Zeitschrift: Mémoires de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles. Mathématique et physique = Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Freiburg. Mathematik und Physik

Herausgeber: Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles

Band: 5 (1929-1943)

Heft: 1: Contribution à l'étude de la circulation électrique en haute fréquence dans les circuits complexes

Artikel: Contribution à l'étude de la circulation électrique en haute fréquence dans les circuits complexes

Autor: Gremaud, Auguste

Kapitel: I

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-306917

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 24.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

CHAPITRE PREMIER

1. Basse fréquence.

Dans l'étude de la circulation électrique en courant alternatif, il y a lieu de considérer deux cas nettement distincts. Ce sont *relativement à la fréquence du courant pour un système conducteur considéré*. Ces cas de la *basse fréquence* et de la *haute fréquence*.

En *B.F.* on admet que l'intensité du courant périodique est la même à chaque instant en tous les points d'un segment de conducteur appartenant au système, isolé électriquement des autres conducteurs du système, ou autrement dit, l'intensité du courant est la même en tous les points d'un circuit non dérivé.

Considérant le système, on peut par rapport à deux points quelconques de ce système définir trois facteurs résultant de la nature respectivement d'une résistance électrique, d'une self-induction et d'une capacité caractérisant l'*ensemble* du système compris entre les deux points considérés. Nous soulignons cette remarque, car c'est sur la notion de facteurs résultants qu'est bâtie la théorie de la haute fréquence, on admet alors que des facteurs résultants identiques à ceux définis en *B.F.* caractérisent au point de vue électrique l'élément du système compris entre deux points indéfiniment voisins.

En *B.F.* la théorie utilise les relations classiques de l'électro-statique et de l'électro-dynamique, liant entre elles les charges, les courants et les tensions des différents points du système auxquels on applique les relations généralisées de Kirchhoff, ou, d'une façon plus générale, comme l'a démontré Maxwell[1], le fonctionnement d'un système de n circuits est défini par n équations différentielles analogues aux équations introduites en mécanique par Lagrange et telles que:

$$\frac{\delta}{\delta t}\frac{\delta T}{dJ_p}+\frac{\delta U}{\delta J_p}+\frac{\delta S}{\delta J_p}=E_p$$

ou t est le temps, Jp le courant dans le circuit p du système et E_p la *F.E.M.* extérieure appliquée, T, U et S sont des fonctions quadratiques des $\frac{dJ}{dt}$ et des $\int J\,dt$ telles que:

$$\frac{\delta}{\delta t}\frac{\delta T}{\delta J_p}=\sum_{q=1}^{q=n} L_{pq}\frac{dJp}{dt}$$

$$\frac{\delta U}{\delta J_p}=\sum_{q=1}^{q=n}\frac{1}{C_{pq}}\int J_q\,dt$$

$$\frac{\delta S}{\delta J_p}=\sum_{q=1}^{q=n} R_{pq}\,J_q$$

où

- L_{pp} représente la self induction du circuit
- L_{pq} le cœfficient d'induction mutuelle des circuits p et q
- C_{pp} la capacité résultante des circuits insérés dans le circuit p
- C_{pq} la capacité commune aux circuits p et q
- R_{pp} la résistance totale du circuit p
- R_{pq} la portion de cette résistance commune aux circuits p et q.

---

[1] MAXWELL, *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field.* The Royal Society Transaction, vol. CLV (1864).

BOUTHILLON, *Oscillations et haute Fréquence*, p. 4. Delagrave, Paris.

On voit la remarquable généralité de cette théorie. On peut dire que dans le cas de la *B.F.*, la théorie interprète d'une façon absolument rigoureuse tous les phénomènes observés.

On admet ici que la propagation n'entre pas en ligne de compte. Il n'y a pas à considérer de propagation le long du système et la seule variable caractéristique est le temps t.

Il paraît important de souligner au sujet des cas de *B.F.* et de *H.F.* les considérations suivantes. Il y a en réalité toujours propagation dans l'espace et dans le temps de la perturbation créée. Le cas de la *H.F.* se présente donc comme cas général et celui de la *B.F.* comme cas particulier. C'est relativement aux grandeurs du système vis-à-vis de la vitesse de la propagation que l'on doit se baser pour utiliser la théorie du cas général ou la théorie du cas particulier.

