

La T.S.F. ?

1^{re} partie

par Jean-Claude B. Montagné

Certains diront : on connaît, ce n'est pas la peine d'y revenir. C'est ce qu'ils croient, respectons cette opinion.

D'autres, qui n'y pensaient pas jusqu'ici, diront au contraire : c'est vrai, j'utilise quotidiennement mon téléphone portable, c'est de la TSF. Au bureau et chez moi, je possède une live box qui est reliée par Wifi à un téléphone mobile, à mon ordinateur, il s'agit bien de T.S.F.

Some people will say: we know, it is not necessary to return there. It's what they believe, let's respect this opinion.

Others, who have not been thinking about it up to now, will say on the contrary: it's true, I use my mobile phone every day, it operates with RADIO. At office and at home, I have an internet box connected by WiFi to a mobile phone and to my computer, the liaison also works with radio.

Les plus jeunes, mêmes techniciens n'ont sans doute jamais eu ni l'occasion, ni le temps de se pencher sur les commencements de ces techniques qui sont si répandues et si communes qu'on ne pense même pas qu'avant que la science devienne adulte il y a eu un bébé.

Ainsi que l'a reconnu en substance Guglielmo Marconi sur ses vieux jours : « Personne n'a inventé



Figure 1. — Heinrich Rudolf Hertz.

la radio, puisque de tout temps elle existait dans la nature ».

Comment tout ceci a-t-il commencé ?

En fait, la réponse de Marconi est bonne mais on ne le savait pas avant que cela fût prouvé par les expériences de Hertz (figure 1).

Il fallut parvenir à cela pour que l'on s'aperçoive que les décharges orageuses que nous nommons éclairs correspondaient parfaitement avec les petits éclairs qui se produisaient entre les sphères de l'oscillateur de Hertz.

Dans les deux cas, lorsqu'on sut reconnaître la présence d'un signal hertzien après la découverte du



Figure 2. — Édouard Branly.

tube à limaille ou radioconducteur d'Édouard Branly (figure 2), on ne savait plus différencier une étincelle provenant d'un appareil électrique d'une étincelle qui se produisait entre deux nuages électrisés ou entre nuages et terre. Ces phénomènes, différents par leur amplitude et les puissances mises en jeu pour les provoquer, produisaient les mêmes effets perceptibles à nos sens par le truchement d'appareils physiques.

La preuve en fut administrée par Alexandre S. Popov quand il utilisa un paratonnerre relié à un radioconducteur pour enregistrer l'existence lointaine de décharges ora-



Figure 3. — James Clerk-Maxwell.

geuses, afin de prévenir les capitaines des vaisseaux, dont il avait la responsabilité comme officier de marine, de l'arrivée du météore.

Nous allons reprendre dans le détail les différents épisodes de cette très belle histoire dont les suites ont permis à des millions d'hommes d'abord de communiquer entre eux, ensuite pour certains de gagner leur vie grâce à cette science que beaucoup d'entre nous ont contribué à faire évoluer.

À l'origine, il y a une théorie qui fut établie par James Clerk-Maxwell (figure 3), remarquable mathématicien qui développa la théorie électromagnétique de la lumière. Cela se passait vers 1875. Précédemment, Michael Faraday, grand expérimentateur, avait émis l'hypothèse que la lumière pourrait être de nature ondulatoire. Et si l'on réfléchit, à présent que la physique a permis de connaître ce qui n'était pas évident au XIX^e siècle, il n'y a pas d'interruption dans la gamme des longueurs d'onde entre la lumière et les signaux radioélectriques. Les calculs de Maxwell et sa théorie sont donc applicables aux ondes hertziennes comme aux ondes lumineuses. Nous verrons plus bas comment ceci fut prouvé.

À l'époque de Maxwell, personne ne prit garde à ses théories et le monde scientifique en général resta étranger à ses travaux.

