
P. BRENOT

Directeur à la COMPAGNIE GÉNÉRALE DE T. S. F.
ET A LA
SOCIÉTÉ FRANÇAISE RADIO-ELECTRIQUE

Conférences faites aux employés et ouvriers DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE RADIO-ELECTRIQUE

AVANT-PROPOS

En dehors des salaires, des profits que nous procure le travail journalier, des besoins auxquels il nous permet ainsi de satisfaire, nous lui devons les joies réelles que tout travailleur ressent dans l'accomplissement d'un effort qui est toujours créateur, même si le résultat, en apparence modeste, n'est qu'une infime partie d'un ensemble compliqué.

Quand nous visitons autrefois les magnifiques Salons de l'Automobile et du Cycle, combien y rencontrions-nous d'ouvriers fiers de la beauté des voitures dont ils n'avaient pourtant usiné parfois qu'une modeste pièce détachée.

Le résultat de la création d'ensemble à laquelle ils avaient participé leur apparaissait nettement, et c'est avec raison qu'ils étaient contents de sentir rejaillir sur eux une partie de l'admiration du public.

Dans nos industries, l'œuvre est plus mystérieuse. Le radiotélégramme qui passe ne se manifeste pas comme la belle voiture, et il y a plus loin du travailleur à l'exploitant.

Certes, beaucoup d'entre vous ont appris ce qu'était la radio-électricité, et, si difficile qu'en soit la technique, se font une idée des phénomènes qu'elle utilise.

D'autres n'en ont pas eu le temps, ou n'ont pas trouvé dans les livres ou les conférences des explications faciles qui auraient pu satisfaire leur naturelle curiosité.

A certains, les difficultés de la vie n'ont pas permis d'acquiescer le minimum d'instruction nécessaire pour comprendre des explications qui les ont vite rebutés.

Et ceux-là doivent se contenter de participer à la construction d'appareils dont les principes même leur échappent.

C'est à eux que je veux m'adresser, non dans des conférences

ardues et répétées, mais dans quelques causeries très simples, ne faisant appel à aucune connaissance technique. Mon but n'est pas d'expliquer la nature même des choses : les savants eux-mêmes ne la connaissent pas et leurs hypothèses doivent souvent évoluer à la suite de nouvelles découvertes. Et puis, nous restons tous finalement esclaves de nos sens, de notre raison, dont le mécanisme, certainement très médiocre et probablement trompeur, n'est en tout cas pas à l'échelle de l'univers immense où nous vivons.

Mais je voudrais aider ceux qui auront bien voulu m'écouter à se rendre compte, et leur permettre de se dire ensuite : « ça pourrait se passer comme ça ».

Je suis sûr que leur travail journalier les intéressera davantage, et je serai très heureux si j'ai pu ainsi contribuer à en alléger le poids.

Je voudrais aussi leur montrer quel rôle ont joué et jouent dans le monde, dans le développement de la radio, les sociétés avec lesquelles ils coopèrent. Ils comprendront mieux ainsi la grandeur de l'œuvre à laquelle ils ont participé, à laquelle ils participent, et qui leur donnera, je l'espère, non seulement la sécurité du lendemain, mais un avenir meilleur.

Le programme de ces quelques conférences comportera ainsi les sujets ci-après :

- La Radioélectricité.*
- Son histoire.*
- Ses applications les plus récentes (radiotéléphonie, télévision, etc.).*
- L'histoire et le rôle de la Société Française Radio-Electrique et de ses Compagnies associées.*

Matière - Electricité - Radioélectricité

Ce que nous appelons matière, c'est-à-dire ce qui constitue les corps solides, tels que la pierre, le fer, le bois, par exemple, aussi bien que les liquides, comme l'eau, ou les gaz comme l'oxygène, l'acide carbonique, n'est simple et homogène qu'en apparence.

Si nous disposions de microscopes, d'instruments grossissants assez puissants, nous constaterions que les matières les plus compactes, aussi bien que les moins denses, sont constituées de particules qui ne sont pas si enchevêtrées que nous en jugeons par nos sens très grossiers.

C'est ainsi qu'un grain de poussière comporte des milliers de milliards d'éléments infiniment petits.

L'oxygène de l'air : il faudrait mettre 3 millions de molécules de ce gaz à la file pour faire un millimètre. Vingt milliards ne pèsent qu'un milliardième de milligramme.

Et, entre ces minuscules éléments, il y a des distances qui sont souvent très grandes relativement aux dimensions infimes des particules.

Placez une bille au bord de la Seine, une autre au fond de l'usine S.F.R., et des milliers de milliards de billes ainsi disséminées avec les mêmes intervalles tout autour... voilà à peu près les proportions entre les atomes des gaz de l'air et leurs éloignements.

Mais ce n'est pas tout; ces particules sont en agitation perpétuelle intense, s'entrechoquent des milliards de fois par seconde, se déplacent dans l'enceinte qui les renferme à des vitesses dépassant celle d'une balle de fusil.

Les molécules d'oxygène sont séparées les unes des autres par des distances de l'ordre de 1/10.000 de millimètre, soit 10.000 fois plus grandes que leur diamètre, et se heurtent les unes les autres plus de 5 milliards de fois par seconde!

Et c'est cela que nous respirons et croyons un gaz bien tranquille.

Ce sont les chocs des particules rebondissant contre les parois qui produisent la pression des gaz. Si, par aspiration, on fait le vide dans un récipient en y laissant peu de gaz, la pression baisse; les parois reçoivent moins de chocs, car il y a moins de particules dans le récipient et elles sont plus espacées les unes des autres.

Quand nous comprimons le gaz, c'est l'effet inverse : les particules sont plus nombreuses, plus serrées, les chocs plus fréquents.

Dans les corps solides, les molécules sont beaucoup plus rapprochées, et forment souvent des groupes enchevêtrés. Mais elles peuvent néanmoins vibrer, s'orienter d'un côté ou de l'autre, et leurs groupes plus ou moins serrés laissent entre eux des intervalles semblables à ceux d'une masse spongieuse, intervalles infiniment petits pour nos sens, mais souvent très grands par rapport aux dimensions des particules.

Allons plus loin. Supposons que nos microscopes soient encore beaucoup plus puissants. Nous verrions que les particules infiniment petites dont nous venons de parler sont elles-mêmes des assemblages très compliqués de particules beaucoup plus petites encore.

Vous savez ce que nous appelons le système solaire : c'est l'ensemble constitué par la Terre et d'autres planètes comme Vénus, Mars, etc..., qui tournent autour du Soleil. Les planètes ont d'ailleurs elles-mêmes des satellites (la Lune, par exemple), tournant autour d'elles. — Le système solaire en entier, enfin, se déplace dans l'espace comme un manège de chevaux de bois qu'on aurait lancé dans le vide du ciel.

Chacune des particules (dont des milliers de milliards constituent par exemple un grain de poussière), est elle-même formée d'un très grand nombre d'ensembles de particules plus petites, tournant les unes autour des autres, comme une infinité de petits systèmes solaires. Et pour nos yeux... il n'y a pourtant qu'un grain de poussière flottant dans un rayon de soleil.

Ce n'est pas possible, direz-vous. La matière s'effriterait, se désagrègerait, n'aurait aucune résistance. Pourrait-elle garder une apparence nette, comme celle d'une bille d'acier, par exemple...

Qu'elle se désagrège ou se transforme d'elle-même parfois (et non sous l'effet d'une action mécanique ou chimique, comme on le fait systématiquement dans les ateliers), cela arrive... lentement d'ailleurs, mais cela arrive, et nous le verrons en parlant du radium et de corps analogues.

En général la matière reste stable, et garde la forme sous laquelle nos yeux l'aperçoivent. C'est que tous les phénomènes dont nous venons de parler se passent à des échelles que nos sens ne peuvent apprécier.

Si nous pouvions regarder notre système solaire d'assez loin, d'une de ces étoiles qui brillent dans le ciel, nous ne le verrions que sous l'aspect d'un seul point brillant, dans lequel se confondraient ainsi de nombreux astres, pourtant séparés par des centaines de milliers de kilomètres. Et ce point ne donnerait pas à nos sens l'idée qu'il comporte des planètes, des satellites, tournant les uns autour des autres à de grandes vitesses.

Enfin, des lois assez mystérieuses encore retiennent associées, en dépit de leur agitation, de leurs chocs, les milliers de particules qui forment une molécule de matière, aussi bien que les milliards de molécules qui constituent un corps, tout comme si des liens élastiques invisibles les réunissaient, en leur laissant néanmoins une grande liberté de mouvement. De même la Lune reste associée à la Terre et par son intermédiaire au Soleil et à l'ensemble du système solaire.

Si on pousse la division à l'extrême, il semble bien que les diverses matières, solides, liquides, gazeuses, soient toutes composées des mêmes particules.

Et, ce qui différencie les matières, fer, bois, pierre, eau, air, etc..., est seulement la manière dont sont groupées ces particules, la manière dont elles s'agitent. Avec les mêmes pierres, le maçon peut ainsi faire toutes sortes de maisons.

Ne voyons-nous pas aussi les mêmes corps nous apparaître sous divers aspects, tout en conservant leurs caractéristiques essentielles : l'eau, la glace, la vapeur d'eau, par exemple.

Il ne faut pas voir dans ces quelques aperçus de simples fantaisies de l'imagination.

La science a pu, sinon isoler ces particules, du moins démontrer leur existence par les phénomènes qu'elles provoquent, souvent même mesurer leurs trajectoires, leurs vitesses, leurs dimensions.

Elle leur a donné des noms, et chaque année voit s'allonger la liste des minuscules éléments que l'on décèle dans la constitution des corps matériels.

Ces éléments sont sans doute eux-mêmes composés d'éléments plus petits. Pourquoi la nature se serait-elle arrêtée à la limite de nos possibilités d'investigations et de raisonnement?

Photons, électrons, neutrons, protons, etc..., etc..., ne sont que les noms de baptême d'organismes mystérieux et compliqués, entraînés dans d'inlassables tourbillons.

La stabilité des éléments matériels, c'est-à-dire la permanence à travers les âges du fer, de la pierre, par exemple, n'est d'ailleurs que relative.

Dans cette agitation perpétuelle des particules constitutives, il y en a qui échappent aux liens qui les enserrant.

Quand ces particules jouent un rôle important dans la nature du corps matériel auquel elles appartiennent, ce corps se transforme de lui-même à la longue.

L'uranium, le radium, par exemple, entrent dans ces catégories. L'agitation de leurs particules est particulièrement grande. Il semble même qu'elle soit désordonnée, comme si dans ces corps régnait une maladie latente, provoquant une espèce de fièvre intense! Et le radium va ainsi mourir de consommation.

Il projette sans cesse autour de lui des milliards de ses éléments constitutifs, comme dans un perpétuel éclatement : un gramme de radium expulse ainsi près de 40 milliards de petits projectiles de diverses catégories par seconde. Il y en a des gros (1) qui sont à la base de la formation d'un gaz qu'on appelle l'hélium, il y en a de plus petits qui sont des « électrons », dont nous reparlerons bientôt, il y en a qui ressemblent aux rayons X.

Et le radium meurt au bout de plusieurs milliers d'années, s'étant métamorphosé en diverses espèces de radium, en helium... et peut-être finalement en plomb... où ses éléments retrouvent un calme relatif.

Le radium lui-même n'est que le fils de l'uranium, par un enfouissement de plusieurs milliards d'années. Vous savez qu'on utilise le bombardement invisible effectué par le radium autour de lui pour tenter de guérir certaines maladies. Les cellules malades sont détruites par les projectiles du radium... souvent aussi les autres, hélas! Il est difficile de soigner scientifiquement une plaie en y logeant une mitailleuse pour tuer les microbes!

Dans d'autres cas, les particules élémentaires qui s'échappent de la matière n'ont qu'un rôle plus secondaire, et la matière tout en les perdant garde ses propriétés essentielles.

Si notre système solaire laissait s'échapper toutes ses planètes, si notre Soleil se disloquait, il n'y aurait plus de système solaire. Il serait remplacé par autre chose, ses morceaux allant peut-être se rattacher à d'autres étoiles et y constituer des systèmes différents. Si au contraire il se contentait de perdre la Lune, ou quelque autre satellite plus petit (il y en a des centaines dont on ne parle jamais), il n'y aurait pas grand-chose de changé en apparence.

C'est ce qui se passe par exemple quand nous faisons passer un courant électrique dans le filament d'une lampe, ou quand nous chauffons un morceau de métal. L'agitation interne des particules constitutives augmente rapidement. Leurs chocs les uns contre les autres deviennent de plus en plus violents, et expulsent au dehors, comme les pierres d'une fronde, celles de ces particules qui ont le plus d'indépendance.

Parmi celles-là, une catégorie nous intéresse plus particulièrement, car nous leur devons au fond toutes nos possibilités d'existence : on les appelle des « photons ».

Si le filament de notre lampe apparaît lumineux : c'est qu'il projette en tous sens autour de lui des milliards et des milliards de photons, et ces photons frappant notre rétine, soit directement, soit après rebondissement sur les corps qui nous entourent, nous donnent l'impression de lumière.

Ce sont leurs chocs aussi qui agissent sur les plaques photographiques.

Et pourtant la nature du filament lumineux ne change sensiblement pas, bien qu'il perde sans trêve d'énormes quantités d'éléments. Il s'use simplement peu à peu. Par contre, le radium qui, comme nous l'avons vu, projette autour de lui des particules jouant dans sa constitution un rôle bien plus important, se transforme en une autre substance.

Les photons se déplacent à une grande vitesse, 300.000 kilomètres par seconde. Nous savons qu'ils sont plus ou moins arrêtés, déviés ou réfléchis par les particules des matières qu'ils rencontrent.

Toutes les fois qu'il y a lumière, il y a donc arrivée de photons... et nous recevons ainsi sans cesse des messages qui nous viennent des mondes les plus lointains, après avoir voyagé parfois des milliards d'années dans les espaces interplanétaires.

La chaleur est due à un phénomène du même genre.

Après le photon, qui nous apporte la lumière, nous allons suivre l'électron et il va nous introduire dans les domaines de l'électricité et de la radioélectricité.

Nous savons déjà que l'électron est le nom d'une des particules qui entrent dans la constitution des molécules de la matière.

Ces molécules sont toutes petites, 3 millions de molécules d'air en file pour faire 1 m.m... L'électron est encore plus petit; au moins 100.000 fois plus petit...

À côté des électrons, qui entrent dans la composition des corps, gravitant dans les molécules un peu comme la Terre autour du Soleil, il y en a qui sont libres, non enrégimentés, et se déplacent plus ou moins facilement dans les interstices des amas moléculaires qui constituent les corps matériels, interstices qui sont relativement grands.

Dans beaucoup de corps, que nous appelons les corps « conducteurs de l'électricité » (métaux, par exemple), ces interstices sont tels, et disposés de telle façon que les électrons libres peuvent y circuler rapidement sans grande gêne, sans chocs trop fréquents, un peu comme des comètes au milieu des étoiles.

Dans les autres corps, les « isolants », leurs mouvements sont presque immédiatement enrayés par les molécules voisines. Ils ne peuvent guère qu'osciller, vibrer, autour de leur position initiale.

Un fil de cuivre, comme ces fils qui servent aux distributions d'éclairage, constitue, dans sa gaine isolante, une espèce de canal où les électrons libres se mettront facilement en mouvement sous l'action d'une cause appropriée.

Quant au moyen d'une machine « électrique », d'une dynamo entraînée par un moteur à essence, ou d'une pile, nous lançons un courant dans un fil, nous ne fabriquons pas d'électricité. Nous mettons seulement en mouvement plus ou moins rapide,

De même, une roue de moulin plongée dans un canal, et mue par un moteur, pousserait l'eau dans ce canal produisant ainsi un courant artificiel... (c'est la rivière des expositions universelles) : phénomène inverse de celui qui vous est le plus familier; car normalement, c'est un courant d'eau qui entraîne la roue du moulin.

À un bout du fil, un moteur à essence, entraînant une dynamo, produit un courant; à l'autre bout, ce courant traversant une autre dynamo la fait tourner comme une roue de moulin, donc comme un moteur; et cette petite combinaison réalise un transport de force électrique, avec dynamo génératrice et moteur électrique.

Si le fil est gros, la circulation..., le courant, y sera facilement intense. Si le fil est très fin, ou d'un métal assez mauvais conducteur, les électrons n'y passeront rapidement, et en grand nombre, qu'avec peine, et, comme des personnes pressées au milieu d'une foule, au prix de chocs violents sur les molécules. Ces chocs échaufferont le fil, en expulseront des photons et le fil deviendra incandescent... ce qui est bien commode pour remplacer les vieilles chandelles.

Le courant électrique aura engendré chaleur et lumière. On a pu, dans les laboratoires, étudier les électrons, déterminer leurs dimensions, leurs propriétés, sans néanmoins les isoler matériellement.

On a donc une idée de ce qu'est l'électricité. On sait, en outre, qu'elle est un des éléments essentiels des molécules de toutes les matières.

Les électrons « libres », c'est-à-dire en suspension dans les intervalles moléculaires, aux côtés de leurs frères, asservis dans les molécules mêmes, jouent dans notre univers un rôle d'une importance primordiale.

Ils nous éclairent. Dans les tramways, les trains électriques, ils nous transportent.

Nous allons voir maintenant comment ils permettent le transport de nos pensées, de nos chants, de nos images, dans les multiples applications de la radioélectricité.

Supposons qu'au lieu d'une machine électrique, provoquant dans un fil l'écoulement continu d'un courant d'électrons, analogue à un courant d'eau, nous disposions d'une espèce de machine électrique à action oscillante comme celle d'un piston allant et venant, et lançant des électrons dans un sens, puis aussitôt après en sens contraire.

De même en agitant la main dans une eau tranquille, nous lancerions les molécules d'eau tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre... et nous verrions se former des ondes, des vagues plus ou moins intenses, représentant les mouvements des molécules, et se propageant en tout sens. Si nous faisons des mouvements rapides et courts, les vagues sont courtes, se succédant au rythme, à la « fréquence » de nos mouvements. Si nous faisons des mouvements amples et lents, les vagues sont plus longues. Ce qu'on appelle la « longueur d'onde », c'est la distance de deux sommets de vagues consécutives. La « fréquence », c'est le nombre de vagues qui se forment par seconde, ou, ce qui est la même chose, le nombre de mouvements de va et vient effectués en une seconde.

Revenons à nos électrons et à notre machine électrique que nous appellerons comme les électriciens un « alternateur ».

Sous l'action de cette machine, les électrons vont et viennent dans le fil. Mais ce fil est entouré lui-même d'un milieu. L'air par exemple, où sont en suspension dans les intervalles moléculaires, et avec une liberté très relative puisqu'il s'agit d'un milieu « isolant », des milliards et des milliards de particules, électrons... ou cousins germains, qui étreignent en quelque sorte nos électrons libres, et vont être heurtés au passage, comme l'eau par une torpille.

De même, une personne qui se déplace dans une foule doit écartier les gens devant elle. Que la personne pousse brusquement, la foule cède, la bousculade se transmet de proche en proche, et se transmettrait très loin si les hommes étaient par trop proches, et se transmettrait très loin si les hommes étaient par trop élastiques! D'ailleurs, la foule réagit, se referme sur son perturbateur qu'elle va même peut-être comprimer avec quelque violence. Ce dernier recommence-t-il ses poussées, les réactions de la foule d'abord écartée, ensuite revenant sur elle-même, se succèdent à la même cadence... et nous avons ainsi des mouvements de va et vient se transmettant au loin, tout au moins théoriquement, comme le font les vagues de la mer, ou les ondes sonores.

Certes, dans une foule, les mouvements s'amortissent très vite, car les hommes ne sont pas élastiques... et réagissent énergiquement.

C'est par un phénomène analogue que le fil électrique où les électrons vont et viennent devient l'axe de vibrations imposées aux particules voisines du milieu isolant environnant qui ne pouvant avoir de grands déplacements, oscillent sur elles-mêmes; ces oscillations se propagent de proche en proche dans l'espace tout autour du fil, un peu à la façon des ondes sonores.

res, des ondes de la mer... d'où le nom d'ondes électriques, ou d'ondes hertziennes, le savant allemand Hertz ayant été le premier à en prouver expérimentalement l'existence.

