

LES PREMIERS PRINCIPES DE LA T. S. F.

(Troisième causerie)

RÉSONANCE ÉLECTRIQUE

Nous avons étudié, dans une précédente causerie, l'installation des postes de télégraphie sans fil, aux deux stations d'émission et de réception, et nous avons insisté sur la nécessité qu'il y a de dresser dans les airs des fils très longs, de formes et de dispositions variées, qu'on appelle des antennes. Nous avons dit, de plus, que l'antenne, loin de jouer un rôle purement passif, se comporte comme un centre d'émission d'ondes électriques ; elle rayonne dans l'espace, comme une corde sonore ébranlée, des vibrations dont le nombre, par suite la longueur d'onde(1), dépend de ses dimensions. La longueur d'onde est égale, avons-nous dit, à quatre fois la longueur de l'antenne.

Au poste de réception, l'antenne capte les ondes lancées par le poste d'émission ; l'antenne réceptrice entre elle-même en vibrations et celles-ci, redressées par le détecteur, mettent en action le téléphone récepteur.

Les choses se passent de la même façon, et avec la plus saisissante des analogies, qu'entre deux cordes sonores à l'unisson : les vibrations de l'une font vibrer l'autre à une certaine distance, pourvu que toutes deux donnent une note musicale de la même hauteur.

Mais alors, à ce titre, les communications par ondes électriques se trouvent singulièrement limitées. Il faudrait

(1) Rappelons que la longueur d'onde est l'espace parcouru par la perturbation électrique pendant la durée d'une vibration ; plus les vibrations sont nombreuses par seconde, plus les ondes sont courtes, et inversement.

que les antennes réceptives et transmettives aient même période de vibration, par suite, même longueur. Si l'on veut, par exemple, entendre les signaux de la grande station d'Arlington, il faudrait des tours aussi élevées et des fils aussi longs que ceux de cette dernière station, et l'on sait que peu de gens peuvent se payer le luxe d'une pareille installation dans le voisinage de leur demeure.

Il faut donc trouver le moyen de recevoir les signaux des grandes stations avec de petites antennes, ou inversement ; il est également désirable que l'on puisse faire une sélection, un triage entre les ondes de différentes longueurs, de façon à recevoir les unes à l'exclusion des autres : c'est le problème de la *syntonie* ou de l'accord entre les stations, problème à peu près complètement résolu de nos jours et que nous allons étudier. Mais auparavant, nous demandons à nos lecteurs la permission de faire une petite digression que nous jugeons indispensable et de dire quelques mots, en matière d'introduction à la syntonie, d'un phénomène capital en radiotélégraphie : nous voulons parler de la *résonance électrique*.

Il peut paraître curieux que l'on emploie ce terme en électricité, puisque les circuits oscillants sont absolument silencieux ; mais ils présentent une telle analogie avec certains phénomènes acoustiques, la comparaison est si frappante que la dénomination de résonance leur est justement appliquée.

Nous avons déjà étudié ailleurs(1) la résonance musicale, et nous disions que c'est le phénomène par lequel un corps sonore quelconque se met à vibrer par *influence* quand le son qu'il peut rendre lui-même est émis dans le voisinage. Un diapason, par exemple, qui exécute le même nombre de vibrations, qu'un tuyau donné, fait vibrer ce dernier lorsqu'on l'approche de sa bouche. Mieux encore, plaçons-nous devant un piano ouvert, dont on a soulevé la pédale, et chantons à

(1) Voir *Propos scientifiques*, page 65.

proximité de toutes les cordes libres une note musicale quelconque. Aussitôt, et avec un succès qui surprend à la première expérience, la corde qui donne la même note entre en vibrations et prolonge par résonance le son émis. Si, en particulier, on prononce, sur un ton de hauteur déterminé la voyelle A, le piano répète A sur le même ton, parce que tous les harmoniques constitutifs de cette voyelle ébranlent et font vibrer les cordes correspondantes.

Tous les phénomènes vibratoires peuvent offrir des exemples analogues de résonance, particulièrement en mécanique.

L'on sait qu'un pendule, une masse pesante suspendue à un fil dont l'autre extrémité peut osciller autour d'un point fixe, présente une fréquence propre d'oscillation qui dépend de sa longueur. Si, dès lors, on imprime à ce pendule une suite de chocs périodiques de *fréquence égale* à celle du pendule, chaque impulsion s'ajoute à la précédente et dans le même sens, et l'on obtient bientôt une amplitude d'oscillation considérable, même avec des chocs initiaux très légers: il y a *résonance* entre les deux séries de mouvements, celui du pendule et celui que les chocs ont imprimé.

