

LA RADIO ?... mais c'est très simple !

(29^e édition)



SÉRIE NOSTALGIE

La série Nostalgie d'ETSF propose des rééditions, dans leur présentation originale, de grands classiques de l'édition scientifique et technique ou d'ouvrages consacrés à des appareils anciens. Elle intéressera les passionnés d'électronique ainsi que les amateurs d'appareils de collection.

Ce livre de vulgarisation scientifique, écrit de façon très vivante, conduit le lecteur avec sûreté à la connaissance de tous les domaines de la radio et explique en détail le fonctionnement des appareils. De façon simple et accessible, l'auteur parvient à donner au lecteur une image concrète de chacun des phénomènes étudiés.

Cet ouvrage, abondamment illustré, s'adresse aux techniciens de tout âge et à tous ceux qui, sans connaissance préalable, ont simplement envie de comprendre la radio.



EDITIONS TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES FRANÇAISES



Code 044107

ISBN 2 10 004107 X

ETSF

ETSF

Eugène AISBERG

LA RADIO ?... MAIS C'EST TRÈS SIMPLE

Eugène AISBERG

ETSF

Eugène AISBERG

EDITIONS TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES FRANÇAISES



LA RADIO ?... mais c'est très simple !



Toute la radio
expliquée
de A à Z

TOUS LES "POURQUOI" ET "PARCE QUE" DE LA RADIO

LA RADIO ?...
MAIS C'EST TRÈS SIMPLE

Cet ouvrage a été traduit et édité :

- en Bulgare :
« RADIOTO LI ? CHE TO E MNOGO PROSTO »
(Sofia, 1965)
 - en Italien :
« LA RADIO ?.. É UNA COSA SEMPLICISSIMA »
(Milano, 1938)
 - en Hébreu :
(Jérusalem, 1964)
 - en Hollandais :
« ZOO... WERKT DE RADIO ! »
(Deventer, 1939)
 - en Hongrois :
« ILYEN EGYSZERŰ A RÁDIÓ »
(Budapest, 1958)
 - en Espagnol :
« ¿ LA RADIO ?.. PERO SI ES MUY FACIL »
(Barcelone, 1965)
 - en Grec :
« ΤΟ ΡΑΔΙΟΦΩΝΟ... ΕΙΝΑΙ ΠΟΛΥ ΑΠΛΟ »
(Athènes, 1947)
 - en Viet-Namien :
« RADIÔ ?.. Ô THẬT LÀ GIẢN-DỊ ! »
(Saïgon, 1949)
 - en Serbe :
« EVO SHTA JE RADIO »
(Belgrad, 1951)
 - en Polonais :
« RADIO ?.. ALEZ TO BARDZO PROSTE »
(Varsovie, 1959)
 - en Roumain :
« RADIOUL ?.. NIMIC MAI SIMPLU ! »
(Bucarest, 1960)
 - en Slovaque :
« RADIO... ? NIČ JEDNODUCHSIE ! »
(Bratislava, 1965)
 - en Russe :
« Радио ?.. Это очень просто ! »
(Moscou, 1963)
- D'autres traductions sont en préparation

EUGÈNE AISBERG

LA RADIO ?... MAIS C'EST TRÈS SIMPLE

ETSF

EDITIONS TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES FRANÇAISES

Consultez nos catalogues
sur le Web



Ce pictogramme mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du **photocollage**.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établisse-

ments d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.

Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 3, rue Hauteville, 75006 Paris).



© DUNOD Paris, 1998

ISBN 2 10 004107 X

Cette vingt-neuvième édition est parue aux Éditions Radio en 1969

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droits ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (Art L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (Art L 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

A qui s'adresse ce volume ?

• •

Ni par sa présentation, ni par son contenu, ce livre ne ressemble à aucun autre.

Les dessins marginaux dont l'a orné, avec son esprit habituel, le talentueux dessinateur Guilac, pourraient un instant laisser supposer qu'il s'agirait d'un livre pour enfants.

En réalité, « La Radio ?... Mais c'est très simple ! » s'adresse aux **débutants et aux techniciens de tout âge**.

Au débutant, il apporte un exposé, facile à assimiler, des lois fondamentales de la radio-électricité et l'explication simple du fonctionnement des récepteurs modernes. La lecture du livre ne nécessite pas de connaissances préliminaires de l'électricité et de la physique. Les notions indispensables de ces domaines de la science sont présentées dans les passages du texte où elles sont jugées utiles à la compréhension de la radio.

L'étude attentive permettra au débutant de s'initier sans difficulté aux prétendus « mystères » de la radio-électricité, cette technique passionnante entre toutes et dont le domaine d'applications s'élargit de jour en jour, en nous libérant définitivement de la contrainte du temps et de l'espace.

Si ce livre est utile au débutant, il ne le sera pas moins au technicien soucieux de mettre de l'ordre dans ses idées. Par son développement rapide, la radio-électricité a produit, dans l'esprit de ceux qui s'en occupent, une accumulation d'idées éparses qu'il est nécessaire de classer, afin d'en tirer un système logique ; de surcroît, l'enseignement des manuels classiques et des grandes écoles donne, de la plupart des phénomènes de la radio, une idée par trop mathématique et abstraite.

C'est en vue du « rangement d'idées », de leur mise en ordre rationnelle, que le technicien lira avec profit ce livre dont l'auteur a été constamment guidé par le souci de donner une image physique concrète de chacun des phénomènes étudiés.

Pour vulgariser, point n'est besoin d'être vulgaire. Pour être simple, nul besoin d'explications simplistes. Et pour être sérieux, il n'est pas nécessaire d'être ennuyeux.

L'auteur espère avoir pu éviter ces trois écueils de la mauvaise vulgarisation. Dans ses explications, il s'est constamment fondé sur les théories généralement admises par la science contemporaine. Il s'est énergiquement refusé à « simplifier » au détriment de la vérité.

Afin d'éviter toute aridité académique, il a adopté la forme de causeries qui rend son livre vivant et facile à assimiler et lui permet de mettre le lecteur en garde contre toutes les embûches que lui avait désignées sa longue pratique de l'enseignement.

Sans prétendre au titre de « manuel de construction », ce livre n'en est pas moins indispensable à ceux qui veulent entreprendre le montage raisonné des appareils radio. Laissant délibérément de côté tout ce qui est tombé en désuétude, l'auteur parvient à amener le lecteur à la compréhension des principes les plus récents incorporés dans la conception des récepteurs modernes. Pour atteindre ce but, sans alourdir exagérément les dimensions de l'ouvrage... et l'esprit du lecteur, l'auteur a dû adopter un ordre d'exposé peu banal et éviter toute « littérature » superflue. Aussi, malgré son apparence, ce livre constitue-t-il un exposé condensé qu'il convient de lire lentement, ne passant à la page suivante que lorsque le contenu de celle qui précède est parfaitement bien assimilé.

Pour ne pas alourdir le texte et — surtout — afin d'éviter des confusions éventuelles dans l'esprit du lecteur, tout ce qui concerne la technique et les diverses applications des transistors fait l'objet d'un volume distinct rédigé dans le même esprit que celui-ci.

Si ce livre réussit à répandre la connaissance et à inculquer l'amour de la radio, l'auteur s'estimera heureux d'avoir pu ainsi apporter sa modeste contribution à la diffusion de cette merveilleuse science.



POUR ETUDIER AVEC PROFIT

La plupart des « causeries », qui constituent la partie fondamentale de ce livre, sont suivies de COMMENTAIRES. Ceux-ci visent un double but : approfondir certaines explications et compléter l'exposé de certaines questions.

★ Pour retirer le maximum de profit de l'ouvrage, il faut, après chaque causerie, lire le commentaire correspondant.

On peut toutefois, à la première lecture, omettre les commentaires; puis on recommencera par le début en étudiant à la suite de chaque causerie le commentaire qui s'y rapporte.

★ Ne jamais lire plus d'une causerie par jour. Il faut laisser aux connaissances fraîchement acquises le temps de se « tasser ».

★ Il est recommandé d'analyser avec beaucoup d'attention les schémas présentés. L'examen détaillé de leurs circuits constitue le meilleur exercice d'application.

★ Et dites-vous que des milliers de personnes ont, dans divers pays du monde, appris la radio en étudiant ce livre. (Rien qu'en France, il a été diffusé à près de 400 000 exemplaires.)

Avec de la bonne volonté et un peu de persévérance, vous ferez comme eux et reconnaîtrez que le titre figurant sur la couverture est bien justifié...



LES PERSONNAGES :

D'abord un très gentil garçon, **CURIOSUS**, à qui, jadis, les notions de la radio-électricité ont été enseignées par son oncle, l'ingénieur **RADIOL**. L'auteur avait relaté leurs causeries dans un livre qui a connu un grand succès (il a été traduit en 22 langues), mais qui, à présent, ne correspond plus à l'état actuel de la technique.

Aujourd'hui, **CURIOSUS** a 18 ans. Il n'a rien perdu de sa curiosité d'antan, ni de son entrain juvénile. C'est un amateur de radio expérimenté qui est à même d'exposer à son tour, avec beaucoup de clarté, la théorie de cette science. C'était, d'ailleurs, dès sa prime jeunesse, un garçon étonnant...

IGNOTUS?... Vous ne le connaissez pas? C'est l'ignorance faite homme. Définitivement brouillé avec les mathématiques, il connaît à peine les premières notions de la physique. Il est toujours partagé entre le désir d'apprendre et la peur de ne pas comprendre. Mais, savez-vous, malgré ses 14 ans, il n'est pas bête. Loin de là! Vous vous en apercevrez d'ailleurs dès là...



...PREMIÈRE CAUSERIE

Dans cette causerie, sont exposées les notions fondamentales d'électricité. Faisant appel à la théorie électronique, Curiosus réussit à présenter les choses d'une manière très claire qui facilitera la compréhension des causeries suivantes.

Ignotus nage en plein inconnu.

CURIOSUS. — Prenez place, Ignotus, et laissez-moi vous expliquer le but de cette urgente convocation. J'espère que, malgré quelques antécédents déplorables, vous n'ignorez pas que j'ai une marraine que j'aime beaucoup. Hier, elle m'a demandé de lui monter un récepteur de Radio. Or, vous savez également qu'en ce moment je suis très pris par la préparation de mon « bac ». Puis-je compter sur vous pour m'aider dans la construction de l'appareil en question?

IGNOTUS. — Très volontiers... Seulement, que puis-je faire? J'ignore tout de la Radio!



CUR. — La Radio ?... Mais c'est très simple !... Je vous expliquerai les choses très aisément. Tenez, voici le schéma que j'ai dessiné pour le récepteur de marraine (fig. 1).

IG. — C'est bougrement compliqué !

CUR. — Et voici la lampe que j'ai pu acheter avec l'acompte que marraine m'a

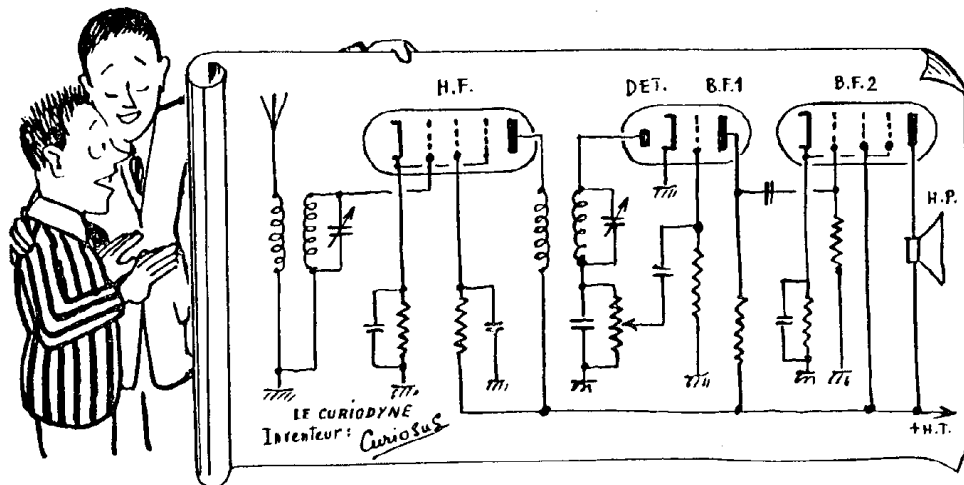


FIG. 1. — Ce schéma est dessiné par Curiosus.



donné pour l'achat du matériel. Car elle me versera peu à peu les fonds nécessaires à l'acquisition des pièces.

IG. — Cette lampe, me semble-t-il, ne servira pas à grand-chose. Son ampoule n'est guère transparente et elle éclaire certainement très mal.

CUR. — Gros bêta ! Cette lampe ne sert pas à l'éclairage. C'est une pentode amplificatrice à chauffage indirect.

IG. — J'aime autant m'en aller sans tarder, car vous vous moquez de moi en employant ces mots barbares.

CUR. — Attendez. Je vous expliquerai. Dans une lampe, le courant va de la cathode, qui est négative, à l'anode qui est positive.

IG. — De mieux en mieux ! D'après vous, le courant va du négatif au positif. Or, depuis ma plus tendre enfance, on m'apprend le contraire. Comment voulez-vous que je m'y retrouve ?

Curiosus commence par le commencement.

CUR. — Décidément, il faudra commencer par vous expliquer les premières notions d'électricité, car vous avez déjà l'esprit faussé par des idées inexactes que vous ont inculquées vos livres d'école. Vous ont-ils au moins appris ce que c'est que l'atome ?

IG. — Oui, c'est la plus petite particule de la matière et qui, par conséquent, est indivisible.

CUR. — Je m'y attendais !... Sachez donc que si, du temps où votre professeur de physique passait sa licence, on croyait dur comme fer que l'atome était indivisible, aujourd'hui on sait qu'il se compose d'une quantité de particules beaucoup plus petites.



IG. — Lesquelles probablement se subdivisent à leur tour en particules encore plus petites ?

CUR. — C'est probablement ce que l'on enseignera à nos enfants... lorsque nous en aurons. En attendant, on considère que l'atome se compose d'électrons et de protons. Les électrons sont des charges élémentaires négatives d'électricité. Les protons sont des charges élémentaires positives. Il existe entre les électrons et les protons une force d'attraction.

IG. — Ils sont donc, en quelque sorte, agglomérés les uns avec les autres ?

CUR. — Non, car entre électrons et électrons d'une part, et entre protons et protons d'autre part, il existe une force de répulsion. Il en résulte que, dans l'atome, les forces de répulsion et d'attraction s'équilibrent lorsque les électrons gravitent

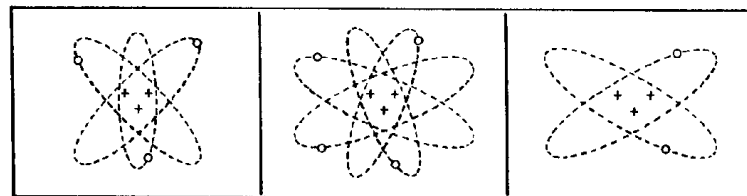


FIG. 2. — Les croix représentent les protons ; les cercles représentent les électrons.

(comme les planètes autour du soleil) autour du noyau central composé de protons (fig. 2), sans compter les neutrons qui n'ont aucune charge électrique.

IG. — C'est un véritable système solaire en miniature !

CUR. — Très juste. Remarquez maintenant que, lorsque dans un atome il y a autant d'électrons que de protons, l'atome est neutre. Quand il y a plus d'électrons que de protons, la charge négative est supérieure à la charge positive et l'atome est négatif. Enfin...

IG. — ... quand il y a moins d'électrons que de protons, l'atome est positif.

CUR. — Parfait ! Je vois que vous avez compris.

Le bon sens tend vers l'équilibre.

IG. — Je voudrais cependant savoir comment un atome peut devenir positif ou négatif.

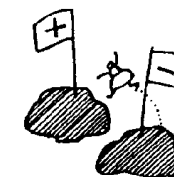
CUR. — Les électrons qui gravitent loin du noyau ne sont que faiblement attirés par celui-ci. S'ils arrivent dans la sphère d'attraction d'un atome voisin déficient en électrons, ils quitteront leur propre atome pour compléter ou équilibrer l'atome voisin.

IG. — C'est comme les Japonais...

CUR. — Je ne vois pas en quoi les fils de l'Empire du Soleil Levant...

IG. — Mais si ! Le Japon étant surpeuplé, ils émigrent vers des pays à population moins dense.

CUR. — Si vous voulez... En tout cas, retenez que les électrons vont des atomes où ils sont plus nombreux, donc atomes négatifs, vers des atomes où ils sont moins nombreux, ou atomes positifs. Donc, si, par un moyen quelconque, vous rendez les atomes d'une extrémité d'un fil métallique négatifs (trop d'électrons) et ceux de l'autre extrémité positifs (manque d'électrons), les électrons sauteront d'un atome vers l'autre et cela à travers tous les atomes intermédiaires, jusqu'au moment où l'équilibre sera rétabli. Dans quel sens iront les électrons ?



IG. — Evidemment, de l'extrémité négative vers l'extrémité positive.
 CUR. — Eh bien, c'est cette migration d'électrons, c'est ce courant électronique que l'on appelle *courant électrique*.

IG. — Formidable !... Donc, c'est vrai, le courant va du négatif au positif... et notre professeur nous a dit des ...

CUR. — Il vous a tout simplement parlé du sens conventionnel du courant,

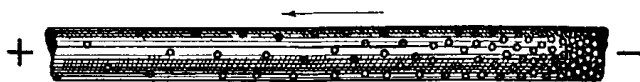


FIG. 3. — Le courant électrique est une migration d'électrons qui tend à rétablir un équilibre dans leur répartition.

Car, à l'époque où l'on a convenu d'adopter arbitrairement un sens du courant électrique, on ignorait encore la théorie électronique et, comme de juste, on s'est trompé, en convenant de considérer que le courant va du positif au négatif. Vous trouverez encore cette allégation dans beaucoup d'ouvrages publiés de nos jours. Il s'agit là d'une convention. Rappelez-vous seulement que les électrons vont du négatif au positif ou du « moins » au « plus » comme on dit.

6 000 000 000 000 000 électrons par seconde.