Ici, nous n'avons plus affaire à des corps lourds et mous, comme dans le cas d'une foule et le phénomène peut se transmettre très loin.

On ne voit pas les ondes électriques, pas plus que les ondes sonores, comme on voit les vagues de la mer courir à sa surface. Nous nous imaginons seulement des variations de compression, puis de relâchement, de dilatation, qui se transportent dans l'espace; et la longueur des ondes sera pour nous la distance qui sépare ces alternatives. Elles vont très vite... 300.000 kilomètres par seconde. C'est la vitesse des « photons », de la lumière... ce qui nous montre encore l'étroite parenté de tous ces phénomènes.

Mais dans le vide, direz-vous, dans les espaces planétaires, là où il n'y a ni corps conducteurs, ni corps isolants et, semble-t-il, pas de particules du genre de celles dont nous avons parlé, comment se propageront les vibrations électriques? Nous comprenons bien comment se propage la lumière: ce sont de petits obus lancés par les corps lumineux, les photons, qui, par leurs chocs, nous apportent la sensation lumineuse.

Mais nous ne comprenons pas ce qui dans le vide constituera les ondes électriques?...

Le vide n'existe pas, et combien d'ailleurs cette notion d'un vide absolu dans un espace sans limite répugne à notre esprit.

Pensons à tous ces astres qui brillent, par conséquent lancent sans trêve autour d'eux des infinités de photons et bien d'autres particules encore, telles que celles des rayons cosmiques, espèces d'électrons qui traversent d'épaisses plaques de métal.

Les espaces interplanétaires sont donc remplis d'un nombre infini d'infinités petits de toutes sortes, qui se croisent et se heurtent... : matière en germe, non encore constituée. Parfois les chocs les agglomèrent... et c'est peut-être alors la naissance d'une nébuleuse, d'un soleil, d'un monde.

Et d'ailleurs, aux vibrations électriques qui se propagent telles des ondes, il est bien possible que s'adjoignent des déplacements de particules spéciales lancées dans l'espace, espèces de photons qui transporteraient l'énergie électrique comme est transportée la lumière.

Rien ne nous interdit donc d'espérer que quelque jour les hommes de cette terre pourront communiquer avec d'autres êtres plus ou moins semblables ~~à eux~~ vivant dans d'autres mondes.

Revenons à notre fil, où nous faisons osciller des électrons. Ce fil est l'antenne des postes de T.S.F.

Si nous déclenchons l'action de notre machine électrique pendant un temps très court, par exemple 1/10 de seconde, puis pendant un temps un peu plus long, 3 ou 4/10 de seconde, deux séries d'oscillations, de durées correspondantes, se propageraient au loin, ne rencontrant d'autres obstacles que les électrons libres des corps conducteurs heurtés et agités un instant au passage.

Supposons que nous disposions d'un instrument capable de déceler ces oscillations, ces agitations fugitives des électrons, il nous avertirait que deux trains d'oscillations passent, l'un court, l'autre plus long. Cette combinaison représente un point et un trait du langage Morse, la lettre A.

La télégraphie sans fil par oscillations électriques serait réalisée.

Le fonctionnement général d'un poste récepteur se déduit d'ailleurs facilement des hypothèses déjà faites.

Nous savons que tout fil de métal constitue pour les électrons une excellente artère de circulation, où ils se mettent en route sous l'action de la plus petite cause. Que les vibrations des particules électriques réparties partout dans l'espace rencontrent un tel fil, elles heurteront les électrons libres qu'il contient, et ces électrons se déplaceront dans leur conduit de métal.

« L'antenne de réception » apparaît: simple fil de cuivre, par exemple, attaché par une extrémité à quelque support isolant, et réuni au sol par l'autre extrémité, tout à fait comme un fil de paratonnerre.

Lancés dans l'antenne par les vibrations électriques qui les ont rencontrés, les électrons vont se heurter à l'extrémité du fil qui est maintenue par un isolateur, petit fragment de porcelaine, d'ébonite, par exemple. Nous savons, en effet, que les matières isolantes ne les laissent pas passer, et opposent à nos rapides voyageurs une résistance élastique, comme celle d'un bloc de caoutchouc.

Brutalement renvoyés sur eux-mêmes, ils reviennent, parcourent le fil en sens contraire et tombent dans l'immense masse qui imprègne le sol. Un instant entr'ouverte sous le

du fil, reviennent, mais rapidement leur mouvement s'amortit, s'arrête. Leurs oscillations meurent, comme celles d'une balle de caoutchouc, lancée sur le sol et rebondissant trois ou quatre fois avant de redevenir inerte.

Les vibrations électriques qui se propagent dans l'espace ont produit dans le fil des « oscillations électriques » par un phénomène inverse de celui qui fut utilisé pour provoquer ces vibrations.

Mais une oscillation électrique, c'est un courant électrique alternatif, et nous savons déceler ces courants, même les mesurer.

Certes, si les vibrations électriques viennent de très loin, elles auront perdu beaucoup de leur amplitude. Dans leur course, elles auront rencontré une infinité d'électrons libres, disséminés dans des obstacles plus ou moins conducteurs, forêts, montagnes, etc..., qu'elles auront heurtés, secoués, en laissant à chaque fois en route un peu de leur énergie.

Les oscillations électriques produites dans l'antenne seront donc de faible amplitude, très faible même, et il faudra un instrument spécial extrêmement sensible pour en signaler la présence.

Mais si des vibrations très puissantes étaient produites à peu de distance, il serait facile d'en déceler le passage avec des dispositifs simples. Une petite lampe électrique réunie à l'antenne suffirait.

Les oscillations électriques intenses provoquées dans l'antenne par le passage des vibrations électriques échaufferaient le filament, comme l'échauffent les courants industriels, et il apparaîtrait brillant ou sombre suivant que l'espace serait parcouru ou non par des vibrations électriques.

Les alternatives de lumière et d'obscurité nous traduiraient alors les signaux du correspondant. Nous aurions réalisé de la télégraphie sans fil par oscillations électriques. Nous aurions même transformé finalement nos oscillations électriques en lumière, et fait en outre de la télégraphie optique!

On ne pourrait recevoir qu'exceptionnellement des vibrations électriques susceptibles sans autres artifices, de produire de pareils effets.

Normalement, pour déceler ces phénomènes, il faudra faire appel à des appareils délicats et sensibles: les « détecteurs d'ondes » dont l'un, le cohéreur, remplacé ensuite par le détecteur à galène, puis la lampe de T.S.F., fut longtemps populaire.

La production des oscillations électriques nécessite aussi des appareils spéciaux.

Les machines électriques auxquelles nous devons les courants qui nous éclairent, qui nous chauffent, donnent certes naissance à des oscillations de toutes sortes, puisqu'elles déplacent des électrons dans les conducteurs. Certaines de ces vibrations même sont particulièrement maudites par les auditeurs de radio-concerts, qui s'aperçoivent trop souvent que le fonctionnement d'un ascenseur électrique, le passage d'un tramway devant leur maison, par exemple, apportent dans leur réception des bruits supplémentaires tout à fait indésirables.

Les oscillations produites par les machines industrielles ordinaires ne seraient guère utilisables, avec les moyens dont nous disposons, pour des actions à grande distance.

Elles correspondent à un va et vient d'électricité, d'électrons, dans les conducteurs, qui, s'il est très rapide pour nos sens, puisqu'il se reproduit cinquante à cent fois par seconde (c'est ce que l'on appelle du courant à 25 ou 50 périodes), est beaucoup trop lent pour former dans l'espace le genre de vibrations dont nous avons besoin.

Il nous faudra agiter les particules de l'espace des milliers et des milliers de fois par seconde pour obtenir au loin des effets appréciables.

Et là était une des difficultés essentielles à vaincre pour résoudre le problème des radiocommunications.

Schématiquement, comment est faite une machine électrique industrielle employée pour les usages courants de l'éclairage, de la traction?

C'est une espèce de roue dentée, dont les dents sont aimantées et tournent à l'intérieur d'une carcasse dans laquelle sont disposées des bobines de fil de cuivre.

Le passage des dents aimantées devant les bobines de fil de cuivre provoque des actions électriques brutales sur les électrons de ces bobines. Et dans des fils, partant de la machine, on groupe et canalise ces rapides voyageurs.

Pour obtenir des effets importants, des courants intenses, il faut des fils de fort diamètre, des aimants puissants; les dents doivent être grosses.

Avec une roue portant dix dents, faisant dix tours par seconde, on ne réalise encore que cent impulsions par seconde dans l'espace, ce qui n'est rien du tout, étant donné le résultat à atteindre.

Quand on parvint, sur les mêmes principes, il y a une trentaine d'années, à faire des « alternateurs » capables de produire les rapides ébranlements électriques dont on avait besoin, on construisit des machines dont les roues portaient des centaines de dents et qui tournaient très rapidement. A la périphérie de la roue la vitesse était de 300 mètres à la seconde. On produisait ainsi plusieurs dizaines de mille d'ébranlements électriques par seconde. Cela était déjà suffisant, bien que maintenant on emploie des procédés permettant de réaliser des millions d'ébranlements dans le même temps.

Plusieurs alternateurs de ce genre fonctionnent encore à Sainte-Assise.

Le résultat ne fut pas atteint de suite d'ailleurs, et c'est grâce à d'autres dispositifs que la télégraphie sans fil fut réalisée.

Nous avons maintenant rencontré au passage tous les éléments essentiels des radiocommunications.

Au poste de départ, production « d'oscillations électriques » dans une « antenne ». Ces oscillations provoquent des « vibrations » dans les particules qui remplissent l'espace.

Les vibrations se propagent de proche en proche dans tous les sens, rencontrent « l'antenne » du poste d'arrivée et y provoquent des oscillations électriques, dont l'apparition est signalée par le « détecteur ».

Un manipulateur commandant la production des oscillations électriques permet de produire des séries longues ou courtes de vibrations, correspondant à des signaux télégraphiques.

Le nom « d'ondes électriques » donné aux vibrations électriques qui se propagent dans l'espace s'est imposé d'autant plus que l'on admettait, il n'y a pas encore bien longtemps, l'existence d'un fluide infiniment subtil, appelé l'éther (sans aucun rapport avec le liquide volatil bien connu), imprégnant tous les corps, circulant sans peine à travers leurs molécules, comme de l'eau à travers un grillage, et ce sont les ondes de ce fluide qui étaient considérées comme nous apportant les impressions de lumière, de chaleur, ou produisant des phénomènes électriques, suivant qu'elles étaient très, très petites, de l'ordre d'une fraction de millièmeter de millièmeter, ou plus grandes.

Les phénomènes électriques commencent avec les ondes d'une longueur voisine du millièmeter de millièmeter.

Il paraît bien certain maintenant que cette conception comode, mais un peu simpliste, doit être profondément modifiée. Certes, l'hypothèse d'une espèce de fluide universel n'est pas en opposition avec l'existence d'une infinité de petites particules minuscules, dont les unes constituent les corps matériels par leurs divers modes de groupement, les autres restant en liberté plus ou moins relative dans l'espace. Nous ne saurions guère concevoir d'ailleurs qu'un fluide ne soit pas lui-même composé de molécules, si petites soient-elles. L'éther pourrait n'être que l'ensemble des particules dont les phénomènes électriques et lumineux en particulier ont permis de démontrer l'existence.

Mais ces particules, dont chacune forme un véritable monde, sont tellement complexes, suivent dans leurs groupements, dans leurs déplacements des lois telles que l'analogie avec un fluide simple n'est plus permise.

Devant ce grouillement de particules que nous verrions peut-être dériver toutes d'une seule si nous pouvions pousser l'analyse assez loin, qui sont peut-être, au contraire, formées chacune d'une infinité d'éléments très différents, notre imagination est actuellement impuissante.

La nature même des particules nous échappe... On se les représente bien comme comportant un noyau autour duquel tournent des astres minuscules. Mais la difficulté ne fait que reculer. Qu'est ce noyau? Que sont ces astres? Y a-t-il de la vie au fond de toute cette agitation, de la vie avec de la volonté, de l'intelligence? Les lois grossières que nous discernons ne sont-elles que l'expression d'un grand nombre de volontés communes, que le reflet des règles que s'imposent pour leur existence une infinité de petits mondes? Que la manifestation des efforts d'infiniment petits intelligents, cherchant les types d'associations (hommes, animaux, végétaux, minéraux, etc.) qui leur donneront le plus de bonheur suivant les divers stades de leur propre évolution? Et, au-dessus de nous, qu'y a-t-il? L'homme s'imagine-t-il être l'aboutissement final des efforts des maîtres des univers? Misérable et orgueilleuse conception que rien ne justifie. L'humanité n'est-elle qu'un phénomène transitoire de la vie des mondes?

De tout cela, qui appelle tant de réflexion et tant de modestie, nous ne pouvons rien dire.

Contentons-nous d'explications grossièrement approchées... et dans le domaine où nous sommes entrés nous pouvons admettre, avec une approximation suffisante pour nos besoins, que les vibrations imposées par les oscillations électriques aux particules imprégnant l'espace se transmettent de proche en proche comme des ondes, et en suivent sensiblement les règles.

Ceci n'empêche pas les particules vibrantes d'être animées en outre, à une échelle infiniment plus petite en général, de ces mouvements incessants dont nous avons parlé.

Quand il s'agit, par exemple de photons venant nous apporter l'impression lumineuse, le photon lui-même n'est peut-être qu'un ensemble très compliqué d'éléments tournant et oscillant en tous sens autour de leur chemin moyen dont l'image grossière nous semble être une ligne droite.

A l'aide d'oscillations très rapides, les physiciens sont arrivés à produire des ondes électriques de l'ordre d'un millièmeter, c'est-à-dire que si nous nous reportons à un phénomène du même genre, celui des vagues de la mer, nous comparerions un millièmeter entre le sommet d'une vague et celui de la vague suivante, entre l'endroit où passe la vibration dans sa propagation par alternances de compression et de dilatation, et celui où nous la retrouvons un peu plus loin identique à elle-même.

Si nous envisageons maintenant les oscillations lentes, par exemple celles des courants industriels ordinaires qui changent de sens cinquante à cent fois par seconde, elles donnent naissance à de larges houles électriques dont les sommets se suivent à plusieurs milliers de kilomètres.

Nous avons déjà vu que toutes ces vagues, quelles que soient leurs dimensions, se déplacent à une vitesse de 300.000 kilomètres par seconde.

Les possibilités techniques ont limité à une trentaine de kilomètres la longueur des ondes utilisées pour les radiocommunications... Les premières machines du grand poste de Sainte-Assise, installée par la Société Française Radio-Électrique, produisent des ondes de 10 à 20 kilomètres.

Dans la vaste gamme d'ondes, dont la longueur peut varier en pratique du centimètre à une trentaine de kilomètres, quelles sont celles qui véhiculeraient le mieux la pensée de l'homme?

La réponse, nécessairement liée aux moyens dont l'ingénieur disposait pour émettre ou recevoir, a varié avec les époques.

Au début, des ondes de quelques centaines de mètres, puis des ondes de 8 à 25 kilomètres, et maintenant, pour les grandes distances, des ondes de 10 à 30 mètres.

En vue de compenser les pertes qui se produisent au cours de la propagation, l'ingénieur chercha d'abord à produire dans l'espace les ébranlements électriques les plus puissants possibles intéressant au départ un ensemble de particules considérable.

Au lieu d'une « antenne » constituée par un seul fil vertical, on employa bientôt un grand nombre de fils, constituant de véritables nappes soutenues par des mâts ou des pylônes à des hauteurs qui atteignirent rapidement 200, 250, 275 mètres.

En même temps, on augmentait de plus en plus la puissance des machines, qui dépassa bientôt plusieurs centaines de chevaux.

Et, comme conséquence, les longueurs des ondes émises ne cessèrent de croître.

En effet, une antenne, siège d'oscillations électriques, est tout à fait comparable à un tuyau d'orgue, à une flûte, siège de vibrations sonores. Au bas du tuyau d'orgue, l'anche (pensez à l'anche d'une clarinette) que frappe le jet d'air met en vibration l'air du tuyau. L'oscillation sonore se propage dans le tuyau jusqu'à son extrémité, revient et ainsi de suite.

Dans l'antenne, la machine électrique joue le rôle de l'anche sonore d'un tuyau d'orgue, mais ici ce n'est plus l'air qui vibre, c'est l'électricité de l'antenne. Les oscillations de l'électricité de l'antenne provoquent dans l'espace des vibrations électriques, de même que les mouvements de l'air du tuyau correspondent à des ondes sonores.

Un tuyau d'orgue fermé émet une note musicale correspondant à des ondes sonores dont la longueur est quatre fois la sienne. De l'antenne partent de même des ondes électriques dont les sommets se suivent à une distance qui est quatre fois la longueur de cette antenne.

Si l'antenne a une centaine de mètres de longueur, comme sur les grands bateaux de commerce, les ondes se succèdent à peu près à quatre cents mètres de distance l'une de l'autre.

Un musicien qui joue du cornet à pistons fait varier la hauteur des notes émises en raccourcissant ou allongeant au moyen de petites clés la longueur des tuyaux de son instrument par le court par les vibrations de l'air.

Les techniciens font varier de façon analogue la longueur des ondes émises par une antenne en modifiant la longueur de cette antenne; ils lui ajoutent, par exemple, des spirales de fil que les oscillations doivent suivre. Ces spirales remplissent un rôle tout à fait semblable à celui des tuyaux coudés des cornets à pistons, des trombones à coulisse, etc...

Nous comprenons ainsi qu'en développant les antennes pour ébranler de plus grandes masses électriques on devait augmenter la longueur des ondes émises.

Alors que dans les petites installations du début on émettait des ondes de quelques dizaines de mètres, on atteignit bientôt, en effet, plusieurs kilomètres.

Il se trouvait d'autre part que l'augmentation de puissance des machines recherchée en même temps, toujours dans le même but, agiter violemment les particules électriques, avait la même conséquence, alors qu'au contraire les procédés employés au début ne permettaient pas de produire des ondes courtes très puissantes.

On se félicitait d'ailleurs de l'emploi des ondes longues, parce que leur marche était plus régulière, parce qu'elles paraissaient mieux franchir les montagnes, les obstacles.

Les grandes ondulations de la mer tournent assez facilement les obstacles, tandis que la moindre prescription abrite une anse contre la houle ordinaire.

Léchant en quelque sorte les mouvements du sol, les grandes ondes électriques franchissaient sans trop de pertes les reliefs les plus accusés.

Toutes ces raisons poussèrent les spécialistes à augmenter le développement des antennes et à donner un peu raison à l'humoriste qui déclarait que la T.S.F. comportait tout autant de fils que la télégraphie ordinaire, ces fils étant seulement tendus à l'intérieur des stations, tandis que pour la télégraphie ordinaire ils sont tendus dans les intervalles.

L'augmentation de la puissance, le développement des antennes, avec comme conséquence l'augmentation des longueurs d'onde émises, permirent rapidement aux radiocommunications de prendre un caractère non plus expérimental, mais vraiment pratique et commercial.

Des radiocommunications de plusieurs milliers de kilomètres complétèrent tout d'abord en parents pauvres les réseaux des lignes télégraphiques et des câbles sous-marins, mais bientôt entamèrent contre eux la concurrence.

Malheureusement, des difficultés considérables se présentent.

Une antenne réceptrice est frappée non seulement par les ondes électriques que son correspondant envoie dans l'espace, mais par toutes sortes de vibrations électriques venant des directions les plus diverses :

Orages, déplacement des charges électriques de l'atmosphère, de la terre, sous l'action de causes multiples (lumière, chaleur, etc.), oscillations électriques produites dans les fils des canalisations par toutes les coupures des circuits, par les dynamos ou moteurs électriques, etc. Toutes les fois, en effet, qu'il y a arrêt ou changement brutal d'un courant électrique, il se produit une vibration électrique plus ou moins intense, plus ou moins vite éteinte.