Une aventure commence

Au laboratoire de physique de l'université de Berlin en Allemagne, exerçait le professeur Herrmann von Helmholtz. Il était physicien et physiologiste et ses travaux l'ont amené à découvrir le rôle des harmoniques dans le timbre des sons. De façon scolaire on connaît Helmholtz par ses « résonateurs » qui sont des sphères métalliques de différents diamètres percées d'un trou et qui résonnent chacune sur un son en correspondance avec son diamètre. Pour les plus grosses, la résonance se situe sur un son grave et pour les plus petites sur un son aigu (figure 4).



Figure 4. — Résonateur de Helmholtz (photo Wikipédia).

Or, dans la classe de Helmholtz, étudie un jeune homme : Heinrich Rudolf Hertz que le professeur va diriger vers un sujet traitant d'électrodynamique. Cela n'empêchera pas le jeune Hertz d'avoir pris connaissance des travaux de son maître sur les résonances, nous verrons que cela lui a servi.

Ses études terminées, diplômé, après 1885 Hertz devient professeur à la Technische Hochschule de Karlsruhe et c'est dans ce cadre qu'il expérimenta et prouva la similitude entre les ondes électromagnétiques et la lumière, confirmant ainsi les hypothèses de Maxwell.

Comment Hertz parvint-il à ce remarquable résultat ?

Comme nous l'avons dit, Hertz avait pris connaissance des dispositifs résonateurs sonores de Helmholtz. Ceux-ci entraînent en oscillation sur une fréquence audible précise lorsqu'ils étaient excités par un moyen approprié. Cela pouvait être un souffle d'air au bord de l'ouverture de la sphère, un choc léger ou bien un son émis extérieurement au résonateur qui se mettait à vibrer si le son excitateur était à la même fréquence que celle du résonateur.

Revenons en arrière dans le temps pour nous souvenir qu'en 1853, William Thomson avait établi la relation, bien connue sous le nom de formule de Thomson, qui exprime la période d'un signal oscillant en raison de deux éléments, l'un qui contient une énergie potentielle emmagasinée, l'autre qui est un système capable d'absorber l'énergie et de la restituer au moins en grande partie.

Pour l'oscillation électrique, l'énergie emmagasinée dans la capacité d'un condensateur C va se décharger dans une inductance L . L'inductance accumule cette énergie sous forme magnétique et la restitue, sous forme électrique, au condensateur qui se recharge et le cycle recommence jusqu'à l'épuisement des charges électriques par pertes dans les résistances des conducteurs.

En 1858, Berend Wilhelm Feddersen s'intéresse aux étincelles qu'il provoque en déchargeant des bouteilles de Leyde. Il démontre la nature oscillante de ces étincelles en prouvant que dans une étincelle qui semble continue à l'œil humain, il y a en réalité une succession d'étincelles alternatives. Il projette d'abord l'image de l'étincelle sur un écran à l'aide d'un miroir tournant, ce qui est difficile à observer en raison de la fugacité du phénomène. Il projeta ensuite de la même manière l'image sur une plaque photographique sensible. En mettant plus ou moins de bouteilles de Leyde en parallèle, c'est-à-dire en modifiant la capacité du circuit

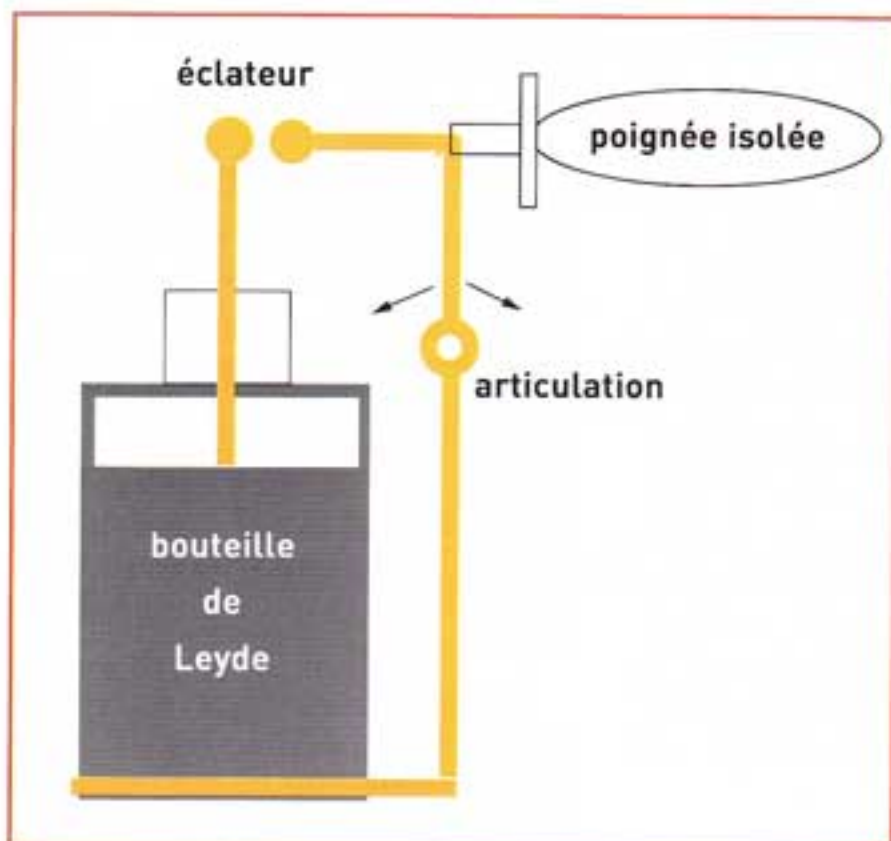


Figure 5. — Décharge de la bouteille de Leyde.

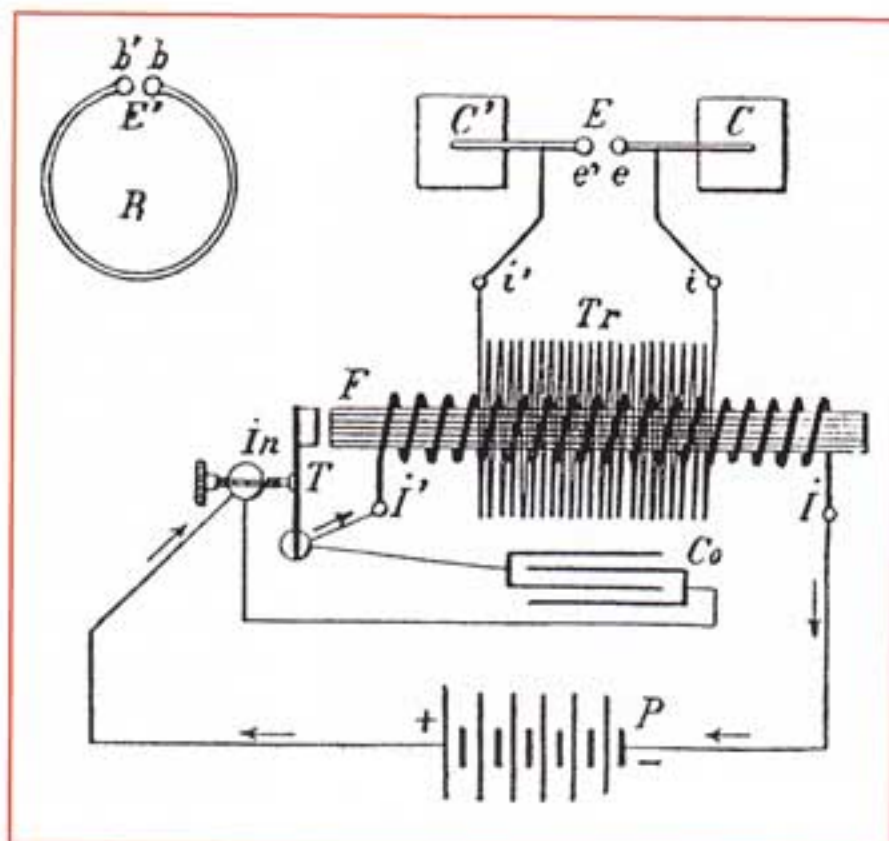


Figure 7. — Schéma de l'expérience de Hertz.

oscillant, il put montrer la différence de fréquence d'oscillation (figure 5).

Ce faisant, Feddersen confirmait les calculs de William Thomson. Ultérieurement Oliver Lodge a montré le caractère oscillant de la décharge de la bouteille de Leyde en passant rapidement une feuille de papier dans l'étincelle. Sur le papier

la trace en pointillé montrait bien la nature discontinue de l'étincelle.

On pourrait objecter que lors de ces expériences primitives, le circuit avec la bouteille de Leyde ne comportait pas d'inductance (de self comme disent les habitués) apparente. C'est faux car l'ensemble du circuit qui se referme sur l'éclateur

possède de l'inductance, faible certes, mais bien présente.

Hertz connaissait parfaitement les travaux des physiciens qui l'avaient précédé. Pour ne pas être tributaire de décharges de bouteilles de Leyde qu'il faut recharger ensuite avant de répéter l'expérience, il utilisa, pour provoquer des étincelles, les propriétés de la bobine d'induction que l'on nomme souvent bobine de Ruhmkorff. Ce nom pratique est resté en souvenir de ce constructeur parisien d'origine allemande qui perfectionna la simple bobine présentée par le professeur de physique Masson et le constructeur Louis Bréguet devant l'Académie des sciences en 1841.

Hertz confectionna un éclateur constitué de deux boules de cuivre espacées et reliées par des fils conducteurs aux deux bornes de sortie haute tension de la bobine de Ruhmkorff. Il put constater que la fréquence d'oscillation des étincelles était très élevée (figure 6). Trop élevée pour l'usage qu'il voulait en faire et impropre à des mesures pour lesquelles tout restait à inventer : quelles mesures et avec quoi mesurer ? Le génie de Hertz allait y suppléer.

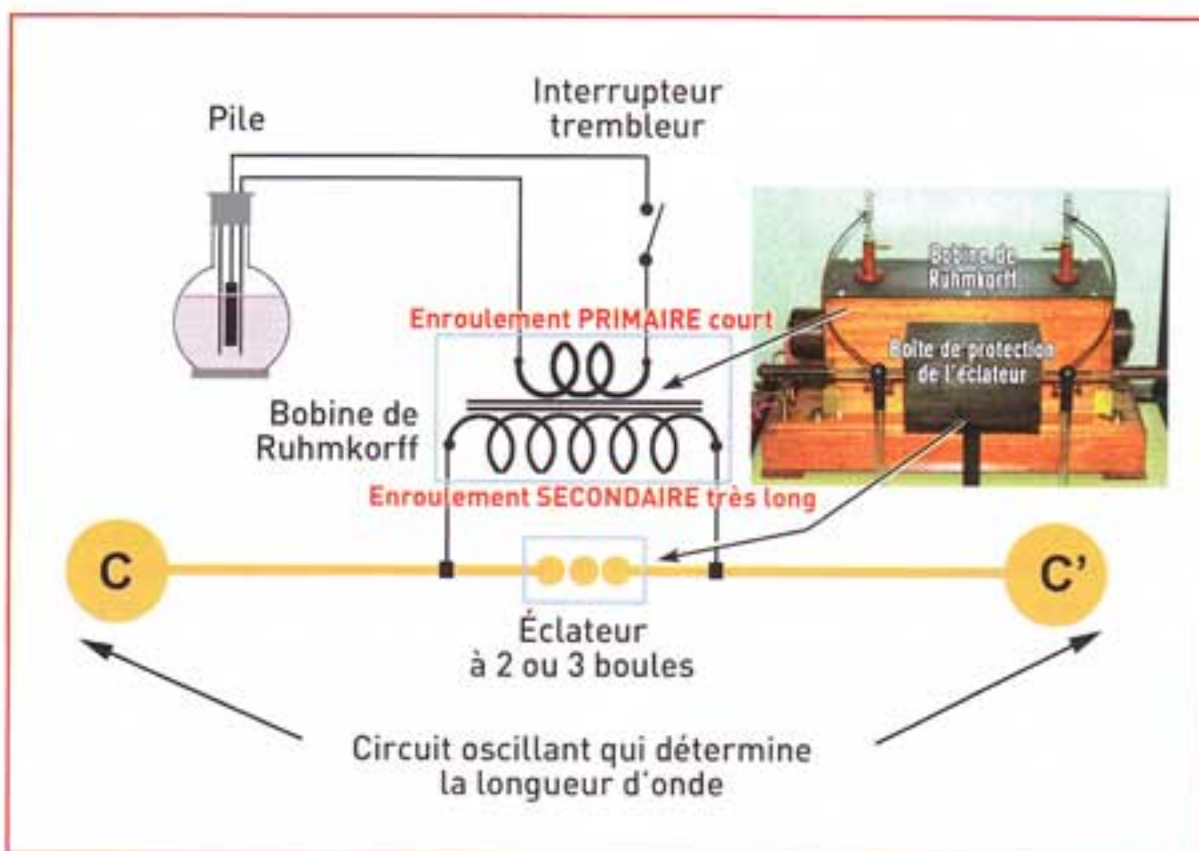


Figure 6. — Expérience de Hertz.



Figure 8. — Résonateur électrique de Hertz.

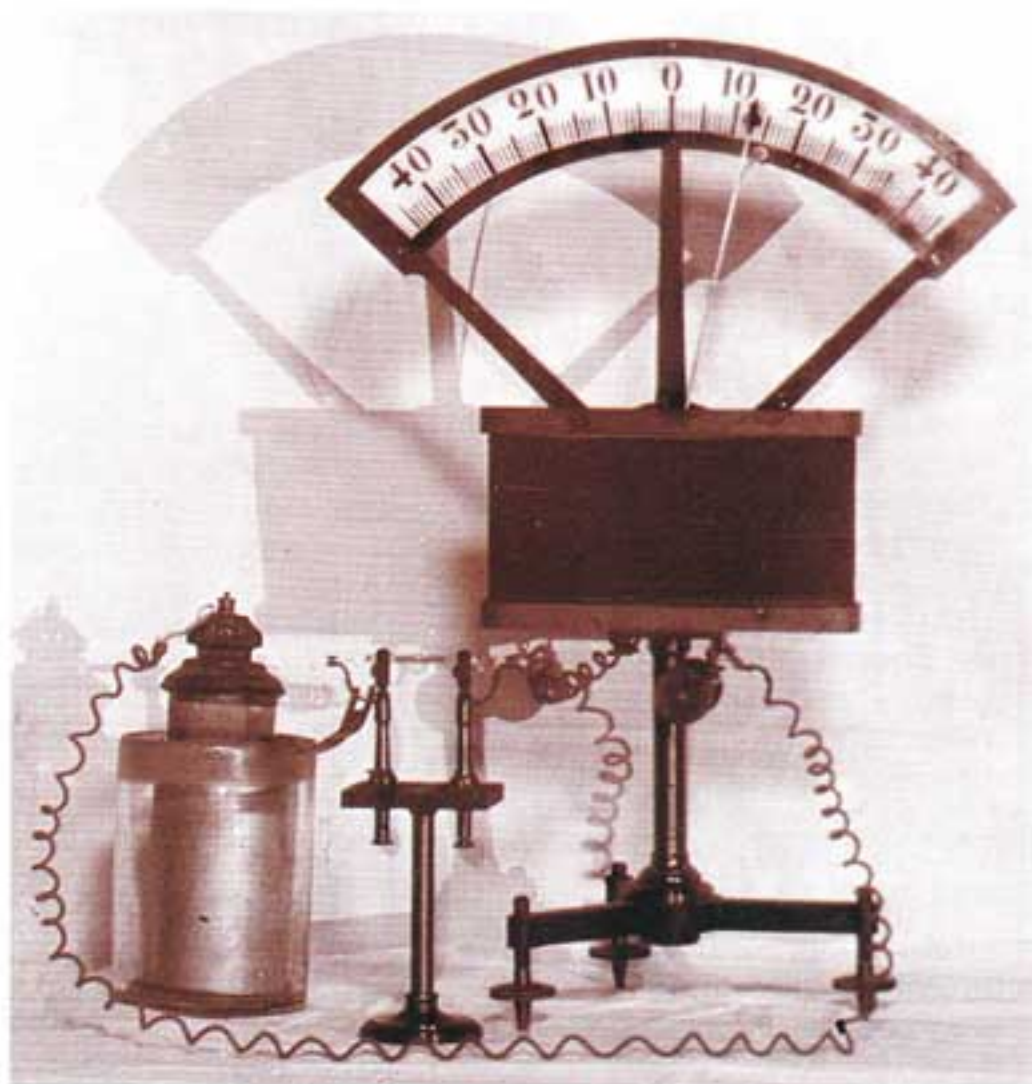


Figure 9. — Détecteur à limaille radioconducteur de Branly.

Vers l'appareil abouti de Hertz

Afin d'obtenir une fréquence moins élevée et un rayonnement plus important de l'onde oscillante, chacune des boules de l'éclateur fut prolongée par une tige de cuivre d'environ 75 cm de longueur. Les extrémités extérieures de ces tiges de cuivre furent pourvues de sphères de diamètre important représentant des capacités, (c'est-à-dire des corps capables d'emmagasiner des charges électriques).

Ainsi Hertz disposa d'un appareil qui rayonnait autour de lui les oscillations électromagnétiques engendrées par les éclatements des étincelles (figure 7).

Hertz coupla à proximité de cet oscillateur une longue ligne composée de deux fils conducteurs parallèles entre eux. Tirant parti de sa connaissance sur les résonateurs acoustiques de Helmholtz adaptés aux oscillations sonores, qu'il transposa pour son expérience, il fabriqua son résonateur électrique qui

est une large boucle de métal coupée d'une petite fente en un endroit de la circonférence (figure 8). En déplaçant cet objet le long des fils parallèles, il constata qu'en certains endroits une petite étincelle éclatait dans la petite fente de la boucle et ceci à des intervalles réguliers le long des fils. Il venait ainsi de mesurer la longueur d'onde de ses oscillations électromagnétiques.

Plus tard, Hertz travailla sur la réflexion des ondes et sur leur comportement comparable à celui de la lumière. La liaison avec le travail de Maxwell était confirmée.

La publication de son travail entraîna d'autres physiciens de tous les pays à reproduire ces expériences. On savait ainsi fabriquer des « ondes hertziennes » qui possédaient les mêmes propriétés que les ondes lumineuses, à la différence que les sens humains n'étaient pas constitués pour les voir ni les ressentir.

On en restait à une magnifique expérience et démonstration en apparence sans utilité.

Que faire avec les ondes « hertziennes » ? Le résonateur en boucle de Hertz était difficilement utilisable, que pouvait-on en faire ? Bien qu'en 1889 Elihu Thomson ait émis l'idée d'une application à la télégraphie sans fil, il n'en apporta pas la solution.

Vint un physicien, travailleur acharné : Édouard Branly

Après de longs travaux sur des couches métalliques plus ou moins divisées et leur comportement en rapport avec le courant électrique et l'étincelle électrique génératrice de rayons ultraviolets, Édouard Branly découvrit des propriétés radioconductrices à accroissement de résistance électrique et à diminution de résistance électrique en présence de l'étincelle de décharge provenant d'une machine électrostatique comme la machine de Wimshurst. Sa première expérience concluante eut lieu le 15 novembre 1890. Il venait de mettre au point un

L'oscillation électrique

Selon la formule de W. Thomson :

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

avec : $\pi = 3,1416$,

L est l'inductance en henrys,

C est la capacité en farads,

où la période T est exprimée en secondes. C'est le temps nécessaire pour accomplir une oscillation complète.

On peut en déduire la fréquence de l'oscillation F exprimée en hertz. C'est le nombre d'oscillations effectuées dans la durée de une seconde :

$$F = \frac{1}{T}$$

Dans le calcul, il faudra tenir compte des multiples ou sous-multiples de ces unités.

La longueur d'onde vaut :

$$\lambda = c.T$$

où $c = 3 \times 10^8$, vitesse de la lumière (ou de toute onde dans le vide) en mètres par seconde.

Pour mémoire, la pulsation :

$$\omega = 2\pi F$$

et l'on voit que

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Dans le cas pratique où le circuit LC est affecté d'une résistance R (en ohms : Ω), l'oscillation verra son amplitude décroître à cause des pertes (en chaleur) dues au passage du courant dans cette

résistance. La fréquence est alors donnée par :

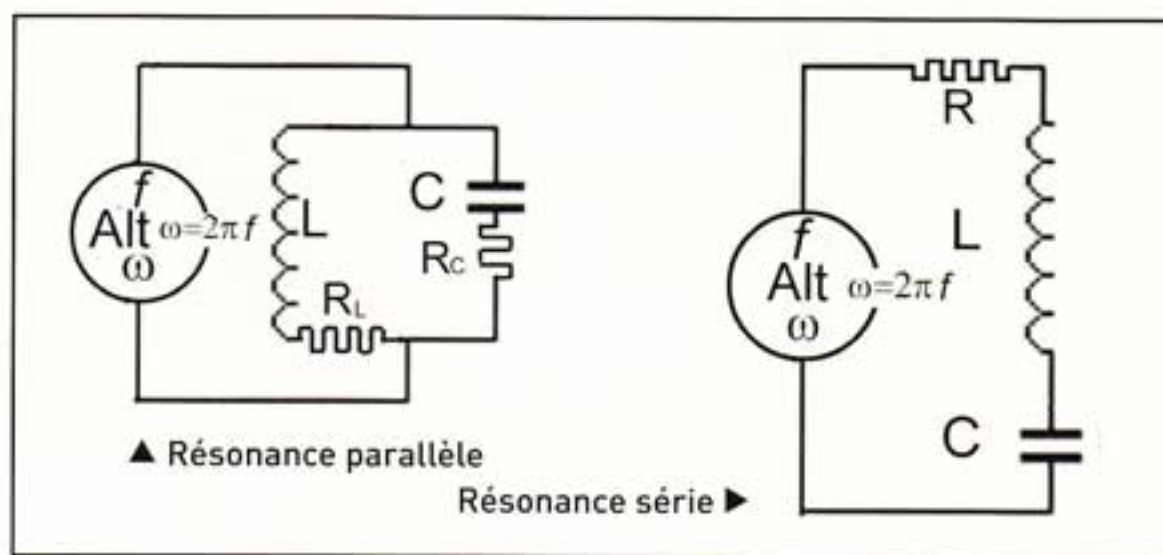
$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} - \frac{R}{2L}$$

Les oscillations disparaissent (régime apériodique) lorsque

$$\frac{1}{LC} = \frac{R^2}{4L^2}$$

On en déduit la résistance critique :

$$R_c = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$$



détecteur des ondes hertziennes composé d'un tube de verre de petit diamètre dans lequel un peu de limaille de fer était enfermée entre deux électrodes de cuivre reliées au circuit d'une pile et d'un galvanomètre montés en série.

Branly prouva que ce n'est pas la lumière visible de l'étincelle éclatant entre les électrodes de la machine électrostatique, ni le rayonnement ultraviolet relatif, qui agissaient sur la limaille enfermée dans le tube de verre. Il déplaça son tube

à limaille et ses accessoires et les installa dans un immeuble éloigné du laboratoire où son assistant faisait fonctionner la machine génératrice des étincelles. Il interposa ainsi des murs et la largeur de la cour de l'Institut Catholique où il professait entre les étincelles et le tube à limaille. L'expérience fut positive.

Ainsi, des ondes invisibles pouvaient être perçues hors de la vue directe, au travers d'obstacles opaques. On les « détectait » par le tube à limaille dont la résistance au passage du courant de la pile était presque infinie au départ de l'expérience et devenait très faible au moment de l'éclatement de l'étincelle.

Pour retrouver la résistance élevée d'avant signal, un léger choc mécanique sur le tube à limaille suffisait et l'expérience pouvait être reproduite (figures 9 et 10).

À suivre.

Jean-Claude B. Montagné.

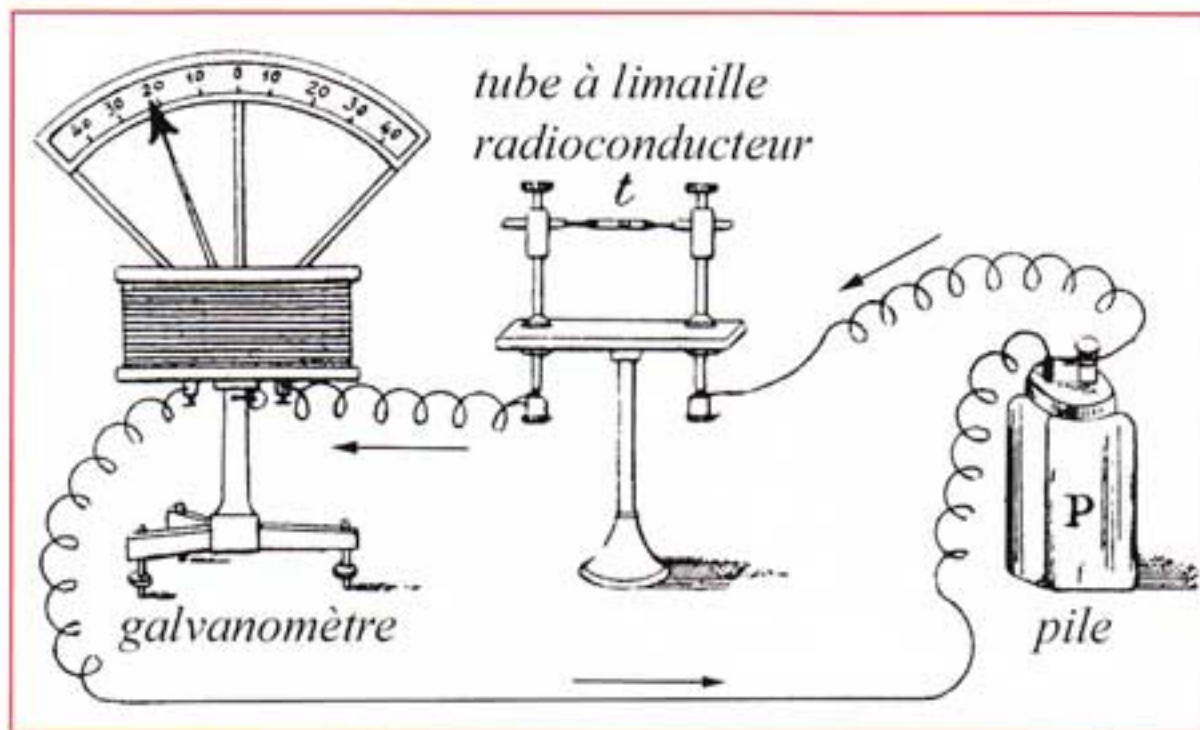


Figure 10. — Représentation schématique du détecteur à limaille de Branly.