELMY. *Autrefois*. Récit intime. 2 vol. in-12. 6 fr.
- ADAMS. *Décorations intérieures et meubles des époques Louis XIII et Louis XIV*.
 1 vol. in-folio, 100 pl. 100 fr.
- Agenda Oppermann, à l'usage des *ingénieurs, architectes*, etc. Portefeuille, avec plats dorés, fermoir caoutchouc et poche.
- Rehure en percaline. 3 fr.
 Rehure de luxe. 5 fr.
- Album de l'exposition rétrospective des Beaux-Arts de Tours en 1873. 1 vol. in-folio contenant 61 pl. 100 fr.
- Album de l'ornementation pratique. 2 vol. in-4 de 110 photographies. 150 fr.
- ALCAN. *Traité complet de la filature du coton*. 1 gros vol. in-8 et 1 atlas grand in-4 de 38 pl. doubles. 35 fr.
- *Études sur les arts textiles à l'Exposition universelle de 1867*. 1 vol. in-8 et 1 atlas in-4 de 23 pl. doubles. 30 fr.
- *Traité du travail de la laine cardée*. 2 vol. in-8 et atlas in-4 de 40 pl. doubles. 50 fr.
- *Traité du travail des laines peignées*. 1 gros vol. in-8 et 1 atlas in-4 de 58 pl. doubles. 40 fr.
- Annales (nouvelles) de la construction. 12 livraisons par an formant un beau volume de 50 à 60 pl. et 200 pages de texte grand format à 2 colonnes.
 Paris, 15 fr. — Départements, 18 fr. — Europe, 20 fr.
- Annales du Conservatoire des arts et métiers. Les Annales du Conservatoire paraissent en fascicules de 160 à 200 pages in-8 avec gravures. Quatre fascicules forment un volume.
- Prix de l'abonnement par volume :*
- Pour la France et la Belgique. 20 fr.
 Pour l'Étranger. 24 fr.
- Annuaire des charbonnages et de toutes les industries minérales de la France et de l'étranger, 1^{re} année, 1876, 1 vol. in-12 avec cartes. 5 fr.
- ARMENGAUD aîné. *Publication industrielle des machines, outils et appareils les plus perfectionnés et les plus récents, employés dans les différentes branches de l'industrie française et étrangère*. 48 pl. et 1 vol. de texte de 580 à 600 pages par an.
 Prix pour Paris. 40 fr.
 — pour les départements. 45 fr.
- Le tome XXIV est en cours d'exécution.
 Il nous reste encore quelques collections des tomes XVIII à XXIII, au prix de 40 fr. le volume.
- *Formulaire de l'Ingénieur*. 1 vol. in-12. 4 fr.
- *L'Ouvrier mécanicien*. 1 vol. in-12 avec pl. 4 fr.
- Association parisienne des propriétaires d'appareils à vapeur. Exercice 1875.
- Premier bulletin. 1 br. in-8 avec 1 planche. 2 fr.
 Deuxième bulletin. 1 br. in-8. 1 fr. 25

- AUBINEAU. **Traité complet et pratique de la construction des escaliers en charpente et en pierre.** Atlas in-folio de 30 pl. et 1 vol. de texte in-8. 12 fr.
- AUGÉ. **Routes et étapes.** 1 vol. grand in-8 avec 15 eaux-fortes. 20 fr.
Exemplaires numérotés sur papier de Hollande. 40 fr.
- AURÈS. **Étude des dimensions du Grand Temple de Pæstum.** 1 vol. in-4 et 1 atlas grand in-folio de 7 pl. doubles. 25 fr.
- **Concordance des vases apollinaires et de l'Itinéraire de Bordeaux à Jérusalem.** 1 vol. in-8. 3 fr.
- BADOIS. **Étude sur les moyens mécaniques employés au canal de Suez.** 1 brochure in-8, pl. 2 fr. 50
- BALDUS. **Palais du Louvre et des Tuileries.**
1^{re} partie, décoration intérieure, 100 pl. in-folio. 150 fr.
2^e — — — extérieure, 100 pl. in-folio. 150 fr.
3^e — — — intérieure et extérieure, 100 pl. in-folio. 150 fr.
- **Recueil d'ornements.** 100 pl. in-folio imprimées sur papier de Hollande, précédées d'une notice. 400 fr.
- **Œuvre de A. Ducerceau.**
On vend séparément.
Les Petites Arabesques. 62 pl. in-4. 62 fr.
Les Grandes Arabesques. 35 pl. in-folio. 35 fr.
Les Cheminées. 20 pl. in-folio. 20 fr.
Les Meubles. 52 pl. in-folio. 52 fr.
- **Les Monuments principaux de la France.** 60 pl. en héliogravure et publiées en 3 livraisons de 20 pl. 240 fr.
- BALTARD. **Villa Médicis et Académie de France à Rome.** 19 pl. et 30 feuilles de texte grand in-folio. 45 fr.
On vend séparément les 19 pl. 25 fr.
- BARBA. **Étude sur l'emploi de l'acier dans les constructions.** 1 vol. grand in-8, avec 80 figures. 5 fr.
- BARLET. **Traité complet des opérations commerciales et de la tenue des livres.** 2 vol. in-8. 8 fr.
- **Tenue des livres appliquée à la comptabilité des mines de houille, des hauts fourneaux et des usines à fer.** 1 vol. in-8. 7 fr. 50
- BARQUI. **L'Architecture moderne en France.** 1 vol. in-folio comprenant 120 pl. et texte. 100 fr.
- BARRAULT et BRIDEL. **Le Palais de l'industrie et ses annexes.** 30 pl. grand in-folio avec texte in-folio. 30 fr.
- BATISSIER. **Histoire de l'art monumental dans l'antiquité et au moyen âge.** 1 vol. grand in-8. 20 fr.
- BÈDE. **Résumé du cours de physique.** 1 vol. in-8 avec pl. 6 fr.
- BELANGER. **Traité de la Dynamique d'un point matériel.** 1 vol. in-8. 4 fr.
- BEYNAC. **Traité d'arithmétique.** 1 vol. in-8. 6 fr.
- **Programme détaillé des connaissances mathématiques, physiques et naturelles exigées pour le baccalauréat des sciences et l'admission aux écoles navale, militaire et forestière.** 1 vol. in-8. 3 fr. 75.

BIBLIOTHÈQUE DES ENFANTS.

- | | |
|---------------------------|--------------------------------------|
| Le Petit Chaperon rouge. | Le Valeureux Petit Tailleur. |
| Le Petit Poucet. | Petit Frère et Petite Sœur. |
| Le Chat botté. | Le Lièvre et le Hérisson. |
| Cendrillon. | Blancheneige. |
| La Belle au bois dormant. | Jean et Marguerite. |
| Les Trois Frères. | Les Sept Chevreaux. — L'Œil de Dieu. |

Douze volumes à 1 franc, contenant chacun 6 gravures magnifiquement imprimées en couleur et un texte imprimé en gros caractères.