Influencée par les ondes de son correspondant, et souvent par celles d'autres stations émettrices, par les ondes « parasites », une station réceptrice ne devrait, semble-t-il, donner que des signaux incohérents, résultat d'un inextricable mélange d'oscillations.

Comment et dans quelle proportion le filtrage nécessaire peut-il être opéré ?

La première mesure à prendre consiste évidemment à augmenter le rayonnement du poste émetteur : en criant plus fort que les autres on a toujours chance d'être écouté et entendu. Mais, dans cette voie, la limite est vite atteinte.

Dès le début on s'efforça d'autre part de diriger les ondes émises, au lieu de les laisser se répandre dans tout l'espace, afin d'en accroître l'effet sur les correspondants, et d'établir des récepteurs directifs, c'est-à-dire recevant plus fortement les ondes provenant d'une direction déterminée.

En même temps, on cherchait à réaliser des dispositifs de réception aussi « syntonisés » que possible, c'est-à-dire présentant une sensibilité beaucoup plus grande pour le type d'oscillations produites par le poste émetteur correspondant.

Diriger les vibrations, les ondes électriques, pouvait sembler facile.

Les cornets des haut-parleurs, des porte-voix, nous montrent comment on dirige approximativement les ondes sonores. Les radiateurs paraboliques nous donnent des exemples de concentration des vibrations calorifiques; les projecteurs de rayons lumineux sont bien connus.

Quelles que soient les précautions prises, la direction n'est pas absolue. Le faisceau s'épanouit d'autant plus vite que la longueur des ondes est plus grande. La concentration, relativement bonne avec les ondes lumineuses, est déjà plus médiocre avec les ondes calorifiques.

Pendant les premières années de la T.S.F., les ondes électriques que l'on pouvait utiliser pratiquement avec une énergie

assez importante allaient de quelques centaines à plusieurs milliers de mètres. Elles étaient des millions de millions de fois plus longues que les ondes lumineuses. Il aurait donc fallu des miroirs énormes, en fait irréalisables, pour les diriger. Et encore le faisceau se serait-il ouvert très rapidement. L'étude de la direction des ondes électriques ne put être reprise que lorsqu'on sut produire des ondes relativement courtes, de l'ordre de quelques mètres, ou quelques dizaines de mètres. Nous y reparlerons.

La concentration des ondes émises étant ainsi laissée provisoirement de côté, on dut se tourner vers les autres problèmes.

Organiser une station réceptrice plus particulièrement sensible aux ondes venant d'une direction déterminée était d'une réalisation relativement facile.

Le développement de la radiophonie a déjà rendu populaire le « cadre-antenne ».

Au lieu d'employer une antenne-réceptrice composée de fils aussi élevés que possible, il est possible d'employer une antenne constituée par un fil enroulé sur une carcasse isolante en forme de grande bobine plate ou cylindrique.

Si les ondes frappent le cadre de front, les ébranlements qu'elles impriment aux électrons des parties opposées du cadre se détruisent. Si, au contraire, elles frappent le cadre de champ, rencontrant d'abord un de ses côtés, puis l'autre, ce qui se produira dans les meilleures conditions si le plan du cadre est dirigé sur le point d'où partent les ondes, les ébranlements des électrons pourront s'ajouter et nous les décelerons.

Le phénomène est un peu analogue à celui que nous constatons en regardant une longue planche très mince flottant sur une eau agitée. Quand les vagues la rencontrent perpendiculairement, la planche se déforme, certaines de ses parties étant sur un sommet de vague, tandis que les autres sont dans des creux. C'est l'image de la déformation électrique invisible produite dans le cadre-antenne par les ondes de l'éther.

Quand la planche est parallèle aux vagues, elle se trouve tout entière dans un creux, ou tout entière sur une crête. Elle monte et descend sans fléchir.

Les stations réceptrices munies d'antennes-cadres recevront beaucoup plus fortement les ondes arrivant dans la direction vers laquelle leur cadre sera tourné.

Les ondes parasites, ou autres, provenant des autres directions, n'agiront que peu ou pas du tout sur leurs appareils.

Il y a donc là un premier moyen de protection efficace. La directivité du récepteur est certes loin d'être absolue, et les ondes provenant de directions un peu inclinées sur la direction intéressante impressionneront aussi le cadre récepteur. Il en sera de même des ondes extrêmement puissantes, émises par exemple par un poste émetteur voisin, quelle que soit leur direction.

Le procédé débarrasse néanmoins le poste récepteur d'un grand nombre de causes de troubles.

Il a eu d'ailleurs une autre application très intéressante : celle de la radiogoniométrie.

Puisque le cadre est surtout influencé par les ondes provenant d'une direction déterminée, il suffit, pour connaître la direction d'un poste dont l'identité est donnée par un signal connu, de tourner le cadre de façon à recevoir le mieux possible les ondes de ce poste.

Les navires, les avions disposent ainsi d'un moyen commode de trouver la direction d'un port ou d'un autre poste.

Une fois ce premier filtrage réalisé par la directivité du récepteur, il restait à se protéger contre les ondes perturbatrices qu'un destin malencontreux produisait dans la direction du correspondant.

Le seul remède, fort imparfait malheureusement, consistait à utiliser des dispositifs récepteurs aussi syntonisés que possible sur les ondes du correspondant, c'est-à-dire étudiés pour être d'une grande sensibilité pour les ondes du correspondant, et rester aussi inertes que possible pour les ondes de longueurs différentes.

Quand nous voulons lancer une balançoire, nous lui donnons une poussée. La balançoire part, s'éloigne, et nous donnons notre seconde impulsion au moment où, revenue à sa position initiale, elle va s'éloigner de nouveau. De même pour la troisième, la quatrième et les autres impulsions. A chaque fois, nos efforts s'ajoutent; peu à peu le mouvement s'accroît et les amplitudes de la balançoire atteignent leur plus grande valeur.

Nous avons mis nos efforts en « résonance » avec les oscillations que la balançoire aurait continué à effectuer, mais en s'arrêtant peu à peu, si nous avions cessé d'intervenir après la première impulsion.

Il y a eu syntonie entre la « balançoire réceptrice » et nos efforts « émetteurs d'oscillations ».

Si nos impulsions avaient été désordonnées, la balançoire, secouée sans méthode, n'aurait accompli que des oscillations de peu d'amplitude.

Nous retrouvons ces phénomènes de résonance partout dans la vie.

Le sonneur de cloches n'arrive à lancer les cloches à la volée qu'en produisant ses efforts en résonance avec les oscillations de la cloche.

On interdit à une troupe de marcher au pas sur un pont suspendu, car les chocs répétés et rythmés des pieds des soldats pourraient se trouver en résonance avec les petites oscillations du pont et ces oscillations augmentant alors à chaque choc deviendraient dangereuses.

La résonance électrique est tout à fait analogue.

Lorsqu'une onde rencontre une antenne, elle en déplace brusquement les charges électriques. Les électrons se mettent en mouvement, vont se heurter à l'extrémité du fil, reviennent et oscillent entre les deux extrémités de l'antenne. Leur mouvement s'amortit peu à peu, comme celui d'une balle de caoutchouc lancée au sol et rebondissant plusieurs fois pour s'arrêter peu à peu.

Si une deuxième onde arrive au moment où les électrons revenus à leur point de départ commencent leur deuxième oscillation, cette onde ajoutera son effet à la première, et, loin de s'amortir, le mouvement électronique s'accroîtra. Une troisième onde arrivant ainsi au bon moment, c'est-à-dire au début de la troisième oscillation, augmentera encore l'amplitude des oscillations électriques, et ainsi de suite.

Des ondes, même très faibles, pourront de cette manière produire petit à petit un effet marqué. Il y aura eu résonance entre les ondes électriques et les oscillations des charges électriques de l'antenne.

Cette résonance est facile à établir. Ce qui conditionne l'accord entre le rythme d'arrivée des ondes dans l'espace et celui des oscillations électriques dans l'antenne, c'est le temps que mettent les charges électriques pour parcourir l'antenne. Ce temps, nous en sommes maîtres. Il dépend évidemment de la longueur de l'antenne. Nous la raccourcirons ou nous l'allongerons pour obtenir la « syntonie » nécessaire. Et comme pratiquement nous ne pourrions pas toucher facilement aux fils que nous avons suspendus à des pylônes, à des cheminées, nous intercalerons à la base de notre antenne, à l'intérieur de notre installation, des petites bobines de fil que les oscillations devront parcourir. Nous déterminerons leur longueur de façon à recevoir le mieux possible les ondes du correspondant.

La « note » électrique de l'antenne sera ainsi modifiée par nos soins de la même manière que la « note » d'un trombone à coulisse. Nous « accorderons » notre instrument électrique sur les ondes à recevoir.

Les ondes parasites n'agiront qu'imparfaitement sur l'antenne réceptrice et, si elles ne sont pas très puissantes, ne nous gêneront pas trop.

Hélas! dans les pays chauds, et même dans les régions tempérées, par temps orageux, ou sous l'influence de causes multiples souvent en rapport avec les phénomènes météorologiques, les ondes parasites d'origine atmosphérique se succèdent avec violence dans des gammes très étendues, et dans toutes les directions.

L'après-midi, le soir, sont leurs moments préférés.

Et le technicien a beau augmenter la puissance de ses ondes, la syntonie de ses appareils, la directivité de son récepteur, il est bientôt vaincu.

Les signaux utiles, mêlés de signaux incohérents, deviennent illisibles, parfois même insoupçonnables.

Des installations considérables avaient été réalisées pour réunir radiotélégraphiquement aux capitales européennes celles de pays éloignés de l'Extrême-Orient, de l'Amérique du Sud. La puissance avait été poussée au maximum possible.

Les récepteurs les plus perfectionnés étaient utilisés.

Néanmoins, tout trafic demeurait impossible un grand nombre d'heures par jour. Parfois même des journées entières s'écoulaient sans résultat.

Il fallait trouver autre chose.

Les techniciens se tournèrent de nouveau vers des solutions autrefois envisagées mais que les difficultés d'alors avaient fait abandonner :

La direction des ondes émises revint à l'ordre du jour.

En effet, si on avait su organiser des antennes émettrices formant projecteurs, des antennes « directives », on aurait eu les mêmes avantages que ceux donnés par de très grandes augmentations de puissance. Le fait est presque évident. Une comparaison le fera d'ailleurs facilement comprendre.

Quand nous parlons, les ondes sonores émanant de notre bouche se propagent tout autour de nous, en tout sens. L'oreille de la personne à laquelle nous parlons n'en reçoit directement qu'une très petite fraction, celle qui rencontre le pavillon de l'oreille. Presque tout le reste est perdu.

Pour remédier à cet inconvénient, et quand on veut se faire entendre assez loin, on utilise un porte-voix.

En T.S.F. même genre de phénomène.

L'énergie dépensée dans l'antenne se répand dans tout l'espace autour de cette antenne sous forme de vibrations élec-

triques.

A quelques milliers de kilomètres, l'antenne du correspondant n'en recueille qu'une partie infiniment petite.

Malheureusement, nous l'avons déjà dit, le projecteur électrique n'était pas réalisable avec les ondes longues employées jusqu'alors. Il eût fallu lui donner des dimensions de plusieurs dizaines de kilomètres, et malgré cela le faisceau concentré au départ se serait tout de suite épanoui.

Mais, vers la fin de la guerre 1914-1918, la technique radio-électrique avait fait de grands progrès (les nécessités militaires produire des ondes de quelques dizaines de mètres relativement puissantes et stables).

Concentrer de telles ondes n'était plus du domaine de la chimère.

Sans chercher à constituer des « miroirs » analogues aux projecteurs lumineux, car il eût fallu des surfaces métalliques encore énormes, on expérimenta des ensembles d'antennes émettrices composées de réseaux de fils espacés et disposés de manière telle que les ondes émanant de ces divers fils se détruisaient dans une direction pour s'ajouter au contraire dans une autre direction : telles sont les « beams » Marconi, telles sont les antennes projecteurs de la Société Française Radio-Électrique dues à M. Chireix. Ces dernières ressemblent à de grands grillages suspendus par des pylônes.

On comprend facilement que si d'un fil part une onde dont le sommet se forme là où une onde semblable émanant d'un autre fil tend au même instant à former un creux, les deux effets s'annuleront. Ils se doubleront au contraire, si deux sommets tendent à se former au même endroit : il y a concentration des effets dans une direction, celle qui est devant l'antenne, dans le cas du système S.F.R.

Et la concentration est telle qu'elle donne le même résultat qu'une augmentation de puissance considérable : quelques kilowatts ainsi dépensés en valent des centaines répandus dans l'espace n'importe comment.

Certes, la direction des ondes de 10 mètres à 50 mètres, les plus utilisées dans les grandes radiocommunications, n'est que très approximative. Des stations réceptrices placées sur les côtes, ou derrière les stations émettrices, reçoivent encore avec force si elles ne sont pas trop loin, mais néanmoins beaucoup moins bien régulièrement que dans la bonne direction.

Les essais effectués avec les ondes courtes montrèrent qu'à certaines conditions on recevait de telles ondes à des distances considérables, hors de proportion avec la puissance employée, quand on comparait les résultats avec ceux que donnaient les ondes longues.

On pouvait ainsi réaliser un double gain, en ajoutant cet avantage à celui des antennes directives.

L'explication du phénomène est particulièrement intéressante, parce qu'elle permet d'en comprendre beaucoup d'autres.

Les gaz qui constituent l'atmosphère sont beaucoup plus denses au voisinage du sol, et cela se comprend puisqu'ils y supportent tout le poids des gaz situés au-dessus d'eux, et se trouvent ainsi comprimés.

A mesure qu'on s'élève, la pression diminue; un avion qui se déplace très haut peut aller plus vite, car la résistance de l'air est moins grande, d'où l'idée de faire effectuer les grands parcours dans des avions volant très, très haut... ce qui, par ailleurs, n'est pas sans présenter d'autres espèces d'inconvénients!

A cent ou cent cinquante kilomètres de hauteur l'atmosphère est très raréfiée, et les molécules infiniment petites qui constituent les gaz entrant dans sa composition sont relativement éloignées les unes des autres, comme dans une cloche de verre où on fait le vide avec une pompe aspirante.

Le soleil, source de lumière et de chaleur, projette sans cesse autour de lui des milliards et des milliards de particules de toutes sortes, et en particulier des photons qui sont à l'origine des phénomènes lumineux. Ces particules heurtent au passage les molécules gazeuses. L'effet de ces chocs est de rendre la haute atmosphère conductrice de l'électricité.

Si cette espèce de bombardement se produisait sur un gaz plus dense, aux molécules serrées, les effets dus aux chocs moléculaires se détruiraient les uns les autres dans l'enchevêtrement général des particules se heurtant en tous sens.

Mais là-haut, les molécules gazeuses sont presque indépendantes, et d'autre part les projectiles solaires qui n'ont encore

rien rencontré sur leur chemin, ont gardé toute leur activité, activité qui sera bien réduite au ras du sol après la traversée de toute la couche atmosphérique.

Finalement il s'établit dans la haute atmosphère une couche conductrice de l'électricité, formant au point de vue électrique l'analogue d'une grande surface métallique, fort cabossée d'ailleurs, et enveloppant la terre à 100 ou 150 kilomètres de hauteur. On l'appelle la couche d'Heaviside, du nom du physicien qui l'a étudiée.

Quand on produit des vibrations électriques au ras de la terre, elles se propagent dans l'espace en tous sens et tandis que les unes suivent la surface du sol, les autres vont plus ou moins obliquement vers le ciel, et se heurtent à la couche d'Heaviside qui, invisible pour nous, se comporte pour elles comme une espèce de miroir gigantesque.

Elles s'y réfléchissent à la manière d'un rayon lumineux qui trappe un glaçon, et sont renvoyées plus ou moins loin vers le sol contre lequel elles ricochent, puis repartent vers le zénith, et ainsi de suite.

Le phénomène est compliqué, car la terre et la couche d'Heaviside ont des surfaces fort irrégulières, celle de la couche d'Heaviside variant d'ailleurs sans cesse. Le phénomène est particulièrement marqué avec les ondes de 10 à 60 mètres, et peut comporter plusieurs réflexions successives, ces ondes se propageant en zigzagant comme dans un vaste couloir entre le sol et la haute atmosphère.

Lors de leur course dans les régions zénithales, où il n'y a pas d'obstacles, les ondes ne perdent presque pas d'énergie en route... tandis qu'au ras du sol les obstacles, les mouvements de terrain les accrochent au passage. Un récepteur très éloigné peut ainsi être atteint par elles, lorsqu'après s'être réfléchies dans la haute atmosphère elles retombent dans la région où il se trouve, tandis qu'un autre récepteur beaucoup plus rapproché ne recevra rien s'il est trop loin pour que les ondes se propageant le long de la surface de la terre et gênées par mille obstacles parviennent jusqu'à lui avec une puissance suffisante : ce dernier se trouve dans une « zone de silence ».

Comme les régions où retombent les ondes varient souvent et beaucoup à cause des irrégularités et des mouvements du miroir céleste qui les rejette, on s'apercevra de temps à autre que la réception s'éteint, reparait, se renforce, s'éteint de nouveau : c'est ce qu'on appelle le fading (évanouissement), bien connu de tous les amateurs de T.S.F.

Le fading est dû aussi parfois à ce que des ondes ayant suivi dans l'espace des chemins différents, arrivent au même endroit en s'opposant les unes aux autres et détruisent leurs effets. C'est ainsi que les ondes de « surface » sont parfois éteintes, parfois renforcées par les ondes d'« espace ». Ces phénomènes sont plus marqués la nuit, surtout pour les ondes courtes et présentent souvent des variations particulièrement fortes aux moments du coucher et du lever du soleil.

Les auditeurs des radio-concerts ont tous fait des remarques du même genre. Ils entendent fortement la nuit des émissions qu'ils ne peuvent soupçonner le jour.

Il arrive aussi que des ondes trouvant des circonstances plus particulièrement favorables à leur propagation dans les cieux font tout le tour de la terre et le récepteur reçoit plus fortement le signal qui a ainsi voyagé que celui qui lui arrive, légèrement avant, par le chemin direct plus court : les deux signaux ne se confondent pas, l'un prolongeant l'autre de quelques faibles fractions de seconde puisque les ondes se déplacent à une vitesse de 300.000 kilomètres à la seconde, et qu'il leur faut ainsi un peu plus d'un dixième de seconde pour faire le tour du globe.

Ce phénomène est appelé « écho », parce qu'il produit le même genre d'effet que l'écho sonore bien connu, lequel est d'ailleurs, en général, bien moins complexe à analyser.

L'écho électrique est très gênant et rend les signaux souvent incompréhensibles en collant par exemple entre eux les points successifs d'une lettre Morse qui deviennent alors des traits d'une tout autre signification. C'est ainsi qu'au lieu de la lettre « i », on lirait la lettre « l ».

**

Zone de silence, fading, échos, parasites, à toutes ces causes d'ennuis, dont la gravité varie d'ailleurs avec la longueur des ondes employées, les distances à franchir, les saisons, les heures, les régions où l'on opère, on apporte des remèdes plus ou moins efficaces et la nature des radiocommunications à assurer fixe la catégorie des ondes à utiliser.

Nous avons déjà vu que ce sont les ondes de 10 à 50 mètres qui, en l'état actuel de nos connaissances, sont les meilleures pour les grandes distances, les plus longues d'entre elles étant en général plus avantageuses la nuit. Le gain que l'on obtient

par leur parcours dans les régions de la haute atmosphère, libres de tout obstacle, compense, et bien au delà, les divers inconvénients qui viennent d'être signalés.

Avec les ondes plus courtes, de quelques mètres seulement, par exemple, on ne peut plus compter sur l'utilisation des vibrations électriques qui vont se heurter à la couche d'Heaviside pour redescendre vers nous : seul le rayonnement direct est utilisable et il est vite arrêté par les obstacles et la courbure de la terre. Il faut que la ligne qui réunit l'émetteur et le récepteur ne rencontre que peu ou pas d'obstacles, comme si on voulait envoyer des signaux lumineux de l'un à l'autre.