Il est certaines circonstances particulières où il est nécessaire d'en tenir compte. C'est ainsi qu'un bataillon qui passe sur un pont métallique au pas cadencé peut provoquer des oscillations dangereuses pouvant aller jusqu'à la rupture, si la cadence du pas a la même fréquence que celle du pont. Un commandant bien avisé doit alors se hâter de faire rompre le pas. On a prétendu, — et cette opinion n'est peut-être pas exagérée, — que le poids d'un *seul homme*, qui imprimerait au pont de Brooklyn des impulsions rythmées de même fréquence que celle du tablier métallique, augmenterait l'amplitude des mouvements à un degré suffisant pour rompre les fils de suspension.

Appliquons maintenant ces principes aux circuits électriques oscillants. Puisque ceux-ci sont le siège de véritables vibrations, rien de surprenant si on y rencontre des effets de

résonance, par lesquels on augmente considérablement l'amplitude des oscillations.

Considérons deux circuits pouvant agir l'un sur l'autre par induction, au moyen de bobines que l'on peut plus ou moins rapprocher ou dont l'une peut entrer plus ou moins dans l'autre. Si alors on fournit à l'un de ces circuits une source de courant (par un transformateur, v. g.), et si les fréquences propres des deux circuits sont égales ou très voisines, on constate alors que le courant du deuxième circuit augmente dans des proportions extraordinaires, ce qui est rendu sensible par la déviation d'un ampèremètre intercalé dans ce circuit. Les deux circuits sont en *résonance*, l'effet produit est incomparablement plus grand que si les fréquences eussent été différentes : on a réalisé la *syntonie*, les deux circuits sont *accordés*.

On voit toute l'importance d'une pareille disposition et nous avons maintenant en notre possession tous les éléments nécessaires pour faire très facilement comprendre le principe de la *syntonie*.

LA SYNTONIE

Nous avons dit plus haut en quoi consiste le problème de la syntonie. Il s'agit simplement d'*accorder* des postes de dimensions fort différentes, de façon qu'il soit possible de recevoir, avec une même antenne, non seulement des ondes de longueurs variées, mais encore de faire un triage dans la complexité extrême des vibrations qui passent et d'éliminer les postes gênants pour mieux entendre ceux qui nous intéressent au moment voulu.

C'est par la résonance électrique que l'on a obtenu un si beau résultat, et si la syntonie, réalisée jusqu'à présent, n'a pas encore toute la perfection désirable, on peut affirmer du moins qu'elle a été la cause de grands progrès dans le

régime des communications et qu'elle en a augmenté dans de larges mesures la portée.

La syntonie comprend deux opérations importantes : accorder ensemble, d'une part, deux stations éloignées présentant des caractéristiques vibratoires fort différentes, puis, d'autre part, syntoniser également dans l'intérieur d'un même poste les circuits qui le constituent.

La syntonisation est obtenue dans l'installation récente des postes d'émission et de transmission par l'application directe du principe de la résonance.

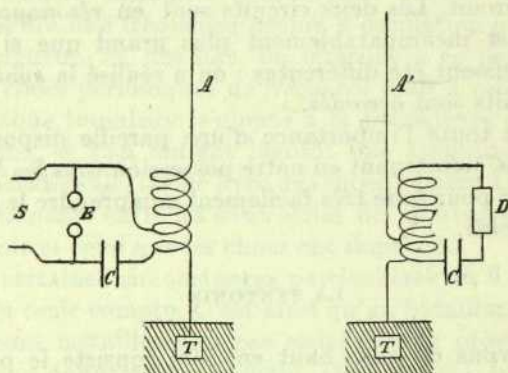


FIG. 1

Dans les premiers postes de télégraphie sans fil, on intercalait directement l'éclateur dans le circuit antenne-terre, ce qui avait le grave inconvénient de produire un amortissement considérable ; au poste de réception, on plaçait également le détecteur en série dans l'antenne.

On a modifié très heureusement les installations primitives par l'emploi des systèmes d'émission et de réception *indirectes*, soit par *dérivation*, soit par *induction*.