- Les Animaux domestiques.** 1 vol. à 1 fr. 25, contenant 8 gravures magnifiquement imprimées en couleur et un texte imprimé en gros caractères.
- Les Animaux sauvages.** Un vol. à 1 fr. 75, contenant 12 gravures magnifiquement imprimées en couleur et un texte imprimé en gros caractères.
- BIOT. De la propriété des mines et de ses rapports avec la propriété superficielle.** 1 vol. in-8. 6 fr.
- BLANC. Les Artistes de mon temps.** 1 vol. in-8 raisin avec gravures dans le texte. 15 fr.
- BLANDOT. Maisons et Écoles communales de la Belgique.** 1 vol. in-folio comprenant 120 pl. et texte. 60 fr.
- BODENHORST. Le Siège de Strasbourg en 1870.** 1 vol. in-8, avec pl., cartes et tableaux. 5 fr.
- **Les Opérations de l'artillerie allemande dans les batailles livrées aux environs de Metz :**
- La Bataille de Borny. 1 vol. in-8, avec cartes. 3 fr. 50
- La Bataille de Vionville. 1 vol. in-8, avec cartes. 4 fr.
- La Bataille de Gravelotte. 1 vol. in-8, avec cartes. 7 fr.
- La Bataille de Noisseville. 1 vol. in-8, avec cartes. 6 fr.
- L'ouvrage complet. 17 fr.
- BORIE. Aérodomes.** 2^e édition. 1 vol. in-4 avec 2 pl. 2 fr.
- BOSC. Dictionnaire raisonné d'architecture et des sciences et arts qui s'y rattachent.** 4 vol. grand in-8, 4,000 gravures. 120 fr.
- **Traité des constructions rurales.** 1 vol. grand in-8, avec figures dans le texte. 30 fr.
- BOSC. Traité complet de la tourbe.** 1 vol. in-8 avec 26 fig. dans le texte. 4 fr.
- BOSSUET. Traité de perspective linéaire.** 2 vol. in-8 et 1 atlas in-folio de 57 pl., cartonné. 36 fr.
- BOUSSARD. Études sur l'art funéraire moderne.** 1 vol. grand in-folio contenant 200 pl. 120 fr.
- **Recueil des Tombeaux les plus remarquables.** 1 vol. in-4 contenant 52 pl. gravées. 50 fr.
- BRIART et WEILER. Du transport mécanique de la houille.** 1 vol. in-8, avec pl. 15 fr.
- BRUÈRE. Traité de consolidation des talus, routes, canaux et chemins de fer.** 1 vol. in-18 Jésus et 1 atlas de 25 pl. in-4. 10 fr.
- BRULL. Comparaison des propriétés résistantes du fer et de l'acier.** Brochure in-8. 2 fr.
- BRUN. Traité pratique des opérations sur le terrain.** 2^e édition. 1 vol. in-8 avec 24 pl. 5 fr.
- BRUNFAULT. De l'exploitation des soufres en Italie et dans le Midi de la France.** 1 vol. grand in-8, avec figures et cartes. 15 fr.
- **Étude sur les voies de transport en France.** 1 vol. grand in-8. 15 fr.
- BUDAN. La Guadeloupe pittoresque.** 4 vol. grand in-folio cart. 50 fr.
- Bulletin du musée de l'industrie de Belgique.** Prix de l'abonnement annuel pour la France. 16 fr.
- BURAT. Géologie de la France.** 1 vol. grand in-8 avec fig. 16 fr.
- **Minéralogie appliquée.** 1 vol. in-8 avec 224 figures. 10 fr.
- **Cours d'exploitation des mines** 1 vol. grand in-8 et 1 atlas in-folio de 130 pl. 80 fr.
- **Le Matériel des houillères.** 1 vol. grand in-8 et 1 atlas de 77 pl. in-folio. 60 fr.
- **Supplément au matériel des houillères.** 1 vol. grand in-8 et 1 atlas de 40 pl. in-folio. 30 fr.
- **Les Houillères de la France en 1866.** 1 vol. grand in-8 et 1 atlas in-4 de 25 pl. dont plusieurs doubles et triples. 20 fr.
- **Les Houillères en 1867.** 1 vol. grand in-8 et 1 atlas de 25 pl. dont plusieurs doubles et triples. 20 fr.

Classe 186

- Les Houillères en 1868. 1 vol. grand in-8 et 1 atlas in-4 de 25 pl. dont plusieurs doubles et triples. 20 fr.
- Les Houillères en 1869. 1 vol. grand in-8 et 1 atlas in-4 de 12 pl. dont plusieurs doubles et triples. 15 fr.
- Les Houillères en 1872. 1 vol. grand in-8 et 1 atlas in-4 de 10 pl. doubles. 15 fr.
- Situation de l'industrie houillère en 1859. 1 vol. in-8. 5 fr.
- Situation de l'industrie houillère en 1860, 1861, 1862, 1863, 1864. Chaque volume. 2 fr. 50
- Applications de la géologie à l'agriculture. 1 vol. in-16. 1 fr. 50
- BURY. Traité de la législation des mines. 2 vol. in-8. 18 fr.
- CAHEN. Métallurgie du plomb en Belgique. 1 vol. in-8, 230 pages, 10 pl. et tableaux. 5 fr.
- CAHIER. Nouveaux mélanges d'archéologie, d'histoire et de littérature. 3 vol. in-4. 120 fr.
- CAILLAUX. Tableau général et description des mines métalliques et des combustibles minéraux de la France. 1 vol. in-8. 15 fr.
- Résumé historique des législations minières anciennes et modernes. 1 br. grand in-8. 2 fr.
- CALLON. Album du Cours de constructions de machines, professé à l'École centrale. 115 pl. in-folio. 30 fr.
1^{re} partie. Matériel agricole, 15 fr. — 2^e partie. Hydraulique, 25 fr.
- CARPEY. Tableaux décoratifs, plafonds, panneaux, allégories, groupes, attributs. 21 photographies in-folio. 35 fr.
- CASALONGA. Éléments proportionnels de construction mécanique. 64 planches in-4. 25 fr.
- CASTERMANS. Parallèle des maisons de Bruxelles. 2 beaux vol. contenant 240 pl. in-folio. 160 fr.
- CAVALLI. Tableaux comparatifs des mesures, poids et monnaies modernes et anciennes. 1 vol. grand in-8. 5 fr.
- CERNESSON. Grammaire élémentaire du dessin. Première partie. Dessin linéaire. 20 fr.
- CHABAT. Dictionnaire des termes employés dans la construction. 2 vol. grand in-8, avec 3,000 fig. 70 fr.
- Complément du Dictionnaire. 1 vol. in-8 contenant 800 figures. 20 fr.
- CHALLETON DE BRUGHAT. Des Armes à feu se chargeant par la culasse. 1 vol. in-8 Jésus. 2 fr. 50
- CHAMPION. La Dynamite et la Nitroglycérine. 1 vol. in-18 Jésus avec de nombreuses gravures sur bois. 4 fr.
- CHAMPOLLION-FIGEAC. Le Palais de Fontainebleau. 1 très-beau vol. de texte in-folio de l'Imprimerie nationale et 1 atlas de 32 pl. 150 fr.
- CHANTRE. Age du bronze. 3 vol. in-4 cartonnés avec cartes, figures et 1 atlas de 79 pl. in-folio. 200 fr.
- CHATEAU. Histoire de l'architecture en France. 1 vol. in-18 avec fig. 7 fr. 50
- CHAUVAC DE LA PLACE. Nouvelles tables pour le tracé des courbes de raccordement en arc de cercle.
Broché. 5 fr.
Cartonné. 6 fr.
- CHEVALLIER. De la propriété des mines. 1 vol. in-8. 4 fr.
- CHIALDI. Les Ports-Chenaux et Port-Saïd. 1 vol. in-8 avec fig. et 2 pl. 6 fr.
- CLERMONT-GANNEAU. La Stèle de Dhiban ou Stèle de Mesa. 1 br. in-4. 5 fr.
- CLEUZIQU. De la poterie gauloise. Un beau vol. grand in-8, orné de plus de 200 gravures sur bois. 12 fr.
- CLUYSENAAR. Bâtiments de stations. In-4 avec 33 pl. en couleur, cart. 30 fr.