Certains auteurs traitent sous le titre « Oscillations électriques » les problèmes du premier cas, celui de la *B. F.* et sous le titre « Ondes propagées » ceux du second cas. La vitesse de la propagation étant de l'ordre de la vitesse de la lumière, il ressort qu'en général dans les systèmes conducteurs ordinaires la généralité des problèmes de la circulation en courants alternatifs de fréquences industrielles sont traités par la théorie de la *B.F.*, tandis que la *H.F.* ne s'occupe que des problèmes de la circulation électrique en courants alternatifs de fréquence élevée, notamment les problèmes du ressort de la *T.S.F.*

Cette distinction n'a donc rien d'absolu, le cas de la *B.F.* étant essentiellement un cas limite de celui de la *H.F.* Au point de vue physique on passe d'un cas à l'autre sans discontinuité dans les phénomènes. Ainsi la circulation électrique dans un solénoïde ou dans un transformateur ordinaire est aux fréquences industrielles entièrement du ressort de la *B.F.*, mais qu'on vienne à élever cette fréquence, la théorie de la *B.F.* n'interprète plus du tout les phénomènes et c'est à la théorie de la *H.F.* qu'il faut demander une interprétation. On peut aussi envisager certains systèmes conducteurs de dimensions suffisamment grandes pour que aux fréquences industrielles la circulation électrique soit régie par la théorie de la *H.F.*

2. Haute fréquence.

En *H.F.* on tient compte du fait que la propagation des phénomènes n'est pas instantanée. Les relations de Maxwell ne peuvent plus être appliquées à l'*ensemble* du système conducteur. Considérant la double périodicité des phénomènes dans l'espace et dans le temps il y a lieu de faire intervenir dans la théorie deux variables caractéristiques, la variable t caractérisant le temps, comme en *B.F.* et une variable l caractérisant l'espace.

En vertu d'un raisonnement analogue à celui que l'on fait en mécanique on admet que dans un élément de longueur assez petit vis-à-vis de la vitesse de propagation les actions sont instantanées. La théorie de la *H.F.* basée sur ce raisonnement admet que dans un élément de longueur infiniment petit du système, la théorie est régie par les relations de Maxwell appliquées à cet élément infiniment petit du système. Ces considérations conduisent à chercher les facteurs résultants dont nous avons parlé au début de ce chapitre qui caractérisent l'ensemble du segment de circuit compris entre les deux points infiniment voisins qui délimitent l'élément considéré. Analytiquement, on écrira donc pour un élément de circuit de longueur dl compris entre les points l et $l + dl$ du système le long duquel on étudie la propagation, les équations de la tension et du courant aux extrémités de l'élément considéré. Le phénomène d'ensemble se trouve être donné par l'intégration des états respectifs de chaque élément.

Cette façon de traiter le problème conduit à établir des équations différentielles fixant des relations entre les variables indépendantes l et t, les variables dépendantes e et i, et les facteurs résultants qui caractérisent l'élément.

La question qui se pose et qui fait l'objet de notre étude est de savoir quelle est la nature des facteurs résultants qui s'introduisent dans les équations différentielles ? Si ces facteurs résultants peuvent être définis ? Si la condition, que doivent remplir ces facteurs, d'être constants (indépendants des variables) est remplie ? Si donc les facteurs des équations différentielles remplissent les conditions suffisantes pour que ces équations aient la nature des équations différentielles ordinaires.

Comme notre étude consiste en une analyse autant théorique qu'expérimentale, il nous paraît important en terminant cette présentation du problème de dire un mot sur la situation actuelle des recherches en *H.F.* et en *B.F.*