La figure 1 représente le montage employé, aux deux postes transmetteur et récepteur, dans le système à déri-

vation : c'est ce qu'on appelle quelquefois un *circuit simple* ou le montage en *Oudin*.

L'antenne transmettrice A est reliée directement à la terre T par un solénoïde, une self, constituant un circuit *ouvert* ; le circuit *fermé* de l'éclateur E contient un condensateur C et quelques spires du même solénoïde dont on fait varier le nombre à volonté par un curseur mobile. Pour obtenir le maximum d'effet dans l'antenne et le maximum d'amplitude vibratoire, il faut que les deux circuits soient en *résonance*, c'est-à-dire aient des fréquences de vibrations les plus voisines possibles. On les accorde alors au moyen de bobines de self et de condensateurs, non représentés dans la figure, puisque, comme nous l'avons déjà dit, le nombre de vibrations d'un circuit oscillant dépend des valeurs relatives de la self-induction et de la capacité. Au poste récepteur, l'antenne A' est reliée à la terre T par quelques spires d'une bobine semblable à celle du poste transmetteur, et le circuit fermé comprend toutes les spires et le détecteur D. On accorde ces deux circuits de la même manière et par les mêmes moyens qu'au poste d'émission.

Dans le système par induction,— c'est le *montage en Tesla*,— l'éclateur E (fig. 2) du poste transmetteur est dans le circuit du primaire d'un transformateur dont le secondaire est intercalé dans le circuit antenne-terre. Au poste de réception, par une disposition analogue, le détecteur D fait partie du circuit secondaire d'un Tesla dont le primaire communique, d'une part, avec l'antenne A' et, d'autre part, avec la terre T.

Une fois la résonance obtenue dans chacun des postes transmetteur et récepteur, il ne reste plus qu'à les accorder entre eux. Il n'est donc pas nécessaire de rallonger ou de raccourcir une antenne réceptrice pour lui donner la même longueur qu'une antenne transmettrice donnée, ce qui serait fort peu commode et pratiquement impossible ; on arrive équivalamment au même résultat en faisant varier, par l'em-

ploi de bobines d'induction et de condensateurs, la self-induction et la capacité.

Est-ce à dire pour cela qu'on obtiendra par la syntonie le secret des communications et qu'un poste peut lancer des ondes qu'une seule station déterminée pourra entendre, à l'exclusion de toutes les autres? Malheureusement, il n'en est rien, parce que tout poste peut toujours s'accorder sur toutes les longueurs d'ondes et recevoir des dépêches qui ne lui sont pas destinées. C'est ainsi que, pendant la Grande Guerre, la station de la Tour Eiffel entendait couramment les

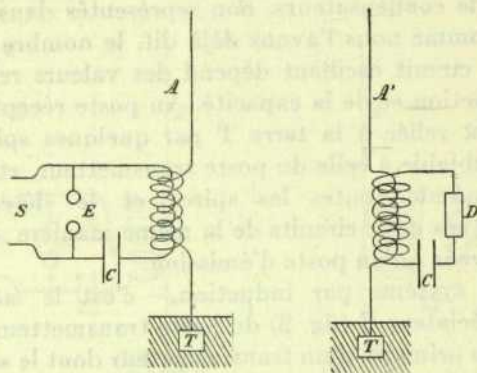


FIG. 2.

conversations secrètes des sous-marins allemands avec les postes de leurs ports d'attache. La syntonie a donc le défaut de ses qualités ; si elle permet d'augmenter beaucoup la portée des communications, si elle fait taire un poste gênant et manifeste une préférence marquée pour d'autres, il faut avouer que, grâce à elle, la télégraphie sans fil manque absolument de discrétion. Il est vrai que l'on peut recourir aux codes secrets ; mais le remède est loin d'être efficace, parce que, paraît-il, il n'est pas de cryptogrammes, si compliqués qu'ils soient, qu'un habile expert ne puisse déchiffrer.

Nous dirons plus loin quelles sont les formes diverses de bobines d'accord et de condensateurs que l'on emploie dans la pratique de la radiotélégraphie et de la radiotéléphonie.

Ajoutons, pour terminer ce sujet, qu'on obtiendrait un plus grand secret dans les communications, si l'on pouvait *diriger* les ondes électriques dans une direction déterminée, comme l'on dirige les ondes lumineuses au moyen de miroirs courbes. L'expérience a déjà été tentée, en particulier par Marconi, et les résultats obtenus, bien que non décisifs, n'en sont pas moins encourageants.