IG. — Vous avez tout à l'heure parlé d'un fil métallique. Je sais bien que le courant électrique ne passe qu'à travers les métaux. Mais pourquoi cela ?

CUR. — Le courant passe également à travers des solutions acides ou alcalines et à travers le charbon. Tous ces corps sont des *conducteurs*. Leurs atomes contiennent beaucoup d'électrons qui échappent facilement à l'attraction du noyau. Mais il existe d'autres corps dans lesquels les électrons sont trop intimement liés au noyau pour pouvoir quitter l'atome. Dans ces corps, dits *isolants* ou *diélectriques*, le courant électrique ne peut évidemment pas s'établir. Parmi les meilleurs isolants utilisés en Radio, je vous citerai le quartz, l'ébonite, l'ambre, la bakélite, le verre, les céramiques, la paraffine, les matières plastiques. Entre les isolants et les conducteurs se placent les *semi-conducteurs*, tels que le germanium ou le silicium et dont nous examinerons les particularités une autre fois.

IG. — Quel est le meilleur isolant ?

CUR. — C'est l'air sec.

IG. — Et le meilleur conducteur ?

CUR. — C'est l'argent. Mais le cuivre rouge est presque aussi bon et, comme il coûte moins cher, on s'en sert plus couramment.

IG. — Mais comment sait-on que l'argent est meilleur conducteur que le cuivre ?

CUR. — Parce que, dans les mêmes conditions, un fil en argent sera traversé par un courant d'intensité plus grande qu'un fil de mêmes dimensions, mais en cuivre.

IG. — Qu'appellez-vous « intensité de courant » ?

CUR. — C'est le nombre d'électrons qui participent au mouvement que nous appelons courant électrique.

IG. — Donc on peut parler d'un courant d'intensité de 10 électrons ou de 1000 électrons ?

CUR. — On pourrait le faire. Mais, pratiquement, on mesure l'intensité en ampères. Un ampère correspond au passage de 6 000 000 000 000 000 électrons par seconde. Je vous dis cela en chiffres ronds...

IG. — Merci !...

CUR. — On se sert aussi fréquemment des sous-multiples de l'ampère : le *milliampère* (mA) égal à 1/1000 ampère et le *microampère* (μA) égal à 1/1 000 000 ampère. C'est, vous voyez, très simple.

IG. — Tout cela est, au contraire, bigrement compliqué. Mais de quoi dépend donc l'intensité du courant ?

CUR. — De la tension appliquée au conducteur et de la résistance de ce dernier.

Les mots changent de sens.

IG. — Je suppose que « tension » et « résistance » veulent dire, en électricité, quelque chose de spécial. C'est comme le cercle...

CUR. — Le cercle ?...

IG. — Mais oui ! Tant que je n'avais pas commencé à apprendre la géométrie, je savais fort bien ce que c'était qu'un cercle. Mais depuis qu'on m'a enseigné que c'est le « lieu géométrique de tous les points se trouvant à égale distance d'un point donné », je ne comprends plus rien...

CUR. — Eh bien ! En électricité, la *résistance* est la propriété d'un conducteur d'opposer... une résistance plus ou moins grande au passage d'un courant. Elle dépend de la nature même du conducteur, c'est-à-dire du nombre des électrons facilement détachables de ses atomes. Elle dépend aussi de sa longueur. Plus il est long, plus grande est la résistance. Enfin, elle dépend aussi de la section du conducteur. Si la section est large, plus d'électrons peuvent passer simultanément et, par conséquent, moins la résistance est grande (1). La résistance est mesurée en *ohms* (Ω) et en millions d'ohms ou *mégohms* (MΩ). Un ohm, c'est approximativement la résistance d'un fil de cuivre de 62 mètres d'une section de 1 mm².

Considérations philosophiques sur la relativité.

IG. — Et qu'est-ce que la *tension* ?

CUR. — La tension c'est, en quelque sorte, la pression qu'exerce sur les électrons la différence d'état électrique des extrémités d'un conducteur.

IG. — C'est bougrement compliqué et très nébuleux...

CUR. — Mais non, c'est très simple. Comme je vous l'ai dit, la proportion des électrons et des protons détermine l'état électrique ou le *potentiel* du conducteur en un point donné. Supposez qu'à une extrémité il manque 3000 électrons et qu'à l'autre il en manque 5000.

IG. — Toutes les deux sont positives. Et, si j'ose dire, la seconde est plus positive que la première.

CUR. — Il faut oser, car cela se dit bien ainsi. Vous pouvez encore exprimer la même chose en disant que la première est négative par rapport à la seconde.

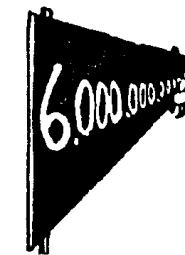
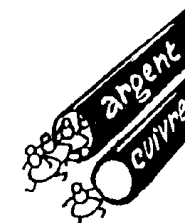
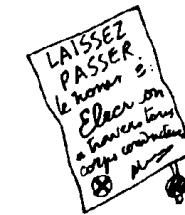
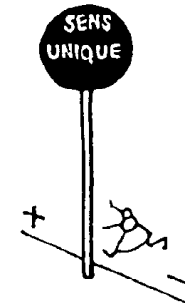
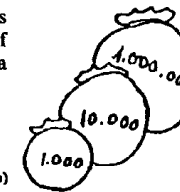
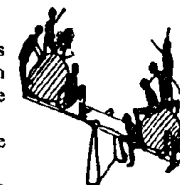
IG. — Ça, par exemple !... Il est vrai que, dans la vie, tout est relatif.

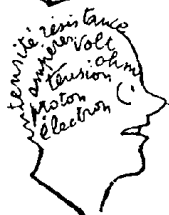
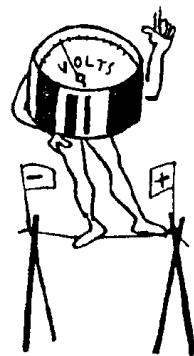
CUR. — Mais oui. Ainsi, tenez, entre deux personnes qui, l'une et l'autre ont de l'argent, celle qui ne possède que 1000 francs est pauvre par rapport à celle qui a 1 million, mais riche par rapport à un tiers qui n'a pour toute fortune que 10 000 francs de dettes. Dans le monde des atomes, celui qui a trois électrons en moins est négatif par rapport à celui qui a dix électrons en moins et positif par rapport à celui qui a deux électrons en trop. Ces trois atomes ont des potentiels différents.

(1) Une formule ? La voici. La résistance R (en ohms) dépend de la longueur L (en centimètres) et de la section S (en centimètres carrés) suivant la loi :

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

Dans cette expression, ρ est un coefficient qui dépend de la nature du conducteur et est appelé « *résistance spécifique* » ou « *résistivité* ».





IG. — Et les différences de potentiel sont mesurées en différences des nombres d'électrons ?

CUR. — On aurait pu le faire. Mais pratiquement la *différence de potentiel* ou, ce qui est la même chose, la *tension* est mesurée en *volts*. Le volt est la tension qui appliquée aux extrémités d'un conducteur de 1 ohm de résistance, donne lieu à un courant de 1 ampère d'intensité.

IG. — Ainsi, si je vous ai bien compris, la tension est une sorte de pression électrique qui pousse les électrons d'un bout du conducteur à l'autre ?

CUR. — Exactement. Et vous devinez aisément que plus la tension est grande...

IG. — ... plus grande est l'intensité du courant.

CUR. — Et, par contre, plus la résistance est grande...

IG. — ... moins grande est l'intensité du courant.

CUR. — Nous venons ainsi de redécouvrir une loi fondamentale de l'électricité : la *loi d'Ohm*. On dit, en abrégé, que l'intensité est égale à la tension divisée par la résistance (2).

IG. — Je me souviens maintenant avoir souvent lu (mais sans avoir bien compris les choses) qu'un courant électrique peut être assimilé à un courant d'eau qui s'établit entre deux vases reliés par un tuyau.

CUR. — Oui, c'est la classique « analogie hydraulique ». En ce cas, le niveau de l'eau dans chaque vase correspond au potentiel électrique. Et la différence des niveaux (ou des potentiels) est analogue à la tension. Plus elle est élevée, plus sera grande l'intensité du courant d'eau, c'est-à-dire le nombre de litres du liquide passant par seconde à travers le tuyau. Mais cette intensité dépend aussi de la « résistance » du tuyau. Plus celui-ci est long et étroit, plus ses parois sont rugueuses, et moins aisément le liquide pourra y couler.

IG. — En sorte que la loi d'Ohm régit également le domaine de l'hydraulique ?

CUR. — Mais oui. Tout cela ne vous semble-t-il pas bien clair ?

IG. — Je commence à sentir une véritable salade dans ma boîte crânienne. Electrons, protons, résistance, ohm, tension, volt, intensité, ampère, loi d'Ohm... Tout ça est bougrement compliqué.

CUR. — Réfléchissez-y jusqu'à notre prochaine causerie et vous verrez que c'est très simple.

(2) Et voici, pour les mathématiciens, cette formule classique de la loi d'Ohm :

$$I = \frac{E}{R}$$

où I est l'intensité du courant en ampères,
E, la tension en volts entre les extrémités du conducteur et
R, la résistance en ohms du conducteur.



On notera que les figures des CAUSERIES sont numérotées en chiffres arabes et celles des COMMENTAIRES en chiffres romains.

Commentaires à la Première Causerie

POTENTIEL, CONDUCTEURS ET ISOLANTS.

Dans cette première causerie, Curiosus a réussi à exposer à Ignotus une quantité de notions indispensables d'électricité que nous tâcherons de résumer ici.

Les atomes de tous les corps se composent d'un certain nombre d'ÉLECTRONS et de PROTONS. Les premiers représentent des charges élémentaires d'électricité négative ; les protons sont des charges élémentaires positives. Le rapport entre les nombres de ces charges détermine l'état électrique ou le POTENTIEL de l'atome. Celui-ci est NEUTRE s'il contient autant d'électrons que de protons. Il est NÉGATIF si le nombre d'électrons est supérieur au nombre de protons et POSITIF dans le cas contraire.

Il faut noter que, dans un atome donné, le nombre des protons demeure constant ; seuls, certains électrons peuvent migrer d'un atome à l'autre, en échappant à la force d'attraction qui existe entre les protons et les électrons. Et encore, de tels électrons « libres » n'existent-ils que dans certains corps dits CONDUCTEURS. Les corps dont les atomes ne comportent pas d'électrons libres appartiennent à la catégorie des ISOLANTS.

En plus des électrons et des protons, le noyau d'un atome peut également contenir des NEUTRONS qui, tout en augmentant sa masse, n'exercent aucune action sur son état électrique.

COURANT ÉLECTRIQUE.

Quand entre les atomes d'un conducteur existe une différence d'état électrique ou DIFFÉRENCE DE POTENTIEL, l'équilibre se rétablit grâce au passage des électrons en excédent à l'extrémité négative (ou PÔLE négatif) vers l'extrémité (ou pôle) positive du conducteur où ils manquent. Ce passage d'électrons du pôle négatif vers le pôle positif constitue le COURANT ÉLECTRIQUE. Son sens réel est opposé au sens conventionnel (du positif au négatif) arbitrairement choisi à une époque où l'on ignorait encore la nature intime du courant.

Il convient de remarquer que le cheminement des électrons le long d'un conducteur s'effectue avec moins de simplicité que ne le laissent supposer les explications de Curiosus. Ce n'est pas le même électron qui

parcourt le conducteur d'un bout à l'autre. Le plus souvent, il ne fait que passer d'un atome à l'atome voisin d'où, à son tour, un autre électron saute vers l'atome suivant et ainsi de suite. La vitesse individuelle de l'électron est relativement faible, mais le mouvement général se propage avec une vitesse constante, voisine de 300 000 kilomètres par seconde, et c'est la vitesse du courant électrique.

On peut assimiler les électrons à une file de voitures arrêtées devant une barrière fermée de passage à niveau. Lorsque la barrière s'ouvre, la file s'ébranle rapidement. Très peu de temps passe entre les instants du démarrage de la première et de la dernière voiture : c'est cela la vitesse du courant. Cependant, la vitesse individuelle de chaque voiture (vitesse des électrons) est à ce moment relativement faible.

Si rien ne vient maintenir aux extrémités du conducteur une différence de potentiel (ou TENSION), une fois l'équilibre électrique rétabli, le courant cessera. Pour que le courant circule sans arrêt, il faut constamment

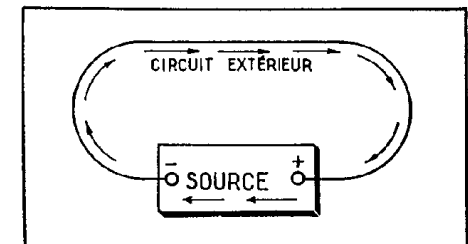


FIG. 1. — Parcours du courant à l'intérieur de la source et dans le circuit extérieur.

ajouter des électrons aux atomes du pôle négatif et en retirer des atomes du pôle positif. C'est en cela que consiste le rôle de toute SOURCE d'ÉLECTRICITÉ qui produit de l'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE, qu'il s'agisse d'une pile électrique (où l'énergie chimique se transforme en énergie électrique), d'une pile thermo-électrique (transformant la chaleur en électricité) ou d'une dynamo installée dans une centrale électrique et qui transforme l'énergie mécanique d'un moteur en courant électrique.

On notera qu'à l'intérieur de la source les électrons vont du pôle positif au pôle négatif puisqu'ils doivent être enlevés des atomes du premier pour venir en excédent dans les atomes du second. De la sorte, dans un circuit électrique, les électrons circulent dans le même sens d'un bout à l'autre.

VOLT. AMPÈRE. OHM.

La différence de potentiel ou tension existant entre deux points d'un conducteur est mesurée et exprimée en VOLTS.

Le nombre d'électrons traversant une section d'un conducteur en une seconde peut être plus ou moins élevé. C'est lui qui détermine l'INTENSITÉ du courant mesurée en AMPÈRES.

Suivant sa longueur, sa section et la nature même de sa matière, un conducteur oppose au passage du courant une RÉSISTANCE plus ou moins élevée. La résistance est mesurée en OHMS.

Plus un conducteur est long, plus sa résistance est élevée. Par contre, plus sa section est grande, moins grande est sa résistance.

LOI D'OHM.

En augmentant la tension appliquée aux extrémités d'un conducteur donné, nous augmentons dans la même proportion le nombre d'électrons mis en mouvement, c'est-à-dire l'intensité du courant. Ainsi constatons-nous que l'intensité du courant est directement proportionnelle à la tension.

En appliquant la même tension à des conducteurs de résistances différentes, on s'aperçoit que les conducteurs plus résistants laissent passer un courant plus faible. D'où il résulte que l'intensité du courant est inversement proportionnelle à la résistance.

Les deux constatations ci-dessus se trouvent résumées dans la loi d'Ohm : l'intensité du courant est directement proportionnelle à la tension et inversement proportionnelle à la résistance.

Ainsi, lorsqu'on connaît la valeur de la tension (en volts) appliquée aux extrémités d'un conducteur d'une résistance connue (et exprimée en ohms), en divisant la première valeur par la seconde, on calcule l'intensité (en ampères) du courant qui parcourt le conducteur. Ainsi, en appliquant 10 volts à un conducteur de 5 ohms, nous aurons un courant de 2 ampères. De même, une tension

de 1 volt appliquée à un conducteur de 1 ohm donnera lieu à un courant de 1 ampère.

La loi d'Ohm est une loi fondamentale qui régit tous les domaines de l'électricité et de la radio. Aussi convient-il d'en bien retenir les divers aspects examinés ci-après.

LES TROIS EXPRESSIONS DE LA LOI D'OHM.

Puisque, dans la formule de la loi d'Ohm

$$I = \frac{E}{R}$$

la tension E figure le dividende, la résistance R le diviseur et l'intensité I le quotient, rappelons-nous que le dividende est égal au produit du diviseur par le quotient. Et nous pouvons alors exprimer la même loi sous une forme nouvelle :

$$E = I \times R$$

Qu'est-ce à dire ? Que la tension est égale au produit de l'intensité par la résistance.

Ainsi en connaissant l'intensité du courant qui traverse un conducteur de résistance donnée, pouvons-nous, en multipliant ces deux valeurs, déterminer la valeur de la tension qui provoque le courant en question.

Enfin, partant de cette deuxième expression de la loi d'Ohm et nous rappelant que le produit (E) divisé par l'un des multiplicateurs (I) doit nous donner l'autre (R), nous pouvons écrire :

$$R = \frac{E}{I}$$

ce qui est une troisième expression de la loi d'Ohm. Nous voyons que la résistance est égale à la tension divisée par l'intensité.

Si nous connaissons la valeur de la tension aux extrémités d'un conducteur et l'intensité du courant qu'elle détermine, en divisant la première valeur par la seconde nous obtenons la valeur de la résistance du conducteur.

C'est sur cette loi que sont fondés les « ohmmètres », instruments servant à mesurer la résistance des conducteurs. Ils contiennent une pile dont la tension est connue, et un ampèremètre (instrument mesurant l'intensité du courant). La tension de la pile étant appliquée au conducteur à mesurer, l'ampèremètre indique l'intensité du courant qui s'établit. Il suffit alors de diviser la tension connue de la pile par l'intensité indiquée par l'ampèremètre pour trouver la valeur de la résistance mesurée.

DEUXIÈME CAUSERIE

Ignotus ignorait tout du courant alternatif, de sa fréquence et de sa période. L'électromagnétisme lui était également inconnu. Après cette deuxième causerie, il saura ce qu'est une longueur d'onde, un électro-aimant, un champ magnétique... Il pourra, aussi bien que Curiosus, expliquer en quoi consiste le phénomène de l'induction... Car, vous le verrez, Ignotus est un enfant très doué...

De quelques allers et retours.

IGNOTUS. — La dernière fois, Curiosus, vous m'avez parlé d'électrons, de protons, du courant électrique... En somme, de tout, excepté la Radio !

CURIOSUS. — Mais, mon cher, dans la Radio, nous ne nous occupons que des courants électriques, et, avant tout, il faut donc connaître les lois simples qui les régissent.

IG. — Et moi qui croyais que la Radio était surtout une science des ondes !...