C'est la raison pour laquelle les stations de télévision (qui, pour diverses raisons, sont obligées d'utiliser des ondes de cette catégorie), n'ont que de faibles portées.

Quand on emploie des ondes très courtes, de quelques dizaines de centimètres, par exemple, l'analogie avec les ondes lumineuses ou les ondes sonores les plus courtes, est encore plus grande, et les projecteurs deviennent de plus en plus efficaces, de moins en moins encombrants. Certains ressemblent à de grands cornets de haut-parleurs.

On obtient de fortes concentrations du faisceau de vibrations, ce qui permet de ne perdre que très peu d'énergie en route.

En outre, les ondes émises par un poste ne vont pas gêner les autres postes auxquels elles ne sont pas destinées, d'où la possibilité d'avoir un grand nombre de radiocommunications dans un petit espace, sans qu'elles s'influencent les unes les autres.

Comme il ne faut pas qu'il y ait d'obstacles entre les postes correspondants, si on veut établir une communication entre des villes éloignées on installera des stations relais intermédiaires, qui recevront le signal d'un émetteur et le renverront automatiquement à un autre émetteur, lequel le retransmettra, et ainsi de suite, tous les 100 kilomètres par exemple.

Les émetteurs-récepteurs seront construits sur des sommets de collines et au besoin placés sur le haut de pylônes de manière à avoir devant eux un vaste horizon.

Rappelons-nous les vieux systèmes de télégraphe à signaux de nos aïeux, que Chappe perfectionna, et dont nous trouvons des restes sur de nombreux points élevés du territoire.

Les bras des appareils de Chappe, dont les positions relatives formaient des lettres, ne permettaient que de très lentes communications, et seulement quand la visibilité était bonne, tandis que les émetteurs à ondes très courtes transmettront des centaines de mots par minute, quelles que soient les circonstances atmosphériques.

Le matériel est peu encombrant, et la même station émettrice peut assurer simultanément 10, 20, 50, et même plus, radiocommunications simultanées.

C'est le « multiplex à ondes très courtes ».

Enfin les ondes, nous le savons déjà, peuvent transporter la parole, et nous donner la radiotéléphonie, ce qui est un immense avantage sur le système de Chappe.

Pourquoi ces complications, pensez-vous; mieux vaut utiliser des ondes de 10 à 50 mètres qui assurent directement des liaisons à des milliers de kilomètres. Mais ces ondes ne se dirigent que fort approximativement, et se gênent les unes les autres quand il y en a trop. Il n'en est pas de même des ondes très courtes à portée limitée, mais à direction presque rigoureuse.

On assurera les grandes liaisons, transatlantiques par exemple, avec les ondes courtes... et le réseau se complètera à l'intérieur des divers pays, ou entre pays voisins, avec les ondes très courtes.

**

La radioélectricité s'assouplit ainsi à tous nos besoins, à mesure que nous la connaissons mieux : et les techniciens peuvent être fiers de lui avoir, en un demi-siècle, arraché déjà tant de secrets.

Opérant sur un monde inconnu dont les éléments échappent aux possibilités de nos sens, et dépassent les limites de notre imagination, ils ont su néanmoins créer une science nouvelle, avec des lois, des mesures précises, et apporter au progrès une des plus belles contributions qu'ait connues l'histoire de l'humanité.

En même temps se sont ouverts des horizons nouveaux où tous les mystères de la vie, de la formation des mondes se profilent.

Ils sont encore bien estompés pour nous... mais qui sait? L'homme de demain, héritier de ceux qui connaissent les difficultés d'aujourd'hui, sera peut-être doué de facultés nouvelles, de sens nouveaux, formés peu à peu sous l'empire des nécessités créées par ses aspirations. Puisse-t-il « comprendre », là où nous ne pouvons encore qu'espérer.

P. BRENOT.

P. BRENOT

Directeur à la COMPAGNIE GÉNÉRALE DE T. S. F.
ET A LA
SOCIÉTÉ FRANÇAISE RADIO-ELECTRIQUE

Conférences faites aux Employés et ouvriers
DE LA
SOCIÉTÉ FRANÇAISE RADIO-ELECTRIQUE

DEUXIÈME CONFÉRENCE

Comment a été découverte la T.S.F.
Histoire de ses progrès

Quel est l'inventeur de la T.S.F.?

Suivant les pays, la réponse diffère, et cinq ou six noms illustres sont ainsi proposés à notre reconnaissance. Ils y ont droit d'ailleurs, à des titres divers. Mais comment choisir?

Ne nous laissons pas entraîner par la tendance trop répandue de faire remonter coûte que coûte toute nouvelle application de la science à une origine unique, alors que bien des inventions sont nées des efforts de plusieurs cerveaux, parce qu'elles étaient en germe dans les études effectuées de divers côtés.

L'invention, ce n'est souvent aussi qu'une mise au point, fort méritoire d'ailleurs, qu'une combinaison de dispositifs connus, mais faisant une réalité d'une conception plus ou moins vague imposée par l'état de la science à bien des imaginations ardentes.

Méfions-nous aussi des nationalismes exagérés qui nous poussent à considérer notre pays comme celui de toutes les idées, les autres ne comptant que des adaptateurs chanceux. Les passions déforment l'histoire en matière scientifique tout autant que dans les autres domaines.

Les premiers germes de la T.S.F. se trouvent dans les recherches sur les actions à distance des courants électriques et des aimants effectuées au début du XIX^e siècle et dans les associations d'idées qu'elles provoquèrent.

En approchant d'une boussole un aimant (ou un fil parcouru par un courant électrique), on en fait dévier l'aiguille : d'où possibilité de transmettre des signaux à quelques centimètres! La télégraphie sans fil naîtra du jour où on saura que dans certaines conditions des actions de ce genre peuvent se transmettre très loin.

A la suite des travaux du physicien hollandais Huyghens (XVII^e siècle) et du physicien français Fresnel (début du XIX^e siècle) on admettait l'existence d'un fluide infiniment subtil, l'éther, répandu dans tout l'espace, et dont les vibrations, les ondes, très rapides, produisaient les phénomènes lumineux.

C'est en partant de cette hypothèse d'Huyghens que Fresnel, dans d'admirables travaux, avait établi les lois qui régissent la propagation de la lumière.

Certes, nous savons que l'hypothèse de l'éther est maintenant abandonnée, et qu'au lieu d'un fluide simple, nous nous

trouvons en présence d'un monde de particules complexes, infiniment petites, se déplaçant dans l'espace ou tournant et vibrant sur place, suivant des lois fort compliquées.

Peu importe. — L'hypothèse de l'éther, si grossière et simpliste qu'elle fût, donnait une image de la réalité assez approchée pour permettre, non seulement d'expliquer la plupart des phénomènes et d'en tracer des lois suffisantes pour la pratique, mais aussi d'établir de nouvelles conceptions hardies, génératrices des progrès futurs.

Elle a été prodigieusement féconde en résultats et, précisément, grâce à son extrême simplicité.

Le physicien danois Oersted, le physicien français Ampère, le physicien anglais Faraday qui, au début du XIX^e siècle, étudiaient les actions à distance des aimants, des courants électriques et auxquels nous devons le splendide développement des applications de l'électricité, eurent tous les trois l'intuition que lumière, chaleur, électricité, n'étaient que les manifestations diverses des vibrations produites dans un même milieu, l'éther d'Huyghens.

Une étude théorique, démontrant que ces intuitions devaient bien correspondre à la réalité, fut faite en 1865 par un élève de Faraday, le grand physicien anglais Maxwell, dont le nom domine ainsi une des plus grandes conquêtes de l'esprit humain.

Le rattachement des phénomènes électriques aux phénomènes lumineux et calorifiques a ouvert à la science des horizons immenses. Mais les travaux de Maxwell étaient essentiellement théoriques, basés sur le raisonnement pur et l'interprétation des phénomènes connus. Leur intervention dans le développement de la science ne pouvait être efficace tant qu'ils n'auraient pas reçu de démonstration expérimentale.

C'est au savant allemand Hertz, mort à 36 ans, en 1894, que nous devons les géniales expériences, clef de voûte de l'édifice imaginé par Maxwell.

Ayant abandonné la profession d'architecte, Hertz effectua ses grands travaux comme professeur à Carlsruhe, puis à Bonn.

Si les vibrations électriques de Maxwell existaient réellement et se propageaient dans l'espace à la manière des vibrations lumineuses, il devait être possible de déceler leur passage et de produire avec elles des phénomènes analogues à ceux que l'on obtient avec la lumière : réflexion sur des miroirs par exemple, etc.

Hertz y parvint, et pour cela imagina des dispositifs expérimentaux (1888), que nous retrouverons dans tous les appareils transmetteurs de T.S.F. du début, et qui n'ont pas cessé d'être utilisés.

Sans penser toutefois à cette nouvelle application de la science, il fit en somme de la télégraphie sans fil à l'intérieur de son laboratoire.

En donnant son nom aux ondes électriques, devenues les ondes hertziennes, la postérité lui a rendu justice. Mais son œuvre reste inséparable de celle du grand Maxwell.

✱

Il fallait tout d'abord produire des ondes électriques assez intenses pour en mesurer facilement les effets, assez courtes pour se rapprocher autant que possible des petites vibrations lumineuses, avec lesquelles on devait alors trouver de grandes analogies.

Hertz employa un phénomène déjà connu et que les électriciens appellent : « décharge oscillante d'un condensateur ».

Un condensateur : tout le monde en a fabriqué de rudimentaires dans son enfance. Qui ne s'est amusé à frotter fortement avec du drap un manche de porte-plume fait de caoutchouc durci et à attirer avec lui de petits morceaux de papier.

En même temps qu'un peu de chaleur le frottement a accumulé, « condensé » des charges électriques, c'est-à-dire des électrons, sur le manche de porte-plume. Comme il est en matière isolante, les charges y restent, sans s'écouler dans le sol à travers notre corps. Nous aurions pu également frotter un morceau de métal, à condition qu'il soit tenu par l'intermédiaire d'un manche isolant de verre.

Les condensateurs véritables diffèrent un peu de ces dispositifs grossiers. Ils sont constitués par des plaques de métal, séparées par des plaques isolantes ou des espaces d'air, et au lieu de les frotter avec des peaux très sèches, on réunit les plaques de métal à des machines électriques qui y déversent de grandes quantités d'électrons.

Un condensateur électrique, c'est donc un réservoir d'électricité où les électrons s'emmagasinent, maintenus par les parois isolantes, comme de l'air se comprime dans une caisse de tôle étanche sous l'action d'une pompe spéciale.

La tension électrique (qui correspond à la pression de l'air) peut devenir très forte.

Il ne faut pas confondre les « condensateurs » avec les accumulateurs électriques qui servent à l'éclairage, au démarrage de nos voitures automobiles. L'accumulateur électrique est également un réservoir d'électricité : l'électricité y est produite comme conséquence de réactions chimiques ; mais sa tension y reste toujours faible. Suffisante pour les besoins domestiques, elle ne permettrait pas d'obtenir directement les phénomènes que nous allons examiner.

Supposons que nous augmentions sans cesse la pression de l'air dans un réservoir, il arrivera un moment où notre imprudence sera punie. Le réservoir éclatera, et une forte détonation nous avisera que nous avons dépassé les bornes du bon sens.

Cette détonation correspond à la formation d'ondes sonores puissantes. L'air du réservoir s'est précipité dans l'atmosphère, qui l'a repoussé violemment contre les parois. Quelques oscillations intenses se sont produites dans l'air, correspondant au bruit de la détonation. Ce dernier se propage dans l'espace sous forme d'une succession d'ondes sonores, peu à peu amorties. De même quand nous jetons une balle de caoutchouc à terre, elle rebondit, retombe à terre, rebondit un peu moins haut, et peu à peu s'arrête : elle reste inerte sur le sol, après avoir effectué quelques oscillations « amorties ».

Prenons comme réservoir électrique, comme condensateur, une sphère de cuivre soutenue par des supports isolants : approchons à quelques millimètres d'elle une autre sphère réunie au sol par un fil de cuivre. Puis emmagasinons dans la sphère isolée des charges électriques fournies par une machine spéciale, par exemple une de ces bobines d'induction, bobines de Ruhmkorff, analogues à celles que nous avons vu utiliser pour faire des expériences de physique, pour produire des étincelles, ou que l'on emploie sur beaucoup de voitures automobiles pour l'allumage des moteurs. L'électricité, emmagasinée dans la sphère, y est retenue par l'espace isolant qui est autour : mais dans cet espace il y a une zone de moindre résistance, c'est celle qui sépare les deux sphères voisines dont une n'est pas isolée, mais au contraire réunie au sol.

Si nous continuons à augmenter la pression électrique, il va arriver un moment où notre réservoir éclatera. Les charges électriques crèveront l'espace isolant qui entoure la sphère là où cela leur sera le plus facile : une étincelle jaillira entre

la sphère isolée et celle qui est réunie au sol. A travers cette étincelle qui est conductrice, car elle transporte des quantités de particules métalliques attachées à la sphère, les charges se précipitent dans la seconde sphère et, de là, dans le sol. Renvoyées violemment sur elles-mêmes par les charges du sol, comme une balle de caoutchouc par la terre, elles repassent dans la première sphère, à la faveur d'une seconde étincelle, et ainsi de suite : mais, très rapidement, le mouvement s'amortit.

Le phénomène est presque instantané : nous ne voyons qu'une étincelle, alors qu'il y en a des milliers, et que les oscillations électriques produites ne durent que quelques millièmes de seconde.

Dans leur mouvement de va et vient brutal, les électrons ont violemment ébranlé les particules électriques qui imprègnent tout l'espace autour d'eux. Le mécanisme du phénomène nous est connu. Les vibrations électriques produites autour des sphères, autour de « l'oscillateur », se propagent dans l'espace en s'amortissant rapidement, à la façon des ondes sonores, ou des vagues de la mer.

Mais le réservoir électrique s'est réparé de lui-même ! Sa paroi est en effet formée par l'air isolant qui entoure la sphère, et qui, déchirée un instant par l'étincelle, s'est reconstituée instantanément. Si la machine électrique apporte de nouvelles charges, le phénomène recommencera aussitôt. Des « trains d'ondes amorties » se détacheront successivement de « l'oscillateur », de même que des trains d'ondes sonores amorties se forment autour d'une cloche, chaque fois que le battant en frappe les parois.

Quand la foudre tombe, l'appareillage électrique des cieux fonctionne de la même façon.

Le condensateur, le réservoir électrique est un nuage, dont les charges se précipitent dans le sol en déchirant l'espace et oscillent violemment dans un temps infiniment petit.

La décharge peut se produire aussi entre nuages voisins : c'est le cas le plus général des éclairs.

Hertz utilisa un dispositif analogue à celui de « l'oscillateur » que nous venons de décrire.

Les ondes électriques produites par les appareils de Hertz variaient de 5 mètres de longueur environ à 60 centimètres.

C'était bien grand encore par rapport aux ondes lumineuses qui ont moins d'un millième de millimètre.

Hertz put néanmoins réfléchir les vibrations électriques, les réfracter, les dévier, comme des rayons lumineux. Il mesura leurs longueurs d'onde, et détermina toutes les règles de leur formation autour de l'oscillateur.

Son dispositif pour déceler le passage des ondes dans l'espace était simple : un cerceau métallique présentant une toute petite coupure.

Quand une série d'ondes rencontrent le cerceau, elles en mettent en mouvement les charges électriques, qui viennent se heurter à l'espace isolant de la coupure, rebondissent, reviennent contre l'autre bord de la coupure et ainsi de suite : le cerceau de Hertz était une antenne-cadre.

Si les mouvements des électrons sont énergiques, ce qui arrive si l'émetteur des ondes est tout près, les électrons franchissent la coupure, en déchirant l'air par une petite étincelle, qui indique donc le passage d'ondes dans l'espace.

Le résonateur de Hertz était le premier détecteur d'ondes. Il manquait de sensibilité, et il fallut tout le génie de ce physicien pour mener à bonne fin l'œuvre magnifique qu'il avait entreprise.

Son « oscillateur » perfectionné, combiné avec des batteries de condensateurs à plaques, resta longtemps un des organes essentiels des postes transmetteurs de T.S.F. imaginés quelques années après.

Le « résonateur » fut remplacé par des détecteurs d'ondes très sensibles, dont plusieurs systèmes furent étudiés de divers côtés.

Dans divers pays, les physiciens s'attachèrent à reproduire les expériences de Hertz, et leurs conclusions identiques sanctionnèrent complètement les théories de Maxwell.

L'Anglais Lodge eut l'idée, en 1894, d'utiliser, pour signaler le passage des ondes, un petit appareil étudié quatre ans avant par le professeur français Branly, le tube à limaille, que Lodge appela « cohéreur », et qui était d'une sensibilité plus grande que les dispositifs employés alors.

La sensibilité du cohéreur lui permit d'étudier la propagation des vibrations électriques à plus de 800 mètres.

La T.S.F. allait venir au monde.

Déjà l'Anglais Crookes, le Hongrois Tesla, en 1892 et 1893, envisageaient des transmissions de signaux, même des transmissions d'énergie à distance.

Les matériaux étaient presque tous à pied d'œuvre. On pensait à construire. Quel serait l'architecte ?



Un Russe, Popoff, professeur à Cronstadt, se préoccupait alors de l'étude des orages.

Convaincu, comme plusieurs autres physiciens, que la décharge des nuages était analogue à celle de l'oscillateur de Hertz, et donnait également lieu à des ondes électriques, il pensait que ces ondes, allant frapper au loin des appareils sensibles, annonceraient les orages.

Il eut l'idée d'installer au pied d'un fil de paratonnerre le cohéreur de Branly, adapté par Lodge.

Les ondes mettaient en vibration au passage les électrons de ce fil et leurs oscillations actionnaient le cohéreur.

L'antenne réceptrice était inventée (1895).

Un élève de Righi, alors étudiant à la Faculté de Bologne, Marconi, va trouver le moyen de combiner toutes les idées éparées et de créer un système de radiocommunications.

Il constitue un émetteur d'ondes en utilisant l'oscillateur de Hertz, combiné avec une antenne semblable à celle de Popoff, ce qui va augmenter la portée des ondes de Hertz dans de grandes proportions.

Pour recevoir, il prend le dispositif même de Popoff avec le cohéreur de Branly, adapté par Lodge.

Les portées qu'il obtient dépassent rapidement une dizaine de kilomètres.

En 1899, la Manche est franchie. En 1901, c'est l'Atlantique. Marconi a 27 ans. Son premier brevet d'invention est de 1896.



L'appareil « détecteur d'ondes » utilisé par Marconi, d'après les travaux de Branly, Lodge et Popoff, fut rapidement remplacé par d'autres, le détecteur magnétique de Marconi, le détecteur électrolytique de Ferrié, la valve de Fleming, l'innombrable variété des détecteurs à cristaux (galène, carborandum, etc.) de Dunwoody, Pickard, etc., et, enfin,

par la lampe à trois électrodes de de Forest. Mais il n'en marque pas moins une date dans l'histoire de la T.S.F.

Dans un petit tube de verre, plaçons un peu de fine limaille métallique, d'or ou d'argent par exemple, maintenue entre deux petits bouchons métalliques polis, réunis au dehors du tube à une petite pile électrique, analogue à une pile de sonnerie. Aucun courant ne passe. Il semble que le contact des grains entre eux et avec les parois des bouchons métalliques ne soit pas assez intime.

Si une étincelle électrique jaillit dans le voisinage, le courant passe brusquement. Un petit choc sur le tube remet les choses en état. Le courant s'arrête. Il faudra une nouvelle perturbation électrique pour le rétablir.

Telles furent les observations faites par Branly vers 1890.

Lodge eut l'idée d'appliquer ce dispositif sensible à l'étude des ondes hertziennes et perfectionna l'appareil.

Les vibrations électriques transmises par l'antenne au « cohéreur » franchissent les espaces minuscules qui séparent les grains de limaille et les bouchons du tube, en les soudant de façon imperceptible, ce qui permet au courant de la pile de passer. Le moindre choc détruit ces espèces de soudure et le phénomène peut recommencer.