En premier lieu, il faut renoncer à l'emploi de miroirs, comme en optique, à cause des effets considérables de *diffraction* des ondes électriques. On sait qu'on appelle *diffraction* cette propriété qu'ont les ondes de contourner les obstacles, et cet effet augmente avec la longueur d'ondes de la source considérée. Il est déjà très marqué pour les ondes sonores dont les longueurs varient entre quelques fractions de pouce et une trentaine de pieds. On constate tous les jours que deux personnes, séparées par un obstacle pas trop développé, peuvent converser ensemble avec la plus grande facilité. La diffraction est encore beaucoup plus importante pour les ondes électriques, puisque les longueurs des ondes employées en télégraphie et en téléphonie sans fil s'étendent depuis trois cents mètres jusqu'à vingt-cinq mille mètres. C'est cette particularité qui fait que ces ondes contournent les collines et franchissent l'énorme distance qui sépare l'Europe de l'Amérique, malgré la courbure des mers, laquelle est comparable à une masse d'eau haute de quatre cents kilomètres.

Pour les ondes lumineuses, la diffraction existe également, mais elle est ordinairement insensible, et l'on ne peut la constater qu'avec des instruments très délicats. Si ces ondes donnent des ombres nettes sans diffraction apparente, cela tient à leur longueur qui est extrêmement petite : elle se mesure en *microns*, c'est-à-dire un *millième de millimètres*.

C'est pour cela que l'on peut les recevoir sur des surfaces réfléchissantes à dimensions restreintes et les diriger dans une seule direction sous forme de rayons parallèles entre eux, comme on le fait avec les projecteurs des locomotives et des phares.

Si l'on voulait imiter ces phénomènes de réflexion avec les ondes électriques, il faudrait donner aux diamètres des miroirs des centaines de milles de longueur. Il ne faut donc pas y songer.

Cela ne veut pas dire que les ondes électriques ne puissent pas se réfléchir. L'expérience prouve, au contraire, qu'elles ne traversent pas les surfaces métalliques conductrices et que celles-ci les réfléchissent comme de véritables miroirs, tandis que les corps mauvais conducteurs, les cloisons de bois, les murs de pierres, les carreaux des fenêtres, leur livrent passage, comme les corps transparents pour la lumière.

On a trouvé une autre solution de ce problème de la direction des ondes dans une disposition particulière des antennes. L'expérience, en effet, a fait voir que, si l'on installe une antenne horizontale à quelque distance du sol, et que l'on place un éclateur à l'une de ses extrémités, les ondes rayonnées ont une *direction* privilégiée qui est celle même suivant laquelle le fil est orienté, de l'extrémité libre vers celle où se trouve l'éclateur, tandis que le rayonnement est minimum dans une direction perpendiculaire. Les deux puissantes stations de la Compagnie Marconi, installées en 1907, l'une à Glace Bay, Cap Breton, et l'autre à Clifden, Irlande, en vue de communications océaniques, ont été disposées de manière à utiliser cette précieuse propriété de la direction des ondes.

Les antennes, opposées exactement l'une à l'autre, se composent d'une nappe d'un grand nombre de fils horizontaux de trois cents mètres de longueur et situés à soixante-dix mètres de hauteur au-dessus du sol. La solution du problème

de la direction n'est certainement pas complète par ce moyen, mais il y a amélioration notable, ce qui est loin d'être négligeable.

* * *

LA LAMPE À TROIS ÉLECTRODES

C'est avec intention que nous avons omis plus haut, au chapitre des détecteurs d'ondes, la lampe à trois électrodes ou l'audion, le meilleur de tous, parce qu'à son étude se rattache celle de la réception des ondes entretenues et surtout parce qu'elle est l'organe essentiel de la téléphonie sans fil qui va bientôt occuper notre attention.

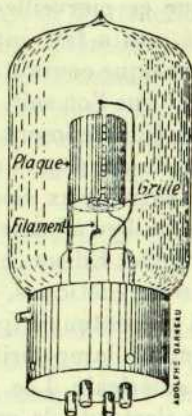


FIG. 3.