- COCHERIS. Dictionnaire des anciens noms des communes du département de Seine-et-Oise. 1 vol. in-8. 3 fr.
- COCKERIL (Portefeuille de John). Description des machines. 3 forts vol. grand in-4 et atlas in-folio, 300 pl. 300 fr.
- COLINET. Restes de l'art national en Belgique et en Hollande. 1 vol. in-4, contenant 70 pl. 40 fr.
- Constructionen und Entwürfe aus dem gebiete des Maschinenbaues. 42 pl. grand in-folio oblong. 20 fr.
- Conventions techniques de l'union des administrations des chemins de fer allemands. 1 vol. in-8. 3 fr. 50
- CORNET. Considérations sur la production et l'emploi de l'air comprimé dans les travaux d'exploitation des mines. In-8, avec pl. 2 fr.
- COSTA DE BASTELICA. Les Torrents. 1 vol. in-8, fig. et pl. 7 fr. 50
- COTELLE. Législation française des chemins de fer et de la télégraphie électrique. 2 vol. in-8. 46 fr.
- COURTIN. La Chaleur et ses applications aux machines à air chaud. 1 vol. in-8, avec fig. 5 fr.
- La Résistance des matériaux. 1 vol. in-8, avec figures. 5 fr.
- Croquis d'architecture. (Intime Club). 73 pl. in-folio par an. Paris, 18 fr. — Départements. 20 fr.
- Prix de chacun des dix volumes publiés : en feuilles. 25 fr.
- CZYSKOWSKI. Coup d'œil général sur la nature et le gisement des minerais de fer en Algérie. In-8 avec 4 pl. 5 fr.
- DALY. L'architecture privée au XIX^e siècle. 1^{re} série. 3 vol. in-folio. 240 fr.
- 2^e série. 3 vol. in-folio. 240 fr.
- DAMOURETTE. Matériel des industries du cuir. 1 vol. in-8. 5 fr.
- DAUBOURG. L'Architecture intérieure. 1 vol. in-folio, 40 pl. 50 fr.
- DAVIOUD. Les Théâtres du Châtelet. 1 vol. in-folio. 64 pl. 125 fr.
- DAXHELET. Cours de chimie inorganique. 2 vol. in-8, 10 pl. 16 fr.
- DECLoux et DOURY. Collection des plus belles compositions de Lepautre. 1 vol. de 100 pl. in-folio relié. 60 fr.
- DE COENE. Les Chemins de fer en Angleterre. 1 vol. in-8 avec pl. 4 fr.
- DEGHILAGE et J. MORANDIÈRE. Les Locomotives à l'Exposition de Vienne en 1873. 2 vol. in-folio, 12 pl. 30 fr.
- DE LA GOURNERIE. Mémoire sur l'appareil de l'arche biaise. 1 vol. in-8. 2 fr.
- DELAUNAY. Étude sur la compagnie des Charentes. In-8. 1 fr.
- DELSAUX. Résumé de physique mathématique.
- 1^{er} résumé : Éléments de la théorie mathématique de la capillarité. 1 vol. in-8 avec fig. 2 fr.
- 2^e résumé : Éléments d'optique géométrique. 1 vol. in-8 avec fig. 4 fr.
- 3^e résumé : Éléments d'optique physique. In-8 avec fig. 7 fr. 50
- DENY. Études expérimentales sur l'effet utile dans le martelage. In-8, 3 pl. 4 fr.
- Étude sur les machines soufflantes. In-8, 6 pl. 6 fr.
- DEPREZ. Étude sur l'influence de la distribution sur le rendement économique des machines à vapeur. In-8. 1 fr. 50
- DEROISIN. Manuel des protestations électorales. In-32. 30 c.
- DES BIARS. De l'emploi du fer dans les constructions. In-8. 3 fr.
- DESJARDINS. Tableau de la guerre des Allemands dans le département de Seine-et-Oise, 1870-1871. 1 vol. in-8 avec une carte. 3 fr.
- DEVILLEZ. Éléments de constructions civiles. 1 vol. in-8, 214 fig. 12 fr.
- Ventilation des mines. 1 vol. in-8, 12 pl. 12 fr.

Classe 1870

- Dianémomètre** ou appareil à mesurer les distributions de vapeur. Prix du dianémomètre et de sa brochure. 15 fr.
- Dictionnaire technologique français-allemand-anglais.** 3 vol. in-8. 37 fr. 50
Chaque volume séparément. 12 fr. 50
- DORÉ. L'Enfer de Dante.** In-folio cartonné. 400 fr.
— **Le Purgatoire et le Paradis.** In-folio cartonné. 100 fr.
- DUGUING et BRUNFAUT. Assainissement de Paris. Des eaux d'égout et des vidanges.** 1 grand in-4 avec une carte et une planche. 3 fr.
- DUMONT. Carte géologique de l'Europe.** 4 feuilles grand-aigle tirées en couleur à l'imprimerie nationale.
Prix en feuilles. 65 fr.
Collée sur toile et en étui. 75 fr.
Sur toile, montée sur rouleaux et vernie. 80 fr.
— **Sa vie et ses travaux.** 1 vol. in-8. 4 fr.
— **Paris port de mer.** Br. in-8. 1 fr.
- DUPASQUIER. Monographie de Notre-Dame de Brou.** 1 vol. grand in-folio, 30 pl. 150 fr.
- DUPINEY DE VOREPIERRE. Dictionnaire français illustré et encyclopédie universelle.** 2 vol. grand in-4. — Broché, 85 fr. — Relié 100 fr.
- DUPLESSIS. Traité du levé des plans et de l'arpentage.** 1 vol. in-8 avec 105 fig. dans le texte. 4 fr.
— **Traité du nivellement.** 1 vol. in-8, 112 fig. 8 fr.
- DUPONT-AUBERVILLE. L'Ornement des tissus.** 1 vol. in-folio, 100 pl. en couleur. 150 fr.
- DUROY DE BRUIGNAC. Recherches sur la navigation aérienne.** In-8. 2 fr.
- DUSSIEUX. Lettres intimes de Henri IV.** 1 vol. in-8. 7 fr. 50
— **Les Artistes français à l'étranger.** 1 vol. in-8. 12 fr.
- DUTILLEUX. Topographie ecclésiastique du département de Seine-et-Oise.** 1 vol. in-8. 3 fr.
- DUVILLERS. Les Parcs et Jardins.** 1 vol. in-folio de 40 pl.
En noir, 100 fr. — En couleur, 130 fr.
- DWELSHAUVERS. Manuel de mécanique appliquée. Cinématique.** 1 vol. in-8, 12 pl. 5 fr.
— **Programme des Cours de mécanique appliquée et de physique industrielle professés à l'École des mines de Liège.** 1 vol. in-8, avec 39 pl. 8 fr.
- L'Émulation.** Publication mensuelle de la Société centrale d'architecture de Belgique, 50 pl. in-folio par an. 33 fr.
- ERMEL. Album des éléments et organes de machines.** 102 pl. 13 fr.
- EVARD. Les moyens de transport appliqués dans les mines, les usines et les travaux publics.** 2 vol. in-8 et 1 atlas de 125 pl. in-folio. 100 fr.
— **L'Extraction et le Roulage à l'Exposition de 1867.** 1^{re} partie. Les machines d'extraction. 1 vol. in-8 avec 7 pl. 4 fr.
2^e partie. Les installations du jour. 1 vol. in-8 avec 7 pl. 4 fr.
- FARCOT. Servo-moteur ou moteur asservi.** 1 vol. in-8, 37 pl. 4 fr.
- FAYN. André Dumont.** 1 vol. in-8. 4 fr.
- FÉTIS. Traité théorique des procédés métallurgiques de grillage.** In-8 avec pl. 12 fr.
- FICHET. Études sur la combustion.** Grand in-8 avec 1 pl. 3 fr.
- FLACHAT. De la Traversée des Alpes.** In-8 avec 4 pl. 5 fr.
— **Navigation à vapeur transocéanique. Études scientifiques.** 2 vol. in-8 et 1 atlas de 50 pl. 24 fr.
- FLANDIN. L'Orient.** 4 vol. in-folio de 50 pl. Chaque volume. 100 fr.