Le cohéreur disparut rapidement. Mais, pendant plusieurs années néanmoins, il fut employé dans les postes de T.S.F., et c'est lui qui a permis d'établir les directives à suivre dans l'établissement des premières radio-communications.

..

Dans tous les domaines, les progrès s'accumulèrent avec rapidité.

Parmi les savants dont le rôle fut particulièrement fécond en résultats, il faut citer : Slaby, Braun, Meissner, Wien, Goldschmidt en Allemagne, Marconi, Lodge, Fleming, Round, Franklin en Angleterre, Fessenden, Dunwoody, Alexanderson, de Forest, Langmuir aux États-Unis, Blondel, Ferrié, Latour, Bethenod, Chireix en France.

Le général Ferrié avait compris immédiatement l'avenir du nouveau moyen de communication et fut le plus grand animateur de la T.S.F. française. En particulier, il créa et développa la populaire station de la Tour Eiffel, qui rendit de si grands services en tant que centre de recherches, d'applications scientifiques, de communications militaires. C'est là qu'en 1904 j'eus l'honneur de devenir son principal collaborateur.

Le poste était logé dans une petite baraque en bois de quelques mètres carrés. L'antenne ne comportait qu'un fil attaché au sommet de la Tour et amarré à un arbre bordant l'avenue de Suffren. La puissance était d'un cheval environ.

De 1908 à 1910, et afin de respecter l'harmonie du parc, le poste fut organisé sous terre et considérablement développé. Il disposait d'une centaine de chevaux.

Mais le progrès marchait vite... et, par suite de son emplacement souterrain et au milieu d'un jardin public, celui du Champ-de-Mars, la station de la Tour Eiffel ne se prêta bientôt plus aux développements d'antennes, d'installations nécessaires. La guerre de 1914-1918 marqua son apogée. J'en étais alors le chef, et j'émis le vœu peu après qu'elle soit transformée en musée de la radiotélégraphie française.

Le projet n'a pas abouti, mais mériterait d'être repris.

En 1910-1911, le commandant Ferrié et moi-même exécutâmes les premières expériences de T.S.F. en dirigeable et en

avion, après avoir créé, en 1908, les premiers postes automobiles.

En 1910, la T.S.F. commençait à être appliquée à la mesure du temps et la station de la Tour Eiffel effectuait les premiers envois de signaux horaires.

..

Les plus grands progrès techniques qui ont jalonné les développements de la radio-électricité sont l'alternateur à haute fréquence, la lampe de T.S.F., l'emploi des ondes courtes.

Nous avons vu comment Hertz produisait des vibrations électriques avec son oscillateur. Marconi augmenta considérablement les effets à distance par l'adjonction de l'antenne... et nous savons pourquoi.

Les mouvements rapides de l'électricité, des « électrons », dans l'antenne, ébranlent au voisinage les particules dont tout l'espace est imprégné, et les vibrations ainsi produites se propagent au loin de proche en proche, comme les ondes sonores, ou les vagues de la mer.

Le développement de l'antenne dans l'espace fait que les particules mises en mouvement sont beaucoup plus nombreuses que si l'oscillateur était seul.

Mais la décharge d'un condensateur (à la faveur de l'étincelle qui éclate dans l'oscillateur, appelé aussi « éclateur »), est un phénomène brutal comme celui de l'explosion d'un réservoir d'air comprimé, qui se répare automatiquement et instantanément pour éclater de nouveau... et ainsi de suite.

Chaque éclatement, chaque décharge donnent lieu à une série de vibrations et d'ondes qui s'éteignent, « s'amortissent » vite.

Deux ou trois éclatements, formant deux ou trois séries d'ondes « amorties » correspondent à un point de l'alphabet Morse, neuf ou dix à un trait.

Mettre en jeu beaucoup de puissance avec ce procédé n'est guère possible sans complications extrêmes.

Dès qu'on veut augmenter notablement la capacité des « condensateurs » électriques, ainsi que la pression, c'est-à-dire la tension de l'électricité qu'ils emmagasinent, on se heurte à des difficultés considérables.

Les « éclateurs » eux-mêmes soumis à des décharges électriques violentes et répétées sont d'une construction délicate.

D'ailleurs, ces successions d'ondes « amorties » brutales ne permettaient pas de réaliser d'une manière précise les « syntonies » dont nous avons parlé.

Sous leurs chocs répétés, les récepteurs étaient toujours impressionnés, même quand ils étaient très mal accordés.

De même une balançoire heurtée violemment se met en mouvement. Elle se déplace moins bien que si on la pousse en cadence peu à peu, mais elle se déplace tout de même.

Une protection efficace contre les perturbations n'était donc pas possible.

On s'efforça de trouver d'autres dispositifs donnant des ondes bien régulières, toutes identiques entre elles, se succédant dans l'espace comme les ondes sonores produites par une flûte, et non comme celles d'un timbre de bicyclette, d'une cloche heurtée par un battant. On les appela les ondes « entretenues » ; (c'est-à-dire maintenues régulières par une

source d'énergie extérieure, comme le sont les ondes sonores d'une sirène, tant que le moteur de la sirène fonctionne.)

La solution qui se présentait naturellement à l'esprit, et dont je vous ai déjà parlé, consistait à essayer d'adapter à la production d'oscillations très rapides les machines électriques industrielles qui lancent dans les réseaux de distribution les courants puissants, réguliers, mais lentement alternés, qui nous éclairent, actionnent nos moteurs.

Mais le problème était difficile. Les machines industrielles tournent déjà vite, et pourtant les oscillations électriques qu'elles produisent ne se succèdent guère qu'à raison d'une cinquantaine par seconde (courants à 50 périodes) : phénomène beaucoup trop lent pour produire dans l'espace des vibrations électriques que nous puissions déceler au loin. C'est non pas cinquante fois, mais au moins plusieurs dizaines de milliers de fois par seconde qu'il faut agiter les particules électriques pour que nous obtenions à distance des effets appréciables pour nos instruments.

Il fallut trouver le moyen de tourner la difficulté par des artifices permettant d'obtenir des oscillations rapides, sans augmenter outre mesure la vitesse de rotation des machines.

D'ingénieuses solutions furent trouvées en Amérique par Alexanderson, en Allemagne par Goldschmidt, Arco, en France par Latour, Béthenod; et, vers 1919, plusieurs grandes stations étaient équipées ou en voie d'équipement avec de telles machines, dont la puissance approcha bientôt d'un millier de chevaux (alternateurs de 250 kw. et de 500 kw. de Sainte-Assise, par exemple).

Les dispositifs français se montrèrent particulièrement simples et robustes. Leur rendement dépassait 80 % et la S.F.R. en installa dans de nombreuses capitales.

Les ondes produites étaient relativement grandes. Elles ne descendaient guère au-dessous de dix mille mètres, car on atteignait vite les limites de possibilité des machines tournantes, et nous savons déjà qu'on reconnut bientôt l'avantage, la nécessité même, d'ondes beaucoup plus courtes, trois et quatre cents fois plus courtes.

Néanmoins, les systèmes à « ondes entretenues », par alternateurs à haute fréquence, combinés avec les nouveaux appareils de réception, dont nous parlerons plus loin, donnèrent aux radio-communications un essor considérable; ils permirent, grâce aux nouvelles machines, de mettre en jeu des puissances très importantes, et la syntonie excellente obtenue dans les récepteurs sur ces ondes bien régulières améliorait le rendement de la réception, réduisait l'effet des perturbations.

C'est vers les mêmes époques que se développa l'emploi de la lampe à trois électrodes.

Dérivant d'une lampe à deux électrodes étudiée en 1904 par l'Anglais Fleming, elle fut conçue en 1906 par l'Américain de Forest, mais ne s'imposa que quelques années plus tard.

Elle constitue le plus grand progrès réalisé dans ces domaines un peu arides où il faut promener notre attention.

Appliquée d'abord aux postes récepteurs, elle révolutionna leur technique, mais se montra bientôt tout aussi capable de transformer entièrement les stations d'émission.

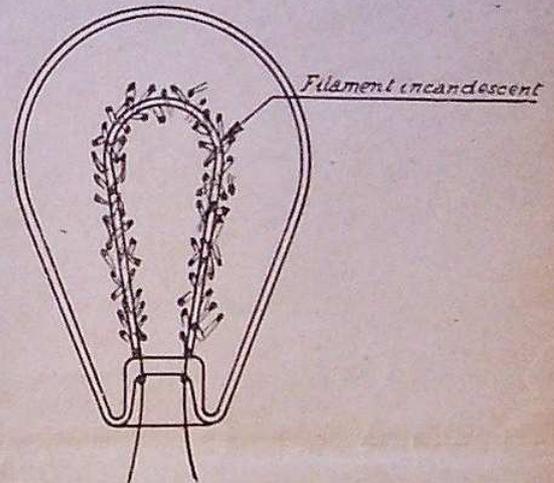
C'est elle qui conduisit l'ingénieur aux ondes courtes, à la téléphonie sans fil, à la transmission des images, à la télévision.

On la retrouve dans bien d'autres domaines que celui de la radio-électricité, la téléphonie aux grandes distances, le cinématographe parlant, etc. Sans cesse, elle nous ouvre des horizons nouveaux.

Il faut donc nous imposer les petits efforts nécessaires pour en comprendre les principes.

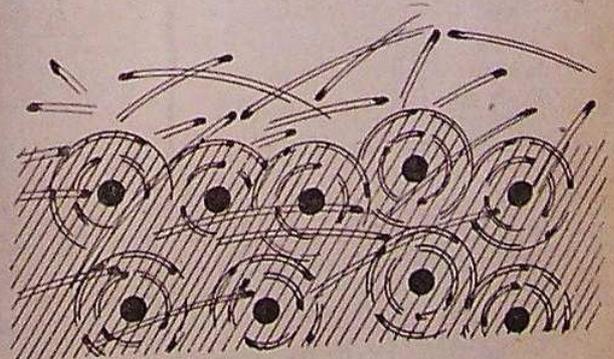
▲

Lorsque le filament d'une lampe à incandescence est parcouru par un courant électrique, c'est-à-dire par des électrons qui, lancés par une machine, circulent au milieu des groupements moléculaires de la matière constituant ce filament, il s'échauffe rapidement (fig. 1 et 2).



— FIG. 1. —

Nous savons que ces groupements ne sont pas inertes, les molécules étant formées de véritables systèmes solaires infiniment petits, avec planètes, satellites, etc.

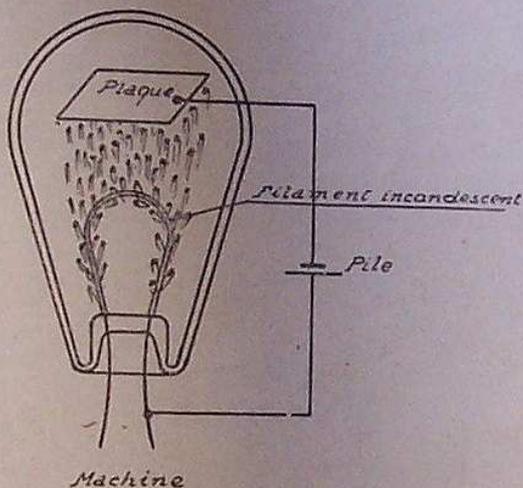


— FIG. 2 — Le filament grossi —

Sous l'action des électrons qui viennent traverser et bousculer tous ces petits mondes, les chocs internes augmentent. Une partie des électrons, dont les associations constituent

la matière du filament, sont projetés, comme des pierres par une fronde, au dehors du filament.

Si l'ampoule de la lampe à incandescence renferme une atmosphère gazeuse, ils se heurtent aussitôt contre les molécules du gaz, dont ils dissocient quelques-unes, et le phénomène n'a pas d'autres conséquences.



- FIG. 3 -

Mais supposons que nous ayons vidé l'ampoule aussi parfaitement que possible (fig. 3), au moyen de pompes pneumatiques, et imaginons, en outre, que nous ayons disposé, à l'intérieur de cette ampoule, à quelques millimètres du filament, une petite plaque métallique, bien isolée du filament, et réunie par un fil conducteur, traversant l'ampoule, à une assez forte pile électrique, reliée, d'autre part, au filament.

La pile a son circuit coupé, puisque le filament ne touche pas la plaque. Elle s'efforce de lancer ses charges électriques dans le petit espace vide qui sépare ces deux éléments.

Elle va trouver un moyen de transport rapide et souple, pour franchir cet abîme en miniature : ce sont tous les électrons que le filament incandescent projette autour de lui.

Ils ne sont plus arrêtés par des molécules de gaz, puisque l'ampoule en a été vidée.

La pression des charges électriques de la pile les pousse violemment, et les jette contre la plaque.

Il se produit un afflux permanent d'électrons du filament à la plaque : c'est un pont électrique jeté dans le vide. Le courant de la pile passe.

Ce n'est pas tout : les électrons vont vite. Ils heurtent la plaque avec force. Et si la pile est forte, si elle leur donne au départ une poussée violente, la plaque rougira, et pourra même fondre sous leurs chocs répétés.

Ce bombardement des particules de la plaque par les électrons, projetés hors du filament, provoque dans ces particules des vibrations extrêmement rapides, voisines des vibrations qui donnent naissance à la lumière. Il se forme alors des rayons qui ont beaucoup de propriétés communes avec les rayons lumineux, bien que nos yeux n'y soient pas sensibles. C'est ainsi qu'ils impressionnent les plaques photographiques. Mais ils traversent facilement les corps opaques : ce sont les rayons X.

Pour obtenir un rayonnement X assez intense, il faut des appareils importants, de grosses lampes, soumises à des tensions électriques très élevées, données par des machines spéciales.

Abandonnons cette voie, qui ne rentre pas dans notre domaine actuel et revenons à notre petite lampe munie de son filament, de sa plaque, et de sa pile électrique.

Entre la plaque et le filament (fig. 4), plaçons dans l'ampoule une petite grille métallique (plaque perforée de trous, ou simple grillage à mailles fines), bien isolée de la plaque et du filament, et réunie à un fil conducteur sortant de l'ampoule.

Les électrons qui vont du filament à la plaque traversent la grille.

Et nous allons utiliser cette dernière comme un moyen de commander leur mouvement, de l'arrêter, ou de l'accélérer.

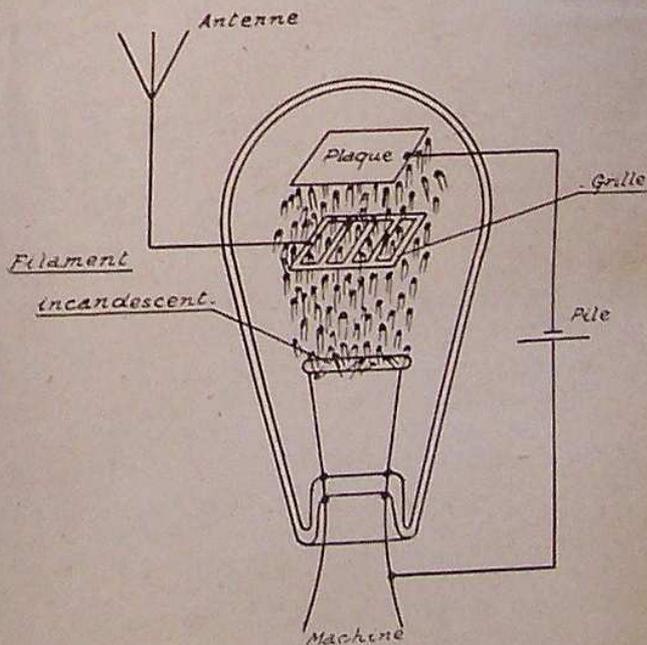
Supposons que nous réunissions la grille à une antenne réceptrice.

Des ondes traversent l'espace. Elles mettent en mouvement les charges électriques de l'antenne, dont les oscillations se font sentir jusqu'à la grille, la soumettant à des alternatives de pression et de dépression électrique.

Dans la première alternative (pression, sommet de l'onde), la tension électrique de la grille agit comme celle de la pile, qui pousse les électrons vers la plaque : soumis à deux effets au lieu d'un, ils ne s'en précipitent que mieux sur la plaque.

Quand la dépression (le creux de l'onde) arrive, l'effet de la grille se produit en sens opposé, annulant l'action de la pile : les électrons sont arrêtés.

Et ainsi de suite.



- FIG. 4 -

On voit apparaître la première propriété de la lampe à « trois » électrodes. Elle constitue un détecteur d'ondes,

puisque les oscillations électriques de l'antenne sont transformées par elle en impulsions de même sens des électrons qui vont ajouter leurs effets et forment ainsi un courant électrique que l'on peut percevoir avec un téléphone. Le téléphone n'aurait pu nous faire entendre directement les oscillations : elles sont trop rapides et sa membrane est incapable de suivre leurs mouvements de va-et-vient.

La grille est une espèce de soupape électrique, au travers de laquelle passent les électrons projetés vers la plaque.

Cette soupape s'ouvre ou se ferme à chaque oscillation de l'antenne, et, comme toute soupape qui se respecte, il ne faut que des efforts infimes pour la manœuvrer, tandis que le jet qui la traverse peut néanmoins être très puissant, car il résulte de causes dont nous sommes maîtres, l'émission d'électrons par le filament, qui dépend de sa nature, de sa température, et de la pile.

La soupape électrique n'a pas d'inertie; elle se rit des plus grandes vitesses, et sa sensibilité est extrême.

Elle constitue un « amplificateur » dont l'effet peut être considérable.

L'amplification commencée dans une lampe peut d'ailleurs être accrue dans une autre, et ainsi de suite, plusieurs fois. Les effets se multiplient.

Les applications de ces propriétés sont innombrables. Les amplificateurs à lampes sont devenus des éléments indispensables de tous les postes radio-électriques, des relais téléphoniques pour la téléphonie sur fil aux grandes distances, des phonographes électriques, des cinémas parlants, etc.

..

La lampe à trois électrodes, qui reçoit et amplifie si bien les oscillations électriques, peut aussi en produire.

Si l'on réunit la grille et la plaque de la lampe par des circuits électriques convenablement disposés, on observe la production, dans ces circuits, d'oscillations électriques qui peuvent devenir très puissantes, et actionner une antenne émettrice.

Les chocs des électrons contre la plaque provoquent des impulsions électriques dans les circuits qui partent de la plaque. Ces impulsions agissent à leur tour par l'intermédiaire de la grille sur les jets d'électrons qui la traversent et augmentent d'intensité : le phénomène s'amplifie, si on apporte à la lampe l'énergie électrique nécessaire.

Il existe de grosses lampes absorbant des puissances de plusieurs centaines de chevaux. C'est M. Ponte, de la S.F.R., qui a créé la plus importante, pour le grand poste de radio-diffusion d'Allouis (Radio-Paris). Quand une énergie supérieure est nécessaire, on utilise plusieurs lampes réunies ensemble.

Si les appareils sont bien étudiés et bien construits, les oscillations produites par les lampes sont régulières et pures.

Elles peuvent être extrêmement rapides.

Ce sont les « générateurs à lampes » qui ont permis la production industrielle des ondes « courtes », et transformé ainsi les radio-communications.

..

Les premières suggestions pour la production et la direction des ondes courtes sont aussi anciennes que la T.S.F. même.

Dans son laboratoire, Hertz dirigeait le rayonnement de son oscillateur. Mais aucune application pratique ne put être obtenue avant les récentes évolutions de la technique.

C'est Marconi qui, peu de temps après la guerre de 1914-1918, réussit le premier à établir des antennes « projecteurs » vraiment efficaces, puis à organiser des radio-communications à ondes courtes d'un caractère commercial. Il avait été amené à reprendre l'étude des ondes courtes par les recherches effectuées pendant la guerre de 1914 pour améliorer les communications des escadres.

Les liaisons expérimentales établies parfois à de grandes distances (lorsque les circonstances étaient favorables), par des amateurs éclairés, attirèrent l'attention du public sur le nouveau progrès.