Extérieurement, la lampe à trois électrodes ne diffère à peu près pas des lampes électriques ordinaires : dans les deux cas, c'est un globe de verre sphérique ou périforme dans l'intérieur duquel on a fait un vide très poussé. Les trois électrodes de la lampe sont : le *filament*, la *grille* et la *plaque*. La figure 3 fait voir un modèle d'audion employé

en radiotéléphonie. Le filament en tungstène, analogue à ceux des lampes ordinaires, est au centre et demande ordinairement un courant de six volts, fourni par une batterie d'accumulateurs (la batterie A), pour s'échauffer au rouge-blanc. Autour du filament est enroulée la *grille*, c'est-à-dire un grillage métallique à mailles plus ou moins serrées, d'où son nom, et qu'on remplace dans la pratique par un fil enroulé en hélice. Enfin, enveloppant les deux premières électrodes, est disposé la *plaque* sous forme d'un cylindre de nickel ou d'aluminium. Ces trois électrodes communiquent avec l'extérieur par des bornes disposées dans le pied de la lampe. La figure 4 indique comment le filament, la grille et la plaque sont représentés schématiquement en F, G et P.

Voilà ce qui constitue ce merveilleux détecteur d'ondes, d'une géniale simplicité, qui a fait entrer la radiotéléphonie dans le domaine de la pratique courante, avec tout le succès et tout le développement que l'on sait.

Les propriétés de l'audion reposent sur ce qu'on appelle l'*effet Edison*, ou l'effet de soupape que l'illustre inventeur américain a découvert entre deux électrodes, l'une chaude et l'autre froide, dans un milieu à basse pression. Fleming, en Angleterre, en utilisant l'effet Edison, construisit un nouveau détecteur d'ondes électromagnétiques, connu sous le nom de *valve de Fleming* et qui ne contenait que deux électrodes, le filament et la plaque. Enfin la lampe prit la disposition actuelle lorsque l'ingénieur américain Lee de Forest eut l'idée d'ajouter une troisième électrode, la grille, ce qui réalisa un grand progrès et fut le point de départ des nombreux circuits et montages bien connus des amateurs en T. S. F.

Pour expliquer comment une lampe à trois électrodes peut fonctionner comme *détecteur* d'ondes, il nous faut dire quelques mots de la *théorie des électrons*.

Nous surprendrons peut-être bon nombre de nos lecteurs en leur disant que, suivant les conceptions actuelles des électriciens, les atomes des corps seraient de véritables sys-

tèmes planétaires en miniature, analogues à celui dont la terre fait partie. On sait que le soleil occupe le centre de notre monde et qu'autour de lui tournent, dans des orbites et avec des vitesses différentes, des planètes en nombre déterminé et suivant des lois bien définies, établies avec infiniment de sagesse par le Créateur. Semblablement, on suppose que l'atome est constitué d'un noyau central chargé d'électricité *positive* et qu'autour de lui circulent avec de grandes vitesses des corpuscules d'électricité *negative* qu'on appelle des *électrons*. Le noyau central positif joue donc le rôle du soleil et les électrons en sont les satellites. On admet également que les électrons ne peuvent sortir de leur orbite et se soustraire à l'influence du noyau central que si les conditions normales de température et d'attraction sont modifiées. C'est ce qui arriverait si, d'une part, les électrons, porteurs d'électricité *negative*, étaient fortement attirés par une source positive d'électricité extérieure (deux charges de noms contraires s'attirent), et si, d'autre part, la température, qui a pour effet d'augmenter leur vitesse de gravitation, devenait suffisamment élevée. Or, ces conditions sont précisément réalisées dans une lampe à trois électrodes, lorsque le filament est porté au rouge blanc et que l'on charge la plaque d'électricité *positive*.

Reportons-nous maintenant au montage de la figure 4, et supposons pour un moment qu'il n'y ait dans la lampe que deux électrodes, le filament F et la plaque P. Ces deux électrodes font partie d'un circuit contenant une pile à haut voltage, 40 à 80 volts, un téléphone T et un milliampèremètre. Si le filament est froid, le milliampèremètre n'indique aucune déviation, parce qu'aucun courant ne peut traverser le vide de la lampe : le circuit reste ouvert. Mais si le filament est rendu incandescent par un courant de 4 à 6 volts fournis par un accumulateur, les électrons sont lancés en dehors de leurs orbites, d'autant plus qu'ils sont attirés par la charge positive de la plaque. Ces électrons, dès lors,

nance négative, par contre, repoussant les électrons, fera cesser le courant de plaque en coupant le circuit. Le téléphone récepteur ne recevra donc le courant de plaque que pendant l'une des alternances des vibrations, et il en résultera une suite d'impulsions toutes de même sens qui feront vibrer la membrane téléphonique. On comprend, dès lors, que la lampe constitue un détecteur d'ondes d'une grande sensibilité et parfaitement indérégable.

