

se manifestent par l'apparition subite, dans le ciel, d'un astre incandescent qui pâlit et s'évanouit parfois en quelques jours, ne laissant rien derrière lui ou seulement une faible nébuleuse.

Lorsque se montre la nouvelle étoile, son spectre, d'abord analogue à celui du soleil, prouve qu'elle contient des métaux semblables à ceux de notre système solaire. Puis, en peu de temps, ce spectre se transforme et devient finalement celui des nébuleuses planétaires, c'est-à-dire ne contient que des raies d'éléments simples et peu nombreux, dont quelques-uns inconnus. Il est donc évident que les atomes de l'étoile temporaire se sont rapidement et profondément transformés. Cette évolution descendante est l'inverse de celle signalée dans l'évolution ascendante des étoiles. Celles-ci contiennent, lorsqu'elles sont très chaudes, des éléments simples devenant de plus en plus compliqués et nombreux à mesure qu'elles se refroidissent.

Ces étoiles transitoires, résultant sans doute de l'explosion d'un monde accompagné de la désintégration des atomes, ne sont pas rares. Il ne se passe guère d'années sans qu'on en observe directement ou par l'étude des clichés photographiques. Une des plus remarquables fut celle observée récemment dans la constellation de Persée. En quelques jours elle atteignit un éclat qui la rendit la plus brillante étoile du ciel ; mais 24 heures après elle commença à pâlir, son spectre se transforma lentement, devint, comme il a été dit plus haut, celui des nébuleuses planétaires, preuve évidente, je le répète, d'une dissociation atomique. Au moment même où s'opérait cette transformation, des photographies à longue pose montrèrent autour de l'astre des masses nébuleuses, produites sans doute de la dissociation atomique et qui s'éloignaient de l'étoile avec une vitesse de l'ordre de celle de la lumière, c'est-à-dire analogue à celle des parti-



cules  $\beta$  qu'émettent les corps radio-actifs en se dissociant. Les astronomes assistèrent ainsi à la destruction rapide d'un monde.

§ 2. — RÉSUMÉ DE LA DOCTRINE DE L'ÉVANOUISSEMENT  
DES FORCES ET DISCUSSION DES OBJECTIONS.

L'exposé de l'évolution générale des mondes auquel ce chapitre et le précédent ont été consacrés comprend des faits d'expérience ou d'observation que nous avons tâché de relier par des hypothèses. Nous allons résumer cet exposé dans un tableau d'ensemble indiquant les diverses phases d'évolution d'un système sidéral analogue au nôtre et à ceux qui continuent à naître et se transformer dans le firmament.

LES PÉRIODES DE L'ÉVOLUTION D'UN MONDE.

1° *Phase chaotique ou de naissance de l'énergie.* — Formation sous l'action de la gravitation ou de causes inconnues de nuages d'éther. Sous leur influence s'établissent des inégalités d'où résultent des différences de potentiel. L'éther se condense en particules disséminées, qui prennent la forme de tourbillons. Animés de mouvements assez lents, ils ne contiennent d'abord que très peu d'énergie.

2° *Phase nébuleuse ou de concentration de l'énergie.* — Les tourbillons d'éther accélèrent leur mouvement. Il en résulte des attractions qui les agglomèrent en noyaux, futurs germes de la matière. Une concentration générale de la masse s'établit. Il se forme une nébuleuse aux contours d'abord vagues qui finit par devenir sphérique et sera l'origine d'un système solaire. A mesure que les particules de cette masse se condensent, les tourbillons de l'éther précipitent leurs mouvements, s'agglomèrent et forment des



noyaux d'atomes qui, par suite de la rapidité croissante de leur rotation se saturent de plus en plus d'énergie.

3° *Phase d'incandescence stellaire ou de dépense de l'énergie.* — Cette phase est celle de la formation d'un soleil et des étoiles analogues. En se condensant de plus en plus, les atomes finissent par acquérir une quantité d'énergie intra-atomique qu'ils ne peuvent plus contenir et rayonnent sous forme de chaleur, de lumière ou de forces électriques diverses dont la chaleur n'est peut-être qu'une manifestation secondaire. La température de l'astre est excessive. La plupart des futurs atomes ne sont pas individualisés encore.

4° *Phase du commencement de refroidissement stellaire et d'individualisation de la matière.* — Par suite de la continuité de son rayonnement, la température de l'astre s'abaisse, bien qu'il reste incandescent. Les éléments des atomes forment des équilibres nouveaux et donnent naissance aux divers corps simples qui se différencient et, par conséquent, se multiplient à mesure que le refroidissement de l'astre augmente.

5° *Phase planétaire ou de refroidissement et d'équilibre de l'énergie intra-atomique.* — Les planètes détachées par la force centrifuge du soleil central autour duquel elles continuent à tourner, se refroidissent par suite de la petitesse relative de leur volume et arrivent à une température assez basse pour que la vie soit possible à leur surface. Les énergies accumulées sous forme de matière ont atteint une phase d'équilibre stable. La fixité relative succède à la mobilité. Les mondes vont devenir habitables pendant de longues successions d'âges.

6° *Phase de dissociation finale de l'énergie intra-atomique et de retour du monde à l'éther.* — Tout en se maintenant en équilibre pendant de longs siècles, les atomes n'ont pas cessé de rayonner un peu, et par ce



rayonnement même et la réduction de vitesse de rotation de leurs éléments qui en est la suite, ils perdent une partie de leur stabilité; alors commence une période de désagrégation qui croît très vite à mesure que la stabilité des éléments intra-atomiques décroît. Progressive d'abord, elle devient instantanée ensuite. A une certaine période de vieillesse, les éléments retournent à l'éther d'où ils sont sortis.

Cette destruction finale est peut-être suivie, dans la suite des âges, d'un nouveau cycle de naissance et d'évolution, sans qu'il soit possible d'assigner un terme à ces destructions et à ces recommencements probablement éternels <sup>1</sup>.

L'exposé qui précède, déduit des recherches relatées dans mon précédent volume, peut se résumer en quelques lignes. Je les emprunte à un des savants qui ont bien voulu analyser ma doctrine.

« On imagine le monde formé d'abord d'atomes diffus d'éther qui, sous l'action de forces inconnues, ont emmagasiné de l'énergie. Cette énergie, dont une des formes est la matière, se dissocie et apparaît sous des états divers: électricité, chaleur, etc.; de façon à ramener la matière à l'éther. *Rien ne se crée* veut dire que nous ne pouvons pas créer de la matière. *Tout se perd* signifie que la matière disparaît complètement comme matière en retournant à l'éther. Le cycle est donc complet. Il y a deux phases dans l'histoire du monde: 1° Condensation de l'énergie sous forme de matière; 2° Dépense de cette énergie. »

Cette conception de la concentration de l'énergie à

---

1. Ce qui précède rappelle un peu le « Retour éternel » de Nietzsche; c'est une hypothèse, dénuée d'ailleurs d'importance, que j'avais formulée bien longtemps avant lui, comme l'a rappelé M. le professeur Lichtenberger dans un livre consacré aux doctrines de ce philosophe.



l'origine d'un monde et de sa dépense dans une phase suivante de son existence a été combattue par un professeur de physique distingué, M. Bernard Brunhes, dans un mémoire récent<sup>1</sup>. L'objection qu'il m'oppose est la suivante :

« La concentration de la matière cosmique et la dissociation de la matière sont deux phénomènes qui paraissent contraires mais qui possèdent un caractère commun : tous deux dégagent de la chaleur et correspondent à une dégradation d'énergie. Soyez donc sûrs que si un corps radio-actif quelconque a pu se produire, emmagasinant une provision énorme d'énergie de réserve, c'est à la faveur d'une dégradation d'énergie plus grande... la matière qui se dissocie à la fin des transformations qui semblent la ramener au point de départ, aura subi une perte définitive d'énergie utilisable. »

Cette objection a pour appui le principe de Carnot ; mais un principe applicable à la phase d'évolution descendante du monde ne l'est pas nécessairement à sa phase ascendante antérieure. L'illustre mathématicien Maxwell avait déjà montré par une hypothèse très hardie, puisqu'elle implique l'existence de démons fort subtils, comment on pourrait violer le principe de Carnot et remonter le cours des choses. Attendons de mieux connaître les lois de la nature avant de supposer qu'elle n'a pas trouvé le moyen de faire surgir du morne néant de l'éther les forces condensées dans l'atome. Si l'on rejette des hypothèses analogues à la nôtre, il faut revenir à celle d'un Dieu créateur, tirant les mondes de sa volonté, c'est-à-dire d'un néant beaucoup plus mystérieux encore que le substratum d'où nous avons tenté de les faire sortir. Les dieux ayant été éliminés de la nature où notre ignorance les avait introduits, il faut bien

---

1. *La portée du principe de la dégradation de l'énergie*, 1906.



tâcher d'expliquer les choses en nous passant d'eux.

Évidemment, depuis l'aurore des temps géologiques les phénomènes semblent avoir toujours évolué conformément à la seconde loi de la thermodynamique; mais cette loi est, je le répète, celle de la période d'usure d'un univers, et non des âges où se formaient les énergies dépensées maintenant. Puisque notre système solaire a eu un commencement, comme tous les systèmes analogues dont l'astronomie constate l'évolution, il faut bien admettre qu'il s'est formé d'abord une concentration d'énergie. M. Bernard Brunhes le reconnaît du reste lui-même, dans un passage de son mémoire qui constitue la meilleure des réponses que je lui puisse faire :

« Il n'y a pas d'inconséquence à imaginer que la période actuelle de dégradation ait été précédée et puisse être suivie de périodes où l'énergie utilisable augmente au lieu de diminuer. »

C'est d'ailleurs, comme l'indique le même auteur, à une conclusion analogue qu'est arrivé Boltzmann dans son grand ouvrage sur la théorie des gaz. La marche du monde en sens inverse de l'évolution actuelle ne lui apparaît plus d'une impossibilité absolue, mais simplement d'une probabilité très faible qui a pu se réaliser toutefois pendant la succession des âges.

A ces brèves et incertaines notions se ramène tout ce que nous pouvons dire de l'évolution des mondes dans l'écoulement infini du temps. Nous allons quitter maintenant ces ténébreuses régions pour retourner vers celles où l'expérience sert de guide. L'étude des actions de la lumière sur un fragment de métal, origine de mes recherches, m'a conduit dans des champs fort divers de la physique. Je vais y mener le lecteur et examiner quelques nouveaux problèmes.



Comme conclusion générale de cette première partie de notre ouvrage nous formulerons la proposition suivante :

*L'Énergie n'est pas indestructible ; elle s'use sans cesse et tend à s'évanouir comme la matière qui représente une de ses formes.*



## DEUXIÈME PARTIE

### LES PROBLÈMES DE LA PHYSIQUE

---

#### LIVRE I

#### LA DÉMATÉRIALISATION DE LA MATIÈRE ET LES PROBLÈMES DE L'ÉLECTRICITÉ

---

#### CHAPITRE I

#### Genèse des idées actuelles sur les relations de l'électricité avec la matière.

---

La première partie de ce livre a été consacrée au développement des théories déduites de nos expériences antérieures. Cette seconde partie sera surtout expérimentale. Nos observations sur la dissociation de la matière nous ont conduit à des recherches très diverses ; elles pourront, je pense, malgré leur côté fragmentaire, intéresser le lecteur. L'exposé en sera fait de façon à ne pas nuire au plan général de l'ouvrage.



§ 1. — LE RÔLE DE L'ÉLECTRICITÉ DANS LA TRANSFORMATION  
DES COMPOSÉS CHIMIQUES.

Les lois des phénomènes physiques peuvent être déterminées, mais comme on en ignore les causes profondes, leur interprétation varie nécessairement. Si les faits ne changent pas, leurs explications se modifient fréquemment. Une nouvelle théorie acceptée est appliquée immédiatement à l'interprétation des faits connus.

La doctrine de la conservation de l'énergie a paru pendant cinquante ans pouvoir fournir la clef de tous les phénomènes. C'est à la théorie des électrons que semble devoir être bientôt réservé ce rôle.

En raison de l'importance prise aujourd'hui par les idées régnantes sur la structure atomique de l'électricité, il ne sera pas sans intérêt de montrer leur genèse.

Les dogmes nouveaux ne sont spontanés qu'en apparence. Ceux que séduit la récente croyance apprécient surtout sa nouveauté, alors qu'elle est, en réalité, très ancienne. Son historique, généralement oublié par les livres, montre comment se forment certaines idées et la lenteur de leur évolution.

C'est à l'illustre Davy, et vers le commencement du dernier siècle, que remonte l'origine des idées actuelles sur la dissociation électrique qualifiée actuellement d'ionisation. Ayant fait passer le courant d'une pile à travers de la potasse et vu le potassium se rendre à l'un des pôles et l'oxygène à l'autre, il en conclut avec raison, mais beaucoup trop tôt, que les deux éléments d'une combinaison sont chargés d'électricités différentes, neutralisées par la combinaison. L'affinité, qui rapproche les éléments des corps et les associe, aurait pour origine l'attraction des électricités contraires. On ne dit guère autrement aujourd'hui.



C'est sur l'hypothèse de Davy que Berzélius fonda la théorie dualistique qui domina la chimie pendant trente ans. Les composés dits, binaires, tels que les acides et les oxydes, étaient formés d'un élément électro-négatif uni à un élément électro-positif par l'attraction de leurs électricités opposées. Les composés dits ternaires, c'est-à-dire les sels, provenaient de la combinaison d'une base électro-positive avec un acide électro-négatif.

La théorie dualistique s'évanouit quand Dumas, Laurent et Gerhard découvrirent le phénomène des substitutions et montrèrent que dans un composé un élément électro-négatif peut être remplacé par un élément électro-positif sans changer sensiblement ses propriétés. L'acide trichloracétique, par exemple, est de l'acide acétique dans lequel trois atomes de chlore (élément électro-négatif) ont remplacé trois atomes d'hydrogène (élément électro-positif). Les conceptions pourtant si justes de Davy et de Berzélius furent alors abandonnées pour longtemps.

Leur renaissance est la conséquence des recherches de l'illustre Faraday. Vers 1830, il découvrit les lois de l'électrolyse et mesura la charge électrique abandonnée par les corps aux pôles de la pile quand ils sont décomposés par le courant électrique. Il constata qu'une solution d'un sel traversée par le courant se décompose en deux éléments, chargés d'électricités contraires, qui se rendent aux deux pôles. Cette opération, dont le résultat est de résoudre les corps composés en leurs éléments, s'appelle, on le sait, électrolyse ; les corps capables de subir une telle séparation sont dits électrolytes ; les produits de la décomposition constituent des ions. Les corps simples considérés par définition comme indécomposables ne pouvaient évidemment être des électrolytes et, par conséquent, fournir des ions. Ce dernier point était fondamental.



Après avoir constaté l'énorme charge électrique — 96,600 coulombs pour un gramme d'hydrogène — que portent les éléments séparés par l'électrolyse et l'égalité de cette charge pour tous les atomes des corps équivalant l'un à l'autre dans leurs combinaisons chimiques, Faraday admit, confirmant ainsi l'idée de Davy et de Berzélius, que les phénomènes chimiques ne sont que des phénomènes électriques, c'est-à-dire des déplacements d'électricité. « Les nombres représentant les poids équivalents des corps, dit-il, représentent simplement les quantités de ces corps contenant d'égales quantités d'électricité. L'électricité détermine les nombres équivalents parce qu'elle détermine les forces de combinaison. En adoptant la théorie atomique, nous dirons que les atomes des corps équivalant l'un à l'autre dans leurs combinaisons chimiques portent les mêmes charges d'électricité... C'est la quantité d'électricité associée avec les divers atomes qui constitue l'affinité chimique »<sup>1</sup>.

Les idées les plus récentes représentent simplement l'adoption et l'extension des vues de Faraday. Aujourd'hui la théorie de l'ionisation règne sans rivale ; elle a enfanté une nomenclature chimique nouvelle où les propriétés des corps s'expriment en fonction de leurs charges électriques et non plus, comme le voulait Berthelot, en fonction de leurs propriétés thermiques.

La thermo-chimie est un peu envisagée aujourd'hui comme une doctrine en voie de disparaître. On considère maintenant l'étude des réactions électriques des corps comme beaucoup plus importante que celle de leurs réactions thermiques. Les charges électriques et la façon dont elles se distribuent engendreraient

---

1. J'ai traduit aussi littéralement que possible ce passage qui contient en réalité toutes les idées actuelles. Il est emprunté au livre célèbre de Faraday, *Electrical Researches in Electricity* et a été reproduit par W. Crookes dans un mémoire, (*Proceedings of the Royal Society*, mars 1902.)



toutes les propriétés des corps et les réactions que leurs combinaisons présentent.

La théorie actuelle de l'ionisation peut se résumer dans l'énoncé suivant qui ne fait que répéter exactement, d'ailleurs, les idées de Faraday : Les corps sont composés d'éléments ou ions chargés, les uns d'électricité positive, les autres d'électricité négative et réunis d'abord à l'état neutre. Sous l'influence du courant de la pile, la molécule neutre se dissocie en éléments positifs et négatifs qui se rendent aux pôles de noms contraires. La décomposition d'un sel neutre peut se représenter par une équation telle que celle-ci :  $\text{NO}^3\text{K} = \overline{\text{NO}}^3 + \overset{+}{\text{K}}$ .

Quand un ion quitte une solution pour se précipiter sur une électrode chargée d'électricité de signe contraire, en raison de l'attraction qui s'exerce entre deux charges électriques opposées, il s'y neutralise, ce qui veut dire qu'il reçoit de l'électrode une charge exactement égale, mais de signe contraire à celle qu'il possédait. Pour connaître cette quantité, pour savoir, par exemple, la charge électrique des atomes de 1 gramme d'hydrogène, il n'y a qu'à mesurer avec des instruments convenables la dépense d'électricité nécessaire pour neutraliser les ions mis en liberté.

Dans la période de l'histoire de l'ionisation que nous venons de tracer sommairement, on admettait que la dissociation des éléments des corps en ions chargés d'électricité pouvait se faire seulement sous l'influence d'un courant électrique, mais on devait bientôt aller plus loin.

Adoptant les idées théoriques émises par Clausius, Arrhénius admit que le courant électrique n'était nullement nécessaire pour produire la dissociation des composés en ions. Dans les dissolutions étendues, les corps dissous seraient séparés en ions par le seul fait de la dissolution. Lorsqu'on y plonge les électrodes



d'une pile, les ions seraient attirés par elles, les ions positifs par le pôle négatif et les ions négatifs par le pôle positif.

D'après cette théorie, très hypothétique, évidemment, mais qui a été admise parce qu'elle facilite beaucoup les explications, une solution convenablement étendue d'un sel métallique contiendrait tout autre chose que ce sel. Une solution étendue de sel marin, par exemple, ne contiendrait pas du tout le chlorure de sodium que nous connaissons. Il contiendrait des ions chlore et des ions sodium en liberté.

Ce chlore et ce sodium à l'état d'ions différeraient beaucoup des substances connues sous ces noms, puisque le sodium de nos laboratoires ne peut être introduit dans l'eau sans la décomposer. La différence tiendrait à ce que, dans l'ion chlore et l'ion sodium, les électricités sont séparées, alors qu'elles sont neutralisées dans les substances connues sous les noms de chlore et de sodium.

Toutes ces théories et les expériences d'où elles dérivent nous montrent que l'électricité est de plus en plus considérée comme le facteur essentiel des propriétés des corps. De leur charge électrique résulteraient ces dernières. L'activité chimique d'un acide et d'une base serait la simple conséquence de la proportion d'ions qu'ils contiennent. Un acide fort comme l'acide sulfurique renfermerait beaucoup d'ions libres, et un acide faible comme l'acide acétique, très peu. Les réactions chimiques sont envisagées maintenant comme de simples réactions d'ions. L'atomicité ou valence, c'est-à-dire l'aptitude des atomes à s'unir à un nombre plus ou moins grand d'autres atomes de divers corps, dépendrait de leur capacité de saturation électrique. C'est ainsi, par exemple que, dans un sel comme le chlorure de zinc ( $Zn Cl^2$ ), l'atome zinc, en raison de la grandeur de sa charge positive, peut équilibrer deux ions négatifs de chlore.



Telle est la théorie actuelle. Il est bien probable que les choses se passent moins simplement, peut-être même très différemment, mais quand une explication cadre à peu près avec des faits connus, il est sage de s'en contenter.

La théorie des électrons, d'après laquelle le fluide électrique serait composé d'un agrégat de particules de grandeur définie, est une conséquence directe des vues qui précèdent, et ne pouvait que les préciser encore. Cette théorie, qui remonte à Helmholtz et fut développée par Lorenz, explique, elle aussi, les compositions et décompositions chimiques par l'aptitude des atomes à acquérir ou à perdre des électrons. Leur degré de valence dépendrait du nombre des électrons qu'ils peuvent perdre ou capter. Ceux qui, comme les atomes de l'hélium et de l'argon, sont trop stables pour en acquérir ou en perdre, ne peuvent former aucune combinaison. Toutes les forces chimiques auraient une origine électrique. L'affinité ne reconnaîtrait pas d'autre cause. C'est exactement ce que disait Faraday et ce qu'avait soutenu Davy.

## § 2. — ROLE DE L'ÉLECTRICITÉ DANS LA DISSOCIATION DES CORPS SIMPLES.

L'idée qu'on puisse séparer des particules électriques de leur support matériel n'était pas supposable avant les découvertes récentes. Elle était même tellement contraire aux anciennes expériences montrant que l'électricité ne peut être transportée sans support, sauf peut-être dans les phénomènes d'induction, que l'on considéra pendant longtemps les rayons cathodiques comme formés par la projection de particules matérielles.

Cette séparation d'une charge électrique de son support apparaissait comme impossible. Il semblait



plus impossible encore qu'on put faire subir à un corps simple une ionisation, c'est-à-dire une séparation d'éléments, analogue à celle précédemment décrite. Un corps simple étant, par définition, indécomposable, ne pouvait évidemment être dissocié. Séparer le chlore et le potassium du chlorure de potassium était facile, mais comment supposer la possibilité d'extraire du chlore quelque chose qui ne fut pas du chlore et du potassium autre chose que du potassium ?

En moins de dix ans, cependant, ce qui était considéré comme impossible, a cessé de l'être. L'étude des rayons cathodiques, celle de la conductibilité dans les gaz, celle des émissions radio-actives, et enfin notre démonstration de l'universalité de la dissociation de la matière, ont prouvé qu'on pouvait extraire des corps simples quelque chose très différent d'eux. Ce quelque chose, identique pour les substances les plus diverses, étant doué de propriétés électriques, on le considéra comme constitué par ces particules auxquelles a été donné le nom d'électrons.