Nous avons exposé déjà les avantages des ondes courtes pour les radio-communications. Elles s'imposèrent bientôt et le monde s'enveloppe maintenant d'un souple réseau de lignes hertziennes.

..

Ce raccourci de l'histoire de la T.S.F. et de ses développements nous a amenés progressivement à la conception moderne de l'organisation des radio-communications et des Centres radio-électriques.

Chaque pays de quelque importance dispose d'un ou de plusieurs « Centres radio-électriques » entre lesquels sont répartis les trafics à assurer.

Dans chaque Centre, les opérations sont commandées à partir d'un Bureau spécial qu'on appelle le Bureau central radio-électrique. Ce Bureau est relié aux réseaux télégraphique, téléphonique, pneumatique. On le place en pleine ville. C'est là que sont reçus et transmis tous les télégrammes. Il constitue le cerveau du Centre radio-électrique.

Des lignes le réunissent au Centre d'émission et au Centre de réception. Ces Centres, qui comprennent un plus ou moins grand nombre de stations émettrices et de stations réceptrices, sont écartés l'un de l'autre, aussi bien que des villes, afin de réduire les effets des perturbations électriques qu'ils provoquent ou qu'ils peuvent recevoir. Leurs antennes nécessitent d'ailleurs de grandes superficies.

On les installe dans la campagne, à 20 ou 30 kilomètres. Par exemple, dans le cas de la Compagnie Radio-France Sainte-Assise est le Centre émetteur, Villecresnes le Centre récepteur. Ils sont tous deux réunis au Bureau Central de la rue Montmartre.

Le Centre de réception comprend les appareils qui recueillent les oscillations électriques provoquées dans les antennes par les ondes des correspondants. Les « détecteurs » transforment ces oscillations en courants électriques constituant des signaux. Ces courants électriques lancés sur les lignes vont au Bureau Central actionnent des appareils inscripteurs (dont certains systèmes impriment automatiquement et directement les lettres transmises, comme des machines à écrire).

La transmission s'opère aussi du Bureau Central, où sont les manipulateurs qui fonctionnent le plus souvent automatiquement et à grande vitesse.

Les courants de manipulation sont envoyés dans les lignes qui vont au Centre d'émission et y fractionnent les ondes émises par ce Centre, de manière à former des signaux.

La plus grande partie du personnel d'un Centre radio-électrique se trouve au Bureau Central, puisque c'est là que

s'effectuent finalement les opérations de transmission et de réception.

Les Centres d'émission et de réception ne comportent que quelques agents techniques qui surveillent les réglages.

Un Centre radio-électrique moderne est une véritable usine qui fabrique des ondes et des mots en grande série.

La T.S.F. est, vous le voyez, le résultat de la plus belle coopération internationale que nous montre l'histoire de la science.

Des théories de l'Anglais Maxwell sortent les expériences de l'Allemand Hertz, qui établissent l'existence des ondes électriques et les règles de leur propagation. Un Français, Branly, invente un appareil sensible au passage de ces ondes, appareil que l'Anglais Lodge adapte à leur réception. Un Russe, Popoff, crée l'antenne de réception, qui permet de recueillir les signaux lointains. Un Italien, Marconi, groupe tous ces éléments et, adjoignant l'antenne de Popoff aux appareils émetteurs dont il accroît ainsi considérablement le rayonnement, réalise de véritables radio-communications. Il franchit la Manche en 1899, l'Atlantique deux ans après.

Le tout a duré moins de 40 ans. Inclignons-nous devant ces magnifiques efforts de l'esprit humain.

P. BRENOT.

Errata de la 1^{re} Conférence

Page 3, 1^{re} colonne, 7^e ligne, lire mitrailleuse.

Page 4, 1^{re} colonne, 44^e ligne, supprimer à ceux.

Page 4, 1^{re} colonne, 45^e ligne, lire notre fil.

Page 7, 1^{re} colonne, 26^e ligne, lire aussi au lieu de ainsi.

Page 7, 2^e colonne, 2^e ligne, lire se propagent au lieu de
se propageant.

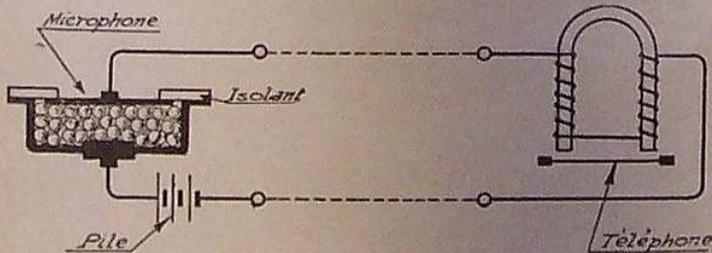
Page 8, 1^{re} colonne, 17^e ligne, lire une glace.

Conférences faites aux Employés et ouvriers DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE RADIO-ELECTRIQUE

TROISIÈME CONFÉRENCE

Quelques applications de la Radioélectricité (Radiophonie - Télévision - Télémécanique)

Radiophonie, transmission des images, télévision, toutes ces applications de la radioélectricité se réalisent de manière semblable par un procédé simple, tout au moins théoriquement, et qui consiste à déformer des oscillations électriques



- FIGURE 1 - COMMUNICATION TÉLÉPHONIQUE

par l'action du phénomène que l'on veut transmettre : c'est ce qu'on appelle la « modulation ».

Les déformations des oscillations émises se retrouvent évidemment dans le récepteur, et permettent de reconstituer le phénomène.

On applique exactement la même méthode en téléphonie ordinaire : mais au lieu d'ondes électriques, c'est un courant électrique qui est utilisé.

Un exemple simple vous fera mieux comprendre :

Du poste de départ on envoie, au moyen d'une pile, un petit courant électrique dans un fil réunissant les deux correspondants. Ce courant traverse un microphone devant lequel on parle (fig. 1).

Le microphone comporte, par exemple (il y en a plusieurs systèmes), un boîtier contenant de la grenaille de charbon, sur laquelle une petite plaque appuie légèrement. Les ondes sonores font vibrer la plaque : la grenaille de charbon, plus ou moins comprimée, offre au courant électrique une résistance plus ou moins grande. Le courant varie donc au gré des ondes sonores qui frappent le microphone (fig. 2).

Le courant microphonique sinuoux traverse le téléphone du correspondant. Ce téléphone se compose d'un petit électro-aimant devant lequel peut vibrer une plaque métallique. Un électro-aimant, c'est un aimant entouré d'une bobine de fil par laquelle on fait passer un courant : l'action de ce courant

renforce ou diminue l'aimantation. Dans notre cas, cette action varie au gré des ondes sonores, et l'électro-aimant exerce ainsi une attraction variable sur la plaque métallique.

Elle vibre donc à son tour en suivant fidèlement les impulsions du courant qui la commande, et les ébranlements de l'air qui en résultent reproduisent les ébranlements qui ont frappé le microphone... à quelque chose près... évidemment... et dans ce quelque chose se trouve le secret de bien des exaspérations, bien des colères : I, comme Isidore ; C, comme corridor, etc...

Le mécanisme d'une communication radiophonique est analogue : mais, dans la liaison entre les deux correspondants, le courant électrique est remplacé par les « ondes électriques ».

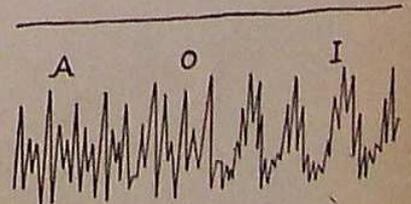
Du poste émetteur, des ondes hertziennes sont lancées dans l'espace d'une façon continue, régulière.

Le microphone agit sur l'organe qui les produit : et, de même que le courant électrique utilisé en téléphonie avec fil était modifié par les ondes sonores, de même les ondes électriques varieront sous l'action microphonique, qui favorise ou gêne leur émission (fig. 3).

Au poste récepteur, le détecteur d'ondes traduira ces variations, et le courant qu'il laissera passer dans l'écouteur téléphonique reproduira sensiblement le courant microphonique du poste émetteur.

- a. Au repos -

- b. On parle -



- FIGURE 2. - LE COURANT MICROPHONIQUE -

Les vibrations de la membrane du téléphone récepteur correspondront aux ondes sonores, que nous retrouverons ainsi à peine meurtries par leur chevauchée rapide à 300.000 kilomètres à la seconde sur les ondes électriques.

Les analogies qui existent entre les deux modes de téléphonie, avec ou sans fil, ne doivent pas nous masquer leurs différences, car c'est de ces différences que vont naître les difficultés importantes auxquelles se heurte l'émission radiophonique.

Dans le premier cas, l'énergie électrique, commandée par le microphone, est à peu près intégralement conduite chez le correspondant par le fil de liaison. Cette énergie peut être très petite et les dispositifs microphoniques, aussi bien que les organes récepteurs, seront simples, d'une réalisation facile.

Dans le cas de l'émission radiophonique, les ondes hertziennes se propagent tout autour du poste émetteur. A une distance même relativement faible, l'énergie qu'elles transportent sera dispersée sur une surface immense : chacun n'en pourra saisir, par le collecteur de son antenne réceptrice, qu'une partie extrêmement petite.

Pour que cette partie soit utilisable, elle ne doit pas être trop infime, et cela oblige le poste émetteur à mettre en jeu une énergie relativement considérable. Cette énergie atteint des centaines de chevaux dans les postes de radiodiffusion actuellement en service régulier. Le poste d'Allouis (Radio-Paris), le plus puissant du monde, installé par la Société Française Radioélectrique, peut mettre en jeu dans ses antennes plus de 1.200 chevaux. Nous sommes loin des quelques cent-millièmes de cheval nécessaires pour une communication téléphonique, par ligne aérienne, à trois cents ou quatre cents kilomètres.

Il est vrai que toute notre cavalerie radiophonique a, par contre, l'avantage d'atteindre un nombre illimité de correspondants.

Bien d'autres difficultés étaient à vaincre, dont certaines résultaient précisément de la nécessité d'employer de grandes puissances.

Il est évident que pour reproduire convenablement à distance, — et nous verrons comment les récepteurs s'en acquittent — toutes les complexités des ondes sonores de la parole, de la musique, il faut tout d'abord que les déformations imposées aux ondes électriques suivent fidèlement les vibrations sonores qui les provoquent.

Ceci impose déjà la production d'ondes électriques d'une parfaite régularité, sans quoi les irrégularités initiales des ondes masqueraient les déformations qu'on leur imprime. Nous savons qu'on appelle ces ondes régulières des ondes « entretenues », et qu'elles sont analogues au point de vue de leur formation et de leur succession dans l'espace aux ondes sonores émises par une flûte, une sirène, etc...

Ensuite, sur ces ondes que l'on doit produire avec une grande puissance pour qu'elles se propagent loin, il faut faire agir les ondes sonores à l'aide du microphone, organe petit et délicat.

Si la membrane du microphone ne répondait pas fidèlement aux vibrations sonores qu'elle reçoit, il en résulterait une mauvaise reproduction des sons. Nous en avons parfois la preuve dans le cas simple des communications téléphoniques ordinaires. Il arrive que la voix soit déformée, surtout quand on parle trop fort et trop près de l'appareil. Or, la musique est beaucoup plus complexe que la voix, comporte des alternatives bien plus marquées de force et de douceur. Le microphone de la radiodiffusion est donc un appareil de précision. On le perfectionne tous les jours. Il a trouvé d'ailleurs maintes applications dans le cinéma parlant.

Un appareil de précision de ce genre ne peut évidemment produire que de tout petits courants. Comment pourront-ils agir sur des oscillations électriques puissantes?

Nous ferons appel une fois de plus aux propriétés des lampes de T.S.F. Nous avons vu qu'elles pouvaient constituer des amplificateurs et qu'en les mettant à la suite les unes des autres, on multipliait encore considérablement leurs effets.

Nous utiliserons donc des amplificateurs constitués par des successions de lampes. Et l'effet sur le microphone des vibrations sonores sera ainsi multiplié des milliers de fois.

Mais il faut des amplificateurs bien calculés, fidèles, amplifiant aussi bien les courants infimes que les courants relativement forts.

Songez que lorsque nous parlons, l'énergie dépensée pour produire les vibrations sonores varie du simple au centuple

au cours d'une conversation ordinaire — le minimum étant de l'ordre d'un milliardième de cheval! Dans le cas d'un orchestre, l'énergie sonore saute facilement de 1 à 100.000 et même un million.

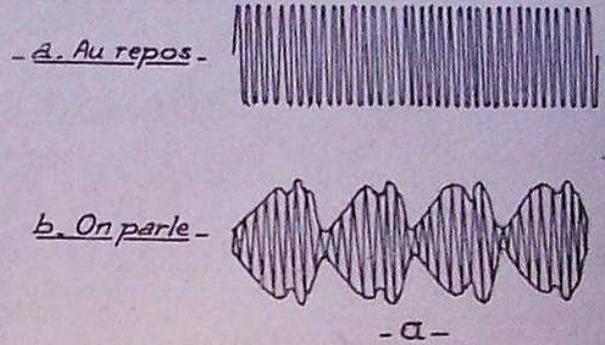
L'amplificateur doit multiplier tout cela, mais sans changer les proportions. Sans quoi, parole, musique ne seraient plus reproduites fidèlement et nous aurions une cacophonie insupportable.

Il y a des sons aigus, d'autres graves. Il faut que l'amplificateur amplifie aussi bien les notes graves que les notes aigues.

Les problèmes techniques à résoudre étaient difficiles.

On arrive maintenant à amplifier plus de mille milliards de fois sans déformation appréciable.

Certes, les appareils sont gros, compliqués et comportent beaucoup de lampes, dont les dernières sont très importantes.



- FIGURE 3 - LES ONDES

Ils remplissent des salles entières. Mais la recherche de la perfection n'est plus un problème technique, ce n'est plus qu'un problème d'argent, et dans les postes de radiotéléphonie ou de radiodiffusion modernes il n'y a guère de progrès à faire de ce côté.

**

Nous voici en possession de courants électriques suffisamment intenses et fidèles traducteurs des ondes sonores.

Nous les faisons agir, par divers procédés, sur les oscillations électriques régulières produites par un poste émetteur et, moyennant des précautions d'ailleurs délicates, les déformations imprimées aux oscillations suivront sans défaillance les variations des ondes sonores (fig. 3).

**

Admettons que tout soit correct dans la station émettrice. Nos ondes « modulées » voyagent dans l'espace, toujours capricieuses, favorisant telle ou telle région, au hasard des obstacles qu'elles rencontrent, des chemins favorables que leur offrent des vallées, des plaines, ou l'espace libre au-dessus des mers.

Voici qu'elles effleurent une antenne réceptrice et que se laissant arracher au passage un peu de leur énergie, elles vont abandonner en même temps les secrets de leur âme. Là encore la tâche du technicien sera difficile. Car, pour les surprendre intégralement, ces secrets, pour reconstituer les phénomènes qui ont déformé les oscillations électriques, il faut de multiples précautions.

L'énergie captée est très faible, de l'ordre d'un milliardième de cheval.

Si nous voulons entendre sans peine, dans un modeste haut-parleur, les paroles qui ont modulé les ondes émises, il faudra amplifier l'énergie reçue des millions de fois — et cela fidèlement sans déformation appréciable.

Les oscillations électriques infimes produites dans l'antenne réceptrice par le passage des ondes sont transformées par le « détecteur d'ondes », par exemple le cristal de galène, la lampe de T.S.F., en petits courants électriques formant des impulsions de même sens qui ajoutent leurs effets, et sont perceptibles dans un téléphone.

Ces petits courants comportent des sinuosités, correspon-

dant à la modulation des ondes, et ce sont ces courants sinueux qui, agissant sur la membrane du téléphone, la font vibrer et reproduisent les sons initiaux.

Le haut-parleur n'est qu'un gros téléphone, dont la membrane est grande et agitée de plus importantes masses d'air.

Vous voyez la difficulté à vaincre.

Il faut amplifier énormément des courants très petits, sans les déformer, et cela dans un appareil qui doit rester peu volumineux et pas trop cher, puisqu'il doit être installé chez le plus grand nombre de personnes possible.

Ensuite le haut-parleur (ou le téléphone), doit être fidèle, sa membrane vibrante suivant exactement toutes les sinuosités du courant électrique qui la commande.

La solution n'est pas facile. On ne la rencontre qu'approximativement obtenue dans les récepteurs, car des raisons de commodité, de prix, obligent à se contenter de dispositifs souvent médiocres.

En tout cas, soyons prudents quand nous incrimons la qualité d'émission d'une station radiophonique : le récepteur est parfois seul coupable.

Il peut amplifier davantage certaines notes, introduire des déformations, surtout quand on lui demande des sons puissants.

On a peut-être trop sacrifié à la sensibilité : on a amplifié à outrance — et, hélas ! n'importe quoi, n'importe comment !

Les ondes de notre correspondant ne sont pas seules, enfin, dans l'espace.

Des ondes de toutes sortes s'y croisent en tous sens : celles d'autres stations émettrices, qui ne sont pas toujours les plus gênantes, car on en connaît l'origine, la constitution; celles qui sont créées par les perturbations électriques de l'atmosphère, dont les orages, lointains ou rapprochés, ne sont que des manifestations exceptionnelles; celles qui proviennent de causes locales particulières, ascenseurs, tubes à néon, tramways électriques, moteurs électriques, etc...

Certaines de ces perturbations se manifestent clairement par un bruit de friture caractéristique; d'autres restent en germe, ne se détachent pas de l'émission que l'on reçoit, mais la rendent médiocre, en produisant des soufflements, des bruits de fond très désagréables. Avant d'incriminer le poste émetteur, pensons donc aussi à ces ondes parasites, et surtout cherchons à nous préserver contre elles, dans toute la mesure possible, en ayant un récepteur muni de dispositifs de sélection suffisants, une antenne bien installée.

D'ailleurs, tous les défauts de réception s'accroissent, en général, quand on demande au récepteur beaucoup de sensibilité, et cela se conçoit aisément : c'est pourquoi un bon réseau de radiodiffusion ne doit comporter que des postes émetteurs rapprochés ou très puissants.

**

Ces observations, où nous avons envisagé surtout l'application de la radioélectricité la plus populaire, la radiodiffusion, doivent être corrigées quand il s'agit de la radiotéléphonie. Ce nom est réservé à la transmission de la parole par ondes hertziennes entre deux correspondants.

La radiotéléphonie correspond à la téléphonie, les ondes électriques remplaçant simplement le fil qui réunit les correspondants.

Le problème se complique en certains points, se simplifie en d'autres.

Il ne saurait plus être fait appel à des microphones spéciaux, car chacun doit pouvoir téléphoner de son bureau ou de son domicile, par l'intermédiaire du réseau téléphonique habituel.

Les courants qui partent du microphone de la personne qui parle aboutissent à des amplificateurs placés dans la station émettrice de radiotéléphonie.

Leur amplification est relativement aisée, la parole ne donnant pas lieu à des vibrations aussi complexes que les ensembles musicaux.

La personne qui écoute est reliée par son téléphone ordinaire et par le réseau à une station réceptrice, qui amplifie correctement les oscillations reçues, et les transforme en courants téléphoniques.

Tout est combiné pour que les correspondants puissent échanger leurs conversations comme en téléphonie ordinaire.

La puissance employée n'est pas aussi grande que dans le cas de la radiodiffusion, car les récepteurs étant installés dans des stations spéciales peuvent être très importants, très sensibles. Enfin, il est fait usage d'antennes dirigées concentrant l'énergie vers la station correspondante, puisqu'il n'est plus besoin, bien au contraire, d'être entendu de tous côtés.

Aux deux extrémités de la ligne « hertziennne » se trouvent donc deux centres radiotéléphoniques (station émettrice, station réceptrice) en communication avec le réseau téléphonique général par des appareils de « liaison au réseau ».

Une conversation entre Paris et Alger ou l'Amérique est aussi nette qu'entre deux abonnés du régime intérieur français.

Des dispositifs spéciaux sont utilisés pour que ces conversations ne soient pas le secret de Polichinelle !

Les oscillations électriques modulées reçoivent au départ une transformation systématique, de manière à rendre la réception incompréhensible pour celui qui ne possède pas des appareils récepteurs reconstituant automatiquement ces oscillations dans leur forme primitive.