Historiquement, la théorie de la *B.F.* est relativement ancienne. Elle date de plus d'un siècle, elle est le résultat des travaux de Coulomb, Volta, Laplace, Ampère, Ohm, Faraday. Ceci explique le caractère complet et définitif de cette théorie. Le phénomène des ondes propagées sont d'une étude théorique et expérimentale beaucoup plus récente. Ce n'est pratiquement que depuis ces cinquante dernières années depuis les découvertes de Hertz (1889) que les expériences systématiques ont été tentées. Quoique poursuivant un but différent, celui de la justification de l'hypothèse de Maxwell sur les courants de déplacement dans les diélectriques, les découvertes de Hertz se rattachent cependant au problème qui nous occupe dans ce sens qu'elles ont fourni, pour la première fois un procédé pour l'obtention de haute fréquence c'est-à-dire qu'elles ont permis de réaliser une condition fondamentale pour l'existence d'ondes propagées. C'est avec le procédé imparfait de Hertz ne donnant que des oscillations amorties, que les premières expériences ont été faites, d'abord sur les fils ou sur des systèmes de fils parallèles, ensuite sur des systèmes plus compliqués comme des solénoïdes à un seul ou à plusieurs enroulements régulièrement distribués ; ce sont notamment les travaux de Fleming, de Seibt et de Drude. Puis les méthodes techniques se perfectionnent, on résout soit par l'emploi de lampes à trois électrodes, soit par de nouveaux systèmes alternateurs, des sources d'ondes entretenues. Mais à ces perfectionnements vraiment conséquents des moyens de réaliser les phénomènes, aucune nouveauté importante n'a fait progresser la technique des mesures.

Aujourd'hui, nous sommes en présence d'un problème qui se présente avec une double complication. Au point de vue théorique il est mal défini comme on le verra plus loin, au point de vue expérimental les moyens d'inverstigation sont trop imparfaits pour soumettre à un contrôle précis le grand nombre des phénomènes à observer. Il n'en reste pas moins vrai que des phénomènes fondamentaux tout à fait caractéristiques et spécifiques sont accessibles à la mesure et cela avec des précisions suffisantes pour que tout d'abord il y ait lieu d'exiger de la théorie leur justification; c'est d'ailleurs à ces phénomènes que nous demanderons des éclaircissements.

* * *

3. Les équations différentielles de la haute fréquence. — Arguments théoriques de Bouasse.

Les équations de la circulation électrique, en haute fréquence, dans un circuit sont données par les relations différentielles de l'état électrique dans un élément infiniment petit de ce circuit. On admet que la circulation électrique dans cet élément de circuit est régie par les lois simples de l'électrostatique et de l'électrodynamique.

Le raisonnement est toujours le même quelle que soit la nature du circuit. Si entre les deux points infiniment voisins qui délimitent l'élément considéré, il existe une différence de potentiel, il en résulte un courant entre ces deux points, défini par la nature du circuit de l'élément, c'est-à-dire par des facteurs résultants r, l, c ou r est un facteur de la nature d'une résistance ohmique qui caractérise le courant en phase avec la force électromotrice E, ou l et c

caractérisent les courants en quadrature avec la force électromotrice r, l et c sont des facteurs résultants qui sont définis par l'ensemble du circuit compris entre les deux points considérés ; ils dépendent donc de la complexité du circuit.

Le circuit le plus simple que l'on peut imaginer est celui qui est composé d'un seul fil conducteur. Pour interpréter la circulation électrique dans ce circuit filiforme, Kirchhoff assigne l'élément de longueur de ce fil (fig. I) à un système comprenant une self induction et une résistance ohmique intercalée en série aux extrémités de l'élément et un condensateur en dérivation, réuni à la terre pour tenir compte de la capacité propre de fil et de sa capacité par rapport à la terre.

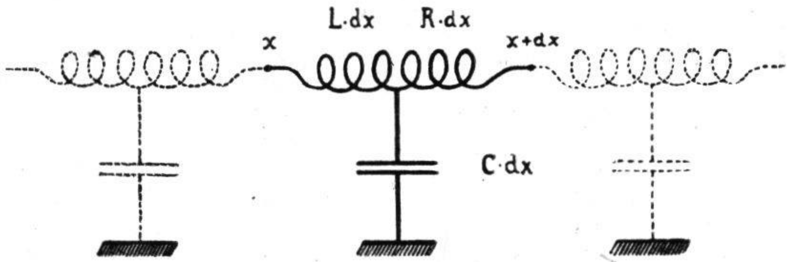

Fig. 1.