CUR. — Certes, les ondes jouent un rôle important. Ce sont elles qui établissent, à distance, la liaison entre les antennes émettrice et réceptrice. Mais, à l'émission, elles sont engendrées par un courant alternatif de haute fréquence qui parcourt l'antenne émettrice ; et, à la réception, elles provoquent un courant semblable, bien que moins intense, dans l'antenne réceptrice.

IG. — Allons bon ! Voilà que vous me parlez du « courant alternatif de haute fréquence » sans prendre la peine de m'expliquer le sens de ce terme.

CUR. — Vous voyez donc combien il est nécessaire d'apprendre l'électricité avant de vous jeter à corps perdu dans la Radio... Jusqu'à présent nous n'avons parlé que du courant continu, c'est-à-dire de celui qui va toujours dans le même sens et avec une intensité constante.

IG. — Comme l'eau qui coule d'un robinet ouvert.

CUR. — Si vous voulez... Mais supposez qu'une machine électrique (alternateur) ou un autre dispositif fasse périodiquement varier les polarités des extrémités d'un conducteur. Ainsi, chaque extrémité devient périodiquement positive, puis son potentiel

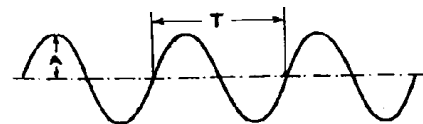


FIG. 4. — Tension engendrant le courant alternatif : A, amplitude ; T, période.

diminue, passe par zéro et devient négatif. Après avoir atteint le maximum de valeur négative, il diminue, repasse par zéro, devient positif, augmente, passe par un maximum appelé amplitude, et tout recommence (fig. 4).

IG. — Cela ressemble tout à fait à une balançoire qui monte, puis descend, passe par la position la plus basse, puis remonte, mais de l'autre côté, etc...

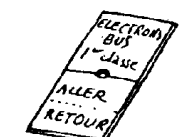
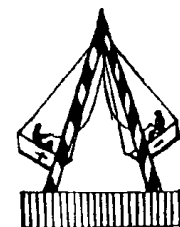
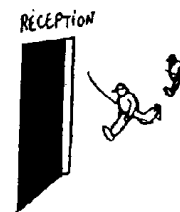
CUR. — L'exemple est bien choisi. Vous comprenez que le courant qui sera produit dans le conducteur par une telle tension, dite alternative, sera lui aussi alternatif, c'est-à-dire qu'il changera périodiquement de sens, et son intensité variera proportionnellement aux variations de la tension.

IG. — Donc, si je vous ai bien compris, les électrons effectuent, en courant alternatif, d'incessants allers et retours ?

CUR. — Oui. Et le temps que dure un voyage d'aller et de retour s'appelle période.

IG. — Est-ce long, une période ?

CUR. — On utilise aussi bien des courants dont la période dure 0,02 seconde



que des courants d'une période de 0,000 000 000 01 seconde. Tout cela dépend de la *fréquence* du courant.

IG. — Qu'appellez-vous ainsi ?

CUR. — On appelle fréquence le nombre de périodes par seconde. Ainsi, lorsque la période dure $1/50^{\text{e}}$ de seconde, il y en a 50 dans une seconde, et nous disons que la fréquence est égale à 50 périodes par seconde. Au lieu de dire « période par seconde », on dit aussi « cycle par seconde ». Mais on a attribué à l'unité de fréquence le nom de Hertz qui, le premier, a produit expérimentalement les ondes électromagnétiques. Ainsi un *hertz* équivaut à une période par seconde. Les multiples sont le *kilohertz* (= 1000 hertz), le *mégahertz* (= 1 000 000 hertz) et le *gigahertz* (1 000 000 000 hertz). Les symboles sont respectivement Hz, kHz, MHz et GHz.

Dans le domaine des ondes.

IG. — Je commence à comprendre maintenant ce que vous disiez tout à l'heure au sujet du courant alternatif de haute fréquence.

CUR. — On appelle ainsi des courants dont la fréquence est supérieure à 10 000 périodes par seconde (ou 10 kHz). De tels courants, lorsqu'ils circulent dans un conducteur vertical, produisent des *ondes électromagnétiques* (ou « hertziennes ») qui, se détachant du conducteur, se propagent à la manière d'anneaux dont le rayon croît à la vitesse de 300 000 000 mètres par seconde.

IG. — Mais c'est la vitesse de la propagation de la lumière !

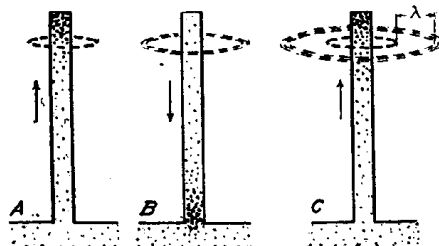


FIG. 5. — Mouvement des électrons dans l'antenne et formation des ondes.

CUR. — En effet. Et cela est dû à ce que la lumière, elle aussi, est constituée par des ondes électromagnétiques, mais de longueur d'onde plus courte que les ondes radio-électriques.

IG. — Qu'appellez-vous donc longueur d'onde ?

CUR. — C'est la distance entre deux anneaux électromagnétiques qui se sont successivement détachés de l'antenne (conducteur vertical). A chaque période du courant de haute fréquence, il se détache un anneau. Ainsi, au moment où un deuxième anneau se détache de l'antenne, le premier a déjà parcouru une certaine distance qui est précisément la longueur d'onde et qui est égale à...

IG. — ... la vitesse multipliée par la durée. Ici, la vitesse est 300 000 000 mètres par seconde et la durée entre deux ondes successives est la période du courant. Donc la longueur d'onde est égale à la vitesse de la propagation multipliée par la période.

CUR. — Tous mes compliments ! On peut également dire que la longueur d'onde est égale à la distance parcourue en une seconde, divisée par le nombre d'ondes émises en une seconde, c'est-à-dire par la fréquence (1).

(1) Et voici des formules... pour qui les aime.
En désignant par T la période, F la fréquence et λ la longueur d'onde, nous pouvons établir les relations suivantes :

$$F = \frac{1}{T}; \quad T = \frac{1}{F}; \quad \lambda = 300\,000\,000 \, T = \frac{300\,000\,000}{F}$$



IG. — C'est comme les deux gamins que j'ai vu, tout à l'heure, courir dans la rue...

CUR. — ?...

IG. — Mais si ! L'un, un grand, avec de longues jambes et l'autre, tout petit. Ils couraient en se tenant par la main, donc à la même vitesse. Le grand faisait de longues enjambées, mais à une cadence plus faible que le petit qui trottait à côté. Cela prouve, vous voyez, que plus la longueur d'onde (longueur d'un pas) est grande, plus la fréquence (nombre des pas par seconde) est petite, et inversement.

CUR. — La comparaison est juste.

Il est question de choses invisibles.

IG. — Il y a cependant quelque chose qui me semble obscur. Qu'est-ce que c'est que ces anneaux que vous appelez ondes électromagnétiques ?

CUR. — Tout compte fait, je ne le sais pas très exactement, et je crois que les savants eux-mêmes ne sont pas d'accord là-dessus. Je peux vous dire toutefois qu'il existe, autour d'un conducteur parcouru par le courant électrique, un *champ électromagnétique*, c'est-à-dire un ensemble de forces électriques (attractions et répulsions des électrons et des protons dont je vous ai parlé la dernière fois) et aussi un ensemble de forces magnétiques. Vous pouvez déceler ces dernières en approchant d'un conducteur une boussole dont l'aiguille s'orientera perpendiculairement au conducteur.

IG. — Donc, c'est la même chose que le champ d'un aimant ?

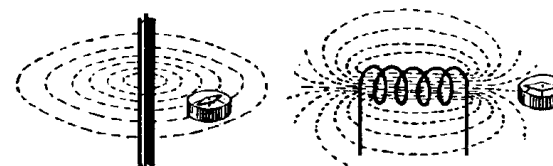


FIG. 6. — Champ magnétique d'un conducteur rectiligne et d'un bobinage.

CUR. — Oui, mais avec cette différence que, à l'approche d'un aimant, l'aiguille d'une boussole se tourne vers lui.

IG. — Est-ce que l'on peut se servir d'un conducteur parcouru par un courant comme d'un aimant ?

CUR. — Oui, mais la force magnétique est très faible. Pour l'intensifier, il faut disposer plusieurs conducteurs suivant le même chemin, de manière que leurs champs magnétiques se renforcent mutuellement.

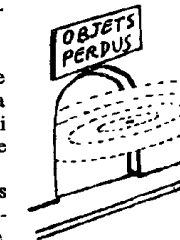
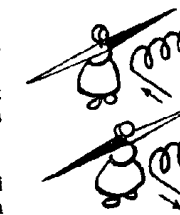
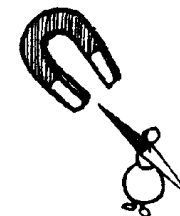
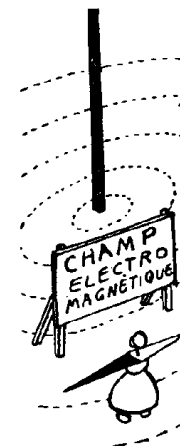
IG. — Comment le faire ?

CUR. — Pratiquement, il suffit d'enrouler un fil en bobine. Nous obtenons ainsi un *électro-aimant* qui peut être beaucoup plus puissant qu'un aimant naturel. On peut encore le munir d'un noyau de fer ou d'acier qui, en concentrant le champ magnétique, en renforcera l'intensité.

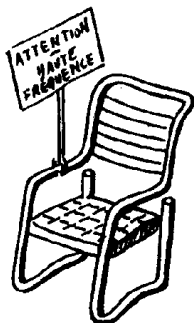
IG. — Est-ce que la polarité d'un tel aimant dépend du sens du courant ?

CUR. — Oui. Si, pour un courant donné, un pôle de l'électro-aimant attire le pôle nord de l'aiguille de la boussole, en inversant le courant, l'électro-aimant attirera le pôle sud. Car le champ magnétique a un sens qui dépend du sens du courant qui le crée. Et chaque variation de l'intensité ou du sens du courant se traduit par une variation correspondante du champ magnétique.

IG. — Ainsi, si je vous ai bien compris, les ondes électromagnétiques ne sont pas autre chose que les champs ayant abandonné le courant qui les a créés et qui se promènent dans l'espace à la vitesse respectable de 300 000 000 mètres par seconde. Mais comment les reçoit-on ?



Les phénomènes réversibles.



CUR. — Il existe, dans la nature, un très grand nombre de phénomènes dits « réversibles ». La production d'un champ magnétique par un courant en est un. Si le courant crée un champ, inversement un champ ou, plus exactement, des *variations* d'un champ magnétique produisent un courant dans un conducteur se trouvant dans le champ.

IG. — Donc, dans n'importe quel conducteur disposé sur le parcours des ondes électromagnétiques, celles-ci engendreront un courant ?

CUR. — Evidemment ! Ainsi dans ces tubes métalliques qui forment l'armature de mon fauteuil, il existe en ce moment une quantité de courants de haute fréquence produits par tous les émetteurs qui sont à présent en fonctionnement.

IG. — Et, en vous asseyant dans cette espèce de « chaise électrique », vous n'avez pas peur d'être électrocuté ?

CUR. — Non, car ces courants sont extrêmement faibles, vu la grande distance qui nous sépare de différents émetteurs dont les ondes arrivent ici avec un champ très affaibli.

IG. — Excusez-moi, mais tout cela me paraît bougrement compliqué.

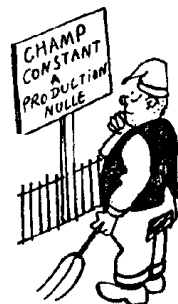
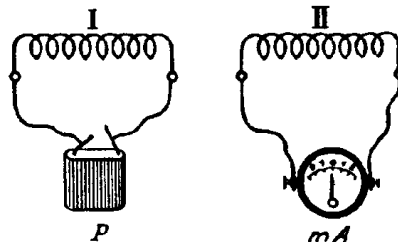
CUR. — Pour vous démontrer combien c'est simple, je vais réaliser devant vous une expérience classique. Tenez, voici deux bobines que je viens d'acheter pour le poste de marraine, voici également la pile de ma lampe de poche et ici un milliampèremètre.

IG. — Qu'est-ce ?...

CUR. — Vous auriez pu le deviner. C'est un instrument qui sert à mesurer l'intensité du courant. Je connecte la pile à la première bobine et le milliampèremètre à la deuxième (fig. 7) et je couple les deux bobines.



FIG. 7. — Les bobinages I et II sont couplés par induction : P, pile ; mA, milliampèremètre



IG. — Mais non ! Elles ne sont pas couplées puisqu'il y a une distance entre elles.

CUR. — Vous vous trompez, ami. Le *couplage* en question est un couplage électromagnétique : la deuxième bobine se trouve dans le champ de la première. Et, d'ailleurs, vous verrez cela tout de suite.

Déductions sur l'induction.

IG. — Je persiste à croire que vous êtes dans l'erreur, car si la deuxième bobine est dans le champ de la première, il devrait y avoir également un courant, d'après ce que vous avez dit tout à l'heure au sujet de la production d'un courant par un champ. Or l'aiguille de votre milliampèremètre demeure à zéro.

CUR. — Ne vous ai-je pas dit que le courant est produit uniquement par des *variations* d'un champ. Or, ici la première bobine est parcourue par un courant continu,

le champ est donc constant, et il n'y a aucune raison pour qu'un courant apparaisse dans la deuxième bobine.

Et, maintenant, attention ! Je déconnecte la pile de la première bobine.

IG. — Formidable ! L'aiguille du milliampèremètre a bougé à droite en accusant un courant de courte durée.

CUR. — Ce courant est dû à ce que le champ vient de disparaître, ce qui est une variation. Et maintenant, je connecte à nouveau la pile.

IG. — L'aiguille a bougé, mais à gauche.

CUR. — C'est parce qu'un champ s'est créé, ce qui est une variation d'un sens contraire à la précédente. Si, au lieu de connecter et de déconnecter une pile, je faisais parcourir la première bobine par un courant alternatif...

IG. — ... le champ varierait constamment et, dans la deuxième bobine, il apparaîtrait également un courant alternatif.

CUR. — Sachez que le courant qui produit le champ s'appelle courant *inducteur* ; celui qui est produit par le champ est le courant *induit*. Et le phénomène de production à distance d'un courant par un autre porte le nom d'*induction* électromagnétique.

IG. — En somme, la première bobine, c'est vous, la seconde c'est moi. Le courant de vos pensées, par l'intermédiaire du champ sonore de vos paroles, induit un courant de pensées de même forme en moi. Et nous faisons de l'induction ?

CUR. — Vos déductions sont tout à fait exactes !



QUELQUES SYMBOLES UTILISÉS DANS LES SCHÉMAS DE RADIOÉLECTRICITÉ

	ANTENNE		TERRE		CONNEXIONS NON RELIÉES ENSEMBLE		CONNEXIONS RELIÉES ENSEMBLE
--	---------	--	-------	--	---------------------------------	--	-----------------------------

	SIGNE DE VARIABILITÉ		CONDENSATEUR FIXE		CONDENSATEUR VARIABLE		RÉSISTANCE FIXE		RÉSISTANCE VARIABLE
--	----------------------	--	-------------------	--	-----------------------	--	-----------------	--	---------------------

	BOBINAGE		BOBINAGES COUPLÉS		COUPLAGE VARIABLE		BOBINE A NOYAU DE FER		TRANSFORMATEUR A NOYAU DE FER
--	----------	--	-------------------	--	-------------------	--	-----------------------	--	-------------------------------

Commentaires à la 2^{me} Causerie

COURANT ALTERNATIF.

Si, dans la première causerie, Curiosus a réussi à exposer les propriétés fondamentales du COURANT CONTINU, c'est-à-dire d'un courant produit par une tension de valeur et de polarité constantes, il a, dans la deuxième, hardiment abordé l'étude du COURANT ALTERNATIF.

Celui-ci est produit par une tension alternative; on appelle ainsi une tension variable telle que chaque extrémité d'un conducteur se trouve par rapport à l'autre à des potentiels alternativement positifs et négatifs en passant par tous les potentiels intermédiaires (y compris le potentiel nul). Il en résulte un courant qui change constamment de sens: allant dans un sens il augmente, atteint une valeur maximum (appelée AMPLITUDE), diminue, s'annule pendant un instant, puis augmente, mais dans le sens contraire, là encore atteint la même valeur maximum, diminue ensuite pour repasser par zéro et reprend le cycle de ses variations.

Le temps pendant lequel s'effectue un tel cycle (qui comprend un aller et retour du courant) s'appelle PÉRIODE du courant alternatif. Le nombre de périodes que le courant accomplit en une seconde porte le nom de FRÉQUENCE du courant. On conçoit aisément que plus la période est courte, plus il y en a en une seconde, plus la fréquence est élevée.

C'est le courant alternatif qui est utilisé dans la plupart des distributions actuelles d'électricité dans les villes et les campagnes. Il est produit par des machines appelées « alternateurs ». La fréquence usuelle est, en Europe, de 50 périodes par seconde, et, en Amérique, de 60 périodes par seconde.

ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES.

Ce sont là des fréquences « industrielles » qui, pour un radiotechnicien, sont très « basses ». Car, en radio, pour engendrer les ondes servant à la transmission, on utilise des courants de HAUTE FRÉQUENCE, soit d'au moins 10 000 per/sec, autrement dit d'une période égale ou inférieure à 0,0001 sec. Chaque période d'un tel courant lancé dans un fil vertical (ANTENNE D'ÉMISSION) donne naissance à une onde électromagnétique qui se propage dans l'espace à la manière d'un anneau

s'élargissant constamment autour de l'antenne. Cet élargissement s'effectue à une vitesse prodigieuse qui éloigne l'onde de l'antenne à raison de 300 000 000 mètres par seconde, vitesse égale à celle de la lumière. Ce fait n'a rien d'étonnant, puisque les ondes de la radio et les ondes lumineuses sont de nature identique: dans les deux cas, il s'agit d'ondes électromagnétiques. Seules, diffèrent les fréquences qui, pour les ondes lumineuses, sont beaucoup plus élevées.

La distance entre deux ondes successivement émises par une antenne s'appelle LONGUEUR D'ONDE. Plus la période est courte (ou la fréquence élevée), plus cette distance est faible, les ondes se suivant à des intervalles plus courts. On distingue, en radio, plusieurs catégories ou « gammes » d'ondes fixées d'une façon un peu arbitraire:

Les ondes LONGUES (ou « grandes ondes »): plus de 600 mètres de longueur d'onde.

Les ondes MOYENNES (ou « petites ondes »): entre 200 et 600 mètres.

Les ondes COURTES: de 10 à 200 mètres.

Les ondes ULTRA-COURTES: de 1 à 10 mètres.

Les ondes DÉCIMÉTRIQUES: de 10 centimètres à 1 mètre.

Les ondes CENTIMÉTRIQUES: de 1 à 10 centimètres. Ces dernières rejoignent presque les plus longues des radiations infra-rouges.

Notons encore qu'en radioélectricité, au lieu du mot « période » on emploie souvent « cycle ». Et les expressions « période par seconde » ou « cycle par seconde » doivent être remplacées par HERTZ (du nom du physicien qui a démontré expérimentalement l'existence des ondes électromagnétiques ou ondes hertziennes). Comme en radio on a souvent affaire à des fréquences élevées, on se sert de multiples de cette unité:

KILOHERTZ = 1 000 hertz (ou périodes par seconde);

MÉGAHERTZ = 1 000 000 hertz (ou périodes par seconde).

On peut aussi parler de kilocycles par seconde et de mégacycles par seconde.

CHAMP MAGNÉTIQUE.

La création par le courant électrique des ondes électromagnétiques est une des multiples manifestations de la parenté étroite — pour ne pas dire plus — qui unit les phénomènes

électriques et magnétiques. Tout déplacement d'électrons engendre dans le voisinage un état particulier de l'espace que l'on appelle CHAMP MAGNÉTIQUE. L'aiguille aimantée d'une boussole dévie de la présence du champ magnétique créé autour d'un conducteur parcouru par un courant, en s'orientant perpendiculairement par rapport au conducteur. Si l'on inverse le sens du courant, l'aiguille décrit un demi-tour, ce qui démontre que le champ magnétique a une polarité déterminée par le sens du courant.

Le champ magnétique d'un conducteur peut être rendu plus intense en enroulant ce conducteur (fil métallique) de manière à former une bobine. Les champs magnétiques de toutes les spires s'additionnent alors. Et la bobine parcourue par le courant agit à la manière d'un véritable aimant linéaire.

L'action d'un tel aimant sera renforcée en introduisant à l'intérieur du bobinage une barre de fer. Le fer offre aux forces magnétiques une plus grande PERMÉABILITÉ que l'air. Aussi le champ magnétique se concentre-t-il dans un NOYAU MAGNÉTIQUE ainsi constitué, et nous obtenons un ÉLECTRO-AIMANT. Si le noyau est en fer doux, il perd son aimantation lorsque le courant est coupé (ou n'en conserve qu'une faible partie). S'il est en acier, il demeure aimanté. C'est par ce procédé que l'on fabrique actuellement des aimants artificiels.

INDUCTION.

Si des variations du courant électrique entraînent des variations correspondantes du champ magnétique qu'il crée, inversement, des variations du champ magnétique engendrent des courants variables dans les conducteurs. C'est ainsi qu'en approchant ou en éloignant un aimant d'une bobine, nous faisons apparaître dans celle-ci un courant qui ne durera que pendant le mouvement de l'aimant, c'est-à-dire pendant la variation du champ.

Il faut bien noter que c'est la variation et non la simple présence d'un champ magnétique qui engendre les courants dans le conducteur.

Au lieu d'un aimant, on peut approcher un électro-aimant formé par une bobine parcourue par un courant continu; le résultat sera le même. On peut encore fixer cette bobine à demeure au voisinage de l'autre et la faire parcourir par un courant variable; ainsi, un courant alternatif parcourant la première bobine donnera naissance à un courant alternatif dans la deuxième. Nous sommes en présence du phénomène de l'INDUCTION. Sans qu'un contact matériel soit pour cela nécessaire, il y a un COUPLAGE MAGNÉTIQUE entre les deux bobines dont l'ensemble constitue un TRANSFORMATEUR électrique. Nous verrons plus loin la raison de cette appellation.

QUELQUES SYMBOLES UTILISÉS DANS LES SCHÉMAS DE RADIOÉLECTRICITÉ

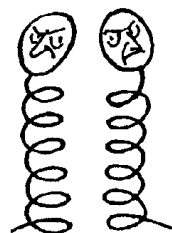
	PILE OU ACCUMULATEUR		SOURCE DE COURANT CONTINU		SOURCE DE COURANT ALTERNATIF		APPAREIL DE MESURES		POTENTIOMÈTRE
--	----------------------------	--	---------------------------------	--	------------------------------------	--	---------------------------	--	---------------

	DETECTEUR REDRESSEUR		FILAMENT		CATHODE		GRILLE		ANODE OU PLAQUE		GRILLE- ÉCRAN		DIODE
--	-------------------------	--	----------	--	---------	--	--------	--	-----------------------	--	------------------	--	-------

Voir la suite page 27

Poursuivant l'étude des phénomènes d'induction, Curiosus amènera Ignotus à redécouvrir la self-induction dont l'influence s'oppose au passage des courants alternatifs. Ensuite, à l'aide d'analogies très explicites, les deux amis examineront les propriétés des condensateurs. En analysant les différents facteurs dont dépend la capacité, Ignotus fera valoir la sienne propre de compréhension...

Induction = Contradiction.



IG. — J'ai beaucoup réfléchi au sujet de ce que vous m'avez expliqué sur l'induction. J'ai bien compris qu'une variation de courant dans une bobine produit un courant induit dans l'autre. Mais quels sont le sens et l'intensité du courant induit ?

CUR. — Le courant induit, il faut vous le dire, a un très mauvais caractère : il est toujours en contradiction avec le courant inducteur. Lorsque ce dernier va en augmentant, le courant induit ira dans le sens contraire.

IG. — Est-ce à dire que, lorsque dans la bobine inductrice le courant va dans le sens des aiguilles d'une montre, le courant induit ira dans le sens opposé ?

CUR. — Précisément ! Par contre, lorsque le courant diminue d'intensité, le courant induit va dans le même sens, comme s'il voulait s'opposer à la diminution du premier.

IG. — C'est comme le chien de mon oncle Jules...

CUR. — Encore une bourde, sans doute ?...

IG. — Pas du tout ! Le chien en question est obstiné comme un âne... Le matin, lorsque mon oncle s'adonne à la culture physique, il fait au trot le tour de son jardin en tenant son chien en laisse. Au début, quand il accélère le mouvement, le chien

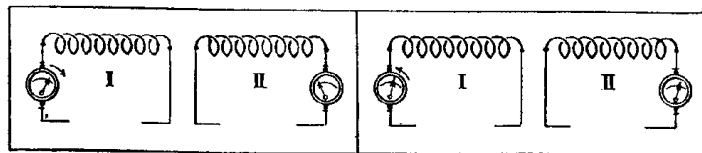
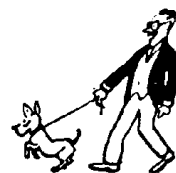


FIG. 8 a. — Lorsque le courant dans la bobine I augmente, il induit dans la bobine II un courant de sens contraire.

FIG. 8 b. — Lorsque le courant dans la bobine I diminue, il induit dans la bobine II un courant de même sens.

tire en arrière et le freine violemment. Et ensuite, lorsque, à bout de souffle, oncle Jules veut ralentir, l'animal l'entraîne à faire des performances de vitesse...

CUR. — J'ai vaguement l'impression que cette histoire est inventée pour les besoins de la cause. Elle prouve toutefois que vous avez compris le phénomène de l'induction. Vous auriez pu même ajouter que plus votre oncle accélère ou ralentit, plus son chien réagit, car l'intensité du courant induit est proportionnelle à la vitesse de variation du courant inducteur et, aussi, à son intensité même.

IG. — C'est peut-être très bête, ce que je dis là, mais il me semble que si une bobine induit un courant dans les spires d'une autre bobine plus ou moins éloignée, elle doit, à plus forte raison, induire un courant dans ses propres spires.

CUR. — Mon cher Ignotus, vous venez de découvrir la *self-induction*. Tous mes compliments ! En effet, le courant induit apparaît également dans la bobine



parcourue par le courant inducteur, où il coexiste avec ce dernier et s'oppose, avec son esprit de contradiction, à ses variations.

IG. — C'est tout à fait comme dans les romans « psychologiques » dans lesquels « une voix intérieure » oppose constamment ses arguments aux mouvements sentimentaux du héros.

CUR. — Vous feriez mieux de lire un bon traité d'électricité. Vous verrez ainsi que la self-induction est comparable à l'inertie mécanique. De même que l'inertie s'oppose à la mise en mouvement d'un corps et tend à le maintenir dans cet état de mouvement une fois qu'il est lancé, la self-induction s'oppose à l'apparition d'un courant dans un bobinage (le courant croissant provoque un courant induit de sens inverse) et tend à maintenir le courant existant lorsqu'il veut disparaître (le courant qui diminue induit un courant de même sens).

IG. — Donc un courant alternatif qui change constamment en intensité et en direction a quelque peine à traverser une bobine ?

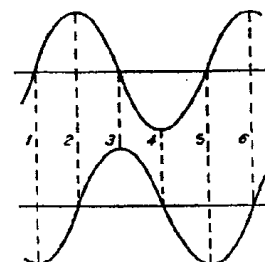


FIG. 9. — En haut, le courant alternatif. En bas, le courant induit par celui représenté en haut.

1. Le courant inducteur augmente très vite. Le courant induit est de sens contraire.
2. Le courant inducteur ne varie pas pendant un court instant. Le courant induit est nul.
3. Le courant inducteur diminue. Le courant induit va dans le même sens.
4. Le courant inducteur ne varie pas pendant un court instant. Le courant induit est nul.

CUR. — Certes, car la self-induction résiste à ses variations. Cette résistance de la self-induction porte le nom d'*inductance*. Il ne faut pas la confondre avec la simple résistance « ohmique » du conducteur. L'inductance dépend de la self-induction de la bobine, c'est-à-dire de l'action inductive de chaque spire sur les autres et aussi de la fréquence du courant.

IG. — Pourquoi donc ?

CUR. — Mais c'est très simple ! Plus la fréquence est grande, plus les variations du courant sont rapides, plus, par conséquent, les courants induits sont forts et s'opposent à ces variations.

IG. — Ainsi pour les fréquences élevées l'inductance d'une bobine est plus grande que pour les fréquences basses ? C'est bon à savoir, car, je le vois, ça devient bougrement compliqué.

CUR. — Et pourtant je ne vous ai encore rien dit au sujet des condensateurs.

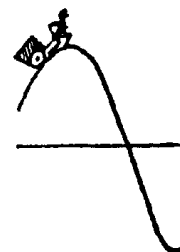
Parlons un peu des condensateurs.

IG. — Je sais fort bien ce que c'est. J'en ai vu dans les postes de T.S.F. On dirait des presse-purée à lames rondes qui tournent en sortant des lames fixes...

CUR. — Oui. Ce sont les *condensateurs variables*. Il y en a d'autres, fixes, dont les lames (ou « armatures ») demeurent immobiles, en sorte que leur capacité est constante.

IG. — Capacité ?... Sans doute, encore un terme à comprendre et à apprendre ?

CUR. — Voyez-vous, ami, le condensateur est une chose très simple. C'est un ensemble de deux conducteurs mutuellement isolés, auxquels on applique une certaine tension.



IG. — Je ne vois pas très bien en quoi deux conducteurs isolés l'un de l'autre méritent le nom de condensateur.

CUR. — Un condensateur est comparable à deux réservoirs séparés par une membrane en caoutchouc élastique (fig. 10). Une pompe actionnée pendant un court instant crée entre les réservoirs 1 et 2 une différence de pression...

IG. — Je vois où vous voulez en venir. La pompe, c'est la pile. Les réservoirs représentent les deux armatures du condensateur, et la différence de pression correspond à la différence de potentiel.

CUR. — Vous l'avez deviné. Seulement, comme toutes les analogies, la mienne ne va que jusqu'à un certain point. En effet, lorsqu'il s'agit de réservoirs remplis

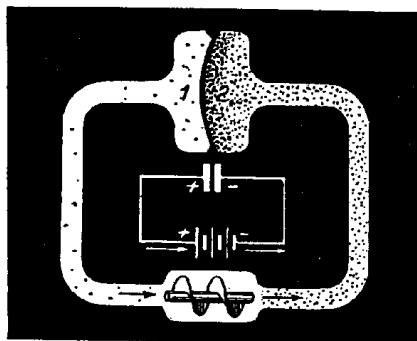
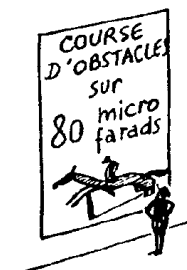


FIG. 10. — Deux réservoirs séparés par une membrane élastique ressemblant à un condensateur électrique. La pompe qui crée une différence de pression est analogue à une pile électrique qui crée une différence de potentiel.

d'air, nous aurons dans 2 beaucoup de molécules réparties uniformément dans tous les points. En 1, nous en aurons beaucoup moins, et, là encore, leur répartition sera homogène.

IG. — Il me semble que les électrons, eux aussi, se répartiront de la même façon.

CUR. — C'est ce qui vous trompe. Comme les atomes de l'armature 1 sont positifs (manque d'électrons !), ils appelleront, à travers la mince cloison qui les isole, les électrons de l'armature 2, en sorte que ceux-ci se condenseront dans la partie de l'armature 2 faisant face à 1. Cette compression des électrons permet d'emmagasinier dans les armatures du condensateur des charges électriques beaucoup plus importantes que celles que l'on aurait eues sans cet appel des électrons par des atomes positifs.

IG. — Donc, si j'ai bien compris, la propriété essentielle d'un condensateur est de permettre une accumulation de charges électriques sur ses armatures.

CUR. — Oui. Cette propriété s'appelle, d'ailleurs, *capacité* d'un condensateur. A votre avis, de quoi en dépend la valeur ?

IG. — Je pense, tout d'abord, que la capacité dépend de l'épaisseur de la membrane. Plus elle est mince, plus elle peut s'incurver et, par conséquent, laisser de place aux molécules de gaz dans le réservoir 2.

CUR. — C'est juste. Pour le condensateur, nous dirons que sa capacité est inversement proportionnelle à la distance entre les armatures. Mais, en revenant à nos réservoirs, ne pensez-vous pas que la capacité dépend également de la nature de la membrane élastique.

IG. — Bien entendu. Faite en caoutchouc, elle est plus souple que, par exemple, faite en fer-blanc.

CUR. — Par conséquent, la capacité du condensateur dépend également de la nature du diélectrique qui sépare les deux armatures. Le coefficient numérique qui

caractérise l'aptitude plus ou moins grande d'un diélectrique à augmenter la capacité s'appelle sa *constante diélectrique*. Pour l'air, on a adopté le nombre 1. Dans ces conditions, la constante diélectrique du mica, par exemple, est de 8. Lorsque, dans un condensateur à air de 10 microfarads vous placez entre les armatures des feuilles de mica, la capacité augmentera jusqu'à 80 microfarads.

IG. — C'est en microfarads que l'on mesure les capacités ?

CUR. — L'unité de mesure de capacité est le *farad* (F). Mais, en pratique, c'est une capacité trop grande... On se sert donc de ses sous-multiples : micro-farad (μF) qui est le millionième de farad, milli-microfarad ($\text{m}\mu\text{F}$) qui est le millième de micro-farad, micro-microfarad ($\mu\mu\text{F}$) ou pico-farad (pF) qui est le millionième de micro-farad. Au lieu de milli-microfarad on dit nanofarad (nF).

IG. — C'est bougrement compliqué, ce système. Mais, pour en revenir aux facteurs dont dépend la capacité, il me semble qu'elle dépend encore de la surface de la membrane, car plus elle est grande, plus grande est la sphère de l'action des atomes positifs sur les électrons (1).

CUR. — En effet, la capacité est proportionnelle à la surface des armatures.

IG. — Je pense qu'elle croît aussi avec l'épaisseur des armatures puisqu'elles peuvent contenir, selon leur volume, plus ou moins d'électrons.

CUR. — Là, vous vous trompez ami. Ce qui compte, ce n'est pas le volume, mais les surfaces en regard des armatures, où se condensent les charges négatives et positives.

IG. — En somme, pour augmenter la capacité d'un condensateur on peut, soit augmenter la surface de ses armatures, soit les rapprocher l'une de l'autre. Ainsi, même avec des armatures très petites, on peut, je pense, obtenir une grosse capacité, en les rapprochant très près l'une de l'autre.

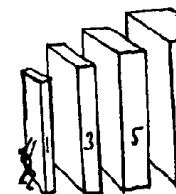
CUR. — Très dangereux, ça !... Si vous diminuez trop l'épaisseur de la membrane, il arrive un moment où, sous l'effet de la pression, elle crève. De même, entre les armatures trop rapprochées, la tension fera éclater une étincelle. Les électrons, trop violemment appelés, franchiront le diélectrique !

IG. — Ainsi un mauvais condensateur fera un bon briquet électrique ?...

(1) La capacité d'un condensateur :

$$C = 0,0688 \frac{K S}{d} \text{ picofarads}$$

où K est la constante diélectrique, S la surface d'une armature en cm^2 , d l'écartement entre les armatures en cm.



Commentaires à la 3^{me} Causerie

LOI DE LENTZ.

Poursuivant l'étude de l'induction magnétique, nos jeunes amis, sans la nommer, redécouvrent la loi de LENTZ. Ils constatent, en effet, que le courant induit semble s'opposer à chaque instant aux variations du courant inducteur. Quand celui-ci augmente, le courant induit circule dans le sens opposé. Et quand le courant inducteur diminue, le courant induit circule dans le même sens.

Les phénomènes d'induction obéissent, nous le voyons à une loi très générale de la nature : la loi de l'action et de la réaction.

Le courant induit dépend de la vitesse de la variation du courant inducteur ainsi que de son intensité.

SELF-INDUCTION.

Si le courant circulant dans un bobinage induit des courants dans des bobinages se trouvant dans son voisinage, à plus forte raison en induit-il dans les propres spires de la bobine où il circule. Ce phénomène de SELF-INDUCTION est soumis aux mêmes lois que celles qui régissent l'induction. Par conséquent, lorsque l'intensité du courant circulant dans une bobine tend à augmenter, un courant de self-induction prend naissance en sens opposé et ralentit l'augmentation du courant inducteur. Pour cette raison, si on applique une tension continue à un bobinage, le courant qui s'y établit ne peut pas atteindre instantanément son intensité normale ; il lui faut pour cela un certain temps, d'autant plus long que la self-induction de la bobine est plus élevée. De même, lorsque nous augmentons progressivement la tension aux extrémités d'une bobine, l'intensité du courant suivra cette augmentation avec un certain retard, le courant de self-induction agissant en sens opposé.

Si, par contre, nous diminuons la tension appliquée à la bobine, là encore la diminution de l'intensité se produira avec un certain retard, le courant de self-induction allant alors dans le même sens que le courant inducteur et le prolongeant en quelque sorte. Dans le cas extrême, lorsqu'on supprime brusque-

ment la tension appliquée à une bobine (en ouvrant, par exemple, un interrupteur), la très rapide variation du courant inducteur provoque une tension induite qui peut être de valeur élevée et peut donner naissance à une étincelle jaillissant entre les contacts de l'interrupteur.

INDUCTANCE.

Lorsqu'une tension alternative est appliquée à une bobine de self-induction, le courant alternatif qu'elle crée entretient un champ magnétique alternatif qui, à son tour, maintient un courant de self-induction s'opposant constamment aux variations du courant inducteur et, de ce fait, l'empêchant d'atteindre l'intensité maximum qu'il aurait pu avoir en l'absence de la self-induction. (N'oublions pas, en effet, que lorsque le courant inducteur augmente, le courant induit va en sens inverse et, par conséquent, doit en être retranché.) Tout se produit donc comme si à la résistance normale (on dit « ohmique ») du conducteur venait s'ajouter une autre résistance due à la self-induction. Cette *résistance de self-induction* ou *INDUCTANCE* est d'autant plus élevée que la fréquence du courant est plus grande (puisque les variations plus rapides du courant inducteur suscitent des courants de self-induction plus intenses) et que la self-induction elle-même est plus élevée.

La self-induction d'un bobinage dépend uniquement de ses propriétés géométriques : nombre et diamètre des spires et leur disposition. Elle croît vite avec l'augmentation du nombre des spires. L'introduction d'un noyau en fer, en intensifiant le champ magnétique, l'élève dans des proportions considérables. La self-induction d'un bobinage est exprimée en HENRYS (H) ou en sous-multiples de cette unité : MILLIHENRY (mH) qui est le millième du henry et MICROHENRY (μ H), millièmes du henry.

Si l'on désigne par L la self-induction d'une bobine exprimée en henrys, un courant de fréquence f y rencontrera une inductance de $6,28 \times L \times f$ ohms. (On remarquera que 6,28 est pris ici comme valeur approchée de 2π .)

CONDENSATEUR.

Ayant ainsi passé en revue les principaux phénomènes d'induction et de self-induction, Curiosus et Ignotus se sont lancés à corps perdu dans l'étude des CONDENSATEURS qui ont la... CAPACITÉ d'accumuler des charges électriques. Le condensateur se compose de deux conducteurs (qui en forment les ARMATURES) séparés par un corps isolant ou, en « style ingénieur », par un DIÉLECTRIQUE. Si l'on connecte les deux armatures à une source de courant électrique, des électrons s'accumulent dans celle qui est connectée au pôle négatif et, au contraire, quittent celle connectée au pôle positif. Cette CHARGE est intensifiée par le phénomène de répulsion entre électrons des deux armatures rapprochées. Si les mêmes armatures se trouvaient écartées, elles ne pourraient pas emmagasiner les mêmes charges d'électricité.

Au moment où la source est connectée au condensateur, il s'établit un COURANT DE CHARGE, d'abord intense, puis de plus en plus faible au fur et à mesure que les potentiels des armatures se rapprochent de ceux des pôles de la source. Le courant cesse lorsque ces potentiels sont atteints. Sa durée totale est très courte.

CAPACITÉ.

Suivant que la quantité d'électricité qu'un condensateur peut emmagasiner est plus ou moins grande, on dit que sa capacité l'est plus ou moins. La capacité est mesurée en FARADS (F) ou en sous-multiples de cette unité : MICROFARAD (μ F), millionième de farad, MILLIMICROFARAD ou NANOFARAD (nF) égal à 0,000 000 001 F et même MICROMICROFARAD ou PICOFARAD ($\mu\mu$ F ou pF) égal à 0,000 000 000 001 F !...

La capacité dépend, évidemment, de la surface des armatures en regard et augmente avec elle. Elle est d'autant plus élevée que les armatures sont plus rapprochées, sans qu'il soit toutefois possible d'aller très loin dans cette voie, puisqu'une épaisseur trop faible de diélectrique risque d'être transpercée par une étincelle sous l'effet d'une tension tant soit peu élevée (le condensateur « claque », dit-on en argot d'électricien). Enfin, la capacité dépend aussi de la nature du diélectrique. Le meilleur (et aussi le moins coûteux) des diélectriques est l'air sec. Si on lui substitue tout autre diélectrique, la capacité du condensateur augmente.

Notons que, par contre, la capacité du condensateur est indépendante de la nature et de l'épaisseur des armatures.

QUELQUES SYMBOLES UTILISÉS DANS LES SCHÉMAS DE RADIOÉLECTRICITÉ

 VALVE DIPLAQUE	 TRIODE	 BIGRILLE	 TETRODE A GRILLE-ÉCRAN
 PENTODE	 HEPTODE	 OCTODE	 TRIODE-HEPTODE

QUATRIÈME CAUSERIE

Cette causerie commence par une constatation qui ne manque pas de surprendre Ignotus : le courant alternatif traverse les condensateurs ! Il est vrai que ceux-ci lui opposent une certaine capacitance... Ignotus commence à s'embrouiller dans les différentes impédances. Mais le lecteur n'imitera pas son fâcheux exemple et suivra aisément les raisonnements de Curiosus.

Le courant y passe !...

IG. — La dernière fois, Curiosus, vous m'avez parlé des condensateurs. Si j'ai bien compris, lorsqu'on connecte les deux armatures d'un condensateur à une pile électrique, des charges s'accumulent sur ces armatures.

CUR. — C'est exact. On dit que le condensateur est chargé.

IG. — Donc, au moment où nous connectons le condensateur à une source de courant, celle-ci débite un certain courant de charge. Mais lorsque le condensateur est chargé, le courant continue-t-il à passer ?

CUR. — Non, tout s'arrête. Toutefois, en substituant alors à la pile une résistance, vous produirez une décharge du condensateur.

IG. — Comment cela ?

CUR. — Très simplement, en permettant aux électrons en excès sur l'armature négative de compléter les atomes déficients en électrons de l'armature positive. Le

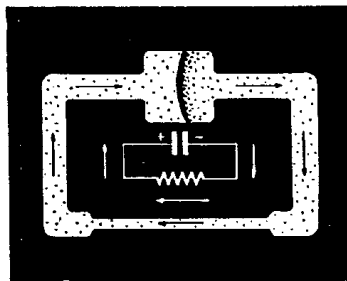


FIG. 11. — Décharge d'un condensateur à travers une résistance ohmique.

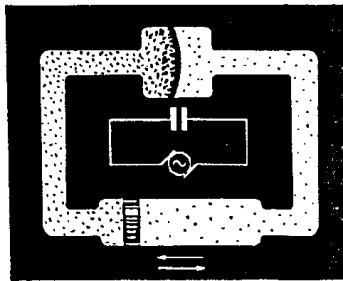


FIG. 12. — Passage du courant alternatif à travers le condensateur.

courant de courte durée qui passera, à ce moment, à travers la résistance, est appelé courant de décharge.

IG. — Donc le condensateur est une sorte de ressort que l'on peut tendre et qui, ensuite, si on le lâche, se détend.

CUR. — Je vous rappelle que, la dernière fois, nous avons utilisé un exemple semblable, en comparant le condensateur à une membrane élastique qui sépare deux réservoirs. La décharge du condensateur à travers une résistance est alors comparable à la détente de la membrane qui chasse l'eau à travers un tuyau étroit (fig. 11).

IG. — Il est peut-être très amusant de charger et décharger un condensateur, mais, à vrai dire, je ne vois pas clairement l'utilité de ce travail. Une fois la décharge accomplie, c'est fini, n'est-ce pas ?...

CUR. — Oui, si vous avez une source de courant continu. Non, si vous utilisez un alternateur, c'est-à-dire une machine qui produit du courant alternatif. Une telle



machine peut, dans notre exemple, être représentée par un piston animé d'un mouvement de va-et-vient (fig. 12).

IG. — Je comprends. En allant vers l'extrémité droite ou gauche du cylindre, le piston charge le condensateur, c'est-à-dire incurve la membrane ; en revenant au point milieu, il facilite la décharge du condensateur.

CUR. — Vous voyez donc que dans notre « circuit » il y a un mouvement alternatif ininterrompu des électrons. Il y circule un véritable courant alternatif.

IG. — Et cela malgré la présence du condensateur qui, pourtant, coupe en quelque sorte le circuit !

Les différentes « -ances »...

CUR. — Les électriciens vont même jusqu'à dire que le courant alternatif « traverse » le condensateur. Cela ne veut point dire que les électrons pénètrent à travers le diélectrique (la membrane), mais uniquement que la présence d'un condensateur n'empêche pas le mouvement de va-et-vient des électrons, c'est-à-dire le passage du courant alternatif dans un circuit.

IG. — Il faudra quelque temps pour m'habituer à cette notion. Car, tout de même, à mon avis, aussi élastique qu'elle soit, une membrane est, il me semble, un obstacle.

CUR. — Bien entendu. Et c'est pour cela que l'on a même baptisé de *capacitance* la résistance qu'elle oppose au passage du courant alternatif.

IG. — Allons bon ! Encore un terme en « -ance » ! C'est d'une « complicité » terrible !...

CUR. — Au contraire, Ignotus, tout cela est au fond très simple. Vous devinerez aisément vous-même de quels facteurs dépend la capacitance.

IG. — Je suppose, tout d'abord, qu'elle dépend de la valeur de la capacité. Plus la membrane est élastique, plus elle s'incurve et, par conséquent, laisse entrer d'électrons d'un côté et sortir de l'autre.

CUR. — Donc, plus la capacité est grande, plus le courant alternatif circule aisément, et nous disons que la capacitance est alors plus petite.

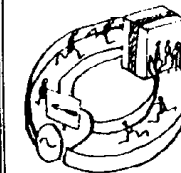
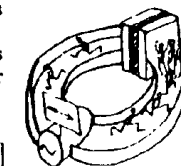
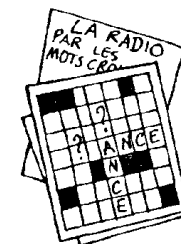
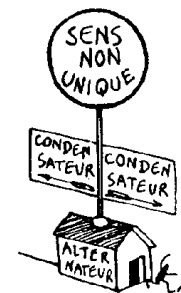
IG. — Juste le contraire de ce qui se produit pour l'inductance qui, elle, croît avec la self-induction des bobines. Mais, au fait, est-ce que la capacitance, à l'instar de l'inductance, ne dépend pas également de la fréquence du courant ?

CUR. — Certes, plus la fréquence est grande, plus est grand le nombre de charges et de décharges du condensateur par seconde et, par conséquent, plus est grand le nombre total d'électrons qui traversent en une seconde un point quelconque du circuit.

IG. — Donc l'intensité du courant croît avec la fréquence, ce qui prouve que la capacitance diminue. Mais, cher Curiosus, avez-vous encore beaucoup d'autres résistances en réserve ? Je sens que la mienne diminue fortement...

CUR. — Rassurez-vous : maintenant, vous connaissez les trois sortes de résistances utilisées en électricité. Et pour vous résumer leurs propriétés, laissez-moi vous tracer ce petit tableau :

RÉSISTANCE ohmique pure	Indépendante de la fréquence	
INDUCTANCE ou résistance de la self-induction	Proportionnelle à la self-induction	Proportionnelle à la fréquence
CAPACITANCE ou résistance de la capacité	Inversement proportionnelle à la capacité	Inversement proportionnelle à la fréquence



Tout cela, ce sont des *impédances* simples, car c'est le nom général de toutes les résistances.

IG. — Et l'on peut les combiner entre elles, ces impédances ?

CUR. — Bien entendu ! D'ailleurs, à vrai dire, il est assez rare que nous ayons à faire à une impédance pure. C'est ainsi, par exemple, qu'une bobine, en plus de sa self-induction, possède également une certaine résistance ohmique qui dépend de la longueur, du diamètre et de la nature chimique du fil. Elle a aussi une capacité « répartie » due au voisinage de ses spires qui jouent le rôle d'armatures de condensateur. Mais on peut aussi disposer volontairement, sur le chemin d'un courant alternatif, plusieurs impédances de natures diverses.

La vie de famille des impédances...

IG. — Dans ce cas leurs valeurs s'additionnent ?

CUR. — Hélas ! les choses ne sont pas aussi simples. Il existe tout d'abord deux manières distinctes de disposer plusieurs impédances sur le chemin d'un courant. La première (fig. 13 a) consiste à les disposer *en série* de manière qu'elles soient toutes parcourues successivement par le même courant. La deuxième manière prévoit la disposition des impédances *en parallèle* (fig. 13 b) ou en *dérivation* ; le courant se

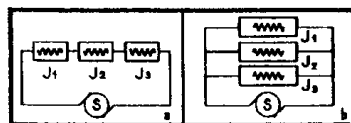
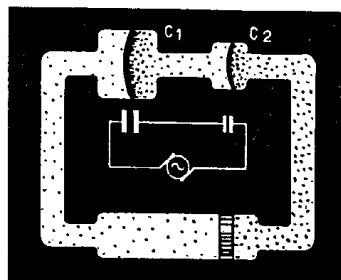


FIG. 13 (en haut). — Connexion en série (a) et en parallèle (b).

FIG. 14 (ci-contre). — Connexion des condensateurs en série.



divise alors en autant de courants qu'il y a d'impédances en dérivation ; dans chaque branche, il sera d'autant plus intense que sa résistance sera plus réduite.

IG. — C'est comme lorsque le courant d'un fleuve est partagé en deux par une île : dans la branche où il y a plus d'espace, il passe plus d'eau.

CUR. — Vous comprenez donc que deux résistances ohmiques en série...

IG. — ... opposent une résistance égale à la somme de leurs résistances.

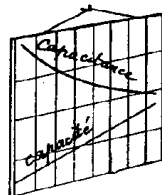
CUR. — C'est juste. Et lorsqu'elles sont en parallèle ?

IG. — Eh bien ! je pense que les électrons passeront plus facilement. C'est comme s'il y avait un conducteur de section égale à la somme de leurs sections. Donc la résistance diminue. Je crois qu'il en sera de même pour les inductances et les capacitances.

CUR. — Vous ne vous trompez pas.

IG. — Par conséquent, en série les résistances, self-inductions et capacités s'ajoutent et, en parallèle, la valeur totale est, au contraire, plus petite que chacune de leurs valeurs prises séparément.

CUR. — Vous allez un peu vite en besogne en attribuant aux résistances, bobines et condensateurs les mêmes propriétés qu'à leurs impédances. Cela est juste lorsque vous parlez des résistances ohmiques et des self-inductions pour lesquelles l'inductance est proportionnelle à la self-induction. Mais pour les condensateurs il n'en va plus de même, car la *capacité* est inversement proportionnelle à la capacité. Donc, si en série les capacitances s'ajoutent, par contre, les capacités s'affaiblissent mutuellement.

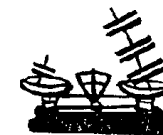


IG. — Ça, par exemple !...

CUR. — Je vois qu'il est tout à fait vain de faire appel à votre intuition mathématique... Voyez donc (fig. 14) ces deux condensateurs C_1 et C_2 en série. Remarquez que C_2 est de capacité inférieure à C_1 , car sa membrane est plus petite. La quantité de liquide que le piston peut déplacer est limitée surtout par C_2 . Quant à C_1 , qui aurait pu emmagasiner beaucoup plus, il ne pourra accumuler que ce que C_2 laissera passer, et même un peu moins, à cause de la tension de sa propre membrane. Donc, en série, la capacité du système C_1 - C_2 est même plus petite que la capacité C_2 .

IG. — Je pense que, par contre, mises en parallèle, les capacités s'ajoutent, car c'est équivalent à l'augmentation de la surface de la membrane.

CUR. — Evidemment...



SYSTÈME DÉCIMAL

des multiples et des sous-multiples

Il est très important de connaître les règles élémentaires du système décimal qui permettent de former, à l'aide de préfixes, des **multiples** et des **sous-multiples** des unités.

Voici les principaux préfixes et leur signification (en gras figurent ceux qui sont le plus utilisés en radio-électricité) :

MULTIPLES

Préfixe	Symbole	Multiplié par
tera-	T	1 000 000 000 000
giga-	G	1 000 000 000
méga-	M	1 000 000
kilo-	k	1 000
hecto-	h	100
déca-	da	10

SOUS-MULTIPLES

Préfixe	Symbole	Divisé par
déci-	d	10
centi-	c	100
milli-	m	1 000
micro-	μ	1 000 000
nano-	n	1 000 000 000
pico-	p	1 000 000 000 000

Le symbole du préfixe doit être écrit avant celui de l'unité. Ce dernier ne doit pas être suivi d'un point (sauf, bien entendu, à la fin d'une phrase), car ce n'est pas une abréviation. De même, il ne faut pas ajouter un « s » au pluriel.

EXEMPLES. — Le symbole du gramme est g. Dès lors, l'emploi correct des préfixes nous permet de former les multiples : **kilogramme** (kg) = 1 000 g ; **hectogramme** (hg) = 100 g, etc., et les sous-multiples : **centigramme** (cg) = 0,01 g ; **milligramme** (mg) = 0,001 g ; **microgramme** (μ g) = 0,000 001 g, etc.

De même, du symbole s (seconde) on forme ms (milliseconde) et μ s (microseconde).



Commentaires à la 4^{me} Causerie

PASSAGE DU COURANT ALTERNATIF A TRAVERS UN CONDENSATEUR.

Dans la précédente causerie, nous avons abandonné notre condensateur chargé. En le déconnectant de la source d'électricité et en connectant ses armatures à une résistance, nous provoquerons sa DÉCHARGE. Les électrons en excédent sur l'armature négative viendront, à travers la résistance, combler le déficit de l'armature positive. Le courant de décharge, intense au début, deviendra plus faible au fur et à mesure que la différence de potentiel entre les armatures diminuera, et cessera finalement lorsque les deux armatures seront au même potentiel.

On peut produire une suite ininterrompue de charges et de décharges du condensateur en le connectant à une source de courant alternatif. Les armatures se chargent, déchargent et rechargent alors au rythme de la tension alternative et, dans le circuit (on appelle ainsi l'ensemble des éléments parcourus par le courant), s'établit une véritable circulation de courant. Cela permet de dire que le condensateur est TRAVERSÉ par le courant alternatif, sans que, toutefois, des électrons passent pour autant à travers son diélectrique, d'une armature à l'autre.

CAPACITANCE.

Bien entendu, le passage du courant alternatif à travers un condensateur ne s'effectue pas avec la même aisance qu'à travers un bon conducteur; le condensateur oppose au courant une certaine résistance « capacitive » que l'on appelle CAPACITANCE. Celle-ci est d'autant plus faible que la capacité est plus élevée et que la fréquence du courant est plus grande; car plus il y a de variations par seconde, plus sera grand le nombre d'électrons traversant en une seconde une section des conducteurs du circuit.

Si l'on désigne par C la capacité mesurée en farads d'un condensateur traversé par un courant de fréquence f, la capacitance est égale à :

$$\frac{1}{6,28 f C} \text{ ohms.}$$

On voit, en les comparant, que l'inductance et la capacitance ont des propriétés nette-

ment opposées : alors que l'inductance croît avec la self-induction et la fréquence, la capacitance, elle, diminue lorsque la capacité ou la fréquence augmentent.

DÉPHASAGE.

L'opposition entre la self-induction et la capacité se manifeste aussi d'une autre manière, bien curieuse celle-là. Rappelons-nous que, du fait de la self-induction, l'intensité du courant suit les variations de la tension alternative avec un certain retard (examiner attentivement la figure 9). Ce décalage entre courant et tension porte le nom de DÉPHASAGE. On dit aussi que courant et tension « ne sont pas en phase ».

En étudiant la circulation du courant alternatif dans un circuit comportant un condensateur (fig. 12), on remarquera que le mouvement des électrons s'arrête (le courant devient nul) au moment où la tension devient maximum; puis, quand la tension décroît, l'intensité du courant monte; elle est le plus grande lorsque la tension passe par zéro pour changer de sens; ensuite, au fur et à mesure que le condensateur se recharge, c'est-à-dire que la tension monte dans l'autre sens, l'intensité diminue pour devenir nulle au moment où la tension atteint sa valeur maximum. Ce déroulement des phénomènes devient particulièrement évident lorsque, en se reportant à la figure 12, on se souvient que les maxima de tension correspondent aux positions extrêmes du piston (ou incurvations maxima de la membrane) et que la tension passe par zéro lorsque le piston est dans la position moyenne (et la membrane est plane). Nous voyons qu'ici l'intensité du courant varie en avance sur les variations de la tension, car, lorsque celle-ci est encore nulle, le courant est déjà maximum. Nous sommes donc, comme dans le cas de la self-induction, en présence d'un déphasage, mais dans le sens opposé.

Si le circuit ne comprend qu'une self-induction pure ou qu'une capacité pure, le déphasage atteint un quart de période. Ce cas est graphiquement représenté dans les figures 16 et 17 qui méritent de retenir longtemps l'attention du lecteur.

En réalité, la self-induction ou la capacité n'existent pas à l'état « pur » : il est obligatoire

que le circuit comprenne également une certaine résistance ohmique. Aussi, le déphasage n'atteint-il jamais la valeur maximum de 1/4 de période.

ASSOCIATION D'IMPÉDANCES.

Bien mieux, dans tout circuit, un examen attentif décèle la présence des trois sortes d'IMPÉDANCES que sont l'inductance, la capacitance et la résistance ohmique. N'oublions pas, en effet, que même un conducteur rectiligne possède une certaine self-induction; et des effets de capacité peuvent être constatés entre ses différents points. Toutefois, en pratique, on ne tient compte que des valeurs dominantes; ainsi dans un bobinage offrant à un courant de fréquence donnée une inductance de 10 000 ohms, on négligera volontiers les 10 ohms de sa résistance ohmique. (Mais, si ce bobinage est soumis à une tension continue, ce sont ces 10 ohms qui seront seuls à considérer, puisque la self-induction ne se manifeste que pour des tensions variables).

Les impédances peuvent s'associer dans un circuit de manières diverses plus ou moins complexes. On dit qu'elles sont connectées EN SÉRIE si le courant les traverse successivement, elles sont associées EN PARALLÈLE (ou en DÉRIVATION, ou en SHUNT) si le courant, en bifurquant, les parcourt simultanément.

Quand les impédances sont disposées en série, les effets de ces obstacles successifs s'ajoutent. Ainsi, plusieurs résistances en série sont-elles équivalentes à une résistance égale à leur somme. Inductances et capacitances en série s'ajoutent également, mais point de la façon élémentaire telle que la conçoit l'ignotus. En songeant aux effets contraires que self-induction et capacité exercent sur le courant, on imaginera sans peine qu'ils doivent se neutraliser dans une certaine mesure. De la sorte, l'impédance d'un circuit formé par une self-induction et une capacité en série, sera-t-elle plus faible que son inductance ou capacitance envisagées séparément. L'addition pure et simple des impédances en série n'est valable que lorsque le circuit se compose uniquement de résistances ohmiques, ou uniquement de capacitances, ou uniquement d'inductances. Encore faut-il, dans ce dernier cas, qu'il n'y ait pas d'induction mutuelle entre les différents bobinages.

IMPÉDANCES EN SÉRIE.

Puisque les inductances en série s'additionnent, il faut conclure que les self-inductions (auxquelles elles sont, ne l'oublions pas,

proportionnelles), doivent, elles aussi, s'additionner. Autrement dit, plusieurs bobinages placés en série sont, par leurs effets électriques, équivalents à un seul bobinage dont la self-induction est égale à la somme de leurs self-inductions.

En serait-il de même des condensateurs? On devine que non, car les capacitances sont inversement proportionnelles aux capacités. Et puisque les capacitances de plusieurs condensateurs en série s'additionnent, ce sont les inverses de leurs capacités qui doivent être additionnés pour donner l'inverse de la capacité équivalente. Si nous appelons C_1, C_2, C_3 , etc... les capacités des condensateurs placés en série, la capacité C du condensateur unique pouvant les remplacer tous sera donc déterminée par l'expression :

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \text{ etc...}$$

Dans le cas particulier où il ne s'agit que de deux condensateurs C_1 et C_2 ,

$$C = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$$

On notera que la capacité équivalente est toujours inférieure à la plus faible des capacités composantes. C'était, d'ailleurs, à prévoir, puisque c'est la condition de l'accroissement de la capacitance résultant de la mise en série de plusieurs condensateurs.

IMPÉDANCES EN PARALLÈLE.

Étudions maintenant le comportement des impédances branchées en parallèle. Ainsi placées, elles offrent au courant plusieurs chemins au lieu d'un chemin unique et facilitent d'autant son passage. Contrairement à ce qui a lieu dans le cas de l'association en série, ce ne sont plus leurs résistances, mais leurs CONDUCTIBILITÉS qui s'additionnent. La conductibilité, il est aisé de le deviner, est l'inverse de la résistance (c'est-à-dire $1/R$).

Ainsi, lorsque plusieurs résistances ohmiques R_1, R_2, R_3 , etc... sont associées en parallèle, la résistance R équivalente de cet ensemble sera aisément déterminée par la somme de leurs conductibilités à laquelle doit être égale sa propre conductibilité :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \text{ etc...}$$

Dans le cas particulier de deux résistances R_1 et R_2 , la résistance équivalente

$$R = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

Et si nous associons en parallèle deux résistances de valeur égale, la résistance équivalente est égale à la moitié de cette valeur.

Un raisonnement analogue nous permettrait d'obtenir des résultats identiques pour les inductances et pour les self-inductions de bobinages associés en parallèle (mais non couplés par induction).

Nous trouverions de même que, dans le cas de condensateurs branchés en parallèle l'inverse de la capacitance équivalente est égale à la somme des inverses des capacitances composantes. Mais quant aux capacités, il serait imprudent de leur faire subir le même traitement mathématique. Déjà dans le cas des associations en série, nous avons vu que les capacités se distinguent par leur caractère bizarre. Et la cause de leur conduite particu-

lière réside dans le fait que la capacitance est inversement proportionnelle à la capacité.

Aussi, sans effort concluons-nous que, si ce sont les inverses des capacitances qu'il convient d'additionner, ce sont les valeurs mêmes des capacités que nous totaliserons pour calculer la capacité équivalente de plusieurs condensateurs en parallèle.

Peut-être toutes ces notions de résistance, self-induction, capacité d'une part, et de leurs impédances respectives d'autre part, associées tantôt en série, tantôt en parallèle, créeront-elles quelque confusion dans l'esprit du lecteur. Et il en sera bien excusable. Mais Curiosus veillera à tout remettre en bon ordre dès le début de la prochaine causerie dont le présent exposé a, d'ailleurs, préparé grandement la compréhension aisée.

UNITÉS USUELLES



Dans le tableau ci-après nous avons réuni les unités des grandeurs les plus employées en radio-électricité. La première colonne désigne les grandeurs physiques, la seconde les symboles de ces grandeurs; dans la troisième, on trouve les noms des unités, et dans la quatrième, les symboles desdites unités.

GRANDEURS	Symboles	UNITÉS	Symboles
Longueur	l	mètre	m
Masse	m	gramme	g
Temps	t	seconde	s
Tension électrique	E	volt	V
Intensité de courant	I	ampère	A
Puissance	P	watt	W
Résistance	R	ohm	Ω
Self-induction	L	henry	H
Capacité	C	farad	F
Fréquence	f	période par seconde	p/s
		ou hertz	Hz

En employant les préfixes du système décimal donnés page 31, on peut, à partir des unités ci-dessus, former tous les multiples et sous-multiples nécessaires. On en trouvera des exemples page 68.

CINQUIÈME CAUSERIE

Curiosus rétablit quelque clarté dans l'esprit d'Ignotus en lui présentant un tableau qui résume les propriétés des résistances, self-inductions et capacités et de leur impédances associées en série ou en parallèle. Ensuite, les deux amis abordent le problème de la résonance, phénomène fondamental de la radio. Curiosus insiste sur certains points qui faciliteront, par la suite, l'étude des circuits radio-électriques.

Match : Self-Induction contre Capacité.

IG. — Je suis très heureux de vous revoir Curiosus. Notre dernière causerie a laissé dans ma tête un tel brouillard, que j'ose moins que jamais aborder la construction du poste de votre marraine.

CUR. — C'était à prévoir. Aussi, ai-je préparé à votre intention un petit tableau (fig. 15) qui résume les propriétés des résistances, condensateurs et self-inductions mises en série ou en parallèle ainsi que celles de leurs impédances. Car il faut bien distinguer self-inductions et capacités d'une part et, d'autre part, leurs impédances que sont les inductances et les capacitances. Dans la dernière ligne du tableau, les impédances sont uniformément désignées par Z.

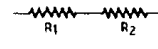
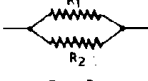
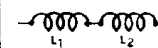
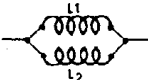
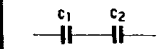
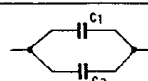
SÉRIE	PARALLÈLE
 $R = R_1 + R_2$	 $R = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$
 $L = L_1 + L_2$	 $L = \frac{L_1 \times L_2}{L_1 + L_2}$
 $C = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$	 $C = C_1 + C_2$
IMPÉDANCES	
$Z = Z_1 + Z_2$	$Z = \frac{Z_1 \times Z_2}{Z_1 + Z_2}$

FIG. 15. — Tableau résumant les propriétés des résistances, self-inductions et capacités et de leurs impédances en série et en parallèle.

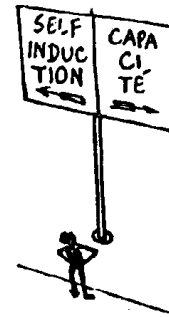
déphasé en retard sur la tension), la capacité possède une propriété opposée : le courant est le plus fort au moment où le condensateur est déchargé, et, par conséquent, la tension est nulle; et, au fur et à mesure que le condensateur se charge et que la tension s'accroît, le courant diminue.



CUR. — Mon Dieu ! serait-ce la Radio qui...

IG. — Parfaitement ! J'ai passé toute une nuit à réfléchir à ce qui peut résulter de la connexion en série d'un condensateur et d'une bobine. Et je n'ai rien pu trouver, hélas !

CUR. — Cela n'a rien d'étonnant, car je ne vous ai pas encore dévoilé une chose d'importance primordiale. C'est que, si la self-induction et la capacité opposent toutes les deux une résistance au passage du courant alternatif, ces deux résistances agissent en quelque sorte dans des sens différents. Alors que la self-induction, avec son inertie, retarde l'apparition du courant lorsque la tension est appliquée (on dit que le courant est



IG. — C'est vrai, pardi ! Quand la membrane est gonflée tout s'arrête, et c'est au moment où elle est dégonflée qu'il circule le plus d'électrons.

CUR. — Les électriciens emploient un langage plus distingué que le vôtre et disent que dans une capacité le courant est *déphasé* en avance sur la tension.

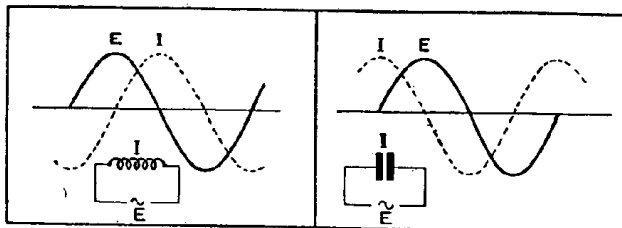


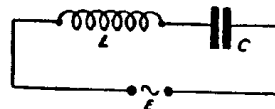
FIG. 16. — Déphasage du courant I par rapport à la tension E produite par une self-induction.

FIG. 17. — Déphasage produit par une capacité. Le courant I est en avance sur la tension E .

IG. — Soit ! Mais que se passe-t-il lorsqu'une tension alternative est appliquée à une capacité et à une self-induction mises en série ?... Je voudrais tout de même pouvoir dormir cette nuit !

CUR. — Eh bien ! dans ce cas tout dépend de la relation entre les impédances de la self-induction et de la capacité. Si l'inductance est plus grande que la capacitance, c'est elle qui prévaut, et *vice versa*, car la capacitance doit être déduite de l'inductance puisqu'elle agit d'une façon diamétralement opposée.

FIG. 18. — Self-induction L et capacité C en série. Pour la fréquence de résonance, l'impédance et le déphasage de cet ensemble sont nuls.



IG. — Bon. S'il en est ainsi, je vous poserai une de ces « colles »... Supposez que j'aie un condensateur et une bobine en série et que je leur applique une tension de fréquence de plus en plus grande. Que se passera-t-il ?

CUR. — Mais vous le savez fort bien.

IG. — En effet. Avec l'augmentation de la fréquence, l'inductance augmentera alors que la capacitance diminuera. Il arrivera donc forcément un moment où, pour une certaine fréquence, l'inductance et la capacitance deviendront égales. Et puisque l'une doit être déduite de l'autre, notre circuit aura une impédance nulle ? !!

CUR. — Pas mal, pas mal du tout ce raisonnement !... Vous oubliez toutefois que la simple résistance ohmique qui, elle, ne dépend pas de la fréquence, restera quand même dans le circuit ; mais il est vrai que, pour une certaine fréquence, l'inductance et la capacitance s'annuleront et que, à ce moment, il n'y aura plus de déphasage entre la tension et le courant.

La goutte qui brise le rail.

IG. — Donc à ce moment l'impédance du circuit sera au minimum et l'intensité du courant, par conséquent, atteindra le maximum ?

CUR. — Bien entendu. Et nous dirons que notre courant est en *résonance*.

IG. — N'est-ce pas l'histoire des gouttes d'eau qui brisent l'acier ?

CUR. — Qu'est-ce encore que cette invention ?

IG. — J'ai lu quelque part que l'on peut briser un rail en acier en le faisant reposer sur ses deux extrémités et en laissant tomber des gouttes d'eau sur son point milieu. Pour une certaine cadence de chute des gouttes, la vibration du rail devient tellement violente qu'il se brise.

CUR. — En effet, c'est un cas de résonance mécanique. De même qu'un circuit composé d'une self-induction et d'un condensateur possède une fréquence propre dite de résonance pour laquelle sa résistance devient très faible, et les oscillations du courant deviennent le plus fortes, — une barre métallique qui possède une certaine masse (équivalent de la self-induction) et une certaine élasticité (équivalent de la capacité) a, elle aussi, une fréquence de résonance pour laquelle ses vibrations deviennent le plus fortes. La première goutte produit une très faible vibration, mais la deuxième tombe au bon moment pour la renforcer et ainsi de suite.

IG. — Oui, je comprends maintenant. Si les gouttes tombaient un peu plus ou un peu moins vite, elles n'aideraient nullement la vibration de la barre et, peut-être, même l'empêcheraient. Mais, pour la fréquence de résonance, leurs effets s'additionnent, et la barre finit par se briser lorsque les vibrations deviennent trop fortes.

Perpetuum mobile ?...

CUR. — Revenons maintenant, si vous le voulez bien, à l'électricité. Supposez que vous ayez un condensateur chargé et que vous branchiez à ses bornes une bobine de self-induction. Que se passera-t-il ?

IG. — Je le sais fort bien. Déjà lors de notre dernière causerie nous avons étudié la décharge du condensateur à travers une résistance. Or, une bobine c'est encore une résistance. Par conséquent, le condensateur se déchargera à travers la self-induction... et c'est tout !

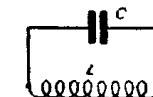


FIG. 19. — Circuit oscillant.

CUR. — Le voilà le danger des syllogismes bâtis à la légère !!! Vous oubliez, mon cher, une chose : c'est que la self-induction est une résistance un peu spéciale, assimilable à l'inertie. Autant les électrons ont de peine à s'y mettre en mouvement, autant il leur est ensuite difficile de s'arrêter. Donc au moment où le condensateur sera déchargé, le courant des électrons continuera à passer dans le même sens et...

IG. — ... le condensateur se rechargera, mais en changeant de polarité. Mais quand il sera ainsi rechargé ?...

CUR. — Il se déchargera de nouveau et ainsi de suite.

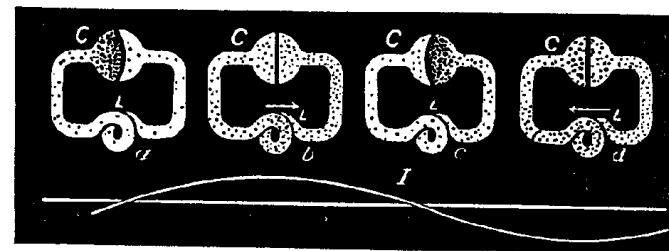
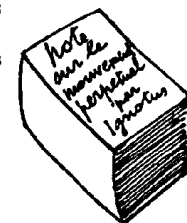
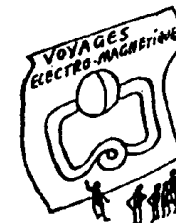


FIG. 20. — Mouvement des électrons dans le circuit oscillant durant une période.

En a et c, le courant est nul, mais la tension sur le condensateur C est maximum.

En b et d, au contraire, le courant est maximum, mais la tension sur C est nulle.



IG. — Donc ça ne s'arrêtera jamais ? Il suffit de charger le condensateur une seule fois pour que, ensuite, en se déchargeant dans une self-induction, il se recharge et décharge éternellement ?... C'est donc le mouvement perpétuel !...

CUR. — Ne vous emballez pas ! Notre circuit a une résistance ohmique. Le courant subira donc un certain affaiblissement pour vaincre cette résistance à chacun de ses passages. Les oscillations deviendront donc de plus en plus faibles pour s'arrêter finalement.

IG. — C'est en somme l'histoire du pendule auquel il suffit de donner un choc initial pour qu'il commence à osciller, jusqu'à ce que toute l'énergie soit perdue à cause de la résistance de l'air.

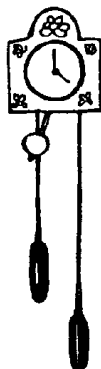
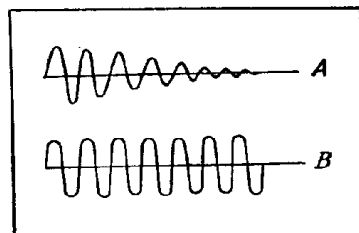


FIG. 21. — Oscillation amortie en A et oscillation entretenue en B.



CUR. — C'est l'exemple le plus classique que vous trouverez dans tous les traités de radio-électricité ; vous devinez peut-être aisément quelle sera la fréquence des oscillations qui s'établissent dans notre circuit ?

IG. — Je pense que les électrons sont suffisamment intelligents et paresseux pour suivre la loi du moindre effort. Pour cela, ils n'ont qu'à osciller à la fréquence de la résonance du circuit, fréquence pour laquelle l'impédance a la valeur la plus faible.

CUR. — C'est ce qu'ils font précisément... Ainsi, dans un circuit composé d'une self-induction et d'une capacité, appelé *circuit oscillant*, la décharge du condensateur se produit en *oscillations amorties* (courant alternatif d'amplitude décroissante) à la *fréquence propre* ou *fréquence de résonance* du circuit.

IG. — Y a-t-il moyen de maintenir indéfiniment ces oscillations ?

Le grand circuit et le petit circuit.

CUR. — Certes. On peut obtenir des oscillations d'amplitude constante (*oscillations entretenues*) en compensant, à chaque oscillation, la perte de l'énergie par l'apport d'une petite dose d'énergie venant de l'extérieur.

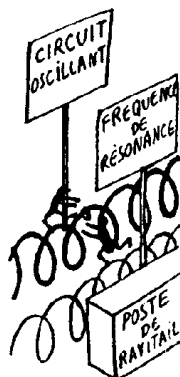
IG. — Je vois cela. C'est comme pour le pendule d'une horloge auquel le ressort communique une légère impulsion à chaque oscillation.

CUR. — Exactement. Il suffit pour cela de mettre le circuit oscillant en communication avec un autre circuit parcouru par un courant alternatif de la fréquence de résonance. On peut le faire soit en les couplant par induction (fig. 22 a), soit en intercalant directement le circuit oscillant dans l'autre circuit (fig. 22 b).

IG. — Je pense que, dans les deux cas, seul un courant de la fréquence de résonance pourra produire un fort courant dans le circuit oscillant.

CUR. — Et vous ne vous trompez pas. Mais ce qui est très important, — et je vous prie d'y faire attention ! — c'est que, dans le cas où le circuit oscillant est inséré dans un autre circuit (fig. 22 b), il constitue, pour ce deuxième circuit, une impédance très élevée pour le courant de résonance.

IG. — Ça, alors... je ne vous comprends plus ! Ne m'avez-vous pas dit, il y a peu



d'instant, que pour le courant de résonance l'impédance du circuit a la valeur la plus faible ?...

CUR. — Quelle salade !... Rendez-vous compte que nous avons ici deux circuits bien distincts. L'un, que je dessine en gros trait, est notre circuit oscillant. L'autre, c'est le circuit parcouru par le courant de la fréquence de résonance...

IG. — Mais d'où vient-il ?

CUR. — Vous le verrez plus tard, de l'antenne ou d'un circuit anodique. N'importe pour le moment... A l'intérieur même du circuit oscillant circule un courant intense, puisque l'impédance du circuit est très faible. Voyez maintenant le grand circuit en trait fin. Là, les choses changent d'aspect. Ce circuit ne peut, à chaque

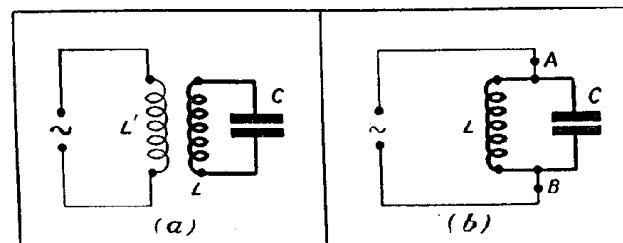


FIG. 22. — Le circuit oscillant LC reçoit l'énergie soit par induction (en a), soit directement (en b).

période, transmettre au circuit oscillant que la faible quantité d'énergie que celui-ci aura perdue pendant ce court instant. Il ne peut donc y circuler qu'un courant très faible. Nous en déduisons que notre circuit oscillant joue, *par rapport au grand circuit*, le rôle d'une impédance élevée.

IG. — C'est bougrement compliqué ; cependant je crois avoir compris.

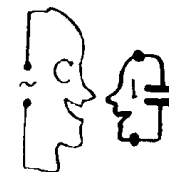
CUR. — Et reprenez encore une conclusion très importante : puisque le circuit oscillant constitue une forte impédance pour le courant de résonance du grand circuit, ce courant produit, d'après la loi d'Ohm, une forte tension alternative aux bornes A et B du petit circuit.

IG. — Et qu'aurons-nous si, au lieu de la fréquence de résonance, nous avons un courant d'une fréquence différente ?

CUR. — Dans ce cas, les *oscillations forcées* qui prendront naissance dans le circuit oscillant seront beaucoup plus faibles. En revanche, il présentera une impédance beaucoup plus faible pour le courant du grand circuit de la figure b. C'est ainsi que si, dans le grand circuit, il passe simultanément plusieurs courants de fréquences différentes, seul le courant de la fréquence de résonance créera dans le circuit oscillant un courant fort et, à ses bornes, une tension considérable. Vous pourrez donc, parmi plusieurs courants, en *sélectionner* en quelque sorte un : celui de la fréquence de résonance.

IG. — Je voudrais vous demander de quoi dépend la fréquence de résonance, ainsi que...

CUR. — Je crois que, pour aujourd'hui, vous avez atteint la saturation et qu'il vaut mieux remettre cela à la prochaine fois. Nous pourrions alors en terminer avec toutes ces notions préliminaires du domaine de l'électricité générale et aborder la technique de la Radio proprement dite.



Commentaires à la 5^{me} Causerie

RÉSONANCE ÉLECTRIQUE.

Devançant les explications de Curiosus, nous avons, dans nos commentaires, exposé la notion du déphasage et montré que, en passant dans une self-induction, le courant est en retard sur la tension, alors qu'il est en avance lorsqu'il passe dans une capacité. De même, nous appuyant sur le fait que la self-induction et la capacité possèdent des propriétés opposées, nous avons dit que, associées en série, inductance et capacitance se neutralisent plus ou moins.

Examinons de plus près l'impédance d'un tel ensemble (fig. 18) où, aux bornes d'une source de tension alternative, sont branchés un bobinage et un condensateur en série. Admettons, en outre, que nous pouvons à volonté modifier la fréquence de la tension alternative.

Si, pour une fréquence donnée, l'inductance est inférieure à la capacitance, c'est donc l'effet de la capacité qui va dominer : le courant sera en avance sur la tension, et l'impédance de l'ensemble sera égale à la capacitance, moins l'inductance (en négligeant la résistance ohmique).

Maintenant, augmentons progressivement la fréquence. Que se produira-t-il ? L'augmentation de la fréquence aura pour effet d'augmenter la valeur de l'inductance et de diminuer celle de la capacitance. Il viendra donc un moment où, pour une certaine fréquence, l'inductance sera égale à la capacitance. Ces deux valeurs égales, se retranchant l'une de l'autre, feront que l'impédance de l'ensemble sera nulle. Le déphasage, lui aussi, sera nul, c'est-à-dire le courant sera en phase avec la tension. Et, du fait que l'impédance du circuit est nulle, l'intensité du courant deviendra, en théorie du moins, infiniment élevée. En réalité, le circuit possède toujours une certaine résistance ohmique, en sorte que son impédance ne peut pas devenir nulle et que le courant sera, par conséquent, limité.

Si nous continuons à augmenter la fréquence c'est l'inductance qui deviendra supérieure à la capacitance, le courant sera en retard sur la tension, et l'impédance croîtra de nouveau.

Nous voyons donc qu'il y a une seule fréquence pour laquelle l'impédance devient, sinon nulle, du moins la plus faible, et le courant maximum. C'est la fréquence de RÉSONANCE. On dit aussi que, pour cette fréquence, le courant est en résonance avec le circuit.

DÉCHARGE OSCILLANTE.

On peut observer le même phénomène de résonance en connectant un bobinage aux armatures d'un condensateur chargé (fig. 19). Alors que, dans une résistance ohmique, le courant se DÉCHARGE, s'affaiblit et s'annule au terme d'un temps très court, ici nous observerons une « décharge oscillante ». La self-induction, on s'en souvient, s'oppose à la diminution d'un courant en le prolongeant en quelque sorte par un courant de self-induction allant dans le même sens. Ce courant recharge le condensateur en inversant les polarités des armatures. Le condensateur se décharge de nouveau (le courant allant alors dans le sens contraire), se recharge encore sous l'effet de la self-induction et ainsi de suite. Un courant alternatif circule dans notre circuit sans aucun apport extérieur d'énergie ; et il n'y aurait aucune raison pour que ce mouvement s'arrête... si notre circuit n'avait pas une résistance ohmique où se dissipe peu à peu l'énergie initiale qui était contenue dans la charge du condensateur.

Du fait de cette perte progressive d'énergie, chaque oscillation suivante est plus faible que la précédente et, finalement, toute l'énergie étant dissipée, l'oscillation s'arrête. Telle est l'allure des OSCILLATIONS AMORTIES (fig. 21 A) radis utilisées en radiotélégraphie, où chaque décharge oscillante était provoquée par le jaillissement d'une étincelle. A cette méthode primitive des ondes amorties est, plus tard, venu se substituer l'emploi des ONDES ENTRETENUES (fig. 21 B). Le courant qui les engendre est encore un courant alternatif prenant naissance dans un CIRCUIT OSCILLANT, comme on appelle le circuit composé d'un condensateur branché aux bornes d'un bobinage. Pour éviter l'affaiblissement progressif des oscillations, tel qu'il a lieu dans les oscillations amorties, il suffit de compenser les pertes d'énergie en apportant de l'extérieur au circuit oscillant des doses d'énergie nécessaires et suffisantes pour maintenir constante leur amplitude.

Il faut que cet apport, ce « réapprovisionnement » s'effectue à la même cadence que les oscillations propres du circuit qui, bien entendu, ont lieu à sa fréquence de résonance (pour laquelle l'impédance est la plus faible). Si les impulsions extérieures sont injectées dans le circuit oscillant à une fréquence différente de sa fréquence de résonance, loin de les maintenir constantes, elles vont contrarier les oscillations

et, en fin de compte, nous n'obtiendrons dans le circuit qu'un courant bien faible (OSCILLATIONS FORCÉES).

IMPÉDANCE D'UN CIRCUIT OSCILLANT.

La source de tension alternative ayant pour fonction le réapprovisionnement en énergie du circuit oscillant, peut communiquer avec celui-ci soit par induction (fig. 22 a), soit directement (fig. 22 b). Si le circuit oscillant dissipe peu d'énergie (résistance ohmique et autres causes de pertes étant réduites), on dit qu'il est peu AMORTI. Dans ce cas, l'énergie qu'il empruntera à la source de tension alternative sera, elle aussi, faible (puisque'elle est égale à l'énergie perdue qu'elle doit compenser). Ainsi, *moins le circuit oscillant est amorti, moins il emprunte d'énergie au circuit extérieur qui l'alimente*. Et nous sommes en présence d'une situation quasi paradoxale. Alors qu'à l'intérieur du circuit oscillant le courant alternatif atteint une grande intensité (d'autant plus grande qu'il est moins amorti), dans le circuit extérieur (en trait fin dans la fig. 22 b) le courant est faible (et d'autant plus faible que le circuit oscillant est moins amorti). Ou bien — et ceci est un autre aspect du même phénomène, — *l'impédance du circuit oscillant est très faible pour le courant qui circule dedans ; mais au courant du circuit extérieur, il oppose une impédance élevée*. Tout cela, évidemment, pour la fréquence de résonance.

Si Curiosus voulait mieux faire comprendre les choses à Ignotus, il irait chercher une comparaison opportune... à la cuisine, en assimilant le circuit oscillant à une casserole pleine d'eau

amenée à ébullition. Si la casserole perd peu de chaleur dans l'air environnant, la température d'ébullition peut être maintenue avec une flamme très faible (cas d'un circuit à faibles pertes où les oscillations sont entretenues par un faible apport d'énergie). Mais, si la casserole perd beaucoup de chaleur, par exemple du fait que sa surface de réfrigération est étendue, il faudra une flamme intense pour maintenir l'ébullition. C'est le cas du circuit oscillant fortement amorti.

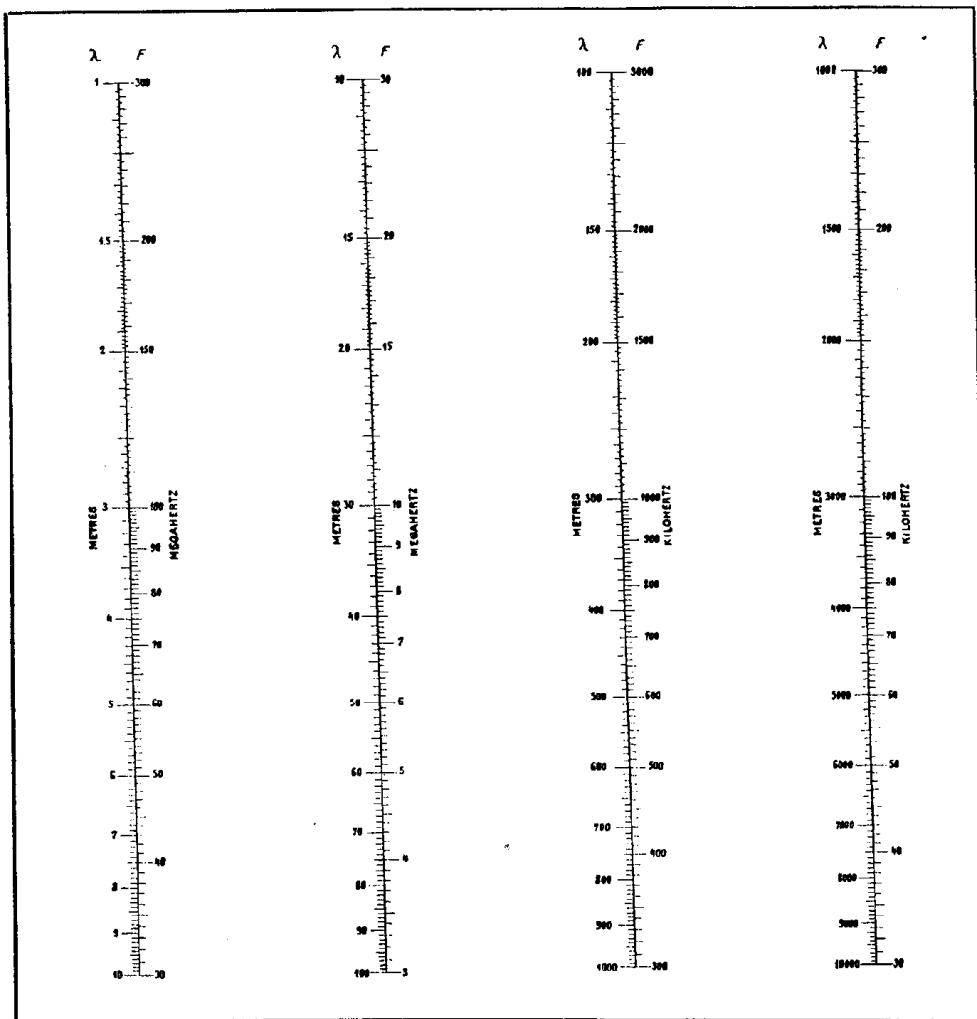
RÉSONANCE EN SÉRIE ET EN PARALLÈLE.

Résumons maintenant les notions que nous avons acquises sur la résonance. Dans le cas de la figure 18, nous sommes en présence d'un condensateur et d'un bobinage branchés en série avec la source de tension. Pour la fréquence de résonance, ce circuit offre le minimum d'impédance, et l'intensité du courant atteint le maximum.

Dans le cas de la figure 22 b, le condensateur et le bobinage sont branchés en parallèle avec la source de tension alternative. Le circuit oscillant oppose alors à la source l'impédance maximum et laisse passer un courant d'intensité très faible ; mais ce faible courant suffit pour entretenir à l'intérieur du circuit un courant de grande intensité.

On comprend, en examinant ce dernier cas, que les tensions de fréquences autres que la fréquence de résonance ne jouiront plus des mêmes propriétés. Les OSCILLATIONS FORCÉES qu'elles engendreront dans le circuit oscillant seront faibles, et faible sera également l'impédance que leur opposera le circuit oscillant.

CORRESPONDANCE ENTRE FRÉQUENCES ET LONGUEURS D'ONDE



Pour trouver une longueur d'onde correspondant à une fréquence (ou inversement), on détermine le point correspondant sur l'échelle de fréquences, et ce même point permet de lire la longueur d'onde sur l'échelle en regard.

EXEMPLES :
 20 000 kilohertz correspond à..... 15 mètres
 1 200 kilohertz correspond à..... 250 mètres
 400 kilohertz correspond à..... 750 mètres

SIXIÈME CAUSERIE

Les cinq premières causeries ont permis à Ignotus (et à vous, ami lecteur) d'assimiler les notions indispensables de l'électricité générale. Et, maintenant, entraîné par Curiosus, Ignotus se lance dans l'étude de la radio. S'appuyant sur les enseignements de la précédente causerie, ils examinent ici le problème de la sélectivité et de l'accord des circuits oscillants...

Ignotus et les mathématiques.

CUR. — La dernière fois, en nous quittant, vous m'avez demandé de quels facteurs dépend la fréquence de résonance d'un circuit oscillant.

IG. — En effet ; mais, depuis, j'ai réfléchi à la question et crois avoir trouvé la vérité. Tout d'abord, un circuit oscillant ne se compose que d'un condensateur et d'un bobinage. Donc, forcément, sa fréquence propre ne peut dépendre que de la capacité et de la self-induction.

CUR. — Il ne faut pas être Sherlock-Holmes pour en arriver là...

IG. — Certes. Mais je suis allé plus loin... En ce qui concerne la capacité, plus elle est grande, plus longue sera chaque charge et chaque décharge. De même, plus la self-induction est grande, plus elle s'oppose à toute variation du courant et, par conséquent, ralentit les oscillations. En résumé, la période des oscillations propres du circuit augmente avec l'augmentation de la capacité et de la self-induction.

CUR. — Et, par conséquent, la fréquence diminue en même temps. Je vous fais mes compliments, Ignotus ; votre raisonnement est juste. Seulement, il convient d'ajouter que la fréquence (et la période) ne varie pas aussi vite que la capacité ou la self-induction. Si vous aimiez un peu les mathématiques, je vous aurais même dit que la période est proportionnelle à la racine carrée de la capacité et de la self-induction (1).

IG. — Oh, vous savez que les mathématiques ne m'aiment pas et que ce sentiment est partagé. Je vous avouerai même, au risque de vous paraître ingrat, que je ne vois pas très bien l'utilité, pour la Radio, de toutes ces questions de circuits oscillants.

Les anneaux de fumée.

CUR. — Je vous avais déjà expliqué, au cours de notre deuxième causerie, que lorsque dans un fil vertical, appelé antenne, circule un courant de haute fréquence...

IG. — ... des ondes électromagnétiques s'en détachent et se propagent comme des anneaux de fumée qui s'élargissent à la vitesse folle de 300 000 kilomètres par seconde.

CUR. — C'est parfait, la mémoire ne baisse pas encore... Maintenant, que se passe-t-il lorsque, sur leur trajet, ces anneaux rencontrent un autre fil vertical ?

IG. — Je crois pouvoir appliquer ici le principe de la réversibilité des phénomènes et affirmer que les anneaux produiront, dans le fil rencontré, des courants de haute fréquence.

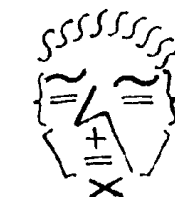
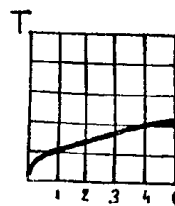
CUR. — Parfait ! Et, pour appeler les choses par leur nom, nous dirons que les ondes produisent dans l'antenne de réception un courant analogue à celui qui circule dans l'antenne d'émission. Il sera, certes, beaucoup plus faible, car, en s'éloignant de l'émetteur, les ondes s'affaiblissent.

IG. — Comme les anneaux de fumée quand ils s'élargissent.

(1) En connaissant la self-induction L et la capacité C, on détermine aisément la période T d'après formule de Thomson :

$$T = 2 \pi \sqrt{L \times C}$$

où $\pi = 3,14$. Mais Ignotus ne veut pas de formules.



Ignotus craint l'électrocution.



CUR. — Maintenant pensez donc à une chose grave. Il y a, à chaque instant, de par le monde, plusieurs centaines d'émetteurs de Radio qui sont en fonctionnement.

IG. — Vous ne voulez tout de même pas prétendre qu'ils produisent tous des courants dans n'importe quel bout de fil vertical ?...

CUR. — Mais si !... Soyez persuadé que vous-même, qui êtes pourtant un conducteur bien imparfait, êtes parcouru en ce moment par des dizaines de courants de haute fréquence.

IG. — C'est très ennuyeux ça ! Vous auriez mieux fait de ne pas me le dire !... Mais je ne ressens rien.

CUR. — Naturellement, car ces courants sont très faibles. En outre, alors que les courants continus ou alternatifs, mais de basse fréquence, se propagent à travers toute la section du conducteur, les courants de haute fréquence ne se propagent qu'à la surface du conducteur. On appelle cela *effet pelliculaire*.

IG. — Ça me rassure un peu... mais il y a un autre point qui me paraît inquiétant. Puisque l'antenne de réception reçoit les courants de toutes les stations de Radio en fonctionnement, nous entendrons un mélange affreux de musique classique et légère, de conférences, nouvelles de presse, recettes culinaires, etc... Je ne vois pas du tout ce que peut donner la réception simultanée de Berlin, Moscou et Vatican.

La sélectivité.

CUR. — Vous savez fort bien qu'il n'en est pas ainsi. Les récepteurs de Radio sont *sélectifs*, c'est-à-dire ont le pouvoir de choisir, parmi la multitude des courants qui circulent dans l'antenne, celui qui correspond à l'émetteur désiré.

IG. — De quelle manière ?

CUR. — A l'aide d'un ou plusieurs circuits oscillants. Par exemple, l'antenne sera couplée par induction (fig. 23) avec un circuit oscillant. Nous retombons exactement dans le cas que nous avons examiné à la fin de notre dernière causerie. De tous les courants circulant dans l'antenne, seul celui qui aura la fréquence de résonance du circuit oscillant L-C induira des courants qui créeront une certaine tension alternative entre les points A et B.

IG. — Donc les différents postes d'émission, si j'ai bien compris, doivent se distinguer par leurs fréquences différentes les unes des autres.

CUR. — En effet. La fréquence est, pour l'émetteur, la même chose que le numéro d'appel pour le téléphone.

IG. — Mais puisque le circuit oscillant ne peut avoir qu'une seule fréquence de résonance, comment pouvons-nous, à volonté, entendre différentes émissions ?

CUR. — Tout simplement en l'*accordant* sur différentes fréquences. Pour changer la fréquence de résonance, il suffit de modifier soit la self-induction, soit la capacité du circuit. Ne voyez-vous pas que, dans la figure, le condensateur C est barré d'une flèche ? Dans les schémas, la flèche indique habituellement que la valeur de l'organe est variable. En l'occurrence, nous utilisons un condensateur à capacité variable ou, comme on dit brièvement, un « condensateur variable ».

IG. — Donc, en résumé, il y a dans l'antenne plusieurs courants de fréquences différentes. En modifiant la capacité du condensateur variable, vous en pêchez chaque fois un seul dans le circuit oscillant. Nous avons alors entre les points A et B une tension alternative et... qu'en faisons-nous ?

CUR. — Cette tension est généralement faible. Il faut donc l'amplifier avant de lui faire subir d'autres traitements. Pour l'amplification, on se sert des lampes radio dont la prochaine fois, nous percerons les mystères.

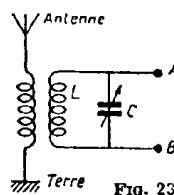


FIG. 23.

Commentaires à la 6^{me} Causerie

FORMULE DE THOMSON.

La période propre ou la période de résonance d'un circuit augmente avec l'augmentation de la self-induction ou de la capacité. Cela est parfaitement logique, car tout ce que nous avons appris au sujet de ces deux grandeurs montre que leur accroissement ne peut que ralentir les oscillations.

Bien mieux, le peu de formules que nous avons établies dans nos résumés nous permettront de déduire la formule de la résonance sans nous livrer à des acrobaties périlleuses.

La résonance a lieu, nous l'avons vu, lorsque l'inductance devient égale à la capacitance pour une certaine fréquence. Essayons de déterminer cette fréquence en établissant l'égalité énoncée.

L'inductance, cela a déjà été dit, est égale à

$6,28 f L$ où f est la fréquence et L la self-induction (en henrys).

De même, la capacitance est égale à $\frac{1}{6,28 f C}$ où C est la capacité (en farads).

Notre égalité sera donc exprimée comme suit :

$$6,28 f L = \frac{1}{6,28 f C}$$

Nous avons ce que l'on appelle une équation. Il ne sera guère difficile de déterminer à quoi est égal f , la fréquence que nous cherchons. A cet effet, multiplions les deux membres (valeurs égales réunies par le signe =) par f et divisons-les par $6,28 L$. Nous obtenons :

$$f^2 = \frac{1}{6,28^2 L C}$$

Et pour terminer extrayons la racine carrée des deux membres :

$$f = \frac{1}{6,28 \sqrt{LC}}$$

Comme la période T est l'inverse de la fréquence f , nous pouvons également écrire :

$$T = 6,28 \sqrt{LC}$$

Et voilà la FORMULE DE THOMSON établie avec toute la rigueur mathématique... ou presque. Car nous avons négligé la résistance ohmique qui, cependant, intervient, surtout si elle est de valeur relativement importante. Mais dans les circuits employés en radio, on s'efforce à réduire la résistance ohmique au minimum. Aussi, la formule que nous avons établie y demeure-t-elle parfaitement valable.

Elle nous montre, entre autre, que si nous augmentons la capacité (ou la self-induction), 4 ou 9 ou 16 ou 25 fois, la période n'augmentera respectivement que 2 ou 3 ou 4 ou 5 fois (et la fréquence diminuera autant de fois).

SÉLECTIVITÉ.

Le phénomène de la résonance offre, en radio, la précieuse possibilité de SÉLECTIONNER, parmi les nombreuses émissions faites sur des fréquences différentes, celle que nous désirons recevoir. C'est grâce à leur SÉLECTIVITÉ que les récepteurs ne reproduisent pas simultanément toutes les émissions dont les ondes parcourent l'espace et engendrent des courants de HAUTE FRÉQUENCE dans l'antenne de réception.

Des circuits oscillants en nombre plus ou moins élevé (un récepteur de modèle courant en comporte cinq), disposés aux points appropriés des circuits électriques d'un récepteur, permettent de ne laisser passer que la fréquence caractéristique d'un émetteur à l'exclusion de toutes les autres.

C'est ainsi qu'un circuit oscillant placé dans l'antenne laissera aisément passer vers la terre tous les courants de fréquences diverses, sauf celui de sa fréquence de résonance. En opposant à celui-ci une impédance élevée, le circuit oscillant verra donc se former à ses bornes une tension alternative qui sera transmise à la suite des circuits d'utilisation du récepteur.

De même, si le circuit oscillant est, comme dans la figure 23, couplé à l'antenne par induction, seuls les courants de la fréquence de

résonance susciteront un courant important dans le circuit oscillant et feront apparaître une tension alternative à ses bornes A et B.

ACCORD DES CIRCUITS.

Pour pouvoir choisir l'émission, il faut pouvoir varier la fréquence de résonance des circuits oscillants ou, comme on dit, les ACCORDER sur différentes fréquences. (On dit, de même, CIRCUIT D'ACCORD pour désigner un circuit oscillant accordé sur la fréquence de l'émetteur.)

L'accord des circuits est effectué en variant la valeur de l'une de leurs composantes : self-induction ou capacité. Pour pouvoir parcourir toute une « gamme » de différentes fréquences sans aucun trou, c'est-à-dire pour changer progressivement l'accord sur une certaine étendue de fréquences, il est plus commode de changer la capacité ; c'est réalisé à l'aide des CONDENSATEURS VARIABLES comportant une armature fixe et une armature mobile. Chacune de ces armatures se compose de plusieurs lames, les lames mobiles étant intercalées entre les fixes et étant toutes montées sur un axe. La rotation de ce dernier fait sortir les lames mobiles plus ou moins d'entre les lames fixes, ce qui a pour effet de diminuer

plus ou moins la surface en regard des armatures et, par conséquent, la capacité même du condensateur.

Pour que l'accord puisse être effectué avec précision, le mouvement du bouton de manœuvre est démultiplié à l'aide d'un mécanisme approprié, appelé DÉMULTIPLICATEUR (par exemple, système d'engrenages), en sorte que plusieurs tours du bouton sont nécessaires pour faire parcourir à l'armature mobile sa course utile.

L'axe du condensateur variable commande en même temps le mouvement d'une aiguille se déplaçant devant un CADRAN étalonné en fréquences (ou en longueurs d'onde) et portant l'indication des positions d'accord correspondant aux principales stations de radio-diffusion.

Les condensateurs variables les plus usuels sont de l'ordre de 500 pF ou de capacité plus faible.

Dans la position extrême où les lames mobiles sortent des lames fixes, il demeure cependant une certaine capacité entre les armatures. On l'appelle CAPACITÉ RÉSIDUELLE. Suivant la construction elle varie entre 10 et 25 $\mu\mu\text{F}$.

Nous verrons plus loin que, pour l'accord, on se sert également de la variation de la self-induction ; celle-ci n'est pas variée progressivement, comme la capacité, mais par bonds, et ses variations servent à passer d'une gamme d'ondes à une autre.



SEPTIÈME CAUSERIE

Pour comprendre la radio, il importe, avant tout, de connaître le tube à plusieurs électrodes qui est la « bonne à tout faire » des montages radio-électriques. Aussi, fidèle à sa promesse, Curiosus entre-t-il dans le vif du sujet, en exposant les propriétés des tubes les plus simples : la diode et la triode. Ignotus apprend ainsi les rôles respectifs de la cathode, de l'anode et de la grille.

Ignotus se documente.

IG. — Comme vous m'avez, la dernière fois, promis de parler des lampes de radio, je me suis un peu documenté sur la question. En consultant mon dictionnaire, j'ai appris qu'elles s'appellent également « lampes électroniques » ou « tubes électroniques ».

CUR. — C'est parfait, Ignotus ! Vous voilà bien informé maintenant !... Pour compléter les renseignements de votre dictionnaire, il me reste à ajouter que les électrons jouent effectivement un rôle important dans les lampes de radio.

IG. — Ne vous moquez pas de moi, Curiosus. Que font les électrons dans ces tubes ?

CUR. — Ils sont émis par la cathode et, après avoir passé dans le vide, à travers une ou plusieurs grilles, ils sont attirés par l'anode.

IG. — De mieux en mieux ! Cathode, anode, grille... autant m'expliquer en sanscrit le calcul intégral.

CUR. — Alors commençons par le commencement. Savez-vous ce que c'est que la chaleur ?

IG. — Mon livre de physique, dans une discrète allusion, explique que la chaleur n'est autre chose que le mouvement rapide et désordonné des molécules, c'est-à-dire des particules élémentaires d'un corps.

CUR. — Et que deviennent les électrons dans les molécules d'un corps chauffé ?

IG. — Je pense que ces électrons peuvent être assimilés à des voyageurs assis dans une voiture qui roule à vive allure en zigzaguant follement. Les électrons voyageurs sont secoués et doivent en souffrir.

CUR. — La science ne possède pas de renseignements sur l'état moral des électrons... mais vous avez raison en disant qu'ils sont fortement secoués. Supposez que la température du corps soit très élevée...

IG. — Dans ce cas, les mouvements des molécules-voitures deviennent tellement rapides et désordonnés que, j'en ai peur, pas mal d'électrons voyageurs seront projetés dehors.

CUR. — Et c'est ce que l'on appelle *émission électronique* d'un corps. Portez à l'incandescence un fil métallique, il en jaillira une quantité d'électrons. Il existe d'ailleurs certains oxydes de métaux pour lesquels l'émission électronique commence déjà à une température relativement basse.

IG. — C'est que, dans ces oxydes, les voyageurs ne se cramponnent pas très fort à leurs voitures. Mais, dites-moi, par quel moyen entendez-vous chauffer le métal pour obtenir l'émission électronique ?

CUR. — Tous les moyens de chauffage peuvent être utilisés : le gaz, le pétrole, le charbon, l'électricité.

IG. — Tiens, tiens !... J'ignorais que l'on faisait des tubes électroniques chauffés au pétrole...

CUR. — En effet, pratiquement on chauffe toujours les *cathodes* (c'est ainsi que s'appelle, dans une lampe, l'électrode servant à l'émission électronique) par un courant