**

La radiotéléphonie fut envisagée dès les premières années de la radiotélégraphie. Et cela se conçoit puisqu'une fois les ondes électriques connues et adaptées à la radiotélégraphie, les procédés de la téléphonie ordinaire avec fil devenaient applicables, le lien « hertzien » remplaçant simplement le lien par fil.

Elle ne fut toutefois réalisable d'une manière pratique, et vous comprenez maintenant pourquoi, que le jour où l'on sut produire des ondes régulières, des ondes « entretenues », et amplifier les oscillations électriques.

C'est à la lampe de T.S.F. que nous devons radiotéléphonie et radiodiffusion.

Si les expériences de Fessenden qui, en 1907, put communiquer à trois cents kilomètres de New-York à Brant-Rock, de de Forest, Poulsen, Rühmer, Majorana, etc., doivent être rappelées, retenons surtout l'époque où la radiodiffusion, sœur jumelle de la radiotéléphonie, commença à jouer son rôle dans le monde.

La première station de radiodiffusion est née en 1920 à Pittsburg, aux Etats-Unis...

Il y a maintenant plus de quatre-vingt-dix millions de récepteurs de radiodiffusion en service dans le monde.

En France, la première grande manifestation radiophonique eut lieu le 26 novembre 1921, lors d'un banquet donné à l'occasion des fêtes du centenaire d'Ampère. La *Marseillaise*, chantée au poste de Sainte-Assise, jaillit de haut-parleurs cachés dans des massifs de fleurs et sur ses ailes la radiodiffusion entra dans la vie française.

Plus tard, ce fut Radiola, puis Radio-Paris (à l'époque le poste le plus important du monde en ondes longues), Radio-Luxembourg, construit aussi par votre Société, et qui, par sa puissance, conserva la tête en Europe jusqu'à ce que la grande station d'Allouis (nouveau Radio-Paris), due à notre effort commun, augmente encore avec ses 900 kilowatts-antenne l'avance de la technique française.

Les stations de radiodiffusion se sont multipliées. Il y en a une trentaine en France; des milliers dans le monde. Il y en a même trop, car elles commencent à se brouiller les unes les autres.

Pour réduire les perturbations, on est de plus en plus amené à faire transmettre simultanément les mêmes programmes par plusieurs stations employant exactement la même onde. C'est ce qu'on appelle « synchroniser » des réseaux de radiodiffusion. Il faut que ce synchronisme soit absolu, sans quoi l'audition serait désagréable.

Par ce procédé, on peut desservir plusieurs régions par des stations différentes sans que néanmoins les ondes de ces stations, qui par moments, nous le savons, portent très loin, produisent plus de perturbations que si une seule station transmettait.

Pour les très grandes distances, on utilise des stations à ondes courtes, d'une puissance-antenne atteignant maintenant plus de deux cents chevaux.

Les stations à ondes longues ou moyennes, plus faciles à recevoir, plus régulières, par conséquent mieux adaptées à la

bonne qualité de la reproduction, et permettant l'emploi de récepteurs plus simples, sont réservées à des zones moins étendues.

Mais les circonstances qui ont exaspéré la curiosité générale ont, du même coup, considérablement accru l'intérêt des ondes courtes, grâce auxquelles la sensibilité de notre oreille s'élève à l'échelle de la planète. Elles seront sans doute demain nos messagères préférées.

La radiodiffusion, par son prodigieux développement, est demeurée une des meilleures clientes des réseaux qui distribuent l'énergie électrique, dont elle consomme annuellement près de six milliards de kilowatts-heure!

De son côté, la radiotéléphonie s'est considérablement développée.

La plupart des grands pays disposent de liaisons radiotéléphoniques intercontinentales qui mettent leurs réseaux téléphoniques intérieurs en relation avec la presque totalité du globe.

Les navires importants possèdent déjà les appareils nécessaires pour se relier par téléphonie sans fil, aussi bien que par télégraphie sans fil, aux réseaux terrestres.

Sur toute la surface du globe, rien n'arrête plus les manifestations directes de la pensée humaine, qui font le tour de notre monde en moins de deux dixièmes de seconde.

De ces progrès nous devons beaucoup espérer. Par une pénétration constante de la vie publique dans la vie privée, la radiodiffusion nous apporte un moyen de lutter contre les attaques incessantes de la vie moderne contre le foyer, puisqu'elle fait venir, fera de plus en plus venir à nous ce que nous devons aller chercher au dehors.

Prodigieuse éducatrice, elle sera un admirable instrument de progrès. Par la coordination des pensées qu'elle finira par établir entre des millions d'hommes, sans se soucier des frontières, par la diffusion des vérités qu'elle fera toujours éclater peu à peu, elle devrait être un jour un des meilleurs agents de paix et de fraternité humaine.

Son rôle s'augmenterait encore si les ondes nous apportaient en même temps l'audition et la vision.

Le jour en est peut-être proche.

Le problème de la télévision comporte déjà des solutions assez satisfaisantes. Et nous pouvons espérer qu'elles permettront des réalisations assez simples, assez peu coûteuses pour rendre l'écran de télévision aussi populaire que le haut-parleur de la radiodiffusion.

Au cinéma, ce que nous voyons est une succession d'images qui se substituent simplement les unes aux autres assez vite (vingt-cinq fois par seconde) pour que le changement soit imperceptible à l'œil, et que nous ayons l'impression d'un mouvement continu. Dans les mauvais appareils, d'ailleurs, des tremblements, des saccades apparaissent.

En télévision, qu'on opère avec ou sans fil, le principe fondamental est actuellement le même : on ne transmet pas autre chose que des images se succédant très vite — et c'est pourquoi le problème se ramène essentiellement à celui de la transmission d'une image.

Nous avons vu comment la déformation, « la modulation » des oscillations électriques par un phénomène comme celui des ondes sonores permettait le transport au loin des sons de toute espèce.

Pour transporter une image, c'est-à-dire un ensemble d'éléments plus ou moins éclairés, plus ou moins brillants, il faut trouver le moyen de déformer, de « moduler » les oscillations électriques par des ondes lumineuses qui, dans ce cas, remplacent les ondes sonores.

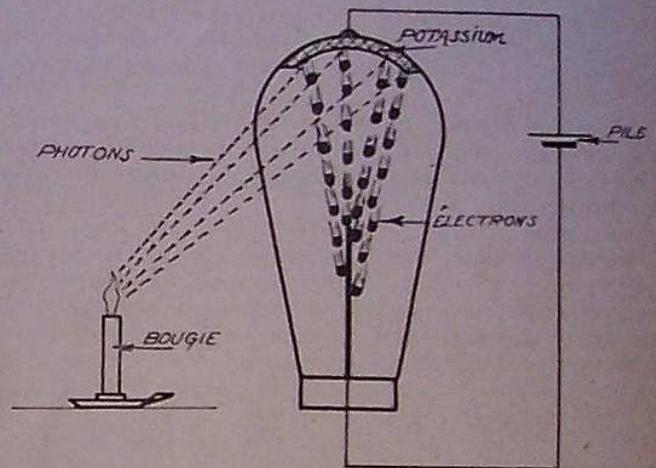
Cela ne doit pas à priori être impossible, car nous connaissons les parentés qu'il y a entre les phénomènes lumineux produits par les « photons », et les phénomènes électriques

Et la science, après diverses solutions et de multiples tâtonnements, où le nom de Hertz se retrouve d'ailleurs dès 1884, nous a donné un appareil qui ressemble un peu dans ce domaine à la première lampe de T.S.F., la « valve » de Fleming, glorieuse mère de la lampe de T.S.F. actuelle.

La cellule photoélectrique (« l'œil électrique ») est constituée par une petite ampoule de verre, où le vide a été effectué, et où pénètrent deux électrodes (pièces métalliques) séparées l'une de l'autre par un étroit espace (fig. 4). L'une d'elles est, par exemple, une simple tige métallique. L'autre est une plaque (qui peut être constituée par une paroi même de l'ampoule) recouverte d'un composé de potassium, de césium, ou d'un corps analogue.

Une petite pile électrique est réunie à ces deux électrodes à l'extérieur de l'ampoule. Le courant ne passe pas, puisqu'il y a un espace vide entre les deux électrodes à l'intérieur de l'ampoule.

Projetons de la lumière sur l'appareil. Cela veut dire que



— FIGURE 4 — CELLULE PHOTO-ÉLECTRIQUE —

des « photons », lancés par la source de lumière, traversent le verre et frappent en particulier l'électrode recouverte de potassium. Le potassium est comme tous les corps, nous le savons, composé d'un nombre énorme de particules élémentaires, formées elles-mêmes d'autres éléments plus petits encore dans lesquels des électrons tournent autour d'astres minuscules, comme les planètes autour du Soleil.

Dans certains corps, et le potassium est un de ceux-là, certains de ces électrons sont mal accrochés aux atomes et il suffira du choc de quelques photons pour qu'ils s'échappent.

De même quand on fait tourner une pierre dans une fronde, et qu'on lâche brusquement un des liens de la fronde, la pierre s'échappe.

L'électron en mouvement dans l'atome de potassium est la pierre de la fronde. Les photons projetés par la source lumineuse brisent ses liens. Il s'échappe... mais la force de la pile le pousse aussitôt contre l'autre électrode à l'intérieur de l'ampoule.

Les arrivées des électrons (commandés par les chocs des photons, c'est-à-dire par les éclaircissements de la cellule) constituent, à travers le vide de l'ampoule, entre les deux pièces métalliques, les deux « électrodes », un véritable passage d'électricité, un véritable courant.

Et ce courant, d'autant plus intense qu'il y a plus d'électrons, c'est-à-dire plus de photons pour les libérer, ou ce qui est la même chose plus de lumière, suit instantanément, sans inertie, toutes les variations d'éclaircissement de la cellule.

La cellule photoélectrique transforme donc la lumière en électricité, et cette électricité nous pourrions la faire agir sur des oscillations électriques exactement comme les courants issus d'un microphone recevant des ondes sonores.

Certes, les courants produits sont extrêmement petits, plus petits encore que les courants microphoniques... Mais nous savons maintenant que grâce à la lampe de T.S.F. il est relativement facile de les amplifier considérablement et avec une grande fidélité.

Complétées par les amplificateurs, les cellules photoélectriques constituent donc de magnifiques outils de travail. Nous allons voir comment ils s'appliquent à la transmission des images, à la télévision.

Les images qui se forment dans notre œil ont quelque analogie avec les images typographiques. Elles sont composées comme elles d'éléments très petits, contigus, plus ou moins blancs, gris ou sombres, dont l'ensemble donne l'impression du dessin et de ses ombres.

En effet, la rétine comporte environ cinquante mille petits éléments juxtaposés sensibles à la lumière. Ils sont plus serrés au centre. Les sensations résultant des impressions diverses reçues par chacun d'eux se fondent ensemble et nous paraissent continues...

A cette réalisation automatique du « fondu » par l'organe de la vue, s'associe un phénomène analogue dans la perception des images successives. L'œil ne sépare que des impressions se succédant à plus d'un seizième de seconde. Ce défaut (ou cette qualité) a facilité la cinématographie, facilité la télévision, puisqu'il suffit de transmettre par seconde seize images successives au moins d'un objet en mouvement pour créer l'illusion nécessaire.

Dans les photogravures, le nombre de points formant une image varie de dix mille à seize mille environ pour un visage couvrant une surface de neuf centimètres carrés

Cette décomposition élémentaire des images, que la nature elle-même effectue dans le système cellulaire de l'œil, et qui est aussi à la base de l'art du typographe, s'est imposée aux premiers chercheurs de la télévision, tels que Sawyer, M. Leblanc, Ekström, Nipkow, etc., qui, après les tentatives infructueuses de Carey vers 1875, pensaient à la réaliser entre correspondants reliés, d'abord par des fils, ensuite par des ondes électriques.

Ils s'efforcèrent de transmettre l'image par petits éléments successifs, le tout s'effectuant très rapidement, formant un puzzle quasi instantané.

Qui ne s'est amusé parmi vous à projeter les rayons solaires recueillis par une glace de poche et à déplacer rapidement sur des objets éloignés la petite tache lumineuse produite? A un très faible mouvement de la main correspond un grand mouvement de la tache lumineuse.

Eclairons une image par un petit faisceau lumineux très mince formant sur elle un véritable point, obtenu à l'aide d'une source de lumière, d'un petit miroir et de lentilles concentrant la lumière.

Miroir et lentilles ne sont pas tenus à la main, mais fixés à un dispositif mécanique qui peut les faire osciller, de manière que le rayon lumineux, mince comme un fil, parcourt une bande horizontale de l'image, puis aussitôt, et très rapidement, bascule un peu pour parcourir une deuxième bande au-dessous de la première et ainsi de suite.

Tous les points de l'image sont donc éclairés les uns après les autres par « lignes » successives. Ils renvoient plus ou moins la lumière suivant qu'ils sont blancs, gris ou noirs.

Près de l'image ou de l'objet, est une cellule photoélectrique. Elle reçoit successivement la lumière renvoyée par les divers points de l'image, et comme nous savons que les courants électriques qui la traversent sont plus ou moins forts suivant qu'elle est plus ou moins éclairée, nous recueillerons des courants qui se succéderont en variant exactement comme les éclairissements des éléments de l'image.

Ces courants, amplifiés fidèlement, et agissant sur les oscillations électriques d'une station émettrice, les déformeront, les moduleront, comme dans le cas d'une émission radio-phonique.

Le récepteur qui transforme les ondes en courants électriques reconstituera donc en même temps les petits courants produits par la cellule.

Pour reproduire l'image, il nous reste à faire la transformation inverse, d'ailleurs bien plus facile, de l'électricité en lumière.

Imaginons que les courants du récepteur, amplifiés à leur tour car ils sont très petits, passent dans une lampe électrique dont les éclats lumineux suivent

instantanément les variations du courant qui l'alimente. Nous recevons de cette lampe une lumière variant sans cesse, et dont les variations reproduisent fidèlement les variations d'éclairissement des points de l'image transmise.

De telles lampes sans inertie existent. Nous en voyons de grands modèles éclairer les magasins, les cafés, les cinémas, sous forme de longs tubes lumineux. A l'intérieur du tube est un gaz spécial qui s'illumine sous l'action d'une décharge électrique, et n'a évidemment pas l'inertie d'un filament chauffé.

Supposons que la lumière de la lampe soit reçue par un petit miroir ayant exactement les mêmes mouvements d'oscillation que celui qui éclaire l'image, et, soit, après concentration par une lentille, projetée sur un petit écran. La lumière du miroir va parcourir l'écran en même temps et de la même manière que le faisceau lumineux du poste émetteur parcourt l'image à transmettre.

Or, la lumière envoyée par ce second miroir varie absolument, nous venons de le voir, comme les éclairissements de l'image transmise. Les blancs, les noirs de celle-ci vont donc se trouver reconstitués par points et lignes successifs.

Tout cela est pratiquement instantané : nous verrons l'image.

Supposons maintenant qu'il s'agisse d'un objet animé. Une fois transmise une première « vue » de l'objet, le dispositif émetteur recommence presque instantanément, et continue à raison de vingt à vingt-cinq vues par seconde : nous « verrons » donc l'objet en mouvement comme au cinéma.

Lorsqu'on désire simplement transmettre à distance une image, une page d'écriture, une carte, et en garder une reproduction, il n'est pas nécessaire d'effectuer les opérations aussi rapidement et on peut utiliser des dispositifs simplifiés.

Au lieu de faire parcourir l'image à grande vitesse par un faisceau lumineux, on laisse le faisceau fixe et c'est l'image qui se déplace lentement devant lui. Elle est enroulée sur un cylindre qui tourne en avançant.

A la réception, la lampe à éclairissement variable projette son faisceau lumineux sur un cylindre tournant et se déplaçant exactement comme celui du poste émetteur. Le cylindre de réception porte par exemple un papier photographique, qu'impressionnent plus ou moins les éclats de la lampe, et où l'image se reconstitue ainsi par points successifs.

On utilise également des systèmes électrochimiques. Le papier qui recouvre le cylindre est imprégné d'une solution que les petits courants sortant du récepteur, transmis par un stylet qui frotte sur le papier, décomposent en la colorant.

Enfin, dans certains systèmes récents, encore plus commodes (la S.F.R. vient d'en mettre un au point), il est fait usage d'un simple papier carbone analogue à celui des machines à écrire. Les courants du récepteur actionnent un dispositif qui, par l'intermédiaire d'une espèce de came, appuie plus ou moins le papier carbone sur la feuille où doit s'enregistrer l'image — toujours par points successifs.

En deux minutes on obtient une excellente reproduction d'une page de machine à écrire, d'un grand portrait, etc...

Supposons qu'utilisant les derniers appareils que nous venons de décrire un poste émetteur de radiodiffusion transmette un journal non plus parlé, mais imprimé avec ses illustrations, ses cartes, et que notre récepteur de radiodiffusion soit complété par un appareil de reproduction d'images et de texte s'enclenchant automatiquement aux heures fixées, par exemple le soir à sept heures, le matin à six heures. Nous trouverons au logis notre journal imprimé à notre rentrée du soir, puis à notre réveil.

Quand demain les ondes électriques auront apporté la télévision, le télécinéma dans ces foyers innombrables où la radiodiffusion fait déjà pénétrer les principales manifestations de l'art et de la pensée, il faudra reconnaître que l'homme doit aux savants, aux techniciens, à tous ceux qui comme vous appartiennent à la grande famille des radioélectriciens, le plus noble, le plus grand progrès social qui ait marqué l'histoire de l'humanité.

Mais si le résultat semble maintenant certain, s'il n'est plus qu'une question de temps, il reste encore pas mal de travail à faire.

Les progrès réalisés en ces dernières années par la télé-

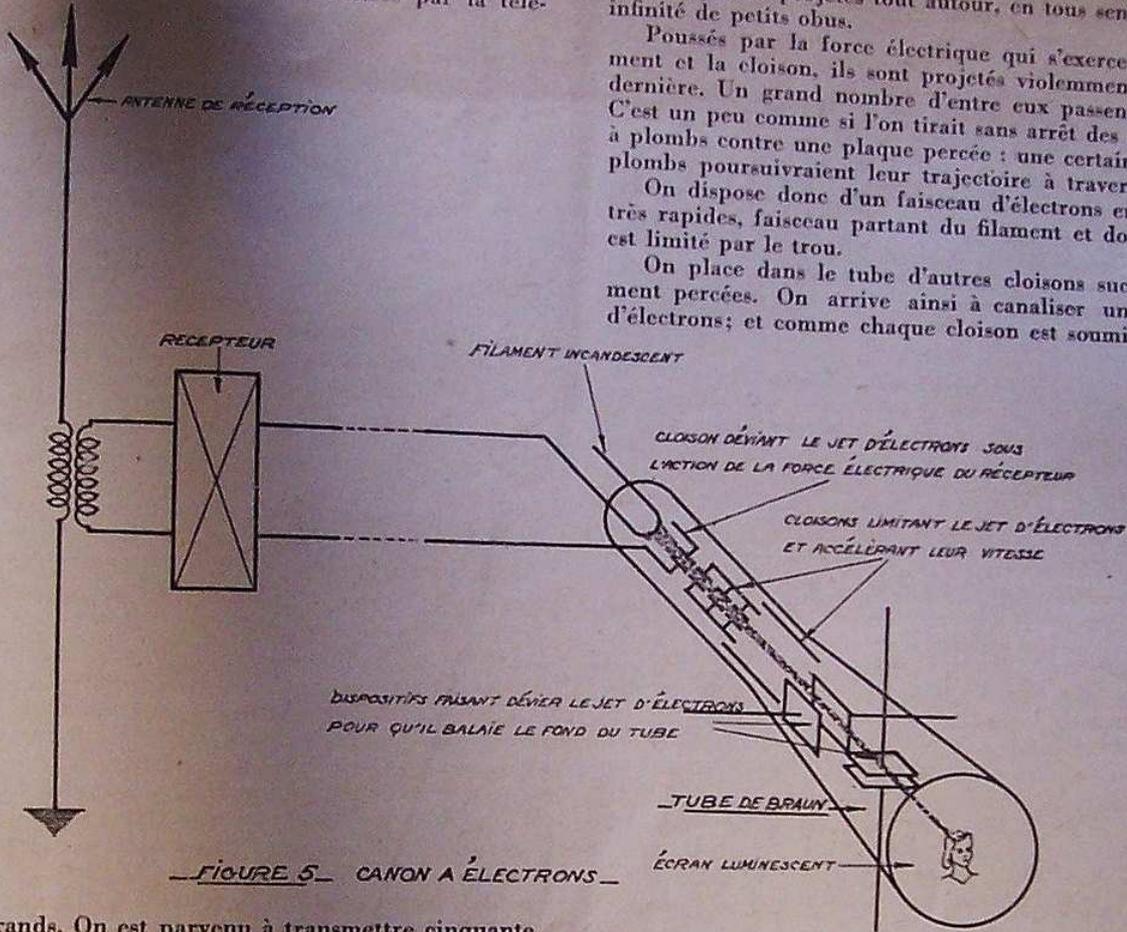


FIGURE 5. CANON À ÉLECTRONS.

vision ont été grands. On est parvenu à transmettre cinquante images par seconde, en les décomposant en plus de deux cent mille points, sur cinq cents lignes et même davantage.

Et vous comprenez la difficulté du problème quand il faut de plus obtenir une synchronisation parfaite entre les dispositifs émetteurs et récepteurs.

Pourtant il faut faire mieux encore.

Heureusement les techniciens disposent maintenant de deux appareils qui permettent d'escompter de grands perfectionnements. Leurs applications seront vastes. Elles s'étendent déjà dans bien des domaines, et il faut faire encore un petit effort d'attention pour en connaître les principes.

Le « canon à électrons », nous en avons trouvé un exemple... très modeste quand nous avons examiné le fonctionnement de la lampe de T.S.F. C'est un frère du tube à rayon X.

Il se présente sous la forme d'un tube de verre fermé, assez long et assez gros dans lequel on a fait le vide. A une extrémité du tube est un petit filament qu'un courant électrique peut rendre incandescent (fig. 5).

Un peu plus loin, dans le tube, est une plaque métallique perpendiculaire à l'axe du tube dans laquelle elle constitue une cloison. Elle est percée d'un trou. Entre le filament et la plaque... (rappelez-vous la lampe de T.S.F.) on fait agir une force, une « tension » électrique, comme peut en produire une pile tendant à faire passer un courant allant du petit filament à la cloison.

Dans la lampe de T.S.F., cette force était relativement faible. Ici nous la choisirons beaucoup plus forte.

Les phénomènes vont d'ailleurs, au début tout au moins, être tout à fait semblables.

Nous savons que les électrons, dont les groupements en mouvement sont des éléments essentiels de la matière même du filament, comme de toutes les matières d'ailleurs, voient

leur agitation exacerbée par le courant électrique, véritable fleuve d'électrons, qui parcourt le filament en les heurtant. Beaucoup sont projetés tout autour, en tous sens, comme une infinité de petits obus.

Poussés par la force électrique qui s'exerce entre le filament et la cloison, ils sont projetés violemment contre cette dernière. Un grand nombre d'entre eux passent par le trou. C'est un peu comme si l'on tirait sans arrêt des coups de fusil à plombs poursuivraient leur trajectoire à travers le trou.

On dispose donc d'un faisceau d'électrons en mouvements très rapides, faisceau partant du filament et dont un contour est limité par le trou.

On place dans le tube d'autres cloisons successives également percées. On arrive ainsi à canaliser un véritable jet d'électrons; et comme chaque cloison est soumise à une force

électrique, la vitesse des électrons peut être accélérée à chaque traversée.

Le canon à électrons est donc un admirable engin de tir. L'obus n'est pas seulement soumis à un choc initial qui le projette. Il est suivi et poussé pendant son parcours.

Les portées ne sont pas très grandes... Tout se passe en quelques décimètres.

Mais les effets peuvent être néanmoins fort énergiques.

L'électron est infiniment petit... Mais il se déplace à des vitesses énormes, de plusieurs dizaines de milliers de kilomètres par seconde, si on le soumet à des forces électriques puissantes. Les électrons traversent alors des feuilles de métal minces. Leurs chocs répétés provoquent la fusion de plaques métalliques.

Nous savons que dans certaines conditions ces chocs contre les atomes de la matière donnent lieu dans l'espace à des vibrations spéciales, formant des rayons bien connus, les rayons X.

En dehors de l'ampoule, les électrons rencontrent un nombre infini de molécules gazeuses qui les ralentissent, en arrêtent rapidement la marche. C'est pourquoi il faut un vide élevé dans le canon à électrons.

Par suite de leur masse infime, les obus du canon à électrons n'ont aucune inertie appréciable, et suivent instantanément les actions extérieures susceptibles de modifier leurs trajectoires.

Parmi ces actions extérieures, il faut essentiellement retenir les actions électriques qui sont faciles à produire, et auront une grande efficacité, l'électron étant lui-même une particule d'électricité.

Les courants électriques ou les aimants font dévier l'aiguille aimantée de la boussole. Ils feront aussi dévier les trajectoires de notre canon automatique à tir rapide.

En plaçant contre le tube, soit des bobines de fil parcourues par des courants électriques dont on fera varier l'intensité dans un sens puis dans un autre à l'aide de dispositifs spé-

ciaux, soit des plaques métalliques dont on fera varier la charge électrique périodiquement, on pourra déplacer à très grande vitesse les trajectoires des électrons, par lignes horizontales successives : on balayera leur champ de tir comme ferait une mitrailleuse dont on déplacerait le canon pour lui faire suivre les lignes d'un livre.

Si le fond du tube contre lequel viennent se heurter les électrons est couvert d'une matière fluorescente (sel de zinc, tel que la willemite, par exemple), il deviendra lumineux au point d'impact du faisceau d'électrons. Ce point, qui n'a pas un millimètre de rayon, se déplaçant à très grande vitesse comme s'il parcourait les lignes très serrées d'une page d'impression, l'œil aura une impression de lumière continue. Le fond du tube, qui peut avoir des dimensions de quelques décimètres carrés, apparaîtra entièrement lumineux.

Revenons maintenant à la télévision.

Nous savons que le balayage par un faisceau lumineux de l'image à transmettre a provoqué des variations de courants électriques dans la petite cellule photoélectrique.

Nous savons aussi que ces courants ont été employés à déformer des ondes électriques qui les restituent dans le poste récepteur. Nous allons les faire agir sur le jet d'électrons du canon à électrons à l'endroit où il traverse un des trous des cloisons que comporte ce tube. Il en résultera des petites déviations locales du jet qui heurtera plus ou moins la cloison et perdra ainsi une partie plus ou moins grande de ses électrons.

Le point d'impact qui se déplace sur le fond du tube recevra donc une quantité d'électrons dépendant directement de l'éclairement au même moment d'un élément de l'image transmise : sa fluorescence, c'est-à-dire l'éclairement du point de l'écran considéré, variera en conséquence.

Si le balayage du faisceau d'électrons est rigoureusement synchronisé avec le balayage de l'image dans le poste transmetteur, nous aurons donc, en regardant le fond du tube qui sert d'écran, une impression analogue à celle que nous aurions en regardant l'image transmise.

La teinte de la reproduction sera déterminée par la matière fluorescente.

L'emploi du canon à électrons, qu'on appelle aussi « tube cathodique » et qui fut imaginé par Braun en 1897, s'impose actuellement dans les postes récepteurs de télévision.

La synchronisation entre les balayages du poste émetteur et du poste récepteur est déterminée par l'envoi de courants spéciaux lancés périodiquement, par exemple à chaque ligne de l'image, ces courants permettant d'avancer ou de reculer le début du balayage.

L'utilisation du canon à électrons dans les récepteurs de télévision a été un progrès considérable.

L'avantage de cet appareil, dépourvu d'organes mécaniques oscillants ou tournants, et permettant les plus grandes vitesses, était tel qu'on devait également chercher à l'utiliser pour l'émission.

C'est ainsi qu'il y a quelques années Zworikin, reprenant de vieilles idées, a été amené à mettre au point ce qu'on appelle la « rétine électrique ». Nous connaissons la cellule photoélectrique, « l'œil électrique », appareil qui ressemble un peu à une lampe de T.S.F., et sous l'action de la lumière produit de petits courants électriques. Nous savons aussi que la rétine de l'œil est formée de minuscules éléments juxtaposés qui, recevant les rayons d'un corps éclairant, transmettent à notre système nerveux l'impression de lumière.

Au fond d'un canon à électrons, Zworikin place une petite plaque portant une mosaïque formée de cellules photoélectriques infiniment petites. On en compte au moins deux cents par millimètre carré. Elles sont formées de globules d'argent et de césium répartis sur une feuille de mica dont la face arrière est métallisée.

L'image à transmettre est projetée sur cette mosaïque, et ses éléments blancs, gris ou noirs, en éclairent plus ou moins les diverses cellules dont les charges électriques se modifient, comme il a été expliqué dans la description des cellules photoélectriques, un grand nombre d'électrons en étant expulsés par le choc des photons de la lumière qu'ils reçoivent.

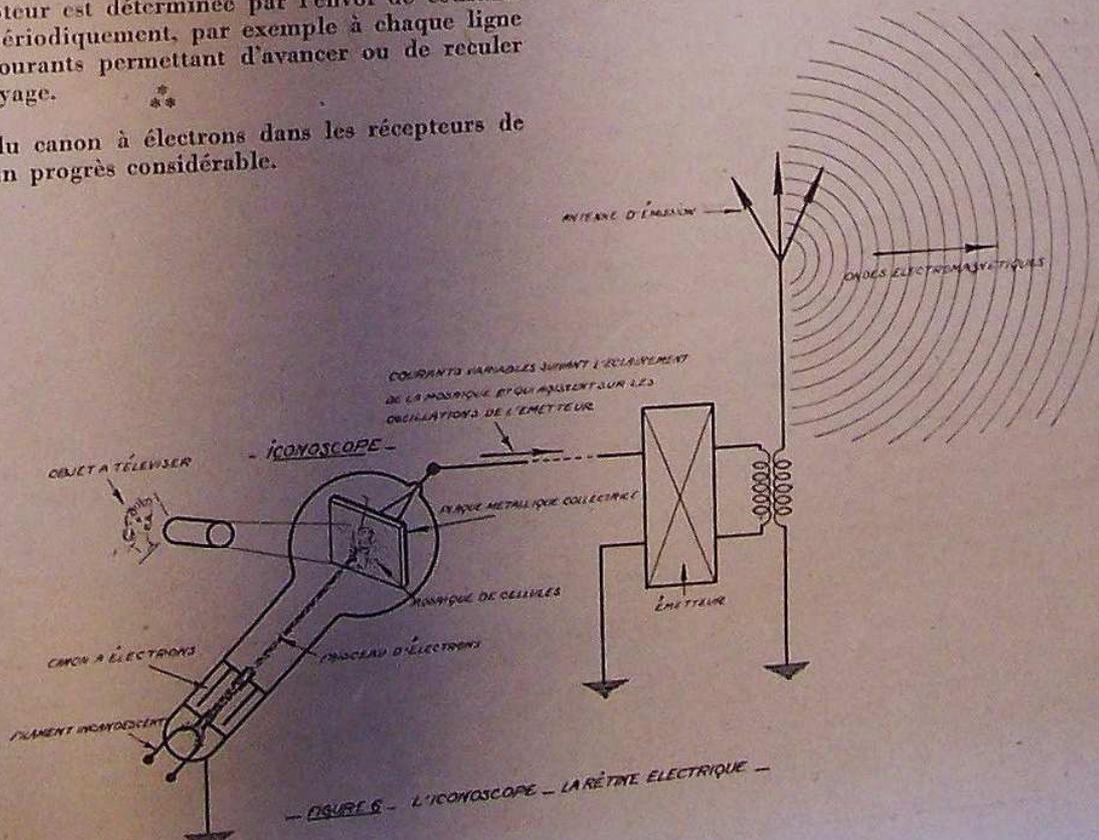
Le pinceau des obus électriques du canon à électrons va balayer la mosaïque suivant la technique que nous avons décrite.

Et les effets des bombardements varieront évidemment en chaque point suivant l'état des cellules rencontrées, suivant le nombre d'électrons plus ou moins grand que l'arrivée préalable des photons leur aura laissés, et entre lesquels se heurteront les obus électriques.

Ces variations se traduisent par des courants plus ou moins forts recueillis par la surface métallisée du mica qui supporte la mosaïque : et ces courants, dépendant évidemment des éclaircissements de l'image, seront, après amplification, utilisés à déformer les oscillations, tout se passant ensuite comme il a été expliqué déjà.

Le grand intérêt du dispositif est qu'il donne un gain de lumière considérable, et permet de transmettre des scènes peu éclairées, lointaines, dont l'image est projetée sur la mosaïque de cellules.

Dans les autres systèmes en effet un point de l'image n'est éclairé qu'au cours du balayage et pendant un temps très court.



Si l'image est décomposée en 70.000 points, et explorée vingt fois par seconde, la durée de l'exploration de chaque point lumineux sera de 1/1.400.000 de seconde! Même avec des sources de lumière très puissantes, l'effet produit est infinitésimal et difficilement utilisable en dépit de l'emploi de puissants amplificateurs.

Dans l'icône, la mosaïque est éclairée pendant tout le temps que l'image est projetée sur elle, soit un vingtième de seconde. Les cellules travaillent pendant ce temps, et le faisceau de balayage ne passe en quelque sorte que pour recueillir le fruit de leur travail.

La sensibilité est donc en théorie multipliée par 70.000. Il suffit que le gain réel soit de quelques centaines ou de quelques milliers pour que le dispositif présente un grand intérêt, car il permet d'éviter les éclairages spéciaux des studios, et de transmettre des scènes de la vie normale.

Les dispositifs se simplifient un peu si l'on reproduit un film cinématographique, ce qui se conçoit facilement, l'image à transmettre pouvant être éclairée et traitée comme on le désire, dans une salle où l'on dispose facilement de tout l'appareillage nécessaire.

L'emploi de films cinématographiques permet de réaliser d'ailleurs une télévision à retardement. On prend cinématographiquement des vues de la scène à transmettre. Le film est développé et tiré rapidement, en quelques secondes; et c'est lui qui passe devant le faisceau explorateur. La transmission simultanée de la parole, de la musique se fait par les procédés ordinaires de la radiodiffusion.

Cet exposé déjà compliqué n'effleure pourtant que bien rapidement les difficultés que présente la télévision. Elle n'est qu'à ses débuts. Les appareils sont encore coûteux, compliqués, et les résultats médiocres.

Nous revivons les premières années du cinématographe. Mais les outils de travail se sont nettement améliorés en ces derniers temps et l'on peut sans optimisme excessif avoir confiance.

Les procédés actuels nécessitent des transmissions tellement rapides, plusieurs millions de points à la seconde, qu'il n'est possible d'employer pour les transporter et les reproduire à distance que des vibrations électriques extrêmement rapides aussi, et correspondant par conséquent à des ondes très courtes, en pratique de moins de sept mètres de longueur d'onde.

Et nous savons que si les ondes courtes, de l'ordre de dix à cinquante mètres par exemple, se propagent facilement à grande distance en voyageant très haut dans l'espace, par-dessus les obstacles, les ondes plus courtes suivent des chemins de plus en plus tendus, se rapprochant de la ligne droite. Les obstacles les arrêtent comme ils arrêtent les ondes lumineuses, et un poste transmetteur qui émet de telles ondes voit sa portée réduite presque aux limites de son horizon.

Comme notre ronde planète est en somme très petite, cet horizon n'est pas loin, même pour un poste construit sur une hauteur, une soixantaine de kilomètres pour le sommet de la Tour Eiffel.

Il faudra donc de nombreux postes émetteurs si l'on veut desservir des régions étendues, d'où de grandes dépenses et des difficultés sérieuses pour les alimenter en programmes quand on ne se contentera pas de télécinéma ou de reproduction de scènes se passant dans un studio à proximité même du poste.

Les transmissions de télévision sont impossibles sur les lignes télégraphiques ou téléphoniques ordinaires. Elles sont trop rapides pour se laisser ainsi canaliser, et quand on ne fait pas appel aux ondes électriques, il faut utiliser des câbles spéciaux très coûteux.

A côté de la radiophonie, de la télévision, les problèmes de la télémechanique paraissent jeux d'enfants. Un récepteur capable de commander des appareils inscrip-

électrique, la manœuvre d'un gouvernail, l'explosion d'une mine.

Dans ce domaine également, les amplificateurs ont simplifié considérablement la question.

Les difficultés sont surtout de détail: étudier des combinaisons de signaux, s'enclenchant les uns les autres, et telles que les ondes perturbatrices ne puissent les reproduire, tout en conservant à l'appareillage la simplicité, la robustesse nécessaires; obtenir avec sécurité les contrôles indispensables, etc., etc...

On a pu manœuvrer à distance, dans des conditions convenables, des canots à moteurs, et même des avions (Chauveau, Guéritot, etc.).

Les applications de la télémechanique ont paru tout d'abord intéresser surtout la défense nationale. Elles donnent par exemple la possibilité de commander à distance la marche d'un avion, ou d'un navire, ne portant pas de personnel, mais chargé d'explosifs, et de le faire sauter au moment voulu, de faire éclater une mine, etc...

Mais des applications plus pacifiques ont été également envisagées: contrôle d'appareils de mesure installés dans des laboratoires peu accessibles, par exemple dans des observatoires de montagne inhabitables l'hiver, commandes de l'appareillage de certaines chutes d'eau, etc...

Les problèmes de télémechanique sont des plus variés, et chaque jour les amplificateurs, en permettant de transformer des phénomènes électriques presque imperceptibles en phénomènes facilement décelables, conduisent à de nouvelles applications: citons, par exemple, la remise à l'heure automatique des pendules par T.S.F., les récepteurs automatiques du signal de détresse, qui se répandent de plus en plus sur les navires, et permettent de réduire la fatigue du personnel tout en augmentant la sécurité, etc...

Citons aussi les signaux d'alarme qu'une personne déclenche en s'approchant à faible distance d'un coffre-fort, les compteurs enregistrant automatiquement le nombre de personnes qui passent par une porte (entrée d'exposition, par exemple), la mise en marche des escaliers mécaniques du Métropolitain, etc., applications télémechaniques où intervient essentiellement « l'œil électrique », la cellule photoélectrique de la télévision.

Prenons l'exemple d'un escalier mécanique qui démarre quand une personne se présente pour l'utiliser.

Un petit faisceau lumineux traverse le palier de l'escalier et éclaire une cellule photoélectrique. La personne en passant fait ombre sur la cellule, dont le courant varie instantanément. Cette variation de courant enclenche les appareils de démarrage de l'escalier.

Nous pourrions continuer encore cette promenade dans le domaine de la radioélectricité sans en épuiser toutes les richesses.

Ce serait sortir du cadre de ces quelques conférences qui n'ont pas la prétention de constituer un enseignement, mais seulement d'attirer votre attention sur les progrès essentiels, et de vous permettre de comprendre plus facilement ensuite des livres ou des exposés complets.

Il vous faudra déjà pas mal de patience pour retenir les explications principales dont j'ai cru devoir me contenter.

Je vous demande de les relire plusieurs fois, sans vous laisser rebuter par l'aridité et la nouveauté du sujet. Tout s'enchaîne dans les phénomènes que nous avons rencontrés au passage, et si on a oublié ou mal compris l'explication du début on ne suit plus le reste. Soyez patients... la radioélectricité, vous le voyez, en vaut la peine.

P. BRENOT.

ERRATA DE LA DEUXIEME CONFERENCE

Page 2, 2^e col. 53^e l., « une de ces bobines d'induction, bobines ».

Page 2, 2^e col. 54^e l., « de Ruhmkorff, analogue à celles... etc... ».

Page 3, 2^e col. 23^e l., « Qui serait l'architecte? ».