- FONTAINE. Description des machines les plus remarquables et les plus nouvelles de l'Exposition de Vienne en 1873. 1 vol. grand in-8 et 1 atlas de 60 pl. in-folio. 35 fr.
- L'Éclairage à l'électricité. 1 vol. in-8 avec gravures dans le texte. 6 fr.
- L'Industrie aux États-Unis. 1 vol. grand in-4, avec 16 pl., cartonné. 15 fr.
- et BUQUET. Revue industrielle. (Voyez *Revue*.)
- FOREST. Recueil pratique de moments d'inertie. Résistance de tabliers métalliques. 1 vol. in-8. 4 fr.
- FOUGEADOIRE. Chiffres de tous styles. 1 album grand in-4 oblong, 100 pl. 85 fr.
- Chiffres Renaissance. 1 album in-4, 38 pl. 20 fr.
- Chiffres Louis XV. 1 album in-4, 38 pl. 20 fr.
- Chiffres modernes. 1 album in-4, 51 pl. 26 fr.
- Chiffres à l'italienne. 1 album in-4, 18 pl. 20 fr.
- Album spécimen de Chiffres de tous les styles, couronnes et armoiries. 6 fr.
- FRIEDMANN. Nouvelles dispositions pour la construction des halles, marchés et entrepôts. 1 atlas in-folio, 28 pl. et texte. 45 fr.
- Rapport officiel sur la marine et les travaux maritimes à l'Exposition universelle de Vienne de 1873. 1 vol. in-8, 109 fig. et 18 pl. 12 fr.
- GADRIOT. L'Ouvrier menuisier. 1 atlas de 90 pl. grand in-folio et 1 vol. in-8 de texte. 37 fr.
- GAILHABAUD. Les Monuments anciens et modernes. 4 vol. in 4, 400 pl. 300 fr.
- GALOPIN. Guide manuel du tailleur. 1 vol. in-8. 10 fr.
- GAND. Cours de tissage. 3 vol. grand in-8, avec pl., fig. dans le texte. Chaque vol. 20 fr.
- et SÉE. Traité complet de la coupe longitudinale des velours. 1 vol. in-8. 12 fr.
- Le Transpositeur. 1 vol. in-8. 3 fr.
- Stratagème de tissage. Br. in-8. 1 fr.
- GAVAND. Chemin de fer métropolitain de Constantinople. 1 vol. in-folio avec 23 pl. doubles. 70 fr.
- GEYMULLER (baron Henri de). Les Projets primitifs pour la basilique de Saint-Pierre de Rome. 1 atlas de 50 pl. in-folio et 1 vol. de texte grand in-4. 100 fr.
- GILLON. Cours de métallurgie générale. 1 vol. grand in-8 avec atlas de 12 pl. 8 fr. Voir aussi LESOINNE et A. GILLON. Cours de métallurgie.
- GLAISE. Album du peintre en bâtiments. 1 vol. in-4, 30 pl. 50 fr.
- GLEPIN. De l'établissement des puits de mines dans les terrains éboulés et aquifères. 1 vol. in-8 et 1 atlas de 16 pl. in-4. 25 fr.
- GLOESENER. Traité général des applications de l'électricité. Tome I^{er}, 1 vol. in-8, avec 18 pl. 15 fr.
- Glossaire des termes techniques d'architecture gothique. 1 vol. in-12. 2 fr.
- GONIN. Manuel pratique de construction. 1 vol. in-8 avec 182 fig. et 1 atlas in-4 de 38 pl. 18 fr.
- GOSCHLER. Traité pratique de l'entretien et de l'exploitation des chemins de fer. 4 vol. in-8 avec grav. dans le texte et 1 atlas de 35 pl. Nouvelle édition. En vente les tomes I et II avec l'atlas. Service de la voie. 32 fr.
- Les tomes III et IV sont sous presse.
- Les Chemins de fer nécessaires. 1 vol. in-8 avec 7 pl. 7 fr.
- GRAND'EURY. Flore carbonifère du département de la Loire et du centre de la France. 2 vol. in-4 et 1 atlas de 34 pl. 30 fr.
- GRATEAU. Mémoire sur la fabrication de l'acier fondu. In-8, avec pl. 2 fr. 50
- L'École des mines de Paris. Br. in-8. 1 fr.
- GRASSE. Travaux en fer forgé. 1 album in-4 oblong cartonné, de 70 pl. 20 fr.

Donnée

- GUERANGER (Dom). *Sainte Cécile et la Société romaine aux deux premiers siècles.* 1 vol. in-4, avec gravures. Broché, 30 fr.
Relié, 40 fr.
- GUETTIER. *De l'Organisation de l'enseignement industriel.* In-8. 4 fr.
— *Histoire des Ecoles d'arts et métiers.* 1 vol. in-8. 6 fr.
- GUICHARD. *Les Tapisseries décoratives du Garde-Meuble (Mobilier national).* 100 pl. in-folio, gravées en couleur ou en noir, et accompagnées de texte. 150 fr.
— *Les Tissus anciens.* 50 planches in-4. 75 fr.
— *Revue illustrée des Industries d'art contemporaines.* 24 numéros par an, contenant chacun 15 à 20 gravures. 8 fr.
- GUILMARD. *La Menuiserie parisienne.* 1 vol. in-4, 30 planches. 15 fr.
— *Le Menuisier moderne.* 1 vol. in-4, 24 planches. 15 fr.
— *La Décoration au XIX^e siècle.* 1 vol. in-folio, 48 planches. 60 fr.
— *Histoire de l'ornement et des arts qui s'y rattachent.* 1 vol. in-4, 42 planches et texte. 25 fr.
- HABETS. *Institutions ouvrières spéciales aux mines et à la métallurgie.* 1 vol. in-8, avec 8 planches. 3 fr.
- HARANT. *Théorie des aubes courbes et de leurs effets.* 1 vol. in-8 avec pl. 5 fr.
- HART. *Die Werkzeugmaschinen für den Maschinenbau.* 72 planches in-folio et 4 vol. de texte in-8. 60 fr.
- HAVREZ. *Principes de chimie unitaire.* In-8. 3 fr.
- HEDLEY (John). *Traité pratique de l'exploitation des mines de houille.* 1 vol. in-8, 16 planches. 8 fr.
- HENRARD. *Marie de Médicis dans les Pays-Bas.* 1 vol. in-8. 10 fr.
- HERLAND. *Précis du cours de chimie usuelle.* 1 vol. in-12. 7 fr.
- HERPIN. *Dictionnaire astronomique.* 1 vol. in-8 avec figures et planches. 12 fr.
- HOFFSTADT. *Principes du style gothique.* 1 vol. in-8 et 1 atlas in-folio de 40 planches. 30 fr.
- HOUTAIN. *Essai sur l'industrie et le commerce belges, français et étrangers.* 1 vol. in-8. 6 fr.
- HUIN. *Théorie et Description des régulateurs isochrones.* In-8. 3 fr.
- Intime Club.* Voir *Croquis d'architecture.*
- JACOB. *Le Teinturier universel.* 4 vol. in-4. 20 fr.
Chaque volume séparément. 6 fr.
- JACQUES. *Etude sur la houille du bassin de Liège. 1^{re} partie : Houille grasse.* 1 vol. in-8. 5 fr.
- JACQUET. *Barème du poids des métaux.* 1 vol. in-8. 3 fr. 50
- JOLY. *Traité pratique du chauffage, de la ventilation et de la distribution des eaux dans les habitations particulières.* 1 vol. grand in-8, avec 375 figures. 10 fr.
- JORDAN. *Cours de métallurgie.* 1 vol. in-8 et 1 atlas in-folio de 140 pl. 80 fr.
— *Etat actuel de la métallurgie du fer.* In-8 avec planches. 5 fr.
— *Notes sur la fabrication de l'acier Bessemer aux Etats-Unis.* 1 brochure in-8, planches. 4 fr. 50
- JUBÉ. *Exercices de géométrie analytique.* In-8 avec 42 planches. 4 fr.
- JULLIEN. *Traité théorique et pratique de la métallurgie du fer.* 1 vol. in-4 avec atlas de 52 planches. 36 fr.
— *Annexes au traité de la métallurgie du fer. 7^e mémoire in-4.* 3 fr.
— *Traité théorique et pratique de la construction des machines à vapeur.* 1 vol. in-4 et atlas de 48 planches. 35 fr.
- KRAFFT. *Roue hydraulique à aubes courbes.* In-4 avec 3 planches. 3 fr. 50
- LABARTE. *Histoire des Arts industriels au moyen âge et à l'époque de la Renaissance.* 3 vol. in-4. 300 fr.