Les facteurs caratéristiques de l'élément infiniment petit sont R, ou R est la résistance de l'unité de longueur du fil, et de même L et C pour les autres facteurs résultants. On tire facilement d'un tel schéma les deux équations:

$$(1)\qquad \begin{cases} -\dfrac{\delta v}{\delta x} = Ri + L\,\dfrac{\delta i}{\delta t} \\[2ex] \dfrac{\delta i}{\delta x} = -C\,\dfrac{\delta v}{\delta t} \end{cases}$$

C'est de ce système d'équation que sont tirées les relations actuellement utilisées connues sous le nom d'équation des télégraphistes et d'équations des téléphonistes.

Pour des circuits plus compliqués, tels que les solénoïdes, les auteurs font des hypothèses sur les circuits élémentaires qu'il y a lieu d'assigner à l'unité de l'élément.

Ces circuits élémentaires définissant comme dans le cas précédent les facteurs caractéristiques de l'unité de longueur qui doivent intervenir dans les équations différentielles de la circulation. Ces différents circuits élémentaires sont représentés par différents schémas, comme par exemple pour le solenoïde, les schémas de Wagner [1] Böhme [2] Rogowski [3] Ruddenberg [4], qui ont le caractère de celui que représente la figure 2:

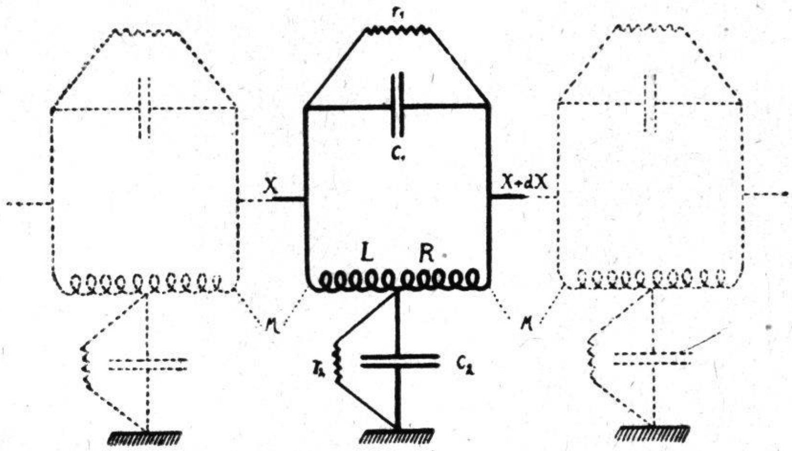

Fig. 2.

Dans l'élaboration de ces schémas les auteurs se préoccupent uniquement de tenir compte des différents facteurs qui semblent intervenir dans la circulation électrique de l'élément. A la self L et à la résistance R de l'élément, ils introduisent par exemple la capacité C, pour tenir compte de la capacité entre les couches de spires, la résistance r, pour tenir compte des pertes dans les isolations, etc...

Si la plupart des auteurs cherchent, par l'élaboration de schémas, à déterminer les facteurs caractéristiques qui entrent dans les équations différentielles de la circulation électrique dans les circuits complexes, il y a lieu cependant, contre ce procédé a priori de déterminer ces facteurs, d'avancer certains arguments théoriques

---

[1] Wagner, E. T. Z, p. 639 (1914).
[2] Böhme, *Arch. für Elektrotech.*, Bd. 5, p. 408 (1916).
[3] Rogowski, *Arch. für Elektrotech.*, Bd. 7, p. 240 (1919).
[4] Ruddenberg, *Elektr. und Magnet.*, p. 371 (1914).

relatifs à la possibilité de déterminer par cette méthode des facteurs parfaitement définis.

Ces arguments sont d'ordre mathématique et sont relatifs à la nature des facteurs et des équations différentielles posées. La théorie générale conduit à poser des relations de la forme suivante:

$$(2) \qquad \begin{cases} -\dfrac{\delta v}{\delta x} - \dfrac{\delta f}{\delta t} = ri \\[2ex] \dfrac{\delta i}{dx} + \dfrac{\delta m}{dt} = 0 \end{cases}$$

où v est le potentiel électrique défini au point x à l'instant considéré par l'ensemble des charges, f est une fonction telle que $\dfrac{\delta f}{dt}$ représente au point x la force électrique d'induction due à la variation du courant en *tous les points du système*. Ces relations ne constituent pas nécessairement des équations différentielles au sens de leur définition.

Reprenons, avec Bouasse [1], la discussion:

Une équation différentielle est une condition indéfinie identiquement satisfaite en tous les points du système considéré, elle fournit la situation du problème posé quand on donne certaines conditions aux limites. Il est donc contradictoire d'introduire dans une équation différentielle des paramètres qui dépendent des limites.

C'est ce qui arrive pour les équations de Kirchhoff et en général pour les équations du groupe (2) appliquées à certains circuits.

Comparons deux équations analogues, celle des cordes vibrantes et celle tirée du groupe (1) des équations de Kirchhoff.

Pour les cordes vibrantes on a:

$$T\frac{\delta^2 x}{\delta z^2} = m\frac{\delta^2 x}{\delta t^2}$$

---

[1] BOUASSE, *Ondes Hertziennes*, p. 125, édit. Delagrave, Paris.

T est la tension de la corde, *m* la masse par unité de longueur, quantité parfaitement définie pour chaque élément, indépendant de la longueur de la corde et par suite de la manière dont elle se divise en vibrant. Du groupe (1) de Kirchhoff, on tire pour le potentiel la relation:

$$l\,c\,\frac{\delta^2 v}{\delta t^2} + r\,c\,\frac{\delta v}{\delta t} = \frac{\delta^2 v}{\delta x^2}$$

ici, les paramètres l, r, c par unité de longueur n'ont pas nécessairement une valeur déterminée, indépendante des limites comme l'exige la définition de l'équation différentielle. L'équation de Kirchhoff contient des paramètres, le facteur f (fonction f de l'équation (2)), et le facteur c par unité de longueur qu'on ne peut en général calculer que si l'on connaît les conditions aux limites, par conséquent une solution particulière ce qui est contradictoire avec la définition.

Self et capacité de l'élément ne seront parfaitement définies que dans le cas ou leur valeur dépend uniquement de ce qui se passe sur l'élément et les éléments immédiatement voisins, indépendamment de ce qui se passe au même instant sur les autres éléments. L'équation s'applique donc à un cable sous-marin à deux fils parallèles très rapprochés, à un fil unique parallèle et très rapproché d'un plan conducteur maintenu au potentiel constant nul, le principe des images ramène ce dernier cas à celui de deux fils parallèles. Nous avons alors un véritable condensateur continu ; les charges sur une section droite du système sont déterminées par la différence de potentiel entre les armatures du condensateur au voisinage de cette section.

Dans le cas du solenoïde ou d'un fil rectiligne isolé dans l'espace du voisinage d'autres conducteurs, il en est tout autrement. L'état électrique des éléments qui ne sont pas immédiatement voisins de l'élément considéré n'est plus négligeable et dépend des dimensions du système, des conditions aux limites.

Considérons avec Brillouin le cas de deux fils parallèles à la distance b (fig. 3).

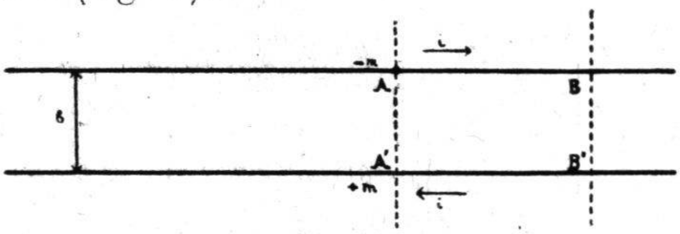

Fig 3.

Les points A et A' correspondants portent à chaque instant les charges $\pm m$; par suite ils sont le siège de courants égaux et de signes contraires. En un point B à la distance r les points correspondant A et A' créent un champ électrostatique qui est de la forme $\frac{b}{r^3}$ absolument comme le champ d'un aimant assez loin de cet aimant. La force électromotrice d'induction et de la forme $\frac{b}{r^2}$. Les actions du groupe $A\ A'$ sur les points correspondants B et B' ne sont pas absolument égales puisque B et B' sont écartés de b. Mais la différence des actions est de la forme $\frac{b}{r^3}$ ou de $\frac{b^2}{r^2}$ suivant qu'il s'agit du champ électrique ou de la force électromotrice d'induction. Il s'en suit que si b est assez petit (fils voisins) l'action du groupe AA' sur le groupe BB' est négligeable dès que $\frac{b}{r}$ devient petit, les phénomènes en BB' ne sont plus fonction que de ce qui se passe immédiatement au voisinage de ces points. Il existe alors une capacité et une self induction bien déterminées par unité de longueur.

Il résulte de cette discussion, que seulement pour un nombre très limité de cas, il est possible de déterminer pour l'unité d'éléments du système des facteurs bien définis. D'une façon générale pour les circuits complexes (circuits où les actions à distance sont prépondérentes) on a dans aucun cas le droit d'assigner l'unité d'élément à un circuit élémentaire définissant les fonctions f et m des équations (2). Ces fonctions *f* et *m* ne dépendent pas uniquement des variables *i* et *e* au point considéré du système et aux points infiniment voisins, mais de la valeur de *i* et *e* en chaque point du système. Comme la distribution du courant *i* et du potentiel *e* le long du système dépend des conditions aux limites, les fonctions *f* et *m* dépendent aussi des conditions aux limites. Par conséquent les équations différentielles (2) ne sont pas des équations différentielles ordinaires, elles contiennent des fonctions *f* et *m* qui ne sont définies que lorsqu'on connaît la distribution du courant et des potentiels c'est-à-dire la solution du problème. Puisque les fonctions *f* et *m* ne peuvent pas être définies, il est donc faux de chercher la solution générale de la circulation électrique du système en intégrant ces formes différentielles par les procédés d'intégration des équations différentielles ordinaires.

4. Analyse et interprétation expérimentale de la théorie. — Conditions d'interprétation expérimentale.

Ces arguments théoriques, si évidents soient-ils, ne laissent pas moins indifférents les auteurs qui, pour établir les équations de la circulation électrique dans un système complexe, assignent le circuit étudié à un schéma particulier et tirent de ce schéma les facteurs caractéristiques pour l'unité d'élément du système. Ils justifient leur procédé, plus exactement leur schéma — puisqu'ils admettent à priori l'existence de ces facteurs — par des résultats qu'ils tirent de l'expérience. C'est sur cette interprétation expérimentale qu'il y a lieu de discuter.

Il est facile de démontrer que, si admettant l'existence des facteurs caractéristiques pour l'unité d'élément du système et la validité des solutions des équations différentielles considérées comme ordinaires, il est possible, à l'aide du contrôle expérimental d'un phénomène particulier, de justifier la solution trouvée, de justifier par conséquent et la méthode et les facteurs caractéristiques et par conséquent le schéma qui a servi à déterminer ces facteurs.

En effet, il suffit de constater que la circulation électrique du système présente des résonances caractérisées par des régimes d'ondes stationnaires ; or, des équations différentielles telles que l'équation (2) fournissent des solutions définissant de pareils régimes. Si on admet la validité de telles solutions, il suffit de vérifier expérimentalement si, par exemple, les fréquences de ces différents régimes de vibration sont celles prévues par la théorie. On voit aisément l'insuffisance d'une telle vérification, puisque les solutions ainsi fournies prévoient qualitativement le phénomène et que pour le justifier quantitativement, il suffit de modifier les éléments arbitraires des équations utilisées, c'est-à-dire les facteurs caractéristiques de l'unité d'éléments du système ce qui revient par conséquent à trouver pour le circuit complexe étudié, un schéma définissant de la façon prévue les facteurs caractéristiques de l'unité d'élément. Mais cela ne fait pas prévoir la suffisance de ce schéma pour l'interprétation d'un autre phénomène.

Nous avons souligné précédemment le nombre très limité des phénomènes de la haute fréquence capables d'être soumis à un contrôle expérimental précis. Le seul qui soit très caractéristique et le seul capable aussi d'être soumis à un contrôle expérimental précis est pour les circuits complexes celui de la non harmonicité des partiels. C'est sur le contrôle de la fréquence et de la distribution de ces partiels le long du système que portent généralement les mesures. Nous aurons au chapitre IV de ce travail l'occasion de revenir sur certains résultats théoriques relatifs à cette non harmonicité des partiels.

Nous soulignons en passant, relativement à cette non harmonicité des partiels une interprétation qui ne nous paraît pas légitime.

Bouasse [1], se sert pour analyser le phénomène d'un

---

[1] Bouasse, *Ondes herziennes*, p. 157.

résultat expérimental donné par Fleming. Pour un solénoïde ainsi défini: longueur, 200 cm., nombre total de spires 5000, spires jointives, fil isolé sur un cylindre d'ébonite de 4 cm. de diamètre, une des extrémités du solénoïde est isolée, l'autre reliée à l'une des armatures d'un condensateur d'un circuit oscillant entretenu par une bobine d'induction, on a le tableau suivant:

	n = Fréquence	λ = long. d'onde	$v = n\lambda$ = vitesse
Partiel 1 (fondamental)	$0{,}215.10^6$	920 cm.	198.10^6
» 2	0,714	276	197
» 3	1,151	160	184
» 4	1,533	115	176
» 5	1,823	88	160
» 6	2,023	72	146

On voit que les fréquences n ne suivent pas du tout la loi harmonique. Fleming incrimine le noyau sur lequel le solénoïde est bobiné, mais comme Drude trouve le même résultat pour des solénoïdes courts, Bouasse conclut en faveur des arguments théoriques qu'il avance, à savoir les arguments que nous avons précédemment indiqués et il conclut: on est forcé d'admettre qu'il n'existe pas de self et de capacité par unité de longueur calculable *indépendamment de la distribution du courant.*

Cette conclusion est discutable, car s'il n'existe pas à proprement parler de self et de capacité pour l'unité de longueur du système, il est possible de définir pour ce système un schéma plus ou moins complexe qui puisse définir pour l'unité de longueur du système des facteurs caractéristiques, fonctions plus ou moins compliquées des éléments électriques du circuit et de la pulsation, *mais indépendantes de la distribution du courant* et capables de justifier cette distribution non harmonique. Cette façon de résoudre le problème que celle des auteurs qui admettent l'existence des facteurs caractéristiques pour l'unité d'élément du système et qui considèrent les équations différentielles posées comme des équations différentielles ordinaires.

Pour résoudre expérimentalement cette difficulté il importe donc de conduire les expériences de façon à être à l'abri des objections soulevées. Si on admet l'existence des facteurs caractéristiques pour l'unité d'élément du système et si on admet comme solution du problème les solutions ordinaires fournies par les équations posées, on doit dans le cas où ces facteurs caractéristiques n'existent pas, trouver expérimentalement des divergences entre la théorie et l'expérience. Deux méthodes à l'abri des critiques s'imposent, la première consiste à soumettre au contrôle expérimental pour un circuit complexe donné, différents phénomènes prévus par la théorie, dans la seconde, le contrôle ne porte que sur un seul phénomène, mais il est prévu une modification systématique du circuit complexe laquelle modification doit entraîner une modification correspondante du phénomène dans le sens prévu par la théorie.

Dans l'impossibilité de soumettre à un contrôle expérimental précis différents phénomènes, nous avons utilisé la seconde méthode. Le phénomène observé est celui de la non harmonicité des partiels, le contrôle porte sur la mesure des fréquences de ces partiels, et pour le circuit complexe étudié (un solénoïde) la modification systématique du système consiste dans la variation systématique de sa capacité par rapport à la terre.

Nous admettons donc l'existence de facteurs caractéristiques définis pour l'unité de longueur du circuit et la validité des solutions ordinaires des équations différentielles. Mais pour ne pas être exposé dans la discussion à des interprétations douteuses dues à la présence dans les formules de facteurs caractéristiques définis a priori (car la définition de ces facteurs a toujours quelque chose d'arbitraire) nous avons développé la théorie sans préciser ces facteurs. Nous avons admis ces facteurs comme des fonctions non définies des éléments électriques du circuit et de la pulsation. Le seul facteur utilisé et que nous admettons déterminé est celui introduit par l'existence de la capacité par rapport à la terre et définissant une fonction linéaire de la pulsation. La définition de ce facteur n'entraîne aucune ambiguité puisqu'elle est imposée par la nature du circuit qu'elle représente; elle est d'ailleurs en soi indépendante du solénoïde utilisé.