Quelle que fut la valeur de cette interprétation, il était certain que les corps simples pouvaient eux aussi être dissociés, mais, comme c'était là une idée fort contraire aux doctrines alors régnantes et que cependant il fallait bien trouver une théorie pour expliquer les faits observés, l'ancienne doctrine de l'ionisation fut adoptée. On admit donc que les particules électrisées provenant des gaz ou des corps simples dissociés résultaient de leur ionisation. L'expression étant reçue depuis longtemps ne pouvait choquer, alors que l'idée de la dissociation d'un corps simple eut semblé très inquiétante. Cependant les deux mots désignent exactement la même chose. Quand on regarde les faits seulement, il est évident que, lorsqu'on a retiré des atomes d'un corps simple quelque chose de fort différent de lui on a nécessairement dissocié les atomes dont il se compose.



C'est d'ailleurs à cette conclusion que l'on est arrivé finalement, après bien des hésitations. Ce fut l'étude du radium qui entraîna les convictions. Ce corps présente à un degré éminent des propriétés que tous les corps possèdent à un degré très faible. Il émet en quantité abondante les produits de la dissociation de ses atomes. En étudiant ces produits, on reconnut leur analogie d'abord avec les émissions de particules des tubes de Crookes et ensuite avec les effluves émis par tous les corps sous l'action de la lumière ou d'influences variées. Finalement il fallut bien reconnaître que la dissociation de la matière est effectivement comme je l'avais prouvé depuis longtemps un phénomène universel.

Toutes ces expériences, dont beaucoup montraient les particules électriques dégagées de support matériel, ont naturellement donné une grande force à la théorie de l'électricité atomique, dite théorie des électrons. L'ayant suffisamment exposée dans mon précédent ouvrage, il serait inutile d'y revenir ici. On ne peut lui faire aucune objection quand elle se borne à envisager l'électricité comme composée de particules discontinues, mais on ne voit pas du tout la nécessité de considérer la matière comme composée d'électrons. L'électricité est comme la chaleur et les autres forces une des formes de l'énergie intra-atomique. De toute matière on peut retirer de l'électricité et de la chaleur ; mais il n'y a pas plus de raisons de dire que la matière se compose de particules électriques que d'assurer qu'elle se compose de particules de chaleur.

Il serait aussi inutile, du reste, de combattre maintenant la théorie des électrons qu'il le fut à l'époque de Newton de contester l'hypothèse de l'émission en optique. Ceux qui le tentèrent ne furent même pas écoutés, bien que l'avenir ait montré à quel point ils avaient raison.

Nous n'essaierons donc pas de discuter sa valeur.



Cette tâche est d'autant moins nécessaire qu'il est très facile d'exprimer les phénomènes dans le langage actuel. Nous continuerons donc à l'employer pour la clarté des démonstrations.

« L'électron, dit avec raison M. Lucien Poincaré, a conquis la physique, beaucoup adorent la nouvelle idole d'une adoration un peu aveugle. » L'idole, en réalité fort ancienne, a seulement changé de nom. Réduire la matière à un seul élément est une bien vieille tentative. Elle traduit surtout une aspiration mentale, un besoin de simplicité que la nature sans doute ne connaît pas. De tels besoins, on ne doit pas médire, car ils sont des générateurs d'efforts. Ces provisoires doctrines sont de bienfaisantes chimères qui stimulent nos labeurs. Nous remontons sans cesse le rocher de Sisyphe des explications, mais toujours avec l'espérance que c'est pour la dernière fois.



C'est d'ailleurs à cette conclusion que l'on est arrivé finalement, après bien des hésitations. Ce fut l'étude du radium qui entraîna les convictions. Ce corps présente à un degré éminent des propriétés que tous les corps possèdent à un degré très faible. Il émet en quantité abondante les produits de la dissociation de ses atomes. En étudiant ces produits, on reconnut leur analogie d'abord avec les émissions de particules des tubes de Crookes et ensuite avec les effluves émis par tous les corps sous l'action de la lumière ou d'influences variées. Finalement il fallut bien reconnaître que la dissociation de la matière est effectivement comme je l'avais prouvé depuis longtemps un phénomène universel.

Toutes ces expériences, dont beaucoup montraient les particules électriques dégagées de support matériel, ont naturellement donné une grande force à la théorie de l'électricité atomique, dite théorie des électrons. L'ayant suffisamment exposée dans mon précédent ouvrage, il serait inutile d'y revenir ici. On ne peut lui faire aucune objection quand elle se borne à envisager l'électricité comme composée de particules discontinues, mais on ne voit pas du tout la nécessité de considérer la matière comme composée d'électrons. L'électricité est comme la chaleur et les autres forces une des formes de l'énergie intra-atomique. De toute matière on peut retirer de l'électricité et de la chaleur ; mais il n'y a pas plus de raisons de dire que la matière se compose de particules électriques que d'assurer qu'elle se compose de particules de chaleur.

Il serait aussi inutile, du reste, de combattre maintenant la théorie des électrons qu'il le fut à l'époque de Newton de contester l'hypothèse de l'émission en optique. Ceux qui le tentèrent ne furent même pas écoutés, bien que l'avenir ait montré à quel point ils avaient raison.

Nous n'essaierons donc pas de discuter sa valeur.



Cette tâche est d'autant moins nécessaire qu'il est très facile d'exprimer les phénomènes dans le langage actuel. Nous continuerons donc à l'employer pour la clarté des démonstrations.

« L'électron, dit avec raison M. Lucien Poincaré, a conquis la physique, beaucoup adorent la nouvelle idole d'une adoration un peu aveugle. » L'idole, en réalité fort ancienne, a seulement changé de nom. Réduire la matière à un seul élément est une bien vieille tentative. Elle traduit surtout une aspiration mentale, un besoin de simplicité que la nature sans doute ne connaît pas. De tels besoins, on ne doit pas médire, car ils sont des générateurs d'efforts. Ces provisoires doctrines sont de bienfaisantes chimères qui stimulent nos labeurs. Nous remontons sans cesse le rocher de Sisyphe des explications, mais toujours avec l'espérance que c'est pour la dernière fois.



## CHAPITRE II

### Transformation de la matière en électricité.

---

#### § I. — TRANSFORMATION DE LA MATIÈRE EN ÉNERGIE.

Plusieurs chapitres de notre dernier ouvrage ont été consacrés à montrer comment la matière peut, en se dissociant, retourner à l'éther par une série d'étapes successives.

Parmi les produits les plus constants de cette dissociation se trouve l'électricité. Elle est une des manifestations importantes de la libération de l'énergie intra-atomique qui accompagne toujours la dématérialisation de la matière.

L'électricité en mouvement représentant de l'énergie, on peut dire que la transformation d'un corps en électricité réalise un changement de la matière en énergie. Une telle conversion étant contraire aux principes fondamentaux de la science moderne, notre théorie ne deviendra acceptable qu'après un changement profond des idées actuelles. Il n'est donc pas inutile de revenir sur un sujet si capital et d'ajouter des preuves expérimentales nouvelles à l'appui de celles exposées déjà. Il est également nécessaire de montrer que notre doctrine donne la clef de phénomènes pour lesquels on n'avait pu fournir jusqu'ici que les plus insuffisantes explications, ou même aucune explication.



## § 2. — L'ÉLECTRISATION PAR INFLUENCE

L'électrisation par influence, en vertu de laquelle un bâton de cire frotté attire les corps légers tels qu'une balle de sureau suspendue, est le plus simple des phénomènes électriques et le plus anciennement observé. Il est resté cependant le plus inexplicable.

Son interprétation habituelle est trop connue pour qu'il soit besoin de la reproduire ici ; elle est d'ailleurs identique à celle de phénomènes du même ordre dont nous nous occuperons bientôt, en montrant combien la théorie classique est inacceptable.

Cette expérience de l'attraction des corps légers est en réalité une des plus remarquables de la physique, et il aurait suffi de l'observer attentivement pour y découvrir la preuve de la dissociation de la matière et de l'existence de l'énergie intra-atomique.

Dans les anciennes théories, les diverses expériences sur l'électricité par influence impliquaient cette conséquence inexplicable, qu'avec la quantité *limitée* d'électricité existant sur un corps on pouvait extraire d'un autre corps une quantité *illimitée* d'électricité.

Rappelons, pour bien mettre en évidence ce point essentiel, l'expérience classique qui sert à démontrer l'électrisation par influence.

Une sphère métallique (fig. 1) posée sur un support isolant et électrisée par un moyen quelconque, reçoit ainsi une quantité définie d'électricité dont la grandeur est d'ailleurs facilement mesurable. Approchons à une petite distance de cette sphère un corps conducteur, par exemple un long cylindre BC, de métal, monté également sur un support isolant D. On reconnaît aussitôt, par les moyens ordinaires, que le cylindre est chargé d'électricité. Si la boule a préalablement reçu de l'électricité positive, la partie du cylindre placée dans son voisinage est chargée



négativement et son autre extrémité positivement, Touchant alors cette dernière, pour la mettre en communication avec la terre, tout le cylindre reste chargé d'électricité négative. On peut la transporter sur un corps quelconque en maniant le cylindre par son support isolant.

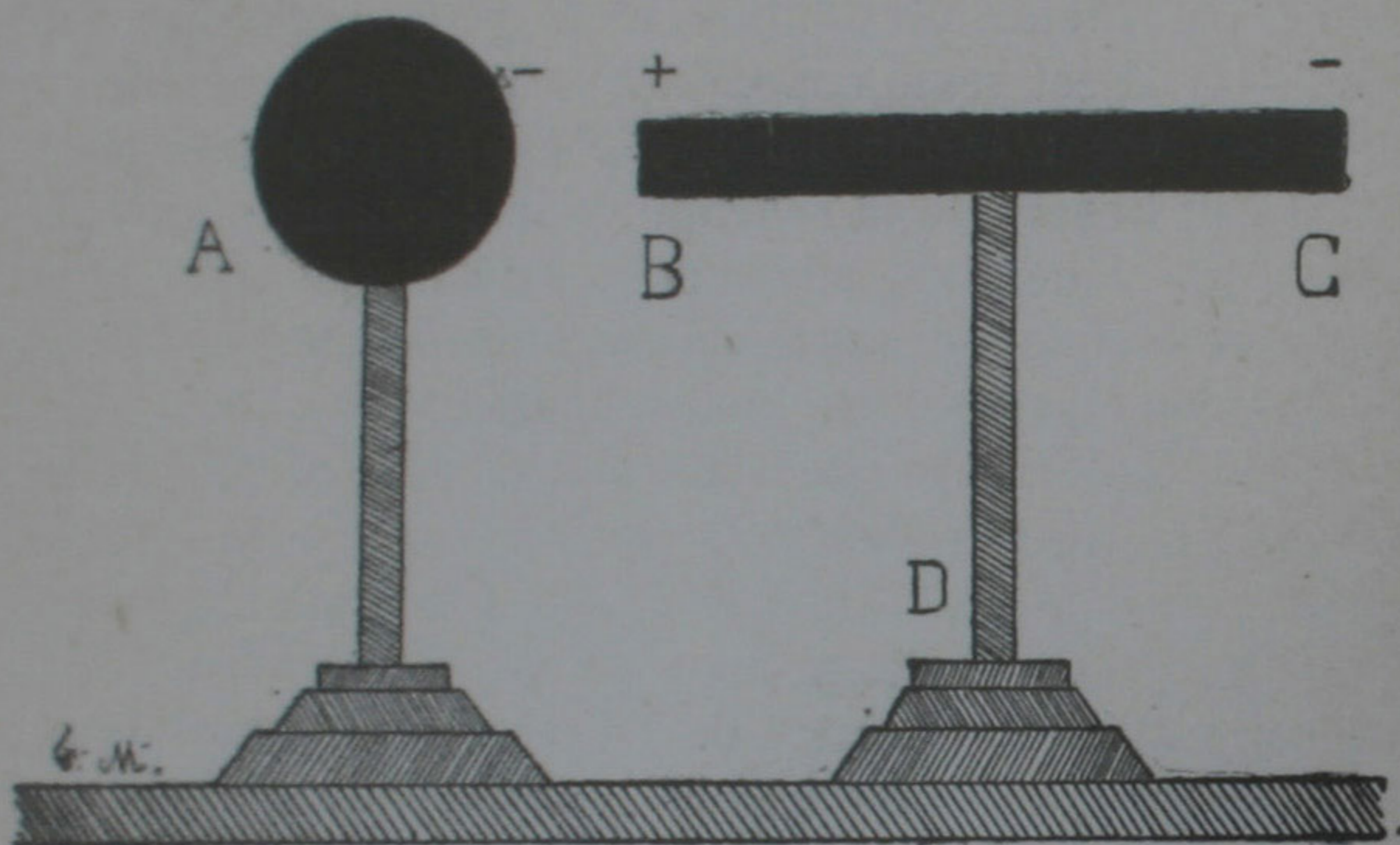


FIG. 1. — *Expérience classique de l'électrisation par l'influence.* (Génération apparente d'une quantité illimitée d'électricité au moyen d'un corps chargé d'une quantité limitée d'électricité.)

Après avoir déchargé le cylindre, nous n'aurons, pour le recharger de nouveau, qu'à le rapprocher de la boule et opérer comme précédemment.

Ces charges et décharges successives du cylindre, pouvant être répétées indéfiniment, il s'ensuit bien qu'avec la charge limitée d'électricité d'une boule électrisée on peut engendrer sur un autre corps une quantité illimitée d'électricité <sup>1</sup>.

(1) Pour montrer qu'avec une quantité limitée d'électricité on peut par influence produire une quantité illimitée d'électricité, le professeur Kolb remplace la boule de l'expérience précédente par un électroscope dont la tige terminée par une boule est coudée de façon à pouvoir être approchée à quelque distance du corps que l'on désire électriser par influence. L'électroscope étant chargé et l'écart de la feuille d'or mesuré par une échelle que porte l'instrument, on constate qu'avec la boule de cet électroscope on peut charger d'autres électroscopes autant de fois qu'on le désire sans que la charge indiquée par l'écart des feuilles subisse aucune réduction.



Les physiciens le reconnaissent d'ailleurs nettement. Voici comment s'exprime Jamin <sup>1</sup>.

« *L'influence permet d'obtenir, au moyen d'une quantité limitée d'électricité positive, une quantité indéfinie d'électricité négative.* »

On explique cette création apparente d'énergie en disant que pour charger plusieurs fois un corps par influence, il faut le déplacer, c'est-à-dire dépenser une quantité de travail représentant l'équivalent de l'électricité engendrée à chaque nouvelle opération.

Si médiocre que fût cette explication, il était utile de lui ôter toute apparence de vraisemblance en produisant une électrisation indéfinie sans trace de déplacement du corps électrisé. C'est ce que réalise l'expérience suivante qui montre un corps isolé dans l'espace, devenant, par influence, une source continue d'électricité.

A (fig. 2) est le corps électrisé influençant. Il est chargé d'électricité positive<sup>2</sup> par un moyen quelconque. On voit au-dessous une feuille d'aluminium ou d'or battu d'un demi-centimètre de largeur et de 2 centimètres de hauteur. B est une tige métallique posée sur une table ou tenue à la main. Après quelques tâtonnements on trouve facilement une position dans laquelle la flèche de métal reste entièrement et indéfiniment immobile dans l'espace. Malgré son peu de consistance, elle se maintient fixe et rigide comme si elle était tendue par des ressorts et sa pointe émet de petites étincelles visibles dans l'obscurité. Ses diverses parties prennent des charges dont le sens est indiqué sur la figure.

---

1. *Cours de Physique de l'École Polytechnique*, 4<sup>e</sup> édition, t. IV, fascicule I, p. 137.

2. Si la boule était chargée d'électricité négative au lieu d'électricité positive, la feuille d'aluminium viendrait se fixer sur elle et ne resterait pas immobile dans l'espace.



Cette expérience a toujours frappé les physiciens auxquels je l'ai montrée, parce que l'équilibre

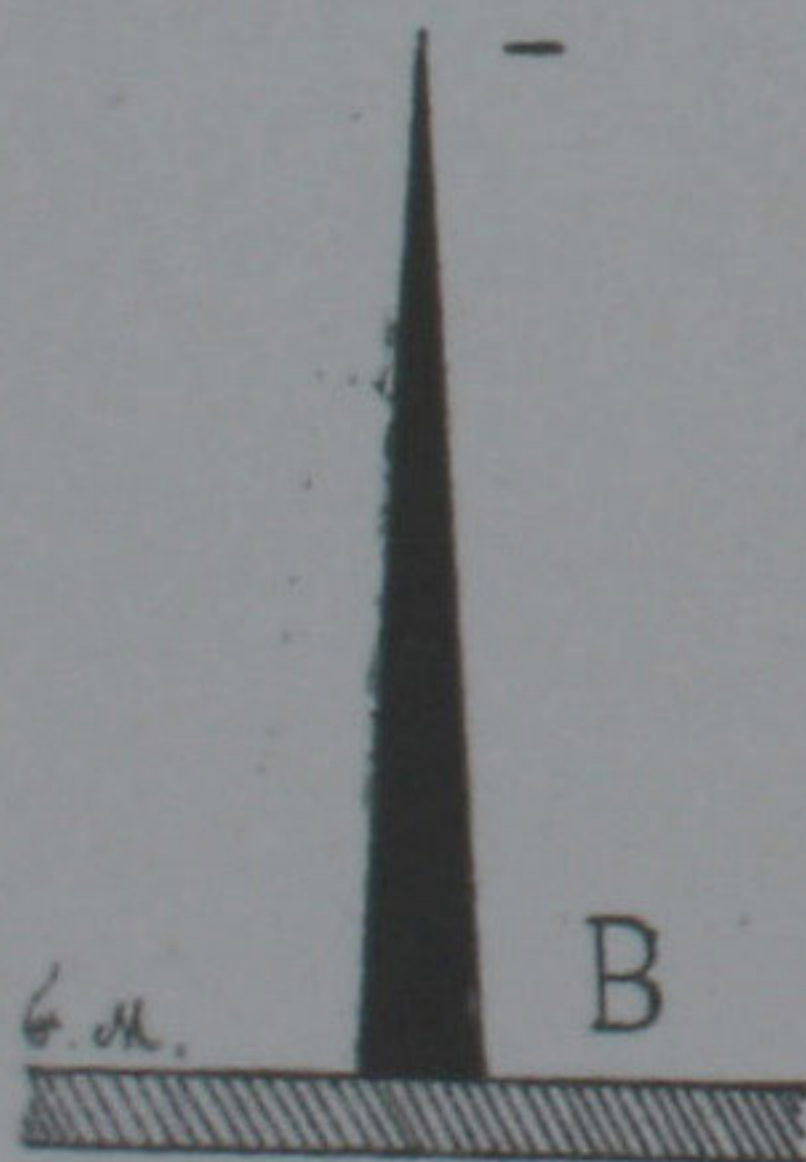
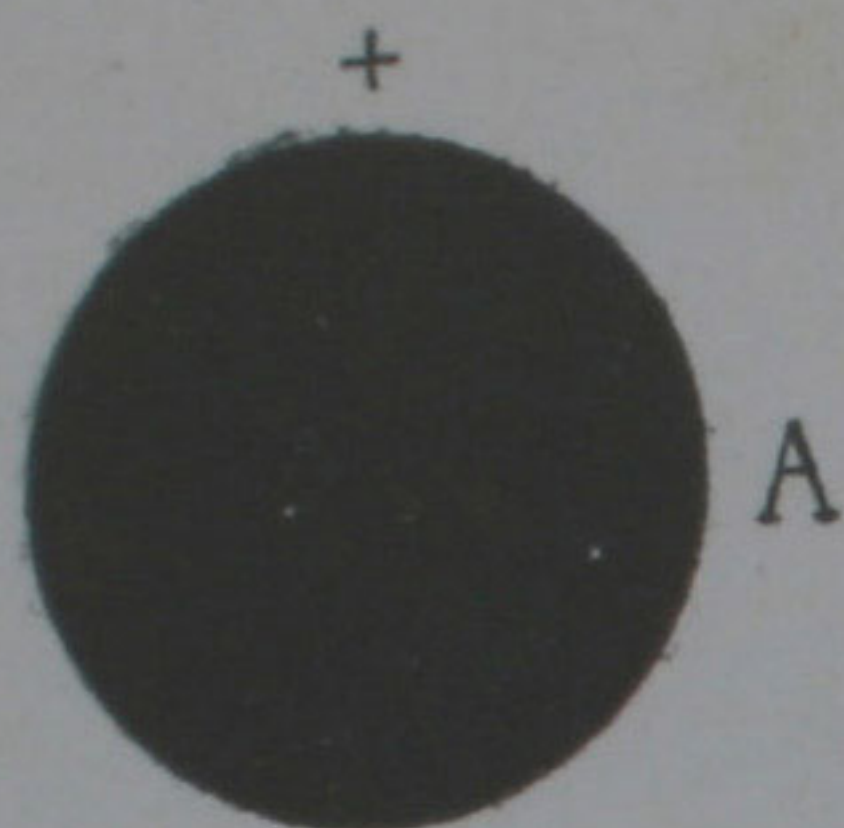


FIG. 2. — Emission constante d'électricité par une flèche de métal maintenue immobile dans l'espace par des équilibres électriques.



observé est d'une explication difficile. On sait qu'il serait impossible de maintenir dans l'espace une lame de fer entre des pôles d'aimants agissant sur elle en sens opposé. C'est seulement dans les légendes orientales qu'on voit le tombeau de fer de Mahomet, immobilisé dans l'espace par les actions d'aimants placés dans son voisinage.

La flèche d'aluminium de l'expérience précédente ne reste immobile que parce qu'elle est le siège d'une émission constante de particules. Nous n'avons pas d'ailleurs à nous occuper ici des raisons de son équilibre, mais de l'émission continue d'électricité par le métal, sous l'influence de la boule électrisée. Cette émission est mise en évidence par les petites aigrettes faciles à percevoir dans l'obscurité, qui sortent de la pointe métallique.

Etant donné le dispositif de notre expérience, l'électricité produite ne peut sortir que des éléments dont la feuille d'aluminium se compose. Comment expliquer que d'un fragment isolé de métal on retire une quantité en apparence illimitée d'électricité ?

Les lecteurs au courant de mes précédentes recherches ont certainement deviné l'explication. Elle est contenue tout entière dans l'énoncé des trois principes suivants :

1° La matière contient un réservoir énorme d'énergie ; 2° elle peut se dissocier ; 3° en se dissociant, elle libère, sous des formes diverses, l'électricité notamment, une partie de l'énergie intra-atomique accumulée en elle au moment de sa formation.

La flèche de métal de l'expérience précédente est tout à fait comparable à un fragment de radium. La seule différence est qu'au lieu de se dissocier spontanément comme le radium, le fragment d'aluminium ne se dématérialise que sous l'influence d'actions électriques.