- LACROIX. Les Arts au moyen âge et à l'époque de la Renaissance. 1 vol. in-4.
 Broché. 30 fr.
 Relié. 40 fr.
- Les Sciences et les Lettres au moyen âge et à l'époque de la Renaissance.
 1 vol. in-4. Broché. 30 fr.
 Relié. 40 fr.
- Mœurs, usages et costumes au moyen âge et à l'époque de la Renaissance.
 1 vol. in-4. Broché. 30 fr.
 Relié. 40 fr.
- Vie militaire et religieuse au moyen âge et à l'époque de la Renaissance.
 1 vol. in-4. Broché. 30 fr.
 Relié. 40 fr.
- Dix-huitième siècle. Institutions, usages et costumes. 1 vol. in-4, illustré.
 Broché. 30 fr.
 Relié. 40 fr.
- LA GOURNERIE (J. de). Mémoire sur l'appareil de l'arche biaise. In-8. 2 fr.
- LAHURE. Direction des armées. Note sur le service des états-majors. 2 vol.
 in-8. 15 fr.
- LAMPUÉ. Concours d'architecture.
 1^{re} série. 1 vol. in-folio de 45 photographies. 70 fr.
 2^e série. 1 vol. in-folio de 40 photographies. 70 fr.
 3^e série. 1 vol. in-folio de 42 photographies. 70 fr.
 4^e série. 1 vol. in-folio de 42 photographies. 70 fr.
- (EN PRÉPARATION) : Les grands prix de Rome, architecture, de 1823 à 1865.
- Fragments d'architecture antique et de la Renaissance.
 1^{re} série. 1 vol. in-folio de 44 photographies. 70 fr.
 2^e série. 1 vol. in-folio de 42 photographies. 70 fr.
- Renaissance française. 1 vol. in-folio de 42 photographies. 70 fr.
- Renaissance italienne. 1 vol. in-folio de 42 photographies. 70 fr.
- Le Palais de justice de Paris. 20 très-grandes photographies d'après nature. 80 fr.
- LANCE. Dictionnaire des architectes français. 2 vol. in-8. 25 fr.
- Excursion en Italie. 1 vol. grand in-8 avec 15 eaux-fortes. 20 fr.
- LANGLOIS et TERMONIA. Traité élémentaire de topographie. 1 vol. in-8 et
 1 atlas de 16 planches. 8 fr.
- LANCK. Traité de la construction moderne. 2 vol. in-4, planches. 75 fr.
- LARMIGNY. Comptabilité anglaise. 1 vol. grand in-8. 7 fr. 50
- LARTIGUE. Note sur les électro-sémaphores pour le bloc-system. 1 brochure
 in-8 avec 1 planche. 1 fr. 50
- LATOURE et GASSEND. Travaux hydrauliques maritimes. 1 vol. in-4 et 1 atlas
 in-folio de 55 planches en couleur. 100 fr.
- LAUREYS. Cours classique d'architecture. 1 atlas de 70 planches in-folio et
 1 vol. in-8. 30 fr.
- LEBÈGUE. Traité des réparations (lois du bâtiment). 1 vol. in-8. 5 fr.
- LEGER. Les Travaux publics, les Mines et la Métallurgie aux temps des Romains,
 et la tradition romaine jusqu'à nos jours. 1 vol. et 1 atlas grand in-8. 30 fr.
- LEGRAND. Les Ponts de Billancourt. 1 vol. in-4 avec planches. 10 fr.
- Recueil sommaire des ponts projetés et exécutés pour le service vicinal. 1 vol.
 in-folio. 15 fr.
- LEJEUNE. Traité pratique de la coupe des pierres. 1 vol. de texte in-8 de 600 pages
 et 1 atlas in-4 de 59 planches contenant 381 figures. 40 fr.
- LEPAUTRE. Collection de ses plus belles compositions. 100 pl. in-folio, relié. 60 fr.
- LEPREUX. Un Album d'architecte. 1 vol. in-8. 25 fr.
- LE ROY. Voir Glossaire des termes techniques d'architecture gothique.
- LESOINNE et GILLON. Cours de métallurgie générale. 1 vol. et 1 atlas in-8. 12 fr.
 Voir GILLON. Cours de métallurgie.

Classe 1862

- LETELLIER. Les Chemins de fer projetés dans Paris. 1 vol. in-8 avec atlas in-4. 12 fr.
- LIENARD. Spécimen de la décoration et de l'ornementation au XIX^e siècle. 1 vol. in-folio de 125 planches. 125 fr.
- Motifs inédits. 125 planches in-folio. 125 fr.
- LIGER. Fosses d'aisances, latrines, urinoirs et vidanges. 1 vol. grand in-8 avec 31 figures et 16 planches. 20 fr.
- La Ferronnerie ancienne et moderne. T. I, contenant 16 pl. et 289 fig. 25 fr.
- Dictionnaire historique et pratique de la voirie, de la police municipale, de la construction et de la contiguïté. Parties publiées :
- Jambes étrières et autres points d'appui dans les bâtiments. Brochure in-8 avec figures. 2 fr.
- Cours et Courettes. 1 vol. in-8 avec figures. 3 fr.
- Pans de bois et pans de fer. 1 vol. in-8 avec figures. 5 fr.
- Assemblage de planchers en fer, de pans de fer et de pans de fonte. 1 brochure in-8 avec figures. 2 fr.
- Pans de fer et planchers. Systèmes d'assemblages. 1 brochure grand in-8. 3 fr.
- LITTRÉ. Dictionnaire de la langue française. 4 vol. grand in-4, brochés, 100 fr.
Reliés, 130 fr.
- LOYAU. Album de charpentes en bois. Atlas in-4 de 120 planches. 25 fr.
- LUTZOW et TISCHLER. Architecture moderne de Vienne. T. I : 1 vol. in-folio, 96 planches. 125 fr.
- Magasin des arts et de l'industrie. 8 vol. in-4. 120 fr.
- MAGNE. Monographie du théâtre du Vaudeville. 1 vol. in-folio de 30 pl. 60 fr.
- MAINCENT. L'Art du tourneur. 1 vol. in-4 avec 30 planches. 20 fr.
- MALHERBE. De l'Assainissement des villes. 1 vol. in-8 avec 5 planches. 4 fr.
- Du Grisou. 1 vol. in-8. 4 fr.
- De la Cartographie minière. 1 vol. in-8 avec 3 planches. 7 fr.
- MALTE-BRUN. Géographie universelle revue par Lavallée. 6 vol. in-8. 72 fr.
- MARECHAL. Notice sur l'emploi de l'air comprimé. In-8 avec 12 planches. 8 fr.
- MARIETTE. Traité pratique et raisonné de la construction en Egypte. T. I : Matériaux de construction. Constructions civiles. 1 vol. in-8. 10 fr.
- MARLIN. Examen comparatif de la fabrication des produits chimiques. 1 vol. in-8, planches. 4 fr.
- MARY. Cours de routes et ponts. 1 vol. in-4 avec atlas de 68 pl. in-folio. 45 fr.
- MASSE. Du Traitement industriel des plantes filamenteuses. 1 vol. in-8 avec échantillons de matières. 1 fr. 75
- MASSELIN. Nouvelle Jurisprudence et Traité pratique sur les murs mitoyens. 1 vol. grand in-8. 10 fr.
- Premier supplément de 48 pages. 2 fr.
- Album explicatif de cet ouvrage, contenant 29 planches et 68 figures. 4 fr.
- Nouvelle Jurisprudence et Traité pratique sur la responsabilité des architectes, ingénieurs, experts, arbitres et entrepreneurs. 1 vol. grand in-8. 10 fr.
- MASTAING (L. de). Cours de mécanique appliquée à la résistance des matériaux. 1 vol. grand in-8 avec figures. 15 fr.
- MAYNARD. La Sainte Vierge. 1 vol. in-4. Broché, 30 fr.
Relié, 40 fr.
- Mémorial de l'Association des anciens élèves de l'Ecole normale (1846-1876). 1 vol. in-8. 7 fr. 50
- MENARD. Entretiens sur la peinture. 1 vol. grand in-4 avec 50 eaux-fortes. 75 fr.
- MENETRIER. Eléments de géométrie descriptive. 2^e édition. 2 vol. in-8, texte et atlas. 12 fr.
- Modèles de bois. 50 planches en couleur. 90 fr.

Modèles de marbres. 50 planches en couleur.	90 fr.
Modèles de lettres. 30 planches en couleur.	50 fr.
Modèles d'attributs. 40 planches en couleur et 20 planches noires.	50 fr.
MOERMAN. Traité des constructions civiles. 1 vol. in-12.	4 fr.
--- Géodésie théorique et pratique. 1 vol. in-12.	4 fr. 50
--- La Ramie. 1 vol. grand in-8.	2 fr.
--- 1 planche, avec explications.	1 fr.
MOINOT. Levés de plans à la Stadia. 1 vol. in-8.	6 fr.
MOLINOS. La Navigation intérieure de la France. 1 vol. grand in-8.	5 fr.
MOLLIÈRE. Manuel du tricot et de sa fabrication à la main ou au métier. 1 vol. in-8.	5 fr.
MONNIER. Aide-mémoire pour le calcul des conduites de distribution du gaz d'éclairage et de chauffage. 1 vol. in-4.	10 fr.
MORIN. Appareils de chauffage et de ventilation. Ce mémoire a paru dans le n° 21 des <i>Annales du Conservatoire des arts et métiers</i> . Prix du numéro.	5 fr.
--- Note sur les moyens à employer pour rafraîchir l'air dans les édifices publics ou privés. Ce mémoire a paru dans le n° 22 des <i>Annales du Conservatoire des arts et métiers</i> . Prix du numéro.	5 fr.
--- Note sur les cheminées ventilatrices. Ce mémoire a paru dans le n° 23 des <i>Annales du Conservatoire des arts et métiers</i> . Prix du numéro.	5 fr.
--- Note sur les appareils de chauffage. Ce mémoire a paru dans le n° 24 des <i>Annales du Conservatoire des arts et métiers</i> . Prix du numéro.	5 fr.
--- Des Appareils à employer pour le contrôle des services de ventilation. Ce mémoire a paru dans le n° 26 des <i>Annales du Conservatoire des arts et métiers</i> . Prix du numéro.	5 fr.
Motifs de décoration extérieure et intérieure. 120 planches grand in-4 jésus.	80 fr.
MULLER. La Flore pittoresque. 1 vol. grand in-folio, 25 planches.	60 fr.
NADAULT DE BUFFON. Des Usines et autres établissements sur les cours d'eau. 2 vol. in-8.	18 fr.
NIAUDET-BREGUET. Machines magnéto-électriques Gramme. In-8.	2 fr.
--- Traité élémentaire de la pile électrique. 1 vol. in-8.	6 fr.
NICOLE. De l'emploi des briques ordinaires. 1 vol. in-4, 30 planches.	30 fr.
NICOUR. Calcul d'un comble en fer du système Polonceau. Broch. avec fig.	1 fr. 50
Nouvelles maisons de campagne avec plans. Paris et ses environs. 100 planches imprimées en couleur.	125 fr.
--- Supplément, 24 planches.	30 fr.
NOYER. Tables de législation. 1 vol. in-8.	6 fr. 50
OGIER. Notice sur la fabrication et l'emploi du caoutchouc vulcanisé. In-8.	2 fr.
OPPERMANN. (Voir <i>Annales de la Construction</i> .)	
--- (Voir <i>Portefeuille des machines</i> .)	
--- Visite d'un ingénieur à l'Exposition universelle de 1867. 1 gros vol. grand in-8 et un atlas de 30 planches doubles.	18 fr.
--- Trois cents projets et propositions utiles. 1 vol. grand in-8.	10 fr.
ORDINAIRE DE LACOLONGE. Recherches historiques et expérimentales sur le moteur à pression d'eau F.-E. Perret. Ce mémoire a paru dans le n° 24 des <i>Annales du Conservatoire des arts et métiers</i> . Prix du numéro.	5 fr.
--- Mémoire sur les étuves à farines. 1 vol. grand in-8 avec planche.	3 fr. 50
OWEN JONES. Grammaire de l'ornement. 1 vol. in-folio de 112 pl., relié.	200 fr.
PAIN. Code de police municipale et départementale de Seine-et-Oise. 1 vol. in-12.	5 fr.
PAQUE. Arithmétique. 1 vol. in-8.	4 fr. 50
Paris à travers les âges. 1 vol. in-folio paraissant en 12 livraisons.	300 fr.
PAULET. Traité de la conservation des bois. 1 vol. grand in-8.	9 fr.

Dernière page

- PAYEN. Fabrication du papier. Succédanés des chiffons. Cellulose extraite en grand des fibres ligneuses. Ce mémoire a paru dans le n° 27 des *Annales du Conservatoire des arts et métiers*. Prix du numéro. 5 fr.
- PELASSY DE L'OUSLE. Histoire du palais de Compiègne. 1 vol. grand in-4 avec 77 gravures. 120 fr.
- PÉRARD. *Traité du chauffage et de la conduite des machines à vapeur*. 1 vol. grand in-8 avec 15 planches. 40 fr.
- PERCY. *Traité complet de métallurgie*. 5 vol. grand in-8 avec de nombreuses gravures. 75 fr.
Chaque volume se vend séparément. 18 fr.
- PETITGAND et RONNA. *Traité complet de métallurgie*. (Voir PERCY.)
- PETROW. *Tableau de la littérature russe*. 1 vol. in-8. 6 fr.
- PENOR. *Monographie du palais de Fontainebleau*. 2 vol. gr. in-folio, 150 pl. 180 fr.
- *Le Mobilier de la couronne et des grandes collections publiques et particulières du XIII^e siècle au XIX^e siècle*. 1 vol. grand in-4 40 planches et 10 feuilles grand aigle de dessins de grandeur d'exécution. 60 fr.
- *Ornementation usuelle de toutes les époques dans les arts industriels et en architecture*. 2 vol. in-8, 144 planches. 35 fr.
- *Monographie du château d'Anet*. 1 vol. in-folio, 60 planches. 150 fr.
- *Motifs d'ornements pour roses, rosaces, médaillons, fonds et panneaux circulaires*. 50 planches in-4. 36 fr.
- PHILLIPS. *Cours d'hydraulique et d'hydrostatique, professé à l'Ecole centrale*. 1 vol. grand in-8 avec figures. 15 fr.
- PIERRE. *Histoire des assemblées politiques en France du 5 mai 1789 au 8 mars 1876*. 2 vol., t. 1^{er} (1789-1831). 7 fr. 50
T. II (*sous presse*).
- PLACE. *Ninive et l'Assyrie*. 3 vol. grand in-folio colombier dont 2 vol. de texte et 1 magnifique atlas de planches, 14 de ces planches sont imprimées en couleur. 850 fr.
- PLATTNER. *Traité théorique des procédés métallurgiques de grillage*. 1 vol. in-8 et 6 pl. in-4. 12 fr.
- POILLON. *Guide théorique et pratique de chaudières et de machines à vapeur*. 1 vol. grand in-8 avec planches. 20 fr.
- PONSON. *Traité de l'exploitation des mines de houille*. 4 gros vol. in-8 et 1 atlas de 80 planches, 2^e édition. 72 fr.
- *Supplément au traité de l'exploitation des mines de houille*. 2 gros vol. in-8 et 1 atlas de 68 planches in-folio. 60 fr.
- Portefeuille de John Cockerill. (Voir COCKERILL.)
- Portefeuille économique des machines, de l'outillage et du matériel, dirigé par C.-A. Oppermann. 12 livraisons par an formant un beau volume de 50 à 60 planches et 200 pages de texte grand format à 2 colonnes.
Paris, 15 francs. — Départements, 18 francs. — Europe, 20 francs.
- POULOT et FONTAINE. *Machines à fabriquer les rivets*. 1 brochure grand in-8 avec figures. 2 fr.
- PRIGNOT. *L'Architecture, l'Ameublement, la Décoration*. 1 vol. in-folio, 60 photographies. 150 fr.
- PRIGNOT, LIÉNARD et COIGNET. *L'Ameublement moderne*. 1 vol. in-folio de 60 planches et 12 grandes feuilles de détails d'exécution. 60 fr.
- PRUD'HOMME. *Cours pratique de construction*. 2 vol. in-8, 330 figures. Rare.
- PUGIN. *Types d'architecture gothique*. 3 vol. grand in-4, ensemble 283 pages et 210 planches. 120 fr.
- *Antiquités architecturales de la Normandie*. 1 vol. grand in-4 avec 80 pl. 40 fr.
- *Motifs et détails choisis d'architecture gothique*. 2 vol. in-4 avec 120 pl. 80 fr.
- *Modèles d'ameublement*. 1 vol. grand in-4 de 24 planches. 8 fr.
- *Modèles de ferronnerie*. 1 vol. grand in-4 de 27 planches. 8 fr.
- *Modèles d'orfèvrerie*. 1 vol. grand in-4 de 27 planches. 8 fr.
- *Glossaires des termes techniques d'architecture*. (Voir *Glossaire*.)

- QUÉTIER. Collection des plus beaux types d'architecture. 1 vol. grand in-folio, 20 photographies. 100 fr.
- RACINET. Le Costume et ses accessoires. 500 planches dont 300 en couleur, paraissant en 20 livraisons de 25 planches chacune. Prix de la livraison. 12 fr.
Edition sur grand papier, chaque livraison. 25 fr.
- L'Ornement polychrome. 1 vol. in-folio de 100 planches, avec texte. 150 fr.
- RAGUENET. Matériaux et documents d'architecture et de sculpture. Abonnement courant. 12 fr.
Les cinq années parues. 75 fr.
- RAMBERT. L'Art dans l'industrie. 1 vol. in-4 de 50 planches. 30 fr.
- RAMÉE. L'Architecture et la Construction pratique. 1 vol. petit in-8, 541 figures sur bois. 6 fr.
- Dictionnaire général des termes d'architecture. 1 vol. in-8. 8 fr.
- RAYET et THOMAS. Milet et le golfe Latmique. Cet ouvrage comprendra : 1 vol. in-folio de 70 planches dont plusieurs en couleur et 3 cartes topographiques en couleur ; 1 vol. in-4 de texte historique, descriptif et archéologique ; 1 vol. in-4 d'inscriptions avec commentaires. Il sera publié en 4 ou 5 livraisons. Prix de l'ouvrage complet. 200 fr.
- REDTENBACHER. Principes de la construction des organes des machines. 1 vol. grand in-8 et atlas de 45 planches. 20 fr.
- Résultats scientifiques et pratiques destinés à la construction des machines. 1 beau vol. grand in-8 avec 41 planches et de nombreux tableaux. 15 fr.
- RENARD. Traité théorique et pratique des manipulations chimiques. 1 vol. in-8 avec 51 planches. 10 fr.
- Album d'archéologie. 1 vol. in-4 contenant 87 planches. 30 fr.
- Répertoire général de politique et d'histoire contemporaines. Douze fascicules par an, formant ensemble 2 forts vol. grand in-4. Prix par an. 40 fr.
Le premier volume (juillet à décembre 1875). 15 fr.
- RÉVEIL. Musée de peinture et de sculpture. 10 vol. in-18.
Reliés en toile et montés sur onglets. 130 fr..
Reliés en demi-maroquin, tête dorée. 150 fr.
- Revue illustrée des industries d'art contemporaines. 24 numéros par an, contenant chacun 15 à 20 grav. 8 fr.
- Revue industrielle. Chronique de l'industrie, journal hebdomadaire illustré. Paris, 25 fr. — Départements, 30 fr.
- ROHAULT DE FLEURY. Les Monuments de Pise au moyen âge. 1 vol. in-8 illustré de fig., et 1 atlas in-folio de 66 pl. 60 fr.
- RONDELET. Traité théorique et pratique de l'art de bâtir. 5 vol. grand in-4 de texte, avec atlas in-folio contenant 210 pl. 125 fr.
- Supplément au traité théorique et pratique de l'art de bâtir. 2 vol. in-4 de texte avec atlas in-folio de 100 pl. 60 fr.
- RONGÉ. De la Fabrication de la tôle en Belgique. In-8 avec 3 pl. 5 fr.
- RONNA. État actuel de la métallurgie du plomb en Angleterre. 1 vol. in-8 avec 8 pl. 5 fr.
- ROUBO. L'Art de la menuiserie. Nouvelle édition. 1 vol. in-8 et 1 atlas de 112 pl. in-4. 30 fr.
- ROUSSEL. Histoire et description du château d'Anet. 1 vol. in-4 contenant 53 pl. 70 fr.
- ROUYER. L'Art architectural. 2 magnifiques vol. grand in-4, contenant 200 pl. et texte. 200 fr.
- Les Appartements privés de l'Impératrice aux Tuileries. 1 vol. in-folio contenant 20 pl. imprimées sur papier de Chine. Prix en carton. 50 fr.
Il a été tiré quelques exemplaires sur plus grand papier. Prix en carton. 60 fr.
- SAGERET. Du Progrès maritime. 1 vol. grand in-8 de 400 pages avec notes et tableaux. 8 fr.

- SALVETAT. Cours de technologie chimique. 1^{re} partie. Céramique, 24 pl. 2^e partie. Couleurs, blanchiment, teinture et impression, 26 pl. 3^e partie. Métallurgie (métaux autres que le fer), 20 pl. 25 fr.
- SCHIEPP. Die Haupttheile der Locomotiv-Dampfmaschinen. 1 vol. in-8 et 1 atlas de 16 pl. in-folio. 12 fr.
- SCHINZ. Documents concernant le haut-fourneau. 1 vol. grand in-8 avec pl. 6 fr. 50
- SCHMOLL. Traité pratique des brevets d'invention. 1 vol. in-8. 7 fr. 50
- SCHOY. L'Art architectural, décoratif, industriel et somptuaire de l'époque de Louis XVI. 2 vol. 175 fr.
- Le scrutin de liste et le scrutin d'arrondissement en 1849 et 1869. 1 br. grand in-8. 1 fr. 25
- SEBILLOTTE. Construction des bassins de Radoub de Marseille :
- Atlas du matériel et des travaux. 1 vol. grand in-folio contenant 40 planches doubles. 100 fr.
- Notice sur l'exécution des travaux. 1 vol. in-4 avec 97 fig. intercalées dans le texte et 1 pl. 20 fr.
- SELLA. Conditions de l'industrie des mines dans l'île de Sardaigne. 1 vol. in-8. 6 fr.
- SERGENT. Traité pratique et complet de tous les mesurages, métrages, jaugages de tous les corps. 2 gros vol. grand in-8 et 1 atlas in-folio de 47 pl. gravées sur acier. 50 fr.
- SIMON. Les Sociétés coopératives en Angleterre. 1 br. in-8. 4 fr.
- SIMONIN. La Richesse minérale en France. In-8. 2 fr. 50
- SONNET. Dictionnaire des mathématiques appliquées. 1 vol. grand in-8. 30 fr.
- SPÉE. Exploitation des chemins de fer américains par traction mécanique. 1 vol. in-8 avec 5 pl. 4 fr.
- SPINEUX. De la distribution de la vapeur dans les machines. 1 vol. grand in-8 et 1 atlas grand in-8 de 26 pl. doubles. 15 fr.
- STAAFF. La Littérature française. 6 vol. grand in-8, 3520 pages, 4^e édition. 25 fr.
- STATZ. Recueil d'Églises et de constructions religieuses dans le style gothique. 72 pl. très-grand in-folio avec texte. 75 fr.
- Détails gothiques. 180 pl. 132 fr.
- L'ouvrage se vend aussi en parties, comme suit :
- I. Autels, tables en pierre, partie supérieure en bois. 26 pl. 25 fr.
- II. Autels en pierre. 20 — 18 fr.
- III. Monuments en pierre. 31 — 25 fr.
- IV. Travaux de menuiserie. 18 — 13 fr.
- V. Sculpture en bois. 14 — 9 fr.
- VI. Orfèvrerie, dinanderie, serrurerie. 38 — 30 fr.
- VII. Modèles pour vitraux. 18 — 12 fr.
- VIII. Peinture murale. 15 — 12 fr.
- STEENS. Tables des moments d'inertie et des moments de rupture des poutrelles en fer du profil double T. 1 vol. in-8. 4 fr.
- TALLON et MAURICE. Législation sur le travail des enfants dans les manufactures. 1 vol. in-8 de 600 pages. 8 fr.
- TAPHANEL. Le Théâtre de Saint-Cyr (1689-1792). 1 vol. in-8. 7 fr. 50
- TEORT et PETIT. Le compteur métrique. Nouveau livre de comptes faits. 1 vol. in-12 cartonné. 4 fr.
- THOMAS. Du Dynamomètre indicateur de Watt, et de la manière de s'en servir pour juger la marche et le rendement des machines à vapeur. Manuel pratique. 1 vol. in-8 avec fig. 3 fr. 50
- THUM. Sur le laminage du zinc. 1 br. in-8. 4 fr. 50
- TOURNIER. Études pratiques sur l'industrie des marbres en France. 1 vol. in-8. 3 fr.

TRAVAIL DES ENFANTS DANS LES MANUFACTURES ET ATELIERS.

- Manuel pratique** pour l'application de la loi du 19 mai 1874, publié sous l'approbation de la commission supérieure. 1 vol. in-18. Prix. 1 fr.
- Législation** sur le travail des enfants dans les manufactures. 1 vol. in-8 de 600 pages. Prix. 8 fr.
- Livret.** Un exemplaire, 25 cent. — 25 ex., 5 fr. 50. — 100 ex., 20 fr.
- Registre.** 25 noms : un ex., 25 cent. — 25 ex., 5 fr. 50. — 100 ex., 20 fr.
75 noms : un ex., 50 cent. — 25 ex., 11 fr. — 100 ex., 40 fr.
175 noms : un ex., 1 fr. — 25 ex., 22 fr. — 100 ex., 80 fr.
- Affiche n° 1**, visant l'article 2 de la loi, relatif à l'emploi des enfants de dix à douze ans dans certaines industries.
1 exemplaire, 15 cent. — 25 ex., 3 fr. 50. — 100 ex., 12 fr.
- Affiche n° 2**, visant les articles 4, 5, 6 de la loi, relatifs à l'emploi des enfants dans les papeteries, sucreries, verreries, usines métallurgiques, etc.
1 exemplaire, 15 cent. — 25 ex., 3 fr. 50. — 100 ex., 12 fr.
- Affiche n° 3**, visant l'article 7 de la loi, relatif à la durée du travail des enfants dans les galeries souterraines.
1 exemplaire, 15 cent. — 25 ex., 3 fr. 50. — 100 ex., 12 fr.
- Affiche n° 4**, visant l'article 12 de la loi, qui interdit l'emploi des enfants au-dessous de seize ans dans certaines industries.
1 exemplaire, 15 cent. — 25 ex., 3 fr. 50. — 100 ex., 12 fr.
- Affiche n° 5.** Règlement d'administration publique relatif à l'article 13 de la loi et comprenant :
Le tableau A : liste des établissements dans lesquels l'emploi des enfants est interdit. — Raisons de cette interdiction.
Le tableau B : liste des établissements dans lesquels l'emploi des enfants est autorisé et conditions de cet emploi.
1 exemplaire, 25 cent. — 25 ex., 5 fr. 50. — 100 ex., 20 fr.
- Affiche n° 6.** Loi du 19 mai 1874.
1 exemplaire, 25 cent. — 25 ex., 5 fr. 50. — 100 ex., 20 fr.
- TRESCA.** Mémoire sur l'écoulement des corps solides. Ce mémoire a paru dans le numéro 21 des *Annales du Conservatoire des Arts et métiers*. Prix du numéro. 5 fr.
- Procès-verbal des expériences faites sur les **Machines de traction**, de M. Lotz aîné, de Nantes. Ce mémoire a paru dans le numéro 27 des *Annales du Conservatoire des arts et métiers*. Prix du numéro. 5 fr.
- et Ch. LABOULAYE. **Recherches expérimentales sur l'équivalent mécanique de la chaleur.** Ce mémoire a paru dans le numéro 23 des *Annales du Conservatoire des arts et métiers*. Prix du numéro. 5 fr.
- TRONQUOIS.** Bâtiments pittoresques. 20 pl. in-plano. 20 fr.
- UMÉ.** L'Art décoratif. 120 pl. in-folio. 60 fr.
- V...** Les machines d'épuisement à rotation. In-8 avec pl. 2 fr.
- VASSELON.** Carnet du conducteur des travaux. 1 vol. élégamment cart. 6 fr. 75
- VERCHÈRE.** Recueil des sièges anciens et modernes. 1 vol. in-4, contenant 96 pl. 40 fr.
- VEUILLOT.** Jésus-Christ. 1 vol. grand in-8. Broché, 30 fr. — Relié. 40 fr.
- VIDAL.** Législation des machines à vapeur. 1 vol. in-18. 1 fr. 50
- VIDARD.** Chemins de fer. 1 vol. in-8 contenant 2 grandes pl. et 4 figures dans le texte. 4 fr.
- VIERSET-GODIN.** Église de Notre-Dame, à Huy. Grand in-folio de 20 pl., la plupart en couleur, avec texte. 25 fr.

Classe 1874

- VINET. **Bibliographie méthodique et raisonnée des Beaux-Arts.** 1 vol. grand in-8, de 600 pages à deux colonnes, publié en 4 livraisons. Prix de l'ouvrage complet pour les souscripteurs. 20 fr.
- VIOULET-LE-DUC. **Habitations modernes.** 1 vol. in-folio de 200 pl. 220 fr.
- **Carte du massif du mont Blanc dressée à 1/40 000.**
 Prix : En feuilles. 20 fr.
 Collée sur toile et en étui. 28 fr.
 Collée sur toile, montée sur rouleaux et vernie. 30 fr.
- **Le Massif du mont Blanc.** 1 beau vol. in-8 avec fig. et pl. 10 fr.
- VOGUÉ (le comte Melchior de). **Le Temple de Jérusalem.** 1 vol. in-folio avec grav. sur bois et 40 pl. dont 15 en couleur. 100 fr.
- **L'Architecture civile et religieuse du I^{er} au VII^e siècle dans la Syrie centrale.** 2 vol. grand in-4, contenant 150 pl. gravées. 150 fr.
- **Inscriptions sémitiques de la Syrie centrale.** 1 vol. grand in-4 Jésus, avec 38 pl. 60 fr.
- **Mélanges d'archéologie orientale.** 1 vol. in-8 avec figures sur bois intercalées dans le texte et 42 pl. 15 fr.
- **La Stèle de Dhiban ou Stèle de Mésa.** 1 br. in-4 avec 2 pl. 5 fr.
- **La Stèle de Yehawmelek, roi de Gébal.** Br. in-4 avec bois et 1 pl. 3 fr. 50
- La Voûte verte de Dresde.** 100 pl. en héliogravure. 250 fr.
- VRIGNONNEAU. **Série des prix du règlement applicables aux travaux et aux fournitures de l'ameublement.** 5^e édition. 1 vol. in-4. 6 fr.
- WALLON. **Jeanne d'Arc.** 1 vol. in-4.
 Broché. 30 fr.
 Relié. 40 fr.
- WINCKLER. **Guide de l'Architecte et de l'ingénieur à Vienne.** 1 vol. in-8, avec figures, le plan de la ville, le plan de l'Exposition et une carte géologique. 9 fr.
- WITH **Les Machines.** 2 beaux vol. in-8 cavalier avec 450 fig. dans le texte. 16 fr.
- **Les Inventeurs et leurs inventions.** 1 vol. in-12. 4 fr.
- WOJCIECHOWSKI. **Nouvelle méthode pour le calcul exact des aires de déblai et remblai.** 1 vol. in-12 avec pl. 1 fr. 50
- WURTZ. **Dictionnaire de chimie pure et appliquée.** 5 vol. grand in-8. Le cinquième volume est sous presse. Prix des quatre volumes parus. 73 fr. 50
- YVERT. **Notices sur les ponts avec poutres tubulaires en tôle.** In-8 et atlas grand in-folio de 20 pl. et 4 tableaux. 45 fr.

Jan 19c

1893

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE DE J. BAUDRY, ÉDITEUR

Paris, 15, rue des Saints-Pères

Même maison à Liège

- A. NIAUDET. — **Traité élémentaire de la pile électrique.**
Un volume in-8, avec de nombreuses gravures dans le
texte. 6 fr.
- A. NIAUDET. — **Notice sur les expériences à faire
avec les machines Gramme de laboratoire** (sous
presse). 2 fr.
- FONTAINE. — **L'Éclairage à l'électricité.** Renseignements
pratiques. Un volume in-8, avec de nombreuses gravures
dans le texte. 6 fr.
- **L'Industrie aux États-Unis.** Renseignements pra-
tiques sur les ponts métalliques, la métallurgie, les ma-
chines-outils, les distributions d'eau, le matériel des
chemins de fer, et sur diverses industries américaines. Un
volume grand in-4, avec 16 planches doubles et de nom-
breuses gravures dans le texte. Cartonné 15 fr.
- **Description des machines les plus remarquables et
les plus nouvelles de l'Exposition de Vienne en 1873.**
Moteurs, Machines-outils, Locomotives, Appareils divers;
précédée d'une notice sur les progrès récents de la métal-
lurgie. Un volume grand in-8 et un atlas de 60 planches
in-folio. 35 fr.
- Annales (nouvelles) de la construction,** dirigées par C.-A.
OPPERMANN. 12 livraisons par an, formant un beau volume
de 50 à 60 planches et 200 pages de texte grand format
à 2 colonnes. Paris, 15 fr. — Départements, 18 fr. —
Europe, 20 fr.
- Portefeuille économique des machines, de l'outillage et
du matériel,** dirigé par C.-A. OPPERMANN. Douze livrai-
sons par an, formant un beau volume de 50 à 60 plan-
ches et 200 pages de texte grand format à 2 colonnes.
Paris, 15 fr. — Départements, 18 fr. — Europe, 20 fr.
- Agenda Oppermann pour 1878,** à l'usage des ingénieurs,
architectes, agents-voyers, conducteurs de travaux, méca-
niciens, industriels et entrepreneurs. Un beau portefeuille,
avec plats dorés, fermoir caoutchouc et poche.
Reliure en percaline. 3 fr.
Reliure de luxe. 5 fr.
- (25 centimes d'affranchissement en plus pour les départements.)
- Revue industrielle.** Chronique de l'industrie, journal heb-
domadaire illustré, publié par H. Fontaine et A. Buquet.
Par an. Paris 25 fr.
— Départements 30 fr.