Une des qualités les plus précieuses de la lampe à trois électrodes est de jouer en outre le rôle d'*amplificateur*.

L'on a vu que c'est le courant de plaque qui traverse le téléphone et ce courant, fourni par la batterie B d'au moins $22\frac{1}{2}$ volts, possède une énergie beaucoup plus grande que la charge très faible de la grille. Le courant de plaque étant soumis à toutes les variations du potentiel de la grille, il en résulte qu'à toute variation de potentiel de cette dernière, correspondent des variations beaucoup plus intenses dans le courant de plaque : il y aura donc *amplification*. En résumé, la grille se comporte comme un relais très sensible, sans inertie, et qui laisse passer, dans les conditions plus haut mentionnées, un courant aussi fort que l'on veut.

En pratique, on relie le circuit de plaque d'une première lampe à la grille d'une deuxième et l'on développe alors, dans le circuit de plaque de cette deuxième lampe contenant le téléphone, une amplification considérable, que l'on augmentera encore avec une troisième lampe, comme dans certaines installations.

Les lampes placées comme nous venons de le dire constituent des amplificateurs à *basse fréquence*. On peut aussi amplifier les ondes incidentes avant la détection et l'on a alors des amplificateurs à *haute fréquence* qui présentent l'avantage de donner à des ondes trop faibles l'énergie nécessaire pour agir sur la lampe détectrice. On obtient d'excellents résultats en employant deux ou trois étapes d'amplification à haute fréquence, les ondes sont ensuite détectées puis amplifiées de nouveau à basse fréquence par deux ou trois amplificateurs.

Enfin la lampe ne fonctionne pas seulement comme *réceptrice*, mais encore elle peut jouer le rôle de *transmettrice* d'ondes à *amplitude constante*, c'est-à-dire qu'elles peut engendrer, comme l'arc de Poulsen et l'alternateur à haute fréquence, des *ondes entretenues*. En effet, si l'on intercale une lampe dans un circuit oscillant formé d'une self et d'un condensateur, on constate qu'elle *émet* et *entretient* des ondes continues dont la longueur dépend de la self et de la capacité employées. C'est cette propriété capitale qui a permis la réalisation pratique de la téléphonie sans fil. Nous dirons plus loin, lorsque nous traiterons de cette dernière question, quels montages il faut employer pour faire d'une lampe à trois électrodes une *génératrice d'ondes*. Pour le moment, nous en savons assez pour comprendre comment on utilise cette importante propriété pour la réception des ondes entretenues.

Disons tout de suite que l'on ne peut recevoir directement les ondes électromagnétiques dans un téléphone, à raison de leur énorme fréquence qui varie de un million à quinze mille périodes par seconde. Dans ces conditions, l'inertie de la membrane téléphonique et l'impédance des enroulements constituent pour elles un obstacle infranchissable. Mais le téléphone sera traversé par un courant sensiblement continu si on le place à la suite d'un détecteur qui ne laisse passer principalement que les alternances positives des oscillations.

S'il s'agit des ondes amorties, produites par les postes à étincelles, chaque train d'ondes, nous l'avons déjà dit, fléchit la membrane du téléphone et celle-ci donnera un son qui correspond au nombre de trains qui passent par seconde. Mais il n'en est pas de même pour les ondes entretenues. Ici, il n'y a plus de trains d'ondes, ou plutôt il n'y a qu'un seul train, une seule série de vibrations de même amplitude unissant les deux postes en communication. Il en résulte que l'arrivée d'un signal produit un *toc* unique dans le téléphone, il n'y a plus de vibrations et les signaux longs et brefs de l'alphabet Morse ne peuvent plus se distinguer les uns des autres. Nous verrons, dans une prochaine causerie, comment on est parvenu, par l'invention ingénieuse de l'*hétérodyne*, à résoudre cette difficulté.

Henri SIMARD, ptre.