Quand nous frottons un corps, quand nous le pla-



çons sous l'influence d'une source électrisée, quand nous le soumettons à un ébranlement quelconque de l'éther tel qu'un rayon lumineux, nous faisons tout autre chose que de transformer du mouvement ou une énergie quelconque en électricité comme les livres l'enseignent. Nous ne réalisons pas alors une transformation, mais une libération de forces. Nous dissociions simplement la matière, en faisant agir sur elle des réactifs convenables. L'électricité est une des manifestations de cette dissociation.

La grandeur de l'énergie intra-atomique étant immense, comme nous l'avons montré, on comprend qu'une portion minime de matière puisse émettre une quantité très grande d'électricité. Cette émission considérable n'est pas infinie, et il est probable que si l'expérience précédente se continuait pendant plusieurs siècles, on verrait l'aluminium se réduire de plus en plus par sa conversion en électricité et finalement disparaître. On aurait alors assisté à la transformation complète de la matière en énergie.

Toutes les expériences d'électrisation par influence relatées dans ce chapitre réalisent justement cette évolution. On aurait pu la lire dans des faits élémentaires, connus depuis plusieurs siècles.

Il résulte encore des mêmes expériences que *l'électricité, un des produits de la dissociation de la matière, est également un des plus actifs agents de cette dissociation.* Elle constitue par ses attractions spéciales sur les éléments matériels un de ces réactifs appropriés, dont l'importance a été montrée dans un des chapitres de mon précédent ouvrage. C'est un de ceux devant lesquels la matière est sans défense, alors qu'elle sait lutter contre des actions très énergiques, mais non appropriées. Les irrésistibles puissances d'attraction d'une infime particule électrique dissocient la matière que le choc d'un obus pourrait



pulvériser, volatiliser même, mais ne dématérialiserait pas.

### § 3. — LES FORMES DIVERSES DE L'INFLUENCE ÉLECTRIQUE

Dans la dernière des expériences citées plus haut, celle de la flèche d'aluminium immobilisée dans l'espace, nous avons vu l'influence se manifester avec projections de particules lumineuses, alors que dans l'expérience classique du cylindre électrisé par le voisinage d'une sphère, cette projection ne se produit pas visiblement.

Nous avons été ainsi conduit à soupçonner que le phénomène de l'électrisation par influence pouvait s'opérer suivant des mécanismes différents. Les recherches faites pour vérifier cette hypothèse nous ont permis d'en démontrer la justesse.

Remarquons tout d'abord qu'avec la théorie des électrons, l'électrisation par influence recevrait une explication très simple, puisqu'il suffirait d'admettre que des corps soumis à l'influence partent des électrons visibles ou invisibles transformés immédiatement en ions par leur passage dans l'air, d'après un mécanisme bien connu.

M. de Heen oppose à cette interprétation une sérieuse objection. Si l'électrisation par influence était due à des projections de particules provenant du corps influençant, elle serait arrêtée par l'interposition d'un verre épais, alors qu'elle ne l'est pas du tout. On le voit très bien dans les expériences données plus loin, et qui montrent l'influence s'exerçant sur un corps entièrement protégé par trois enceintes concentriques métalliques. La théorie des électrons est donc tout à fait impuissante à expliquer l'électrisation par influence. Cette dernière peut d'ailleurs résulter de mécanismes assez différents. Les expériences suivantes prouvent que des corps soumis à la même influence électrique pourront, suivant les cir-



constances, acquérir des charges de sens contraires.

Personne n'ignore — car c'est encore une des plus élémentaires expériences de la physique — que si on approche à quelque distance du bouton d'un électroscope une substance électrisée, un bâton d'ébonite ou de verre frotté par exemple, les feuilles se chargent par influence et divergent immédiatement. Elles retombent dès que le corps électrisé est retiré, parce que les charges de sens contraire produites sur la boule et les feuilles se recombinent dès que l'influence a cessé.

Des générations de physiciens et d'élèves ont répété cette expérience. S'ils avaient essayé de prolonger la présence du corps électrisé au-dessus du bouton de l'électroscope pendant quelques minutes au lieu de l'y laisser pendant quelques secondes, ils auraient constaté alors — non sans quelque étonnement peut-être — que les feuilles d'or restent écartées après qu'on a retiré le bâton électrisé et que le sens de la charge de la boule a changé, c'est-à-dire qu'elle est devenue négative de positive qu'elle était d'abord. Les effets produits dépendent d'ailleurs de la forme donnée au corps influencé, comme le montrent les figures ci-jointes (fig. 3 à 5). On voit s'y succéder des modes d'influence qui se suivent et ne se superposent pas. Impossible de les confondre, car, à chacun d'eux, correspond une charge électrique différente.

Dans le cas de la figure 5, la forme en plateau du corps influencé fait que le sens de la charge ne change pas et que les feuilles retombent quand on retire le bâton électrisé.

Dans le cas des figures 4 et 3, il en est tout autrement : les feuilles restent chargées quand on retire le bâton. Avec l'électroscope de la figure 4, l'expérience réussit en quelques secondes alors qu'il faut maintenir la présence du bâton d'ébonite pendant une douzaine de minutes pour qu'elle réussisse avec l'électroscope à boule de la figure 3.

L'explication du maintien de la charge ou de son renversement après que le bâton d'ébonite a été retiré est très simple.



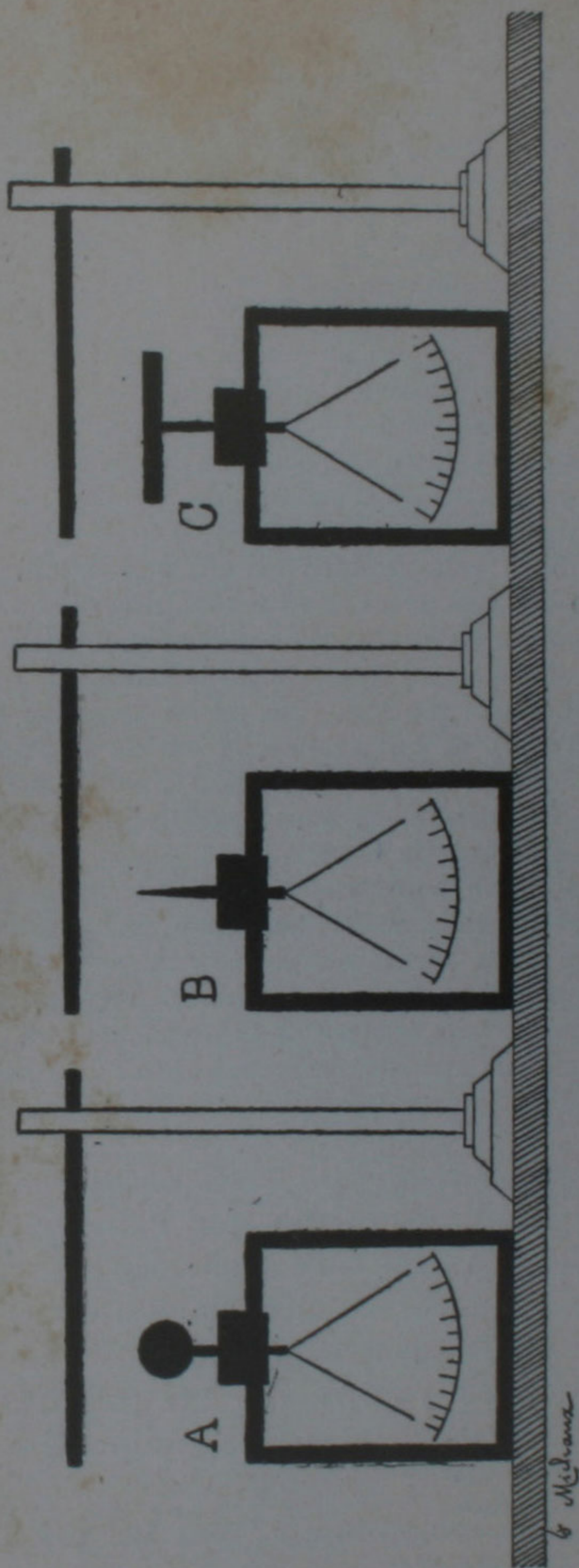


FIG. 3.

FIG. 4.

FIG. 5.

*Charges électriques de sens contraires données à un électroscope, suivant sa forme, par un corps chargé négativement.*



Prenons par exemple le cas de la figure 3. La charge de la boule sous l'influence de l'action du bâton d'ébonite, électrisé négativement, est d'abord positive et celle des feuilles négative, ainsi qu'on le sait. Si on touche la boule avec le doigt comme pour charger un électroscope par influence, la charge négative s'écoule dans le sol alors que la charge positive, retenue par l'électricité négative de l'ébonite, reste sur le bouton et se répand dans les feuilles dès qu'on retire le doigt et le bâton d'ébonite. Finalement, les feuilles sont chargées positivement.

En laissant le bâton d'ébonite un temps suffisant en présence de la boule, on constate au contraire qu'en le retirant sans toucher le bouton de l'électroscope avec le doigt, les feuilles restent chargées négativement au lieu de l'être positivement. Pourquoi ?

Dès qu'on approche le bâton d'ébonite de la boule de l'électroscope, elle se charge positivement par influence — comme dans l'expérience du cylindre relatée dans un autre paragraphe — et l'électricité négative est repoussée dans les feuilles. Si au lieu de retirer le bâton d'ébonite on prolonge sa présence, il attire lentement les particules d'électricité positive de la boule et, quand est éloigné, les feuilles d'or gardent l'électricité négative qu'elles avaient prise tout d'abord et qui se répand sur la boule. Donc, cette dernière, qui était d'abord chargée positivement, se trouve maintenant chargée négativement. Finalement tout l'instrument possède une charge d'électricité négative.

Dans la figure 4, cette transformation de la charge positive de la boule en charge négative se fait beaucoup plus vite que dans la figure 3 en raison de la forme en pointe donnée à la tige de l'électroscope. Dans la figure 5, la transformation du sens de la charge ne se fait pas du tout à cause de la disposition en plateau qui donne à l'électricité une densité beaucoup trop faible par unité de surface pour qu'elle puisse s'échapper.

La théorie de la charge d'un électroscope par influence est exactement la même que celle de l'électrisation au moyen d'une sphère électrisée placée dans le voisinage d'un cylindre, discutée dans un précédent paragraphe. La sphère électrisée représente le bâton d'ébonite, le cylindre représente les feuilles d'or et la boule de l'électroscope à laquelle elles sont fixées.

Mais si ces deux instruments sont les mêmes, la théorie de l'origine de l'électricité donnée pour l'un est valable pour l'autre. Nous avons vu qu'une sphère



électrisée placée dans le voisinage d'un cylindre métallique isolé dissocie la matière de ce dernier, et la transforme en électricité. Lorsqu'on approche un bâton électrisé de la boule d'un électroscope, on dissocie également le métal de cette boule et l'électricité qui s'y manifeste est le produit de cette dissociation.

Comme conclusion de tout ce qui précède, nous répéterons que l'électricité est un des produits de la dématérialisation de la matière, et que, si un corps simple, dissocié par un moyen quelconque, peut engendrer des quantités d'électricité immenses, c'est que la matière est un réservoir d'énergie intra-atomique colossal. Ce qu'on lui enlève, par les moyens dont la science dispose, représente des portions insignifiantes de cette énergie.

Trouver le moyen d'accroître la dissociation de la matière sera, comme je l'ai dit ailleurs, mettre dans les mains de l'homme une source de forces presque illimitée et transformer, du même coup, toutes les conditions d'existence de nos civilisations<sup>1</sup>.

#### § 4. — MÉCANISME DE LA DÉPERDITION DES CHARGES ÉLECTRIQUES PAR LES CORPS ISOLANTS.

L'électricité peut se propager dans les corps conducteurs par conduction, par convection et par influence, Comment se fait sa propagation dans les corps non conducteurs ?

On connaît la théorie de Maxwell. Pour lui, l'élec-

---

(1) Il est remarqué dans l'ouvrage de Kolbe (*Introduction to Electricity* p. 341) que notre théorie de l'énergie libérée par la désintégration de l'atome, et source des autres forces telles que l'électricité, se répand de plus en plus. Tout un mémoire de M. Innes présenté par J.-J. Thomson et publié dans les *Proceedings of the Royal Society* (p. 443, 1907) est consacré à ce sujet. « Il n'est plus douteux, dit l'auteur, qu'un immense réservoir d'énergie existe dans l'atome et que si ce réservoir pouvait être utilisé, toutes nos conditions actuelles d'existence seraient complètement révolutionnées. » On sait que je fus seul pendant longtemps à défendre cette théorie.



tricité ne circule pas dans les diélectriques parce qu'elle aurait à surmonter une résistance élastique qui va sans cesse en croissant et s'oppose bientôt à sa propagation.

Il est vrai qu'un diélectrique peut conserver très longtemps une partie de sa charge. J'ai électrisé des blocs de paraffine qui, au bout de dix-huit mois, conservaient encore une faible électrisation résiduelle. Evidemment aussi les diélectriques perdent très vite une grande partie de leur électricité, puisqu'un bâton d'ébonite frotté, dont le potentiel peut dépasser 1.500 volts, a perdu la majorité de sa charge en quelques minutes. Il est même étonnant qu'elle ne disparaisse pas plus vite si l'on admet que la quantité d'électricité retenue dans un corps se maintient à sa surface par la pression du gaz isolant et de l'éther également isolant qui l'entourent. Quand il n'y a plus équilibre entre ces actions antagonistes, l'électricité s'échappe.

Nos recherches prouvent que cette perte d'électricité d'un corps isolant se fait de deux façons : 1° par convection, c'est-à-dire par émission de particules, et 2° par conduction, c'est-à-dire en se propageant, comme pour les conducteurs, le long du corps électrisé à une de ses extrémités.

Ce dernier mode de propagation, contraire aux théories régnantes, se met en évidence par l'expérience suivante :

On se procure des tiges d'ébonite ou de paraffine ayant environ un mètre de longueur. Après les avoir électrisées à une de leurs extrémités en les frottant sur deux centimètres seulement de leur étendue, on met le bout non électrisé en contact avec un corps conducteur relié au bouton d'un électroscope. Aucun déplacement des feuilles d'or n'est d'abord observé ; mais en maintenant le contact pendant quelques minutes, l'instrument se charge lentement. L'électri-



sation s'est donc propagée le long de la partie non électrisée.

Cette expérience montre qu'en réalité l'électricité peut se propager dans les isolants comme dans les conducteurs, mais beaucoup plus lentement dans les premiers que dans les derniers. En parlant de la vitesse de l'électricité, il faut donc dire que, suivant les corps, elle circule avec une rapidité variant entre quelques centimètres par seconde, et 300.000 kilomètres pendant le même temps.

§ 5. — CAUSES DES DIFFÉRENCES DE TENSION OBSERVÉES DANS L'ÉLECTRICITÉ PROVENANT DES DÉCOMPOSITIONS CHIMIQUES ET CELLE PRODUITE PAR L'INFLUENCE OU LE FROTTEMENT.

On sait que l'électricité obtenue par les réactions chimiques qui se passent dans une pile quelconque est émise en quantité variable avec la grandeur de la pile, mais sous une tension indépendante de ses dimensions. Que la pile soit de la grandeur d'un dé à coudre ou de celle d'une maison, la tension est la même et toujours très faible puisqu'elle ne dépasse guère deux volts par élément.

Il en est tout autrement pour l'électricité retirée de la matière sans faire intervenir aucune réaction chimique, c'est-à-dire par frottement ou influence. La quantité d'électricité produite est alors extrêmement faible, mais sa tension extrêmement grande. Elle peut dépasser 1.500 volts pour un simple bâton d'ébonite frotté et atteindre facilement 50.000 volts avec la plus petite machine statique des laboratoires. Si on voulait obtenir le même voltage avec des piles, il faudrait — les tensions s'additionnant — en réunir environ 25.000 éléments.

Ces différences entre l'électricité des piles et celle des machines à frottement se traduisent par des



effets très frappants. Avec les dernières, on observe de bruyantes étincelles que ne produisent pas les premières.

Ce phénomène a beaucoup impressionné les anciens physiciens et fut l'origine de la séparation établie entre l'électricité dite statique et l'électricité dynamique, distinction qui a pesé sur la science pendant plus de cinquante ans. Malgré les dissemblances apparentes qui résultent des différences de tension, l'électricité, engendrée par une pile, est identique à celle produite par une machine statique. La pile et la machine statique fournissent l'une comme l'autre, quand on réunit leurs pôles par un fil, un courant électrique entouré d'un champ magnétique, capable de dévier l'aiguille d'un galvanomètre.

Une pile, dont les pôles sont séparés, est tout à fait comparable à une machine statique chargée, dont les pôles sont éloignés. Entre les pôles de la machine ou ceux de la pile, existe une certaine différence de potentiel. Quand ils sont réunis par un fil, l'électricité s'écoule d'un pôle à l'autre, et cet écoulement constitue le courant électrique.

L'électricité, engendrée par les décompositions chimiques des piles et celle produite par simple frottement des machines statiques, ne différant pas, pourquoi l'électricité d'une pile, produite par des décompositions chimiques, n'a-t-elle qu'une tension de 1 ou 2 volts, alors que celle obtenue par simple frottement se trouve à une tension 20 ou 30.000 fois plus forte? Les livres sont muets sur cette question.

Aucune des décompositions chimiques connues n'intervenant dans la machine à frottement ou à influence, la production d'électricité dans ces dernières a vraisemblablement une autre origine que des réactions moléculaires. Elle provient, comme nous l'avons précédemment montré, de la dissociation des atomes. Quand on retire de l'électricité d'un corps



simple soit par influence, soit par frottement, on libère simplement de l'énergie intra-atomique. Or, comme cette dernière existe dans la matière à un état de condensation extrême, il n'est pas étonnant que l'électricité en sorte sous une tension élevée. Elle est, au contraire, à un potentiel très faible lorsqu'elle résulte, non de la dissociation de l'atome, mais de changements d'équilibres moléculaires. Relativement aux énergies intra-atomiques, les énergies intra-moléculaires sont extrêmement faibles.

J'ai constaté dans diverses expériences dont la plus importante fut déjà relatée plus haut, avec quelle facilité l'énergie intra-atomique se transforme en électricité à haut potentiel.

L'électrisation par le frottement est généralement obtenue en frottant des corps isolants : résine, verre, etc. Il est préférable, pour justifier la thèse qui précède, de se servir de corps métalliques très purs; on évite ainsi tous les facteurs étrangers susceptibles d'intervenir quand on fait usage de substances complexes telles que le verre ou la résine.

Pour réaliser facilement les expériences qui vont suivre, on ajuste solidement dans des manches d'ébonite des lames de métaux divers : cuivre, aluminium, etc., ayant la forme d'un rectangle d'environ 10 centimètres de côté. Si, tenant le manche d'ébonite d'une main, on frotte légèrement la lame de métal avec une peau de chat tenue dans l'autre main, on reconnaît, en approchant ensuite le métal de l'électroscope, qu'il est chargé d'électricité à un potentiel de 1.000 à 1.500 volts. Les feuilles d'or de l'instrument deviennent parfois horizontales et même peuvent être arrachées.

L'expérience ne réussit que lorsque l'atmosphère est très sèche. Si, pour dessécher le métal, on le chauffait à 100 degrés environ ou au-dessus, il ne pourrait plus être ensuite électrisé que très faiblement par le frottement après le refroidissement. Il ne reprend alors qu'au bout d'un certain temps, variable suivant les métaux, la propriété d'être électrisé à un haut potentiel.

La température exerce peu d'influence sur certains métaux, comme le cuivre, mais une notable sur d'autres, tels que l'alu-



minium. Ce dernier ne reprend la propriété d'être fortement électrisé qu'au bout d'un quart d'heure après avoir été chauffé.

Lorsque le métal est dans les conditions où il est électrisable facilement, il suffit de passer légèrement sur lui une seule fois la peau de chat pour qu'il s'électrise à un potentiel de quelques centaines de volts. Il est donc bien exact, comme je l'ai dit ailleurs, qu'il suffit de toucher la matière pour en retirer de l'électricité. Une transformation si rapide obtenue par un moyen si simple paraît toujours extraordinaire quand on y réfléchit. Elle est d'autant plus frappante que dans l'électrisation par simple contact de deux métaux hétérogènes, le potentiel obtenu n'est que de quelques volts, c'est-à-dire si faible qu'on ne peut le constater avec un électroscope ordinaire. Volta, qui découvrit l'électrisation par contact, ne réussit à la mettre en évidence qu'avec son électroscope condensateur.

Si l'électrisation de métaux par le frottement ou par influence ne dépendait pas autant de conditions atmosphériques très variables, il pourrait y avoir avantage à remplacer les plateaux isolants en verre ou en ébonite des machines statiques, par des plateaux en métal convenablement isolés.

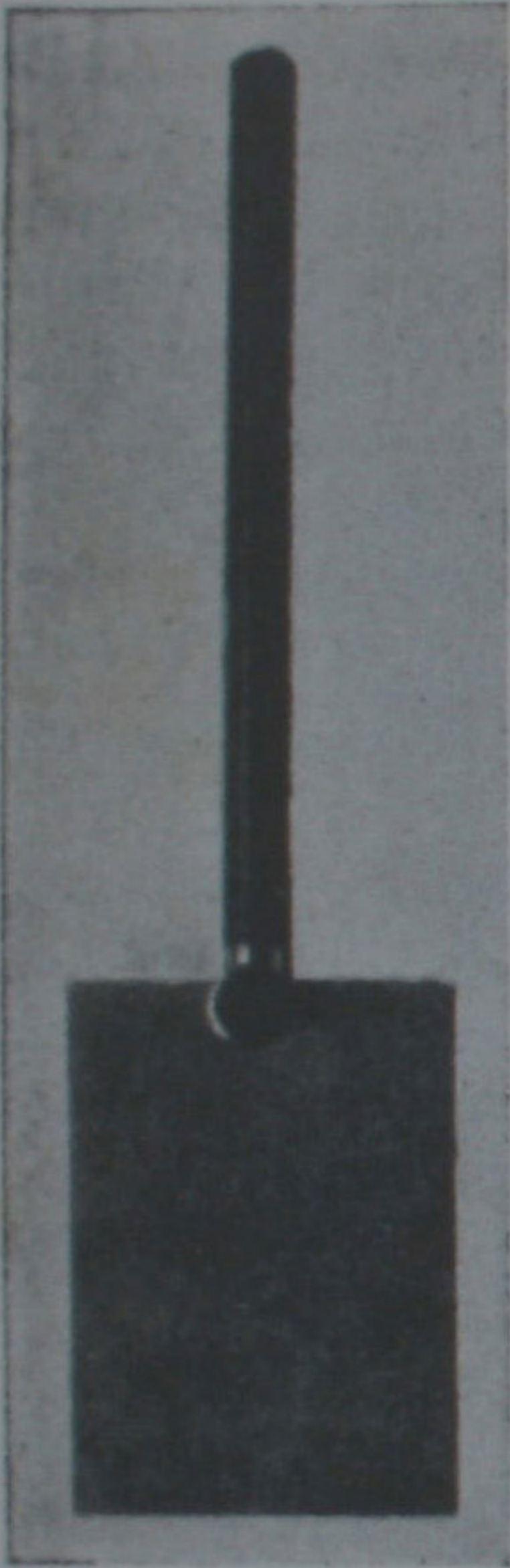


FIG. 6. — Plaque métallique isolée ayant servi aux expériences indiquées dans le texte.

Bien souvent, dans le cours de cette longue étude, nous avons constaté avec quelle facilité la matière se dissocie, malgré sa stabilité apparente, dès qu'on fait agir les réactifs auxquels elle est sensible. Les forces les plus puissantes semblent n'avoir aucune prise sur elle; on peut la broyer, la calciner, la volatiliser sans que son poids éprouve aucun changement. Et, pourtant, il suffit de la toucher légèrement, de faire tomber un faible rayon de soleil à sa surface pour que l'instabilité succède à la stabilité et que sa désagrégation



commence. De cette instabilité les forces dérivent. L'électricité, la chaleur et toutes les énergies de l'univers représentent des formes instables de la matière.

Ce qui frappe aussi dans cette étude, ce sont les énergies colossales contenues dans d'infimes particules de matière. Ces énergies jouent peut-être un rôle prépondérant dans les phénomènes biologiques. Nous l'entrevoions déjà par l'importance du rôle de substances, comme les toxines, les diastases, les corps colloïdaux, qui ne renferment que des traces impondérables de matière, mais sans doute sous une forme où peuvent se libérer ses énergies. Nous sommes en présence d'un monde nouveau de phénomènes, dont l'étude approfondie modifiera toutes nos conceptions actuelles de l'univers.



## CHAPITRE III

### Les problèmes du magnétisme, de l'induction et des lignes de force.

---

#### § I. — LE PROBLÈME DE L'AIMANTATION.

Le problème qui s'est posé devant nous à propos de l'électrisation par influence se présente également pour les phénomènes d'aimantation et d'induction.

On sait qu'un aimant permanent peut aimanter un nombre indéfini de barreaux de fer. Une quantité limitée de magnétisme semble donc pouvoir en produire une quantité illimitée.

Dire que le magnétisme d'un aimant sert uniquement à orienter les molécules du fer exposé à son action, ne constitue nullement une explication; car cette orientation nécessiterait une dépense de travail qui épuiserait le magnétisme du corps aimantant.

L'interprétation du magnétisme étant évidemment difficile, on s'en tient encore à la vieille hypothèse des courants particuliers d'Ampère, malgré toutes les objections qu'elle soulève. Celle de Lorenz — sur laquelle il insiste peu d'ailleurs — n'est pas beaucoup plus satisfaisante. « On peut, suivant lui, supposer qu'il existe dans un aimant des électrons qui tournent ou tourbillonnent. »

L'observation montre qu'il sort d'un aimant des lignes de force dont l'existence et la direction sont



mises en évidence par l'expérience classique du spectre magnétique. Leur ensemble constitue ce que l'on appelle le champ d'un aimant.

Tenons nous-en à ce fait d'expérience que le magnétisme s'accompagne d'une émission de choses de structure inconnue, appelées lignes ou tubes de force. Leur réunion forme un faisceau dont la grandeur dépend de certaines conditions, telle que la section de l'aimant.

Pour expliquer le phénomène de l'aimantation de toutes les barres de fer introduites successivement dans le champ d'un aimant, il suffit d'admettre que ses lignes de force sont captées par les masses de fer qu'elles rencontrent et remplacées immédiatement par d'autres, égales en nombre, sorties de l'aimant.

Mais nous ne faisons ainsi que reculer la difficulté. Comment un aimant remplacera-t-il indéfiniment les lignes de force perdues par lui en aimantant un autre corps?

Nous expliquerons cette production, d'apparence illimitée, en recourant encore à notre théorie de la dissociation de la matière et de la libération de l'énergie intra-atomique qu'elle contient en quantité immense. Ses manifestations sont nombreuses. A celles déjà mentionnées, chaleur et électricité, il faut sans doute ajouter le magnétisme.

Un aimant peut engendrer un nombre presque illimité de lignes de force, absolument comme un fragment de radium peut engendrer une quantité presque illimitée de chaleur et de certaines radiations. Ces radiations, elles aussi, sont susceptibles d'être captées par les corps voisins et de leur donner les propriétés du radium lui-même. Ce phénomène auquel on donne le nom de radio-activité induite, présente de grandes analogies avec l'aimantation induite par le voisinage d'un corps aimanté.

Je n'insisterai pas sur l'interprétation qui précède



parce qu'il est impossible d'en vérifier expérimentalement la valeur. Les physiciens ont à peu près renoncé d'ailleurs à expliquer les problèmes relatifs à l'aimantation. M. Lucien Poincaré a très bien montré dans le passage suivant combien est misérable l'explication la plus généralement admise :

« Un aimant attire un courant ; il y a donc du travail mécanique produit ; mais d'où provient-il, ce travail?... Il nous resterait toujours, pour ne pas avouer notre embarras, la ressource de nous payer de mots et de dire que le travail recueilli provient d'une diminution de l'énergie potentielle du système. Aussi bien, est-ce de cette façon que l'on traduit — je ne dis pas que l'on explique — la manière dont agissent l'un sur l'autre deux aimants permanents.

« Mais lorsque l'on voit un courant qui se déplace sous l'action des forces électromagnétiques et que l'on constate que l'on peut ainsi obtenir des rotations continues, il paraît bien peu vraisemblable que le travail recueilli puisse provenir, dans ce cas, d'une perte compensatrice dans l'énergie potentielle du système. Il faudrait, en effet, supposer que cette énergie a, pour ainsi dire, une valeur infinie ; et cette supposition répugne presque au bon sens. »

## § 2. — LE PROBLÈME DE L'INDUCTION.

Le même problème se pose également pour l'induction. Comment, avec une quantité définie de magnétisme, pouvons-nous produire une quantité en apparence illimitée d'électricité induite ?

En coupant les lignes de force d'un aimant par un fil métallique formant une boucle dont les extrémités sont reliées aux bornes d'un galvanomètre, on constate pendant le passage du fil à travers les lignes de force l'apparition d'un courant dit d'induction. L'opération peut être répétée indéfiniment. Il suffit de déplacer d'une façon continue le fil métallique dans le champ magnétique pour obtenir, tant que se répèteront les déplacements, des courants d'induction.

Sur ce fait fondamental de la production d'un courant par un corps conducteur coupant des lignes de



force sont basées les machines magnéto-électriques dont les dynamos ne diffèrent que parce qu'un électro-aimant remplace l'aimant fixe. Nous n'envisageons ici que les premières qui permettent de rendre plus claire notre démonstration.

Dans ces machines magnéto-électriques, le fil unique supposé plus haut est enroulé sur une bobine tournant entre les pôles d'un aimant fixe, de façon à couper et recouper ses lignes de force. Tant que la bobine continuera son mouvement, le magnétisme de l'aimant se transformera en électricité. Avec une quantité finie de magnétisme, nous produirons donc une quantité illimitée d'électricité.

Dans les théories actuelles on explique cette génération indéfinie d'électricité aux dépens d'une quantité limitée de magnétisme, en disant que le mouvement de rotation de la bobine s'est transformé en électricité, ou, si on préfère, que le travail dépensé contre les forces électromotrices se retrouve sous forme d'énergie électrique. Une telle métamorphose serait aussi merveilleuse en réalité que celle du plomb en or, en se bornant à le secouer dans un flacon. Il est peu vraisemblable que de l'énergie cinétique puisse subir une semblable transformation, et il faut chercher une autre interprétation au phénomène.

L'explication proposée, et qui sera encore celle donnée plus haut pour des phénomènes du même ordre, ne fait appel à aucune transmutation. La matière se dissociant facilement et constituant un immense réservoir d'énergie intra-atomique, il suffit d'admettre que les lignes de force captées par le corps conducteur qui les coupe et les laisse s'écouler sous forme de courant électrique, sont constamment remplacées aux dépens de l'énergie intra-atomique. Cette dernière étant relativement presque inépuisable, un seul aimant pourra fournir un nombre de lignes de force presque infini.



Le déplacement du corps conducteur dans le champ magnétique sert uniquement à le mettre dans la condition nécessaire pour absorber des lignes de force et leur donner la forme de courant électrique. Il faut une quantité déterminée de mouvement et, par conséquent, de travail pour engendrer une certaine quantité d'électricité; mais on n'est nullement fondé à en déduire la transformation en électricité du simple mouvement d'un corps.

Donc, en voyant fonctionner ces gigantesques dynamos, d'où s'écoulent des torrents de fluide électrique, nous ne devons pas dire qu'elles représentent du mouvement transformé en électricité. C'est simplement l'énergie intra-atomique de la matière dissociée qui apparaît sous forme d'électricité.

Ici encore se montre la fécondité des principes que nous avons posés sur la dissociation de la matière et la grandeur de l'énergie intra-atomique. L'immense réservoir des forces contenues dans la matière permet l'explication de la plupart des phénomènes, depuis l'électricité qui éclaire nos rues, jusqu'à la chaleur solaire d'où la vie dérive.

### § 3. — LE PROBLÈME DE L'ORIGINE DES LIGNES DE FORCE.

Dans la plupart des phénomènes précédemment étudiés sont intervenues les lignes de force. Elles semblent l'élément fondamental de l'électricité.

Faraday, partant de cette idée, contraire d'ailleurs à celles de la plupart des physiciens de son temps, que la matière ne peut agir à distance, c'est-à-dire là où elle n'est pas, en avait déduit l'existence d'un intermédiaire reliant les corps électrisés. Il fut ainsi amené à reconnaître que ces derniers sont entourés de lignes de force dans tout l'espace, dit champ électrique, où se produit leur action.



L'illustre physicien attribuait à ces lignes une existence très réelle et ne les considérait nullement comme une simple expression mathématique. Il y voyait des sortes de ressorts élastiques se repoussant mutuellement et reliant les corps chargés d'électricité de nom contraire. Leurs extrémités, fixées à ces corps, constituaient la charge électrique.

Faraday mit en évidence les lignes de force entourant les aimants au moyen de l'expérience classique du carton saupoudré de limaille de fer, au-dessous duquel sont placés les deux pôles d'un aimant. Cette limaille se répartit sur le carton dans la direction des lignes de force.

Par voie d'extension, Faraday supposa les corps électrisés entourés de lignes de force analogues à celles enveloppant les pôles d'un aimant. Plusieurs moyens permettent, aujourd'hui, de rendre leur existence évidente. J'ai pu les photographier en utilisant les ions lumineux qui, pendant les décharges électriques, suivent leur direction. La figure 7 montre les lignes de force rayonnantes autour d'un corps électrisé isolé. La figure 8 indique la répulsion des lignes de force entre deux corps chargés d'électricité de même nom.

De quoi se composent les lignes de force? Quelle est leur structure? Maxwell les considérait comme formées de cellules d'éther tourbillonnant autour de lignes prises comme axes, entre lesquelles existeraient des particules constituant l'électricité. Aucune expérience ne permet de justifier cette théorie. Nous devons nous borner à constater l'action des lignes de force sans rien pouvoir dire de leur structure.

Elles possèdent des propriétés montrant qu'elles se produisent dans l'éther plutôt que dans la matière, dont cependant elles semblent sortir.

Une des plus fondamentales, suivant nous, est de traverser sans aucune difficulté, ou de se conduire



comme si elles traversaient toutes les substances matérielles, conductrices ou isolantes, ce que ne font qu'à un faible degré les rayons X et les particules émises par le radium. Ce fut précisément, parce que cette propriété avait très peu frappé les physiciens

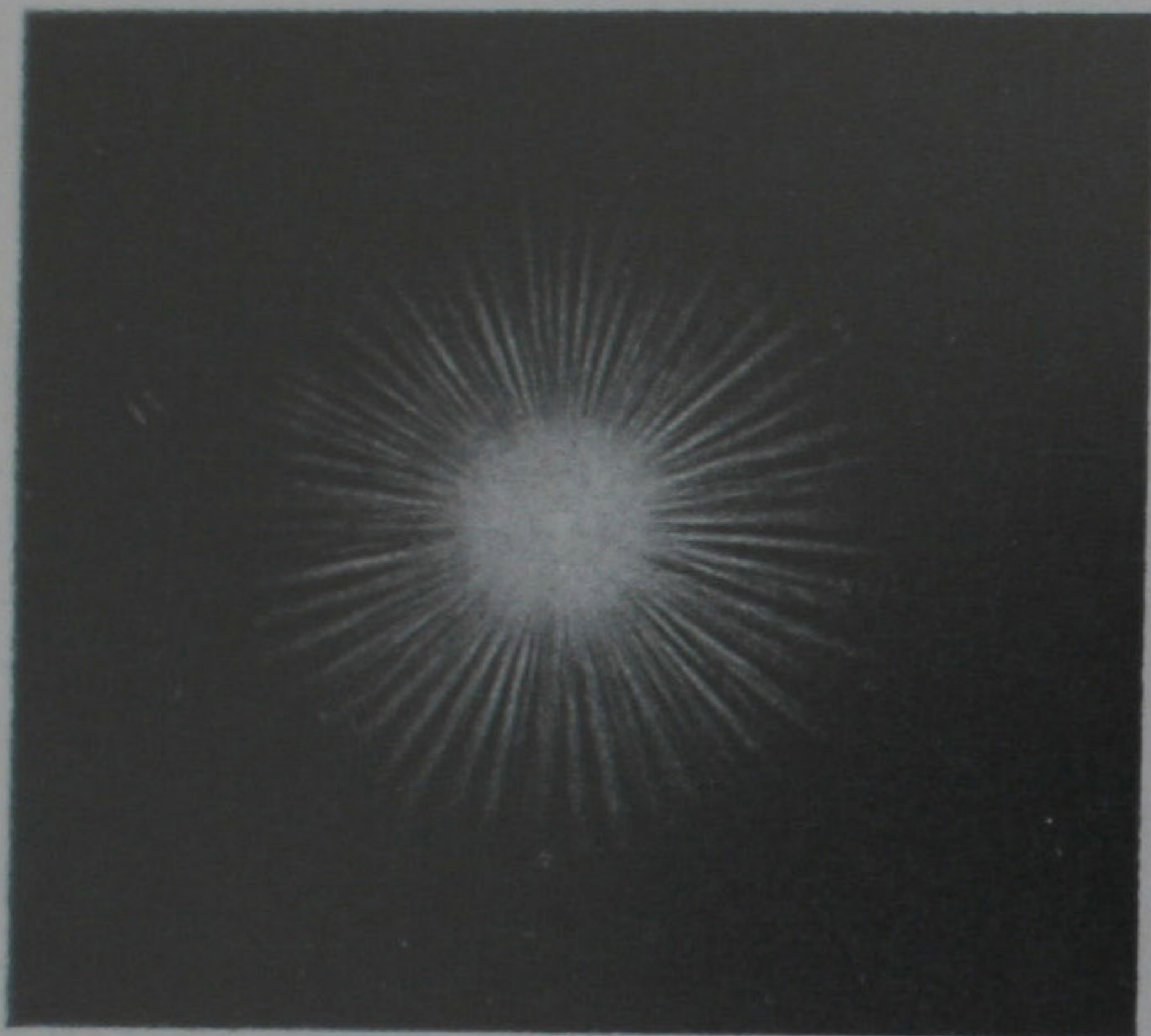


FIG. 7. — Photographie des lignes de force entourant un corps électrisé isolé.

qu'ils furent si impressionnés à l'époque de la découverte de radiations passant à travers la matière. Les corps peuvent cependant être traversés par les lignes de force beaucoup plus facilement que par les rayons X. Si les premières avaient été capables d'agir sur la plaque photographique, les rayons X n'eussent jamais provoqué l'émotion dont on se souvient. Leur passage imparfait à travers les corps permit seul la célèbre photographie du squelette de la main dont on a tant parlé.

L'expérience de la cage de Faraday, montre que les



corps entourés d'une enceinte métallique reliée à la terre ne reçoivent aucune charge électrique.

Mais en supprimant cette mise à la terre, un métal isolé n'oppose pas d'obstacle à leur action.

L'appareil représenté figure 9 prouve que l'on peut

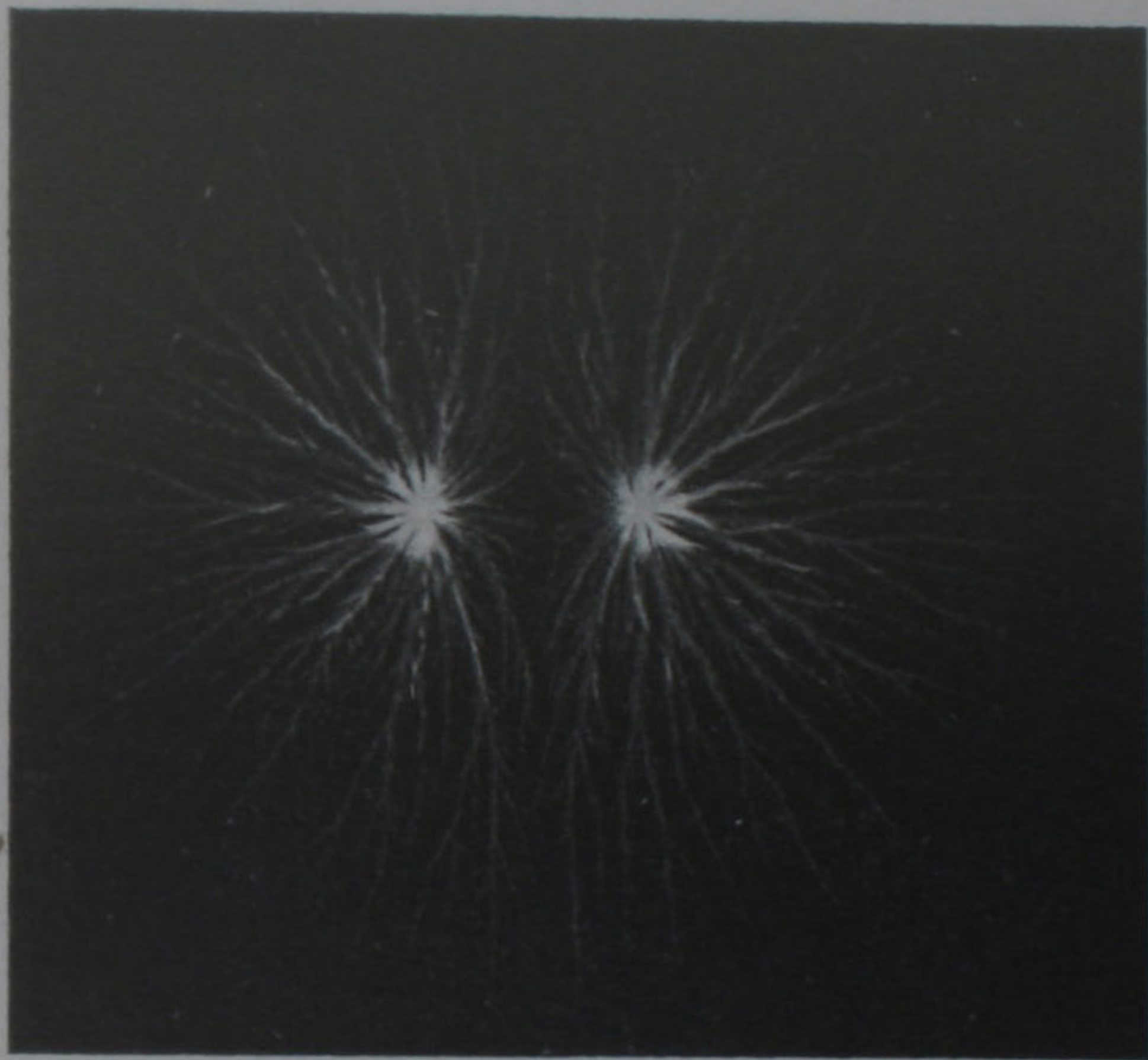


FIG. 8. — Photographie des répulsions des lignes de force entre deux corps chargés d'électricité de même signe.

charger instantanément un électroscope protégé par trois cylindres concentriques qui peuvent être en métal ou en ébonite. Bien entendu, les cylindres métalliques reposent sur un support isolant.

La transparence des corps pour les lignes de force magnétiques est aussi complète que pour les lignes de force électriques, mais trop connue pour avoir besoin de démonstration. Chacun sait qu'un aimant agit sur une boussole à travers une porte ou un corps



métallique non magnétique. Rien de plus facile à vérifier d'ailleurs. A quelque distance d'un aimant, on observe la déviation de l'aiguille d'une boussole,

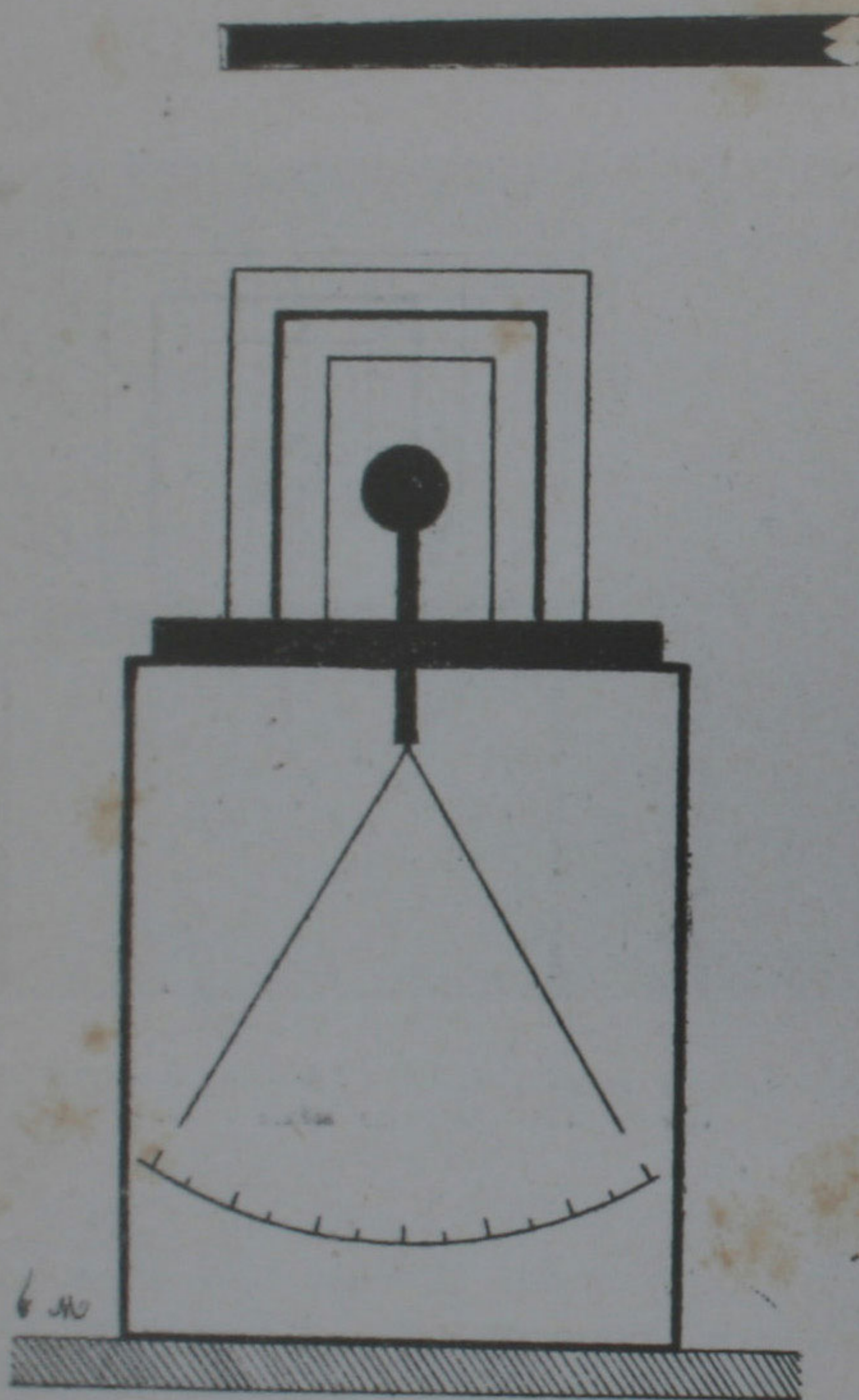


FIG. 9. — Electrification à travers trois enceintes concentriques métalliques ou isolantes d'épaisseurs variées entourant la boule d'un électroscope.

puis on interpose entre eux une plaque épaisse de métal non magnétique. L'aiguille de l'instrument ne se déplace pas. Les lignes de force traversent donc le



métal sans y subir aucune trace d'absorption pour agir sur la boussole. Mais si le corps interposé était susceptible d'aimantation, il capterait les lignes de force de l'aimant et constituerait alors ce qu'on appelle un écran magnétique. C'est justement, nous l'avons dit, ce captage des lignes de force qui produit l'aimantation et aussi l'induction quand on déplace un conducteur dans un champ magnétique.

Ces lignes de force, dont nous venons de montrer les propriétés, n'ont aucune analogie avec les substances matérielles, il est pourtant évident qu'elles proviennent de la matière. Le voisinage d'un bâton de verre ou de résine électrisé les en fait sortir, et il suffit de retirer ces derniers pour qu'elles y retournent.

Sans même approcher de la matière un corps électrisé, on en retire des lignes de force. Il suffit de mettre en contact deux substances hétérogènes. On constate alors que les deux corps sont reliés par des lignes de force qui s'allongeront ou se raccourciront suivant l'écartement des surfaces. Ce sont de véritables fils élastiques, comme l'admettait Faraday ; mais de quoi sont-ils formés ? S'ils se composent uniquement d'éther, leur propriété de s'allonger indéfiniment ou de se raccourcir jusqu'à des dimensions moléculaires n'est pas d'une interprétation facile.

Il n'est plus guère possible aujourd'hui de contester l'existence réelle des lignes de force. Un champ magnétique, formé par leur réunion, est une sorte de milieu visqueux entraînant les corps qui y sont plongés quand on le met en mouvement et c'est pourquoi les masses métalliques, introduites dans un champ magnétique, le suivent dans sa rotation. L'industrie électrique utilise aujourd'hui ces « champs tournants » pour mettre en mouvement un corps sans aucun mécanisme matériel.



Ces faits, peu explicables encore, contribuent surtout à mettre en évidence les relations étroites de la matière avec l'éther, sur lesquelles nous avons tant insisté et dont la science actuelle fait encore deux domaines profondément distincts. Lorsqu'on n'en étudie que des formes extrêmes, un rayon de soleil et un bloc de métal, par exemple, ils semblent en effet très divers. Mais, par l'examen des éléments intermédiaires reliant leurs si dissemblables apparences, on montre que l'éther et la matière ne sont pas deux mondes séparés, mais un seul et même monde.



## CHAPITRE IV

### Les ondes électriques.

---

#### § 1. — PROPRIÉTÉS DES ONDES ÉLECTRIQUES.

En 1888, le physicien Hertz découvrit que les décharges électriques oscillantes engendrent dans l'éther une série d'ondulations analogues à celles produites par la chute d'un corps dans l'eau. Il démontra que ces ondes se propagent, se réfractent, se polarisent comme la lumière et circulent avec la même vitesse, n'en différant que par leurs dimensions. Les plus petites ont 5 millimètres de longueur, alors que les ondes lumineuses, les plus grandes, ont 50 microns. Les dernières sont donc cent fois plus petites que les premières.

Les ondes électriques produisent sur les corps conducteurs qu'elles rencontrent des courants d'induction. Ce fut en observant les étincelles ainsi engendrées que Hertz révéla l'existence des ondes qui portent actuellement son nom. C'est sur la propagation de ces ondes, dans l'espace, qu'est basée la télégraphie sans fil. Pour déceler au loin leur présence, il suffisait de trouver un réactif analogue à l'oreille pour le son ou la plaque photographique pour la lumière.

Les seuls caractères communs aux ondes électriques et à la lumière sont leur vitesse de propagation et



leur propriété de pouvoir être réfléchies, réfractées et polarisées. Mais il faut remarquer qu'un ébranlement périodique de l'éther, quelle qu'en soit la cause, possédera nécessairement de semblables propriétés. Il est donc peut-être excessif d'en déduire l'identité des ondes hertziennes et lumineuses. On n'en aurait le droit que si ces dernières possédaient elles aussi des propriétés électro-magnétiques et pouvaient, par conséquent, produire des courants d'induction sur les conducteurs. Or, on n'a jamais pu obtenir avec les ondes lumineuses aucun phénomène électrique ou magnétique ni constater leur propagation le long d'un fil, comme pour les ondes électriques.

Il serait d'ailleurs sans intérêt d'insister sur ces différences. La théorie électro-magnétique de la lumière actuellement admise correspond à un besoin de simplification et d'unification général en physique aujourd'hui. Le temps seul peut remonter de tels courants.

Renonçant donc à contester la valeur d'analogies universellement acceptées maintenant, nous nous bornerons à remarquer, en passant, que les ondes hertziennes sont à l'électricité ce qu'est la chaleur rayonnante à celle qui circule dans la matière. Un corps chaud rayonne dans l'éther des ondes dites de chaleur rayonnante, qui élèvent la température des substances sur lesquelles elles tombent. Un corps électrisé déchargé brusquement rayonne des ondes dites électriques, qui peuvent charger d'électricité le corps qu'elles rencontreront. Il y a là un parallélisme qui ne conduit nullement d'ailleurs à une identité. Les causes déterminant la production des ondes de la chaleur rayonnante ne semblent posséder que de lointaines analogies avec celles des ondes électriques.



## § 2. — SENSIBILITÉ DE LA MATIÈRE POUR LES ONDES ÉLECTRIQUES.

Plus on étudie la matière, plus on est frappé par son extraordinaire sensibilité. Sous son apparente rigidité elle possède une structure très compliquée et une vie intense. Des fragments de métal peuvent être impressionnés à plusieurs centaines de kilomètres par de simples vibrations de l'éther, au point de devenir conducteurs pour des courants électriques qu'ils ne laissaient pas d'abord passer. Cette impressionnabilité fournit un nouvel indice des relations qui relient l'éther et la matière.

Le réactif des ondes électriques employé par Hertz était peu sensible. Il consistait simplement en un fil courbé en cercle, terminé à ses extrémités par deux boules très rapprochées. Promenant dans l'espace ce récepteur, il vit éclater entre les boules, sur le passage des ondes, de petites étincelles d'induction produites par leur action. Recevant ces ondes sur de grands miroirs cylindro-paraboliques en métal, il reconnut que la plus grande production d'étincelles se manifestait à leur foyer. Leur faisant traverser un prisme d'asphalte, il observa qu'elles étaient déviées. Ainsi furent démontrées leur réflexion et leur réfraction.

Le récepteur de Hertz était très peu sensible, puisqu'il ne permettait pas de révéler l'existence des ondes électriques à plus de quelques mètres de leur point d'émission. Cette insensibilité fut une circonstance heureuse, car si Hertz avait fait usage des récepteurs employés maintenant pour la télégraphie sans fil, les phénomènes de la réflexion, de la réfraction et de la polarisation n'auraient pu être découverts qu'avec la plus grande difficulté. Nous avons souvent constaté, en effet, que des récepteurs sensibles, placés au foyer des miroirs de Hertz, à côté ou même der-



rière eux, donnent des indications identiques. Nous aurons occasion d'expliquer pourquoi. Comme cela fut souvent observé dans l'histoire des sciences, l'instrument grossier rendit plus de services qu'un instrument délicat.

Avec les récepteurs peu sensibles qu'employait Hertz, les appareils producteurs des ondes devaient

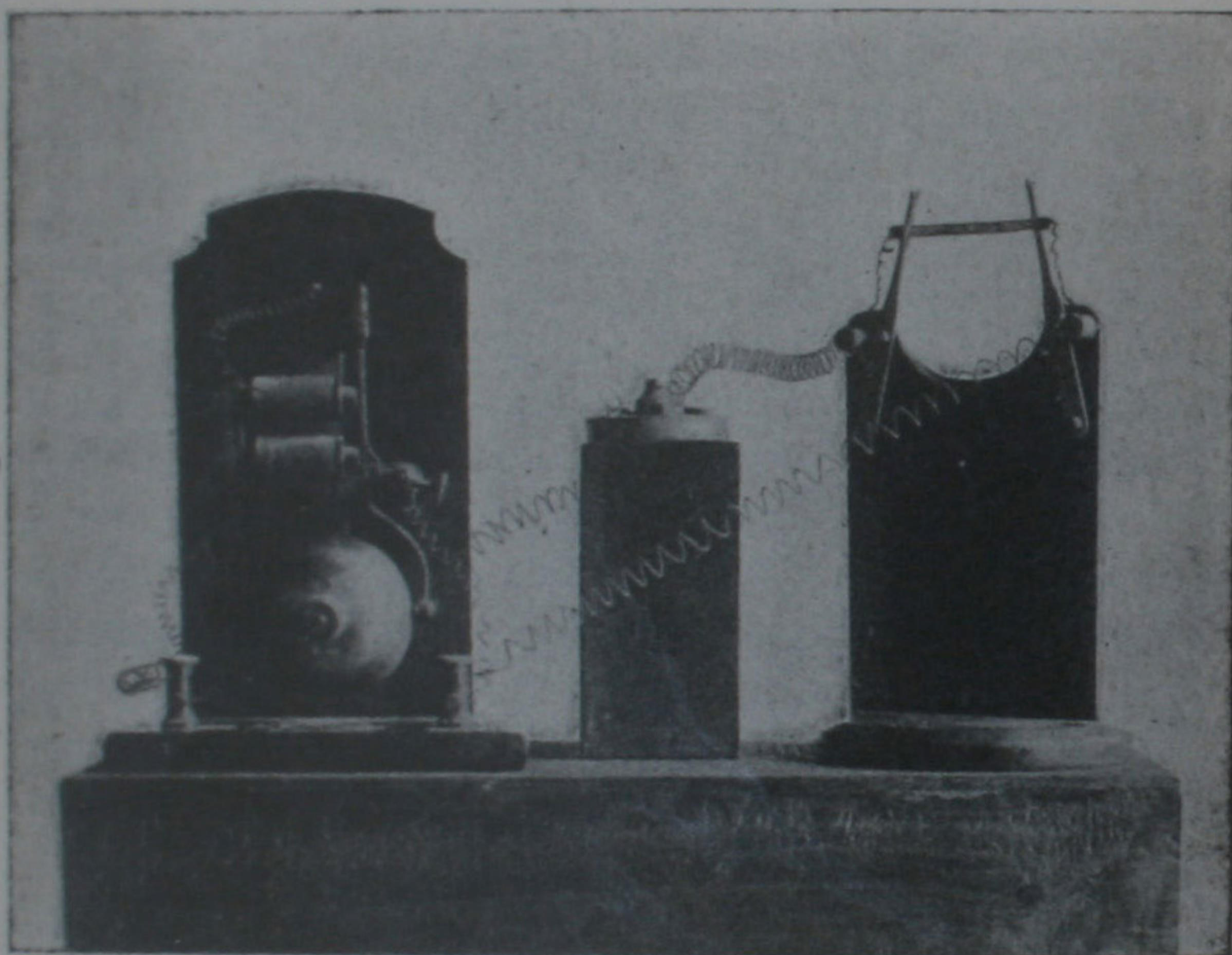


FIG. 10. — Appareil employé pour révéler la présence des ondes hertziennes. (Tube à limaille de Branly et sonnerie intercalés dans le circuit d'une pile.)

être très puissants et par conséquent fort volumineux. Grâce au récepteur découvert par Branly, les plus insignifiantes étincelles suffisent, au contraire, à les impressionner.

Malgré sa merveilleuse sensibilité, le récepteur, dit radio-conducteur ou tube à limaille, est si simple que chacun peut le construire facilement.

Il consiste uniquement, en effet, en un petit tube



de verre contenant deux tiges de métal écartées de 2 ou 3 millimètres, entre lesquelles on interpose un peu de limaille métallique. Ainsi constitué ce tube est isolant ; frappé par les ondes électriques d'un radiateur qui peut être placé à des centaines de kilomètres, il devient conducteur et laisse passer le courant de la pile dans le circuit de laquelle il est intercalé avec un électro-aimant destiné à faire fonctionner un télégraphe Morse ordinaire. Un simple choc sur le tube, donné automatiquement par un autre électro-aimant, intercalé dans le même circuit avec un relai, le ramène à son état primitif et permet un nouveau signal.

Comme je le disais à l'instant, ces récepteurs sont tellement sensibles que la source la plus faible d'électricité est suffisante pour agir sur eux. La difficulté n'est pas d'obtenir des ondes électriques, mais plutôt de réussir à n'en pas produire, lorsqu'on désire les éviter. Toute décharge brusque d'un corps électrisé, si petite que soit l'étincelle, produit des ondes électriques. On en détermine en frottant un bâton de résine, en faisant fonctionner une sonnette électrique, en ouvrant ou en fermant le circuit d'une pile, etc. J'ai pu faire agir, à 50 centimètres, un récepteur sensible avec l'étincelle d'un simple bâton d'ébène frotté et touché ensuite par un objet métallique de capacité quelconque, une clef ou une pièce de monnaie par exemple.

La découverte, par Branly, de la variation de conductibilité des limailles métalliques sous l'influence des ondes hertziennes, bien que restée inaperçue lors de sa publication, constitue certainement une des plus remarquables découvertes de la physique moderne, non pas seulement parce qu'elle a rendu possible la télégraphie sans fil, mais surtout parce qu'elle ouvre des horizons fort imprévus sur des phénomènes encore très mystérieux, et sur lesquels la sagacité des



physiciens aura sans doute à s'exercer pendant longtemps.

Il s'agit là de ce fait très général et n'ayant rien de spécial aux limailles métalliques que des fragments de métaux en contact, présentant au passage de l'électricité une résistance extrêmement considérable. 30.000 ohms, par exemple, deviennent conducteurs sous l'influence d'ondes électriques très faibles et perdent cette conductibilité par simple choc. Ces différences indiquent une grande variabilité dans l'agrégation des atomes sous des actions infiniment faibles, mais appropriées.

La plupart des conducteurs discontinus peuvent présenter ces variations. Or, nous ne manions guère que des conducteurs discontinus. Un conducteur continu, tel qu'un fil métallique, devient discontinu dès qu'on le relie par des bornes à une pile. Et, comme nous venons de voir, que dans un conducteur discontinu la résistance n'est pas du tout — au moins pour un grand nombre de métaux — une grandeur constante dépendant de la section et de la longueur du fil, comme le voudrait la loi de Ohm, il s'ensuit que la conductibilité de certains corps métalliques peut varier dans d'immenses proportions, suivant le serrage des fils par les bornes et les circonstances dans lesquelles on en fait usage. Même avec un serrage constant, cette résistance peut encore considérablement varier, puisqu'il suffit de faire éclater une étincelle dans le voisinage pour modifier la résistance du contact. Or, le fait seul d'ouvrir ou fermer un courant produit de telles étincelles. Un tube à limaille à résistance variable ne constitue qu'une exagération de ces effets.

Il est facile d'illustrer ce qui précède par une expérience fort curieuse due à Branly. On forme une colonne métallique de 30 à 40 centimètres de hauteur par la superposition d'une série de disques métalliques polis, fer, bismuth, aluminium, etc., de la



dimension d'une pièce de 5 francs. La colonne peut être même uniquement formée de billes d'acier poli superposées dans une éprouvette. La résistance au passage d'un courant électrique est toujours considérable. Elle devient presque nulle si on fait éclater une petite étincelle dans son voisinage. Pour la faire reparaitre, il suffira de donner un choc sur la partie supérieure de la colonne.

Ces variations s'exagèrent encore, si la colonne au lieu d'être faite d'un même métal est composée de disques de métaux différents. Avec une colonne de disques alternés de plomb et d'aluminium, quelques chocs portent la résistance à environ 30.000 ohms et des ondes électriques très faibles envoyées à distance réduisent cette énorme résistance à 3 ohms.

Cette variabilité de la résistance ne s'observe pas chez tous les métaux en contact, le cuivre notamment fait exception, et il est heureux qu'il en soit ainsi. La loi de Ohm,  $I = \frac{E}{R}$ , implique naturellement la connaissance de R. Or, si les physiciens qui l'ont établie s'étaient servis de fils de divers métaux autres que le cuivre ou ceux jouissant des mêmes propriétés, elle n'eût pu être trouvée. Ils auraient constaté en effet, en se servant d'un appareil de mesure quelconque — un pont de Wheastone par exemple — que la résistance varie constamment dans de grandes proportions pour une longueur donnée de fil et que les variations de serrage des bornes n'expliquaient pas ce phénomène. Eurent-ils même reconnu l'influence d'une étincelle éclatant dans le voisinage, — que l'ouverture ou la fermeture du courant de la pile employée dans les expériences produit toujours — ils n'en auraient déduit aucune mesure, tant les effets de ces étincelles sont variables d'une expérience à l'autre. La conclusion finale eût été sans doute qu'un fil de dimension constante peut, dans des circons-



tances en apparence identiques, laisser écouler des quantités très différentes d'électricité, contrairement à la loi de Ohm. Cette loi, base de toutes nos connaissances en électricité, n'eût été sans doute trouvée que beaucoup plus tard et par des moyens très détournés.

La propriété particulière à un petit nombre de métaux, tel que le cuivre, de ne pas être influencés par les ondes électriques semble pouvoir se communiquer aux corps voisins, comme si ces métaux possédaient une sorte d'atmosphère métallique. Prenons une colonne de disques de cuivre, métal de conductibilité invariable. La résistance de cette colonne sera une grandeur constante dépendant de la hauteur des disques et de leur diamètre et obéissant par conséquent à la loi de Ohm. Prenons une seconde colonne de disques d'aluminium, métal à conductibilité variable, leur résistance changera dans des proportions considérables suivant les conditions, — choc, envoi d'ondes électriques que nous avons énumérés. Mélangeons maintenant les disques des deux colonnes, de façon qu'à un disque de cuivre succède un disque d'aluminium. Le cuivre communique ses propriétés à l'aluminium et la colonne se conduit comme si elle se composait uniquement de cuivre. Sa résistance est devenue invariable. Elle obéit maintenant à la loi de Ohm.



§ 3. — LA PROPAGATION DES ONDES ÉLECTRIQUES A DISTANCE  
ET LEUR FUTURE UTILISATION.

Nous avons vu les ondes hertziennes se propager dans l'espace à des centaines de kilomètres et déterminer sur les corps métalliques qu'elles rencontrent des courants électriques d'induction capables de se manifester sous forme d'étincelles.

Cette production d'électricité à distance est très faible parce que les ondes électriques dispersent leur énergie dans toutes les directions de l'horizon. Mais il en serait tout autrement si nous pouvions les concentrer sur un seul point au moyen de miroirs ou de réflecteurs comme on le fait pour la lumière. De tels réflecteurs (miroirs cylindro-paraboliques) ont bien été utilisés par Hertz dans ses expériences puisqu'il démontra grâce à eux la réflexion des ondes électriques, malheureusement en raison de la grandeur de ces ondes et des phénomènes de diffraction qui en sont la conséquence, une grande partie de l'énergie est perdue. Pour la concentrer, il faudrait donner au miroir des dimensions gigantesques.

Cependant je ne crois pas du tout la solution du problème impossible et si je n'ai pas exécuté le plan des recherches que j'avais l'intention de réaliser à ce sujet, c'est uniquement en raison des dépenses qu'elles devaient entraîner. Je me proposais de placer à côté l'un de l'autre et en contact un grand nombre de miroirs cylindro-paraboliques. Il n'est pas nécessaire de les supposer très hauts, car on amène facilement les ondes à se former dans un plan de faible épaisseur. J'aurais ensuite essayé de produire des champs électriques extrêmement intenses comme ceux obtenus avec divers instruments, le résonateur de Oudin, notamment. Quand ce dernier fonctionne avec une bobine de 60 centimètres d'étincelle, tous les



objets métalliques d'une chambre de 10 mètres de longueur sont chargés d'électricité par induction, à ce point qu'ils émettent spontanément des milliers d'étincelles. Elles produisirent une fois devant moi à plusieurs mètres des courts-circuits dans un tableau de distribution comprenant des voltmètres, ampèremètres, etc., reliés par des fils métalliques à double couche isolante. Ces courts-circuits eurent pour résultat de faire fondre les fils, et il fallut arrêter vite l'expérience sous peine d'incendie.

Le problème, d'envoyer à distance un faisceau d'ondes hertziennes parallèles, ne possède pas seulement un intérêt théorique. Il est permis de dire que sa solution rendant les guerres impossibles changerait l'orientation de nos civilisations. Le physicien qui réalisera le premier cette découverte pourra profiter de la présence de cuirassés d'une puissance ennemie, réunis dans une rade, pour les faire exploser en quelques minutes, à plusieurs kilomètres de distance, simplement en dirigeant sur chacun d'eux une gerbe de radiations électriques. Arrivant aux fils métalliques dont sont sillonnés aujourd'hui ces navires, elles provoqueront une atmosphère d'étincelles qui fera éclater aussitôt les obus et les torpilles accumulés dans leur flancs.

Avec le même réflecteur donnant un faisceau de radiations parallèles, il ne sera pas beaucoup plus difficile de provoquer l'explosion de la provision de poudre et d'obus contenus dans une forteresse, puis celle des parcs d'artillerie d'un corps d'armée, enfin les cartouches métalliques des soldats. Les guerres que la science rendit d'abord si meurtrières deviendraient finalement impossibles. Les relations entre peuples devront alors s'établir sur des bases nouvelles.

Il ne faudrait pas supposer qu'un moyen quelconque pourrait protéger un navire ou une forteresse de



l'action des ondes hertziennes. Sans doute nos expériences ont prouvé, comme nous le verrons dans un prochain chapitre, qu'une feuille de métal de  $1/100$  de millimètre arrête complètement les ondes électriques; mais ces mêmes expériences prouvent aussi que cette protection théorique est entièrement illusoire. La moindre fente existant entre les joints d'une enceinte laisse passer sans difficulté les ondes hertziennes.

Il serait sans intérêt d'insister davantage. J'ai plus d'une fois rencontré, dans mes recherches, de ces problèmes dont la solution modifierait plus profondément la marche de la civilisation que tous les changements de constitutions et de réformes. C'est uniquement aux progrès de la science que les grandes transformations sociales peuvent être demandées.



## CHAPITRE V

### Transparence de la matière pour les ondes électriques.

---

#### § 1. — HISTORIQUE DES IDÉES RELATIVES A LA TRANSPARENCE DES CORPS POUR LES ONDES HERTZIENNES.

Les idées qui régnaient sur la transparence des corps pour les ondes hertziennes, lorsque nous publiâmes nos recherches en 1899, étaient très erronées. L'expérience paraissait indiquer que tous les métaux sous une faible épaisseur et les corps isolants sous une épaisseur quelconque, étaient traversés.

Dès le début de ses recherches, Hertz reconnut que les métaux réfléchissaient les ondes électriques, et par conséquent, présentaient une certaine opacité; mais cette opacité était-elle totale ou partielle? Voilà ce qu'on ignorait complètement.

Pour la plupart des auteurs, la transparence semblait probable sous de faibles épaisseurs. « M. Joubert a reconnu qu'un mur de zinc de 2<sup>mm</sup>,5 d'épaisseur, de 4 mètres de hauteur et de 8 mètres de longueur affaiblit les étincelles sans les détruire complètement, et qu'on peut encore les observer de l'autre côté de ce mur<sup>1</sup>. »

A la suite de nombreuses expériences sur les ondes hertziennes Lodge crut également constater la transparence des métaux, mais il suppose que sous une épaisseur « raisonnable », ces derniers doivent être opaques<sup>2</sup>; nous ignorons quelle valeur

---

1. Cité par H. Poincaré, *Électricité et optique*, 1<sup>re</sup> édition, t. II, p. 256. M. Poincaré, en mentionnant cette expérience, fait remarquer qu'elle pourrait peut-être s'expliquer par la diffraction, ce qui est bien l'interprétation réelle, comme nous le verrons plus loin.

2. LODGE, *The Work of Hertz and some of his successors*, p. 32. Londres, 1894.



numérique il faut donner à ce que cet auteur entend par épaisseur « raisonnable ».

Le professeur Böse, auquel on doit une étude très complète des ondes hertziennes et qui inventa des appareils fort ingénieux pour mesurer leur longueur, était arrivé également, par des expériences précises et en apparence démonstratives, à la conclusion que les métaux possèdent de la transparence pour les ondes hertziennes. Je traduis ici le passage du mémoire où il indique comment il fut conduit à cette conclusion. Après avoir expliqué toutes les précautions prises pour enfermer ses instruments dans une boîte métallique bien close, ce savant physicien ajoute :

« Malgré toutes ces précautions, je fus dérouté pendant plus de six mois par une cause d'erreur inconnue que je ne pus découvrir pendant longtemps. Je découvris récemment, alors que j'étais presque convaincu de l'inutilité de poursuivre mes recherches, que je me trompais en supposant les parois de fer étamé de la caisse parfaitement opaques aux radiations électriques. La caisse de métal contenant le radiateur semble transmettre une petite quantité de radiations à travers ses parois, et si le récepteur est sensible, il indique cette faible transmission. Je fis faire alors une seconde enveloppe métallique, et cette précaution fut trouvée efficace à condition que le récepteur ne fût pas mis trop près du radiateur. *Malgré ces deux enveloppes métalliques, le récepteur est encore affecté s'il est placé immédiatement au-dessus du radiateur*<sup>1</sup>. »

Plus récemment encore, M. Henri Veillon fit au laboratoire de physique de l'Université de Bâle des expériences analogues ayant pour but de rechercher « le rôle que jouent des corps conducteurs placés entre le récepteur et l'excitateur d'où partent les oscillations ». Après avoir reconnu la difficulté de ce sujet, l'auteur déclare ne donner à ses expériences « que le caractère d'une simple contribution à une étude qui offre de grandes difficultés ». La plus importante est la suivante : le récepteur était placé dans une caisse en zinc de 1 millimètre d'épaisseur fermée par un couvercle glissant dans une rainure, et le radiateur au dehors. Dans ces conditions, l'expérience lui démontra que l'action des ondes envoyées par le radiateur « traversait l'enveloppe métallique, mais à condition que les étincelles n'éclatassent pas à une distance trop grande (1<sup>m</sup> 50 environ)<sup>2</sup> ». Cette conclusion est, comme on le voit, la même que celle du professeur Böse.

Il résulte clairement des citations qui précèdent, que les plus précises recherches semblaient prouver la transparence des métaux pour les ondes hertziennes. Elles paraissaient fort concluantes. Nous verrons bientôt qu'elles ne l'étaient pas.

---

1. CHUNDER BÖSE, *On the determination of the Waves length of Electric radiation by diffraction Grating* (Proceedings of the Royal Society, 16 octobre 1896).

2. *Archives des Sciences physiques et naturelles de Genève* (mai 1898).



En ce qui concerne la transparence des corps conducteurs, on la considérait comme absolue. — Dès le début de ses recherches, Hertz avait constaté la transparence des diélectriques : soufre, bois, verre, etc. C'est même grâce à elle qu'il réussit à démontrer le phénomène de la réfraction des ondes électriques au moyen de grands prismes d'asphalte.

Depuis cette époque, les diélectriques ont toujours été considérés comme très transparents pour les ondes électriques, et l'on se demandait même s'ils pouvaient exercer des traces d'absorption. Righi, dans ses recherches, était arrivé à cette conclusion qu'« on ne peut considérer comme démontré que la diminution d'intensité que subissent les radiations qui traversent certaines lames diélectriques soit réellement due à l'absorption ».

Les expériences de télégraphie sans fil semblaient confirmer tout à fait cette hypothèse. La plupart des observateurs ont noté en effet que les murs, les collines mêmes, étaient traversés par les ondes électriques, et cette observation est encore reproduite aujourd'hui dans plusieurs ouvrages classiques.

Nous nous trouvions donc en présence de deux problèmes :

1° Les métaux peuvent-ils, sous une faible épaisseur, être traversés par les ondes hertziennes comme on l'admettait ? 2° les corps non conducteurs sont-ils transparents sous une épaisseur quelconque ?

Ces questions avaient un intérêt théorique très grand. Leur solution étant fort délicate et nécessitant des salles de grandes dimensions que je ne possédais pas, je demandai au professeur Branly de vouloir bien s'associer à mes recherches. Nous avons publié en commun<sup>1</sup> les résultats obtenus.

Les difficultés de toute sorte qu'il fallut surmonter avant d'arriver à un résultat définitif expliquent fort bien les conclusions erronées auxquelles des physiciens fort habiles avaient été précédemment conduits.

---

1. *Comptes rendus* de la séance du 1<sup>er</sup> Avril 1899, p. 879 et suiv.



## § 2. — OPACITÉ DES MÉTAUX POUR LES ONDES ÉLECTRIQUES.

Afin de savoir si les métaux en lames minces ou épaisses laissaient passer les ondes électriques, nous fîmes construire, M. Branly et moi, des caisses cubiques de 50 centimètres environ de côté en métaux divers, d'épaisseur variant entre 0<sup>mm</sup>,02 et 2 millimètres, dans lesquelles on plaçait les appareils récepteurs. Une porte ajustée avec le plus grand soin fermait l'ouverture de ces caisses.

Le radiateur producteur des ondes était placé à quelques mètres de l'appareil. On introduisait naturellement le récepteur dans l'intérieur de la caisse. Il révélait le passage des ondes électriques à travers ses parois en faisant fonctionner une sonnerie qui s'y trouvait renfermée.

Les premières expériences semblèrent confirmer entièrement les recherches citées plus haut. Comme M. Böse et les autres expérimentateurs, nous constatâmes que les ondes électriques paraissaient traverser le métal. Dès que le radiateur fonctionnait, la sonnerie placée dans l'intérieur de la boîte métallique se faisait entendre.

Bien que ces expériences fussent conformes à celles des précédents auteurs, nous ne voulûmes pas nous en contenter. Nous fîmes refaire l'ajustement des portes métalliques en adaptant à chacune d'elles une demi-douzaine d'écrous de façon à pouvoir les serrer hermétiquement. Ces précautions prises, nous constatâmes que, dès qu'on serrait les écrous, la sonnerie restait silencieuse. Il suffisait alors de desserrer un peu ces écrous pour qu'elle se fit entendre. Les ondes électriques ne traversaient donc pas le métal; elles passaient simplement par les très étroites fentes des portes métalliques. La transparence constatée par les précédents observateurs tenait uniquement au



défaut de fermeture suffisant des boîtes métalliques où ils enfermaient leur appareils. Les précautions que prennent les photographes pour préserver leur laboratoire et leurs châssis du passage de la lumière seraient tout à fait insuffisantes pour empêcher le passage des ondes électriques.

Ces expériences furent répétées plusieurs centaines de fois avec les mêmes résultats. Serrage des écrous, silence de la sonnerie. Desserrage des écrous, retentissement de la sonnerie.

Nous essayâmes ensuite avec plusieurs métaux l'action de l'épaisseur. Elle se montra totalement nulle. Une caisse en bois mince, garnie de feuilles d'étain n'ayant que  $1/100$  de millimètre d'épaisseur, se montra aussi opaque que des boîtes de métal de 2 millimètres.

La protection exercée par une enceinte métallique est tout à fait remarquable. Dans la porte en métal fermant la caisse, soudons perpendiculairement à son milieu une tige de laiton pénétrant de 30 centimètres dans son intérieur et faisant la même saillie au dehors<sup>1</sup>. Relions le circuit du tube à limaille à la portion intérieure de cette tige et mettons en contact sa partie extérieure avec le radiateur. Il semblerait que dans de telles conditions le récepteur dût fonctionner. Or, il n'en est rien. Bien que les ondes électriques se propagent, comme on le sait, le long des fils, la partie de la tige qui pénètre dans la boîte métallique cesse entièrement d'être conductrice. Les parois de la caisse forment écran, les ondes électriques suivent le plus court chemin qui est évidemment la surface extérieure de la cage métallique. En touchant cette dernière avec le doigt pendant l'expérience, on peut en tirer de nombreuses étincelles.

---

1. Cette tige existe dans la paroi métallique de la caisse représentée dans les deux figures suivantes.



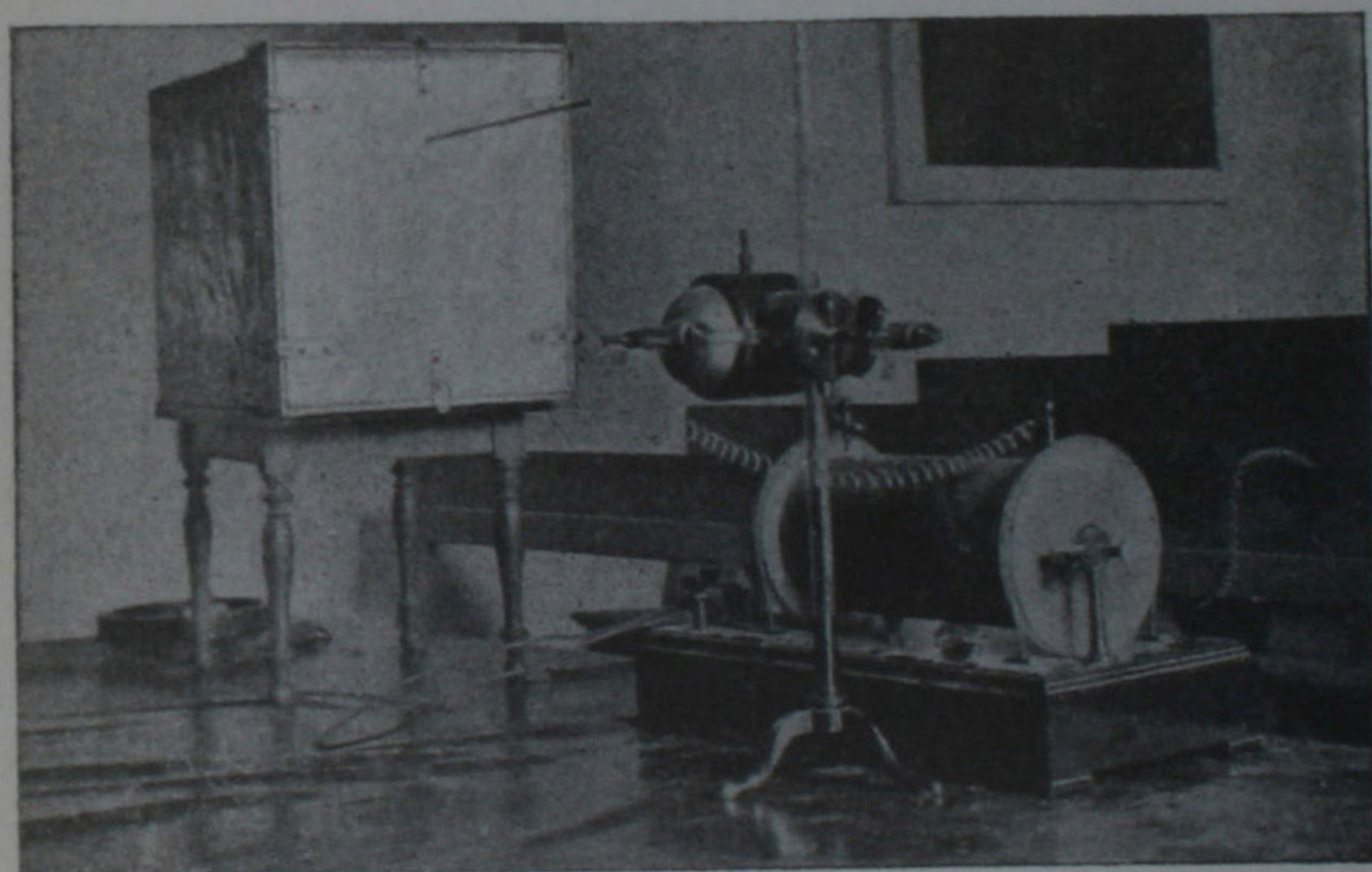
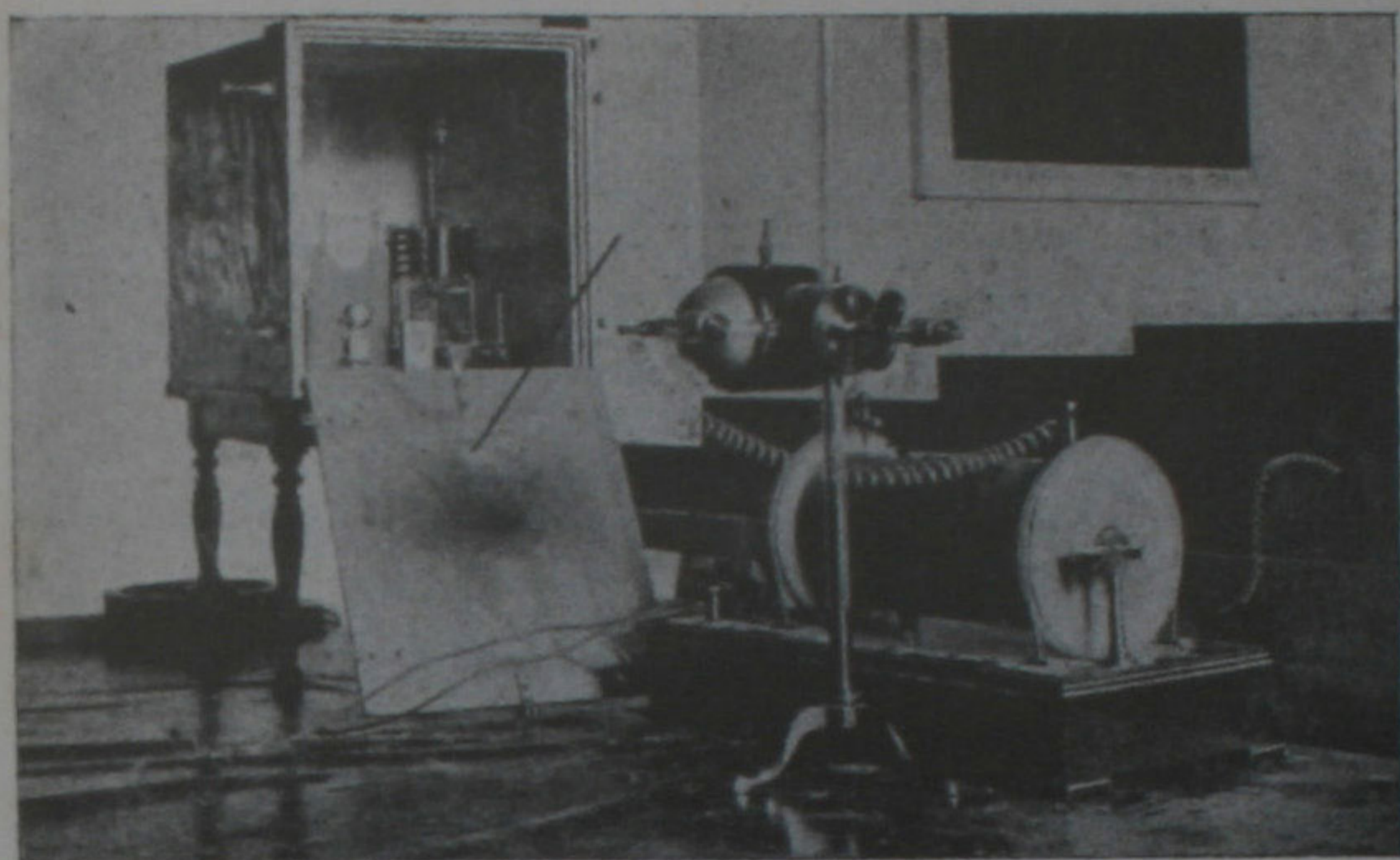


FIG. 11 et 12. — Dispositif employé dans nos expériences pour étudier l'opacité des corps métalliques pour les ondes hertziennes ainsi qu'il est expliqué dans le texte. On voit sur une des photographies la caisse métallique ouverte contenant l'appareil révélateur des ondes électriques, et sur l'autre, la caisse fermée au moyen d'écrous fortement serrés. En face de la caisse métallique sont la bobine d'induction et le radiateur produisant les ondes électriques.



Les expériences précédentes, et notamment celle qui consiste à provoquer ou empêcher le passage des ondes électriques en desserrant ou en serrant les écrous de fermeture de la porte obturant les caisses métalliques, prouvent que les plus fines ouvertures permettent le passage des ondes électriques. Ainsi conduits à étudier l'influence des fentes, nous constatâmes que, si l'on en remplace une, intentionnellement pratiquée dans la porte métallique, par une série de trous dont la surface totale soit très supérieure à celle de la fente, le passage des ondes se fait beaucoup moins facilement à travers. Il suffit d'éloigner le radiateur de quelques mètres pour que la sonnerie reste silencieuse. Ainsi cent ouvertures rondes de 1 centimètre dans la porte métallique ne donnent pas passage aux ondes électriques dès que le radiateur se trouve à plus de 50 centimètres, tandis qu'avec une fente de 1 millimètre de largeur sur 20 centimètres de longueur, le récepteur placé dans la boîte était impressionné alors même qu'on plaçait le radiateur dans une salle voisine. Avec une fente pratiquée, simplement en passant sur le métal le tranchant d'un rasoir, la boîte extérieure est encore traversée, mais à une distance six fois moindre qu'avec la fente de 1 millimètre.

Si la fente est perpendiculaire à l'axe des quatre boules du radiateur, la caisse se laisse traverser à une distance six à huit fois plus grande que par celle parallèle à cet axe.

Ces expériences permettaient de pressentir qu'une toile métallique à mailles fines devait agir exactement comme une feuille pleine et l'observation le vérifia facilement. Une caisse en toile métallique dont les trous ont 1 millimètre carré de section est opaque, sauf quand on place le radiateur à quelques centimètres.



Il résulte de ce qui précède que les enveloppes métalliques agissent à l'égard des ondes électriques à peu près comme la cage de Faraday à l'égard de l'induction électro-statique. On remarquera cependant, dans le cas des ondes électriques, que les fentes exercent une influence qu'elles ne produisent pas dans le cas de l'électricité statique. Il faut également noter pour les ondes électriques la facilité avec laquelle elles traversent les fentes très étroites, alors que des ouvertures carrées assez grandes pour recevoir le doigt ne les laissent pas passer. Les ondes électriques semblent se comporter comme si elles étaient rigides et analogues à un disque métallique qui peut passer sans difficulté à travers une fente suffisamment large, mais est arrêté par un orifice inférieur à son diamètre.

Nous avons eu bien des fois l'occasion, au cours de ces expériences, de constater la facilité des ondes électriques à contourner les obstacles. Ce phénomène de diffraction dépend de la grandeur des ondes produites par le radiateur en usage. Dans les expériences précédentes le radiateur placé devant, derrière ou à côté de la face de la boîte contenant le récepteur avec la porte métallique mal fermée, agit sur la sonnerie. Précisément pour cette raison, avec des appareils aussi sensibles, il eût été bien difficile à Hertz, comme je l'ai déjà dit plus haut, d'exécuter ses recherches sur la réfraction, la réflexion et la polarisation des ondes dont il découvrit l'existence. Lodge put les répéter avec des tubes à limaille, parce que leur construction défectueuse les rendait aussi peu sensibles que les récepteurs de Hertz.

C'est ce contournement des obstacles par diffraction qui illusionna les observateurs sur la transparence des corps volumineux pour les ondes électriques. Qu'il s'agisse d'une onde liquide, sonore, électrique ou acoustique, un obstacle est d'autant mieux contourné



que sa longueur est plus grande relativement aux dimensions de l'obstacle. Le son d'une flûte jouée derrière une maison est moins perceptible que celui d'un trombone, précisément parce que les ondes sonores produites par le trombone sont plus longues que celles de la flûte, et par conséquent contournent plus facilement la maison. Les ondes électriques étant très grandes contournent aisément les grands obstacles, les ondes lumineuses étant très petites sont arrêtées par des obstacles de la dimension d'un cheveu. Pour cette raison le phénomène de la diffraction, si facile à observer avec le son et les ondes électriques, fut très difficile à reconnaître pour la lumière. Ne pouvant le constater, Newton combattit la théorie des ondulations. Si la lumière était constituée par des ondes, disait-il, les corps ne porteraient pas d'ombre, parce qu'elles tourneraient autour de leurs bords, comme le son tourne un angle et les ondes liquides un rocher.

Nous pouvons conclure, de tout ce qui précède, que les enceintes métalliques rigoureusement closes, et quelque faible que soit l'épaisseur du métal, offrent un obstacle absolu au passage des ondes électriques.

Il ne sera pas inutile de faire remarquer que la protection exercée par les enveloppes métalliques sera toujours illusoire, parce qu'il est extrêmement difficile de réaliser des fermetures hermétiques.

Nos recherches montrent les métaux opaques pour les ondes électriques. Leur transparence, que semblaient démontrer toutes les expériences antérieures, n'avait rien d'improbable. Elle ne s'accordait pas sans doute avec les équations de Maxwell, mais comme on ne tire jamais d'une équation que ce qu'on y a d'abord mis, il aurait suffi d'y mettre autre chose pour en tirer des conclusions différentes. Les



métaux sont très transparents, comme nous l'avons vu dans un autre chapitre, pour les lignes de force électriques et magnétiques et rien ne prouvait absolument qu'ils ne l'étaient pas pour les ondes électriques. L'expérience seule permettait donc de fixer la question.

### 3. — TRANSPARENCE DES CORPS NON CONDUCTEURS POUR LES ONDES ÉLECTRIQUES.

La transparence des corps non conducteurs pour les ondes hertziennes, connue depuis les premières recherches de Hertz, fut confirmée par toutes les expériences de télégraphie sans fil. Mais cette transparence est-elle complète? Les ondes hertziennes traversent-elles réellement les collines et les maisons, comme on l'enseignait?

On pouvait se demander : 1° si la transparence des corps non métalliques ne varie pas suivant ces corps, et aussi suivant leur épaisseur; 2° si la transparence des corps très volumineux comme les collines n'était pas une simple apparence résultant de ce que les ondes électriques, analogues sur ce point aux ondes sonores, contournaient les obstacles.

Pour résoudre définitivement ces questions, les expériences suivantes ont été réalisées avec M. Branly :

Nous avons d'abord fait construire une caisse cubique en ciment de Portland, dont les parois avaient 10 centimètres d'épaisseur et dont on pouvait fermer la face restée libre par une porte métallique soigneusement ajustée pouvant être serrée hermétiquement au moyen d'écrous. Dans cette caisse, on plaçait avant sa fermeture les instruments destinés à révéler le passage des ondes, c'est-à-dire une pile, une sonnerie électrique, et le tube à limaille qui devient conducteur dès qu'il est frappé par les ondes électriques.

La caisse hermétiquement close et un radiateur à boules actionné par une bobine de 15 centimètres d'étincelle placée tout près d'elle, on fit fonctionner l'appareil. Dès la première étincelle on reconnut



par la sonnerie que les parois de la caisse étaient parfaitement traversées.

L'expérience répétée en éloignant progressivement le radiateur, on constata par le silence de la sonnerie qu'à partir de 7 mètres aucune onde électrique ne traversait la caisse. Il suffisait alors de desserrer les écrous de la porte pour entendre la sonnerie fonctionner, ce qui démontrait bien que les parois de la caisse constituaient le seul obstacle au passage des ondes électriques. Après plusieurs jours de dessiccation, la caisse devint un peu plus transparente, mais cependant le radiateur n'agissait plus à partir de 12 mètres.

Ces premières expériences prouvaient que si une enceinte close par un mur en mortier de 12 centimètres d'épaisseur laisse passer les ondes électriques, elle exerce déjà une absorption notable et devient tout à fait opaque à une faible distance.

Pour confirmer cette influence de l'épaisseur, nous fîmes construire une seconde caisse de ciment semblable à la première et différant seulement parce que ses parois avaient 30 centimètres d'épaisseur. Douze heures après sa fabrication, alors qu'elle était encore humide, elle présenta aux ondes hertziennes une opacité absolue même en plaçant le radiateur à quelques centimètres de ses parois. Desséchée, elle se laissa un peu traverser, mais à la condition de ne pas éloigner le radiateur de plus de 1 mètre environ; au delà, elle resta opaque.

Ces expériences confirmaient les premières et montraient que l'absorption croissait bien avec l'épaisseur, comme on pouvait le supposer. Elles semblaient indiquer aussi que l'eau possédait des propriétés absorbantes notables.

Pour vérifier ce dernier fait nous fîmes construire une caisse de bois, remplie de sable sec, dont les parois avaient 30 centimètres d'épaisseur. A son centre fut aménagée, comme dans les expériences précédentes, une cavité fermée par une porte métallique et destinée à recevoir les appareils révélateurs des ondes.

Tout étant ainsi disposé, on fit fonctionner le radiateur et on reconnut que le sable se conduisait comme un corps absolument transparent n'exerçant aucune absorption perceptible au moins à la distance de 40 mètres dont nous disposions.

On versa alors dans la même caisse autant d'eau que le sable put en absorber, et, répétant l'expérience précédente, une diminution considérable de la transparence fut constatée.

La facilité avec laquelle le sable sec se laissait traverser nous fit supposer que des corps à grains grossiers, tels que la pierre, pourraient être beaucoup plus aisément traversés que le ciment.

Afin de nous en rendre compte, nous fîmes tailler un bloc de pierre à bâtir de 1 mètre cube dans l'intérieur duquel on aménagea, comme précédemment, la petite cavité nécessaire pour recevoir les



appareils récepteurs des ondes. Cette cavité fut fermée par une porte métallique soigneusement ajustée.

L'épaisseur de pierre que les ondes électriques devaient traverser pour atteindre le récepteur était de 40 centimètres. Cette épaisseur fut cependant traversée sans difficulté, alors même que nous placions le radiateur à l'extrême limite du jardin dans lequel nous opérions, c'est-à-dire à 40 mètres environ du récepteur. La pierre était donc beaucoup plus transparente que le ciment.

La pierre fut ensuite mouillée pendant plusieurs jours et aussitôt sa transparence diminua. Elle n'était plus traversée qu'en plaçant le radiateur à 25 mètres d'elle.

Dans les expériences précédentes le sable sec et la pierre sèche semblent tout à fait transparents, mais ce n'est là qu'une simple apparence résultant de ce que nous ne disposions pas d'un espace permettant de reculer le radiateur assez loin pour constater l'absorption. Pour s'en convaincre, il suffit de réduire l'intensité des ondes émises par le radiateur en se servant d'une bobine d'induction plus petite, ce qui revient au même que si l'on augmentait la distance avec une source de radiation plus forte. On constate alors que le sable et la pierre exercent une absorption notable et ne sont pas du tout complètement transparents. Avec un radiateur entretenu par une bobine ne donnant que 2 centimètres d'étincelle, le bloc de sable sec de 30 centimètres d'épaisseur n'est plus traversé au delà de 16 mètres, et le bloc de pierre sèche au delà de 13 mètres.

Ces chiffres n'ont évidemment rien d'absolu. Ils prouvent simplement que la transparence des corps pour les ondes électriques n'est pas du tout complète comme on le supposait. Suivant l'intensité de la source on observera naturellement des différences d'absorption. Des ondes de 100 mètres de longueur traversent mieux les corps que les ondes de 20 centimètres; mais il est également certain qu'il y aura toujours absorption, et que, par conséquent, les montagnes et les maisons ne sont pas traversées comme on le supposait autrefois.

Nous résumerons ce qui concerne la transparence des diélectriques pour les ondes hertziennes dans les propositions suivantes :

1° La transparence des corps non métalliques pour les ondes hertziennes dépend de leur nature et varie considérablement d'un corps à l'autre; 2° cette transparence est toujours beaucoup plus grande que celle des mêmes corps pour la lumière; 3° l'absorption augmente à mesure que l'épaisseur du corps consi-



déré s'accroît ; 4° l'humidité augmente beaucoup l'absorption ; 5° lorsque les ondes électriques rencontrent de grands obstacles tels que les collines, ces obstacles sont contournés et non traversés.

Bien que les déductions pratiques que l'on pourra tirer de nos recherches ne nous préoccupent pas, il ne sera pas sans intérêt de faire remarquer que les observations précédentes trouveront peut-être des applications dans l'établissement des postes de télégraphie sans fil. Les ondes électriques étant en partie absorbées et par conséquent affaiblies par les petits obstacles qu'elles rencontrent et obligées de contourner les grands obstacles, ce qui les affaiblit également, il sera toujours utile de placer les postes d'émission et de réception sur des points élevés. La traversée des bras de mer et la communication des continents avec les îles constituent pour les raisons précédentes les meilleures conditions de transmission.



## CHAPITRE VI

### Les formes diverses de l'électricité et leurs origines.

---

#### § 1. — L'ÉLECTRICITÉ DÉRIVÉE DE LA MATIÈRE EXISTE-T-ELLE DANS LA MATIÈRE ?

D'après une théorie très vite devenue pour beaucoup de physiciens un dogme, la matière serait composée uniquement de particules électriques, dites électrons, et sa propriété fondamentale, l'inertie, d'origine électro-magnétique.

Notre ouvrage sur *l'Évolution de la Matière* a déjà montré le peu de fondement de cette hypothèse. Mais, pour ne pas compliquer une description déjà difficile de choses nouvelles, nous avons adopté les termes presque classiques dérivés de cette théorie. Elle ne pouvait gêner nullement, d'ailleurs, notre exposé puisque les choses se passent bien en apparence exactement comme si l'électricité existait toute formée dans la matière au lieu d'être, comme nous le soutenons, une transformation secondaire de l'énergie intra-atomique.

La théorie des électrons est maintenant populaire. On en trouvera la preuve dans le passage suivant d'un discours prononcé par M. Balfour, alors premier ministre d'Angleterre, à l'une des dernières sessions de l'Association anglaise pour l'avancement des



sciences. L'auteur y défend les idées nouvelles avec toute l'ardeur d'un néophyte.

« Les savants en sont arrivés, dit-il, à regarder la matière brute comme une simple apparence dont l'électricité est physiquement la base réelle et à penser que l'atome élémentaire du chimiste n'est autre chose qu'un groupement systématique de monades électriques ou électrons — qui ne sont pas de la matière électrisée, mais l'électricité elle-même. »

Cette théorie, qui confond sans cesse les effets et les causes, ne dérive pas seulement de raisonnements mathématiques. Elle s'appuie aussi sur l'interprétation de certaines observations, telles que la composition des émissions radio-actives, le phénomène de Zeeman, etc. Mais le fait ayant — inconsciemment au moins — le plus pesé peut-être sur les idées des savants est certainement la facilité avec laquelle on retire l'électricité de la matière. On peut dire, en effet, sans trop d'exagération, qu'il est impossible de toucher la matière sans en faire sortir de l'électricité. On pourrait soutenir aussi, et sans aucune exagération cette fois, qu'on ne touche pas un corps sans en faire sortir de la chaleur. Personne ne songe à soutenir cependant que la matière se compose de particules calorifiques.

Si le fluide qualifié d'électricité existait tout formé dans la matière, il devrait s'y trouver dans un état de condensation complètement inexplicable. On sait, en effet, qu'il est facile d'extraire d'une petite parcelle de matière une quantité d'électricité hors de proportion avec celle que nous pouvons faire tenir sur les corps les plus volumineux. Une faible partie des 96.000 coulombs retirés de la décomposition de 9 grammes d'eau, chargerait d'électricité au potentiel de 7.000 volts un globe grand comme la terre.

Il faudrait donc admettre que, si l'électricité existe



dans la matière, elle s'y trouve sous une forme que nous ne pouvons concevoir. Impossible d'imaginer une sorte de condensation par rapprochement des électrons supposés composer le fluide électrique, car ils exerceraient alors les uns sur les autres des répulsions tellement immenses que la matière, ne subsisterait pas un seul instant. Dans notre dernier livre, nous avons vu que, s'il était possible de concentrer une charge de un coulomb sur une petite sphère et de l'amener à 1 centimètre d'une autre sphère portant la même charge, le travail qu'elle produirait en se déplaçant de 10 centimètres en une seconde serait égal à 82 milliards de kilogrammètres, soit plus de 1 milliard de chevaux-vapeur pendant le même temps.

Mais si l'électricité n'existe pas dans la matière, comment expliquer qu'il soit si facile de retirer la première de la seconde ?

On extrait l'électricité de la matière sans qu'elle y soit, absolument comme on retire d'un explosif la chaleur qui n'y est pas contenue, mais se forme quand les équilibres de ses molécules sont modifiés. L'électricité n'existe pas toute formée dans la matière, mais prend naissance dès que certains équilibres intra-moléculaires ou intra-atomiques sont changés.

On peut, assurément, pour la commodité du langage, parler de l'électricité contenue dans un corps ainsi que de la chaleur contenue dans un composé chimique; mais de telles images ne correspondent à aucune réalité et empêchent même de la percevoir.

S'il n'est pas vrai du tout que la matière soit formée de particules électriques, d'où vient l'électricité qu'elle produit si facilement ?

A l'époque où l'on considérait la matière comme une chose inerte restituant seulement l'énergie qui



lui avait d'abord été fournie, aucune réponse à cette question ne pouvait être formulée. Depuis que nous avons montré, contrairement à l'ancienne croyance, que la matière constituait un colossal réservoir d'une énergie spéciale, l'*énergie intra-atomique*, il est devenu facile de comprendre qu'on obtienne à ses dépens de la chaleur, de l'électricité ou toute autre force. Sans invoquer aucun phénomène inconnu, nous avons fait voir comment un minuscule atome pouvait constituer une source immense d'énergie. Par des calculs inutiles à reproduire ici nous avons montré qu'une sphère un peu plus grosse qu'une tête d'épingle, tournant sur elle-même avec la vitesse de projection des particules cathodiques, posséderait une énergie cinétique égale à celle produite en une heure par 1.500 locomotives ayant chacune la puissance de 500 chevaux-vapeur.

Les mouvements de rotation supposés aux éléments matériels expliquent seuls que les particules des corps radio-actifs soient projetées dans l'espace avec une vitesse de l'ordre de celle de la lumière.

Ces vitesses de rotation sont nécessaires, non seulement pour expliquer les projections dont nous venons de parler, mais encore l'équilibre des éléments dont sont formés les atomes. De même que la toupie tombe sur le sol dès qu'elle cesse de tourner, les éléments de la matière ne se maintiennent en équilibre que par leurs mouvements. Si ces derniers s'arrêtaient un seul instant, les corps se réduiraient en une invisible poussière d'éther et ne seraient plus rien.

Et c'est pourquoi on a pu comparer l'atome à un petit système solaire composé de particules gravitant autour de un ou plusieurs centres avec une immense vitesse. Dès qu'une cause quelconque fait que la force centrifuge résultant de la rotation de ces éléments dépasse la force d'attraction les retenant



dans leur orbite, les particules périphériques s'échappent dans l'espace en suivant la tangente de la courbe parcourue comme la pierre lancée par une fronde.

Dans notre dernier livre nous avons considéré l'électricité comme une substance intermédiaire, engendrée par certaines perturbations d'équilibre de l'éther consécutives à la désagrégation partielle des atomes. Suivant la nature de ces perturbations, il se produit de la lumière, de la chaleur, de l'électricité, etc. ; mais les éléments produisant de tels effets n'ont en eux-mêmes rien d'électrique, ni de calorifique.

Donc, si la matière peut, en se dissociant, produire des énergies diverses : lumière, chaleur, électricité, etc., cela ne veut nullement dire qu'elle soit composée de lumière, de chaleur ou d'électricité. La conception des électrons, très parente de l'ancien phlogistique, comme l'a montré le professeur de Heen, est une des plus malheureuses idées métaphysiques récemment formulées.

## § 2. — LES FORMES DIVERSES DE L'ÉLECTRICITÉ

La notion de perturbation d'équilibre, comme origine d'une force quelconque, précédemment exposée, est fondamentale, et il faut toujours l'avoir présente à l'esprit pour comprendre les manifestations de l'énergie. Des particules en repos ne sont pas plus de l'électricité que l'éther en repos n'est de la lumière. L'éther, quand son équilibre est troublé, éprouve certaines vibrations qualifiées de lumière. Dès que ces vibrations cessent, c'est-à-dire qu'il reprend son équilibre, la lumière disparaît. De même pour l'électricité. Dès que les particules,



constituant le fluide dit électrique ne sont plus en équilibre, alors, et seulement alors, apparaissent les phénomènes qualifiés d'électricité. Ils disparaissent quand ces particules reprennent leur équilibre. On ne devrait pas plus parler d'électricité neutre que de mouvement neutre, de chaleur neutre ou de lumière neutre.

Toutes les formes d'énergie étant produites par des perturbations d'équilibre, il en résulte qu'en faisant varier ces perturbations on engendre des forces différentes. Trouver de nouveaux moyens de modifier les équilibres de la matière et de l'éther, c'est découvrir des énergies nouvelles. Tant que l'équilibre de l'éther ne fut modifié que d'une seule façon, on observa seulement de la lumière. Lorsqu'on sut y créer des formes d'équilibre nouvelles, on obtint les actions d'induction, les ondes hertziennes, les rayons X, etc.

C'est uniquement parce que les moyens de modifier les équilibres de l'éther et de la matière commencent à se multiplier que nous assistons à la découverte de nouvelles manifestations de l'énergie. La science les classe très difficilement, ne pouvant les rapprocher de choses déjà connues. La confusion qui en résulte sera facilement mise en évidence par l'examen des phénomènes divers actuellement classés sous le nom d'électricité.

L'énumération suivante comprend des formes d'énergie très dissemblables, mais possédant ce caractère commun de pouvoir directement, ou indirectement, produire ce qu'on appelle une charge électrique. Cette seule raison permet de les classer dans le chapitre de l'électricité. Si l'on adoptait d'une façon générale ce procédé sommaire de classification, il faudrait qualifier de chaleur toutes les causes en produisant toujours : le frottement et le mouvement par exemple.



1° *Le fluide électrique.* — On le suppose constitué par la réunion des particules électriques dont il sera parlé plus loin. Après avoir admis l'existence de deux fluides, l'un positif, l'autre négatif, on tend maintenant à n'en admettre qu'un seul, formé d'éléments négatifs. Le fluide positif se composerait de particules matérielles privées de quelques-uns de leurs corpuscules négatifs.

2° *Électricité statique.* — Formée par l'accumulation du fluide électrique sur un corps. Est caractérisée par la possibilité de produire des attractions et des répulsions, mais n'exerce aucune action sur un aimant.

3° *Électricité dynamique.* — Quand on relie par un fil conducteur un corps électrisé à un corps qui ne l'est pas, l'électricité s'écoule dans ce fil avec une vitesse pouvant atteindre celle de la lumière, en produisant un courant. Par le fait seul que le fluide électrique est en mouvement, le fil qui le conduit s'entoure d'un champ dit magnétique parce qu'il jouit des propriétés d'un aimant.

4° *Magnétisme.* — Forme particulière de l'électricité caractérisée par des équilibres de nature inconnue. Le magnétisme peut dans certaines conditions engendrer un courant électrique, de même qu'un courant électrique peut engendrer du magnétisme.

5° *Les atomes électriques ou électrons.* — Particules dites électriques de grandeur définie, pouvant exister sans support matériel et qu'on suppose constituées par des tourbillons d'éther. Existeraient dans les tubes de Crookes et dans les émissions des corps radioactifs. Peuvent traverser des lames métalliques quand leur vitesse est suffisante.

6° *Les rayons cathodiques.* — Formés par la projec-



tion de particules électriques dans un tube où passe un courant après qu'on y a fait le vide. Concentrées en un seul point comme dans le tube de Crookes, elles peuvent, par leur bombardement, provoquer l'incandescence et la fusion des métaux.

7° *Les rayons X.* — Constitués probablement par des ébranlements de l'éther, de forme encore ignorée. Prennent naissance quand les rayons cathodiques frappent un obstacle. Traversent d'épaisses lames métalliques. Ne possèdent aucune propriété magnétique ni électrique.

8° *Les ions négatifs et les ions positifs.* — Les premiers sont supposés formés d'atomes électriques entourés par attraction d'éléments matériels. Les seconds seraient constitués par des atomes matériels ayant perdu quelques-unes de leurs particules négatives.

9° *Le fluide ionique.* — Formé d'ions positifs ou négatifs mélangés de particules gazeuses. Peut circuler à travers un serpentin métallique avant que se recombinent les éléments dont il est formé.

10° *L'Électricité neutre.* — Forme d'électricité totalement inconnue, dont aucun réactif ne peut révéler la présence et qu'on suppose engendrée par la réunion du fluide positif et du fluide négatif. On admet de plus en plus qu'elle ne saurait avoir d'existence.

11° *L'Électricité condensée dans les composés chimiques.* — Forme d'électricité supposée exister à l'état neutre dans les composés chimiques. N'apparaît que sous la forme de fluide positif ou négatif. Se trouverait dans les corps à un état de condensation extrême, puisqu'on peut retirer de 1 gramme d'eau une quantité d'électricité supérieure à celle



qu'il serait possible de maintenir sur un globe grand comme la terre.

12° *Les ondes électriques.* — Ébranlements de l'éther accompagnant les décharges électriques et se propageant par vibrations dans l'éther avec une vitesse pouvant atteindre celle de la lumière. Elles sont à l'électricité ordinaire ce qu'est la chaleur rayonnante aux phénomènes calorifiques dont la matière est le siège. Par induction, les ondes électriques peuvent engendrer à distance, sur les corps qu'elles viennent frapper, des charges électriques capables de se manifester sous forme d'étincelles.

Ainsi donc, par le fait seul que nous produisons dans l'éther ou la matière des perturbations d'équilibre dissemblables, nous créons des énergies différentes. C'est uniquement notre besoin de simplification qui conduit à les rapprocher. On pourrait évidemment simplifier encore en disant que ces énergies représentent de simples transformations de mouvement, mais une telle définition conviendrait à tous les phénomènes, y compris ceux de la vie. De semblables généralisations ne traduisent que notre ignorance



tion de particules électriques dans un tube où passe un courant après qu'on y a fait le vide. Concentrées en un seul point comme dans le tube de Crookes, elles peuvent, par leur bombardement, provoquer l'incandescence et la fusion des métaux.

7° *Les rayons X.* — Constitués probablement par des ébranlements de l'éther, de forme encore ignorée. Prennent naissance quand les rayons cathodiques frappent un obstacle. Traversent d'épaisses lames métalliques. Ne possèdent aucune propriété magnétique ni électrique.

8° *Les ions négatifs et les ions positifs.* — Les premiers sont supposés formés d'atomes électriques entourés par attraction d'éléments matériels. Les seconds seraient constitués par des atomes matériels ayant perdu quelques-unes de leurs particules négatives.

9° *Le fluide ionique.* — Formé d'ions positifs ou négatifs mélangés de particules gazeuses. Peut circuler à travers un serpentin métallique avant que se recombinent les éléments dont il est formé.

10° *L'Électricité neutre.* — Forme d'électricité totalement inconnue, dont aucun réactif ne peut révéler la présence et qu'on suppose engendrée par la réunion du fluide positif et du fluide négatif. On admet de plus en plus qu'elle ne saurait avoir d'existence.

11° *L'Électricité condensée dans les composés chimiques.* — Forme d'électricité supposée exister à l'état neutre dans les composés chimiques. N'apparaît que sous la forme de fluide positif ou négatif. Se trouverait dans les corps à un état de condensation extrême, puisqu'on peut retirer de 1 gramme d'eau une quantité d'électricité supérieure à celle



qu'il serait possible de maintenir sur un globe grand comme la terre.

12° *Les ondes électriques.* — Ébranlements de l'éther accompagnant les décharges électriques et se propageant par vibrations dans l'éther avec une vitesse pouvant atteindre celle de la lumière. Elles sont à l'électricité ordinaire ce qu'est la chaleur rayonnante aux phénomènes calorifiques dont la matière est le siège. Par induction, les ondes électriques peuvent engendrer à distance, sur les corps qu'elles viennent frapper, des charges électriques capables de se manifester sous forme d'étincelles.

Ainsi donc, par le fait seul que nous produisons dans l'éther ou la matière des perturbations d'équilibre dissemblables, nous créons des énergies différentes. C'est uniquement notre besoin de simplification qui conduit à les rapprocher. On pourrait évidemment simplifier encore en disant que ces énergies représentent de simples transformations de mouvement, mais une telle définition conviendrait à tous les phénomènes, y compris ceux de la vie. De semblables généralisations ne traduisent que notre ignorance



## LIVRE II

### LES PROBLÈMES DE LA CHALEUR ET DE LA LUMIÈRE

---

#### CHAPITRE I

##### Les problèmes de la chaleur.

---

###### § 1. — LES IDÉES ANCIENNES ET MODERNES SUR LES CAUSES DE LA CHALEUR.

Il n'est guère de sujet scientifique ayant provoqué autant de recherches que la chaleur. Grâce à elles la thermodynamique et la mécanique énergétique, qui en dérivent, sont devenues des sciences précises et fécondes.

Mais si l'on se demande seulement ce que ces recherches révélèrent des causes de la chaleur, il faut reconnaître que nous sommes à peine plus avancés qu'il y a cent ans. On ne trouverait pas beaucoup à ajouter aux lignes suivantes, écrites par l'illustre Humphry Davy, il y a un siècle :

« Puisque toute matière peut être amenée, par le refroidissement, à occuper un espace plus petit, il est évident que les particules de matière doivent avoir de l'espace entre elles ;



puisque chaque corps peut communiquer le pouvoir d'expansion à un corps de température plus basse, c'est-à-dire peut animer les particules de ce corps d'un mouvement expansif, il est très probable que ses propres particules sont elles-mêmes en possession d'un mouvement; mais, comme il n'y a pas de changement dans la position de ses parties, aussi longtemps que la température est uniforme, le mouvement, s'il existe, doit être un mouvement vibratoire ou ondulatoire, ou un mouvement des particules autour de leurs axes, ou, enfin, un mouvement des particules les unes autour des autres.

« Il semble possible de rendre compte de tous les phénomènes de la chaleur, si l'on admet que, dans les solides, les particules sont dans un état constant de mouvement vibratoire, les particules des corps les plus chauds se mouvant avec la plus grande vitesse, et parcourant un plus grand espace; que dans les liquides et les fluides élastiques, en outre du mouvement vibratoire, qui doit être conçu plus grand dans les derniers, les particules doivent être animées d'un mouvement de rotation autour de leurs propres axes avec une vitesse différente, les particules des fluides élastiques se mouvant avec une plus grande vitesse; enfin que, dans les substances éthérées, les particules doivent se mouvoir autour de leurs propres axes, séparées les unes des autres, et s'élancer en droite ligne à travers l'espace. On peut concevoir que la température dépende de la vitesse des vibrations, et l'augmentation de capacité calorifique de ce que l'espace parcouru est plus grand. A son tour, l'abaissement de température, dans la conversion des solides en fluides ou en gaz, peut être expliqué par une perte de mouvement vibratoire, provenant de ce que les particules commencent à tourner autour de leur axe quand le corps devient fluide ou aériforme, ou par une diminution dans la vitesse de vibration, par suite du mouvement de translation dans l'espace dont les particules commenceraient à être animées. »

Aujourd'hui, comme à l'époque de Davy, on suppose que la chaleur serait la conséquence des mouvements vibratoires, rotatoires, etc., des particules de la matière. Toutes les recherches sur la structure des atomes ont justifié l'existence de ces mouvements. Chaque atome est comparé maintenant à un système solaire. Naturellement, on n'observe jamais ces mouvements, et des considérations mécaniques conduisent seules à les supposer identiques à ceux des planètes autour du soleil.

Chacune des particules entrant dans la composition



de ces atomes serait animée de deux mouvements : 1° rotation des particules sur elles-mêmes ; 2° révolution circulaire autour d'un centre. Ces mouvements de rotation peuvent varier, ainsi que la vitesse de translation et aussi le diamètre de l'orbite parcouru. Obligeant les molécules à s'écarter ou à se rapprocher, ils expliquent la dilatation des corps par la chaleur et leur contraction par le froid.

Les variations d'équilibre de ces éléments en mouvement produiraient le magnétisme, l'électricité et la chaleur, mais nous ignorons complètement comment ces forces sont engendrées.

Nous savons mesurer la chaleur sans en connaître l'essence. Cette expression « une quantité de chaleur » constitue une notion arbitraire représentant simplement la mesure d'un effet dont la cause est ignorée. « Elle n'est pas autre chose, écrit M. Duhem, que la mesure fournie par le calorimètre et ne se définit pas autrement. La quantité de chaleur qui est dégagée dans une modification, c'est par définition même une quantité proportionnelle au poids d'eau que cette modification porterait de la température zéro à la température de un degré ». L'insuffisance d'une telle conception est évidente.

Les physiciens ont fini, du reste, par laisser de côté ce problème des causes de la chaleur, et, sans rechercher comment des mouvements peuvent se transformer en chaleur, ils se sont bornés à tâcher de déterminer leur nature. Bien que le problème ait été abordé par des physiciens comme Clausius et Helmholtz, aucun succès n'a couronné ces efforts. Assimilant, pour simplifier, les éléments des corps à des points matériels en mouvement, ils ont admis que la force moyenne de ce mouvement était proportionnelle à la température et ont essayé d'en déduire les lois de la thermodynamique, le principe de Carnot notamment, au moyen des théo-



rèmes de la mécanique. Il est assez généralement admis aujourd'hui que cette tentative échoua complètement. Elle ne fournit d'ailleurs aucune espèce d'indication sur les variations de trajectoire des particules des corps suivant leur état solide, liquide ou gazeux, ni sur les résultats de leurs actions réciproques.

Les anciens physiciens avaient envisagé le problème de la chaleur d'une façon beaucoup plus simple. Elle était pour eux un fluide imprégnant tous les corps et se dégageant par la combustion. Cette théorie dite du phlogistique fut très ébranlée quand Lavoisier prouva que loin de perdre du poids par la combustion, les corps en gagnent au contraire. Cependant à l'époque de Carnot, on considérait encore la chaleur comme un fluide que les corps peuvent perdre ou absorber et différant seulement de l'ancien phlogistique par son impondérabilité.

Les physiciens finirent par renoncer à l'idée d'un fluide calorifique, mais après s'être donné un mal énorme, pendant plus de cinquante ans, pour substituer la théorie mécanique de la chaleur produite par du mouvement à la conception d'un fluide, ils semblent maintenant — un peu indirectement d'ailleurs — revenir à cette dernière. Comme le fait très justement remarquer le professeur de Heen, « l'idée ancienne de mélanger à la matière du fluide phlogistique est *identique* à celle qui a cours actuellement et qui consiste à mélanger à la matière des corpuscules électriques ». Il n'y a pas moins de raison, je l'ai dit déjà, pour supposer des atomes de chaleur que des atomes d'électricité.

L'idée que la chaleur serait une sorte de fluide fut d'ailleurs très féconde. Sans elle, Sadi Carnot n'aurait peut-être jamais songé à comparer son écoulement à celui d'un liquide, ni découvert le principe qui porte son nom et a si profondément



de ces atomes serait animée de deux mouvements : 1° rotation des particules sur elles-mêmes ; 2° révolution circulaire autour d'un centre. Ces mouvements de rotation peuvent varier, ainsi que la vitesse de translation et aussi le diamètre de l'orbite parcouru. Obligeant les molécules à s'écarter ou à se rapprocher, ils expliquent la dilatation des corps par la chaleur et leur contraction par le froid.

Les variations d'équilibre de ces éléments en mouvement produiraient le magnétisme, l'électricité et la chaleur, mais nous ignorons complètement comment ces forces sont engendrées.

Nous savons mesurer la chaleur sans en connaître l'essence. Cette expression « une quantité de chaleur » constitue une notion arbitraire représentant simplement la mesure d'un effet dont la cause est ignorée. « Elle n'est pas autre chose, écrit M. Duhem, que la mesure fournie par le calorimètre et ne se définit pas autrement. La quantité de chaleur qui est dégagée dans une modification, c'est par définition même une quantité proportionnelle au poids d'eau que cette modification porterait de la température zéro à la température de un degré ». L'insuffisance d'une telle conception est évidente.

Les physiciens ont fini, du reste, par laisser de côté ce problème des causes de la chaleur, et, sans rechercher comment des mouvements peuvent se transformer en chaleur, ils se sont bornés à tâcher de déterminer leur nature. Bien que le problème ait été abordé par des physiciens comme Clausius et Helmholtz, aucun succès n'a couronné ces efforts. Assimilant, pour simplifier, les éléments des corps à des points matériels en mouvement, ils ont admis que la force moyenne de ce mouvement était proportionnelle à la température et ont essayé d'en déduire les lois de la thermodynamique, le principe de Carnot notamment, au moyen des théo-



rèmes de la mécanique. Il est assez généralement admis aujourd'hui que cette tentative échoua complètement. Elle ne fournit d'ailleurs aucune espèce d'indication sur les variations de trajectoire des particules des corps suivant leur état solide, liquide ou gazeux, ni sur les résultats de leurs actions réciproques.

Les anciens physiciens avaient envisagé le problème de la chaleur d'une façon beaucoup plus simple. Elle était pour eux un fluide imprégnant tous les corps et se dégageant par la combustion. Cette théorie dite du phlogistique fut très ébranlée quand Lavoisier prouva que loin de perdre du poids par la combustion, les corps en gagnent au contraire. Cependant à l'époque de Carnot, on considérait encore la chaleur comme un fluide que les corps peuvent perdre ou absorber et différant seulement de l'ancien phlogistique par son impondérabilité.

Les physiciens finirent par renoncer à l'idée d'un fluide calorifique, mais après s'être donné un mal énorme, pendant plus de cinquante ans, pour substituer la théorie mécanique de la chaleur produite par du mouvement à la conception d'un fluide, ils semblent maintenant — un peu indirectement d'ailleurs — revenir à cette dernière. Comme le fait très justement remarquer le professeur de Heen, « l'idée ancienne de mélanger à la matière du fluide phlogistique est *identique* à celle qui a cours actuellement et qui consiste à mélanger à la matière des corpuscules électriques ». Il n'y a pas moins de raison, je l'ai dit déjà, pour supposer des atomes de chaleur que des atomes d'électricité.

L'idée que la chaleur serait une sorte de fluide fut d'ailleurs très féconde. Sans elle, Sadi Carnot n'aurait peut-être jamais songé à comparer son écoulement à celui d'un liquide, ni découvert le principe qui porte son nom et a si profondément



modifié l'orientation des sciences physico-chimiques.

Il faut bien reconnaître, du reste, que si les physiciens et les chimistes repoussent l'idée d'assimiler la chaleur à un fluide, ils la traitent presque toujours comme si elle en était réellement un. Les chimistes parlent constamment de chaleur absorbée ou dégagée par un corps. Suivant eux, une combinaison garderait indéfiniment cette chaleur jusqu'à sa destruction. Elle la rendrait alors en quantité exactement égale à celle absorbée. Les physiciens nous disent, de leur côté, que lorsqu'on chauffe un corps, il absorbe de la chaleur et la restitue en se refroidissant. Si la chaleur était réellement un fluide, on ne s'exprimerait pas autrement.

Les mathématiciens eux-mêmes emploient souvent un langage analogue. Toutes leurs formules furent établies comme si la chaleur était constituée par un fluide. Laplace, Poisson, Lamé, etc., assimilaient le calorique à un fluide expansif et la température des particules à la tension de ce fluide dans ces particules. Les variations de chaleur s'expliquaient par des échanges, entre ces particules, de calorique proportionnels à la différence de leurs températures respectives. Aujourd'hui que la chaleur est considérée comme un mouvement vibratoire des particules matérielles, on continue encore à raisonner souvent comme si elle était un fluide, dont elle possède, en effet, bien des propriétés.

« L'analogie existant entre la propagation de la chaleur dans les corps athermanes et la filtration des fluides dans les masses poreuses, est si étroite, écrit M. Bousinesq dans sa *Théorie analytique de la chaleur*, qu'on pourrait lui demander une théorie mécanique de la conductibilité, s'il y avait un fluide calorique. »

Nous ne sommes pas certains, au surplus, que ce fluide n'existe pas. Dans les phénomènes calori-



fiques, on commence à faire jouer un grand rôle aux électrons. Après nous avoir ramené à l'antique fluide électrique, ils feront revivre peut-être le fluide calorique. Pour le moment, notre ignorance à cet égard est complète.

§ 2. — CHANGEMENTS D'ÉTAT DES CORPS SOUS L'INFLUENCE DE LA CHALEUR. — QUANTITÉ D'ÉNERGIE QUE L'ON PEUT CONCENTRER DANS UN POIDS DÉTERMINÉ EN MATIÈRE

Les effets de la chaleur sur la matière sont d'une observation journalière. Le simple examen des mouvements de la colonne d'un thermomètre montre que les corps se dilatent par la chaleur et se contractent par le froid. La sensibilité de la matière est telle, qu'une variation de température d'un millionième de degré suffit déjà à modifier d'une façon expérimentalement appréciable sa résistance électrique. La plus légère oscillation de l'éther la fait vibrer et rayonner. Il y a ainsi échange permanent d'énergie entre la matière et l'éther.

Il n'est plus possible maintenant de considérer la matière indépendamment de son milieu. Les variations de ce dernier conditionnent ses équilibres et aussi sa forme, la rendant solide, liquide ou gazeuse. La matière correspond à un état d'équilibre entre ses énergies intérieures et les énergies extérieures qui l'entourent.

Les mouvements de rotation et de révolution des atomes varient sans cesse sous l'action de la chaleur. Elle modifie non seulement leurs vitesses de rotation, mais encore les diamètres des orbites parcourus. Quand ces derniers s'accroissent, les particules des corps s'écartent de plus en plus, les attractions moléculaires constituant la cohésion sont surmontées et la matière passe à l'état liquide, puis à l'état gazeux.



Pendant ces changements, les corps absorbent des proportions déterminées de chaleur, qu'ils restituent en quantité exactement égale lorsqu'ils retournent à leur état primitif. L'énergie absorbée étant alors exactement rendue, on était fondé à croire que la matière n'en créait ni n'en détruisait jamais.

Un corps solide absorbe donc de l'énergie pour devenir liquide et en absorbe encore pour devenir gazeux. Il contient donc plus d'énergie à l'état gazeux qu'à l'état solide. Plus un corps a perdu d'énergie, plus il est stable.

La chaleur peut, au point de vue physique, être définie, un mode d'énergie produisant le changement de volume des corps et par conséquent leur dilatation. Cette dilatation représente un excellent moyen de la mesurer; le thermomètre, basé sur elle, peut n'indiquer cependant qu'une partie de la chaleur fournie à un corps. Quand on chauffe de la matière pour la faire changer d'état, pour la liquéfier, je suppose, on produit des effets différents, tels que le changement de disposition de ses molécules, dont une partie seulement est révélée par le thermomètre.

On peut, du reste, faire varier la température d'un corps sans lui fournir ni lui soustraire de chaleur. Cela s'observe dans les opérations dites adiabatiques, par exemple quand on comprime un gaz dans un réservoir imperméable à la chaleur. La température est augmentée par la transformation en chaleur du travail effectué.

L'énergie calorifique nécessaire pour obliger les corps à changer d'état est considérable. Pour transformer de la glace à zéro en eau à la même température de zéro, il faut lui donner autant de chaleur que pour élever de 1 degré 80 fois son poids d'eau, soit 80 calories. Si l'eau se congèle de nouveau, elle restitue la chaleur absorbée. Pour transformer de



l'eau à 100 degrés en vapeur saturante à la même température, le travail nécessaire est bien plus considérable encore puisque cette transformation exige 537 fois autant de chaleur que pour élever de 1 degré la même quantité d'eau. Comme précédemment ces 537 calories sont restituées exactement quand les molécules se rapprochent pour repasser à l'état liquide, c'est-à-dire quand la vapeur à 100 degrés se condense en eau également à 100 degrés<sup>1</sup>.

Pour montrer la grandeur des énergies ainsi déplacées, Tyndall donne les exemples suivants : la chaleur résultant de la combinaison de 1 kilogramme d'hydrogène avec 8 kilogrammes d'oxygène élèverait de 1 degré la température de 34.000 kilogrammes d'eau, ce qui correspond à plus de 14 millions de kilogrammètres. La condensation en eau des 9 kilogrammes de vapeur formés par cette combinaison, représente un travail de plus de 2 millions de kilogrammètres. Si, continuant à descendre cette échelle, on amène l'eau à l'état solide par l'abaissement de sa température, elle produirait encore près de 700.000 kilogrammètres.

**1. Tableau des quantités d'énergie qu'il est possible de concentrer dans 1 kilogramme de matière.** *kilogrammètres.*

Énergie libérée par la combustion de 1 kilogramme de houille.	3.400.000
(Dans les meilleures machines à vapeur, on n'utilise même pas e dixième de cette quantité.)	
Énergie libérée par la décomposition sous l'influence du courant électrique de 1 kilogramme d'eau . . . . .	1.095.000
Énergie libérée par 1 kilogramme de vapeur d'eau à 100° condensée et refroidie à 0° . . . . .	270.725
Énergie libérée par 1 kilogramme de fer refroidi de 1.500° à 0°.	72.675
Énergie cinétique libérée par le choc d'une masse de fer pesant 1 kilogramme et animée d'une vitesse de 1.000 mètres par seconde.	51.000
Énergie libérée par la décharge de 1 kilogramme d'accumulateurs au plomb ayant emmagasiné 10 ampères-heures . . . . .	7.300
Maximum de l'énergie électrique accumulable dans une bouteille de Leyde de 1 décimètre cube environ de capacité . . . . .	0,05

Le tableau précédent donne des chiffres qui ne figurent à ma connaissance dans aucun traité de physique. Ils sont, je crois, fertiles en enseignement. Il serait trop long de donner ici les détails de nos calculs.



Les chiffres représentant les forces nécessaires pour modifier les états moléculaires sont évidemment considérables à l'égard de nos unités habituelles d'énergie, mais ils sont immensément faibles à l'égard de ces forces intra-atomiques dont nous avons étudié ailleurs la grandeur.

Il faut retenir de ce qui précède la constance des chiffres représentant l'énergie calorifique déplacée dans les diverses variations d'état de la matière. Ce qu'elle absorbe pour passer d'un état à un autre est toujours rigoureusement rendu quand elle revient à son état primitif. Il y a donc de simples déplacements d'énergie sans destruction ni création.

Ce fait si constant semblait un argument très solide en faveur non seulement de la conservation de l'énergie, mais aussi de cette notion capitale que la matière et l'énergie sont deux choses fort distinctes, la première servant de support à la seconde, mais ne la créant jamais.

Nos lecteurs savent comment j'ai essayé de renverser ces principes. Pratiquement, d'ailleurs, les données anciennes conservent toute leur valeur. Car si la matière est une source d'énergie très grande, nous ne savons encore en extraire jusqu'ici que des quantités insignifiantes.

### § 3 — LA CHALEUR PEUT-ELLE SERVIR DE MESURE A TOUTES LES FORMES D'ÉNERGIE

Dans tous les changements d'état des corps, nous avons parlé uniquement de la chaleur dégagée ou absorbée sans nous occuper des autres formes d'énergie mises en jeu. Jadis on n'en tenait aucun compte, mais l'étude approfondie des lois de l'électrolyse ayant montré la plupart des changements chimiques s'accompagnant d'une production rigoureusement constante d'électricité pour chaque réaction, il s'ensuivait que ces dernières peuvent s'exprimer en unités élec-



triques tout aussi bien qu'en unités caloriques. Aujourd'hui on tend de plus en plus, nous l'avons vu, à mesurer dans les électrolytes les réactions par la quantité d'électricité déplacée au lieu de les mesurer par celle de chaleur mise en jeu.

La génération de la chaleur et de l'électricité suivant une marche assez parallèle, on peut se demander si ces forces ne seraient pas des manifestations secondaires d'énergies inconnues dont on aperçoit seulement des effets. L'énergie chimique, par exemple, est probablement aussi différente de l'électricité et de la chaleur qu'elle engendre, que ces dernières le sont du frottement qui peut aussi les engendrer.

La chaleur étant très anciennement connue, et toutes les énergies paraissant pouvoir revêtir cette forme, il était naturel de la prendre comme unité de mesure. Quand on fait tomber des radiations sur une surface absorbante, on considère comme équivalentes celles qui produisent le même échauffement. De cette façon fut étudiée la répartition de l'énergie dans le spectre lumineux. Mais il apparaît maintenant que des énergies très actives peuvent se manifester sous d'autres états que la chaleur et ne sauraient par conséquent être évaluées par elle. La température, en avançant dans le spectre solaire vers l'extrême ultraviolet, devient de plus en plus faible et finit par être tellement minime qu'elle n'est perceptible que pour des instruments d'une sensibilité très grande. S'en tenant aux mesures calorifiques, on pourrait dire l'énergie à peu près nulle dans cette extrémité. Or, elle est, au contraire, extraordinairement active, dissociant les corps les plus résistants et les transformant en un torrent de particules de la famille des rayons cathodiques.

Il y a donc sans doute des formes d'énergie qui ne peuvent se ramener à la chaleur et que la chaleur ne saurait par conséquent permettre de mesurer. Ce



point très important finira certainement par attirer l'attention des physiciens.

§ 4. — LA CONCEPTION DU ZÉRO ABSOLU.

Les mouvements des particules des corps échauffés les écartent et font changer leur volume. Le thermomètre est basé sur ce fait. Plongé dans un milieu plus ou moins chaud, il indique la différence de température entre ce milieu et celle de la fusion de la glace prise comme zéro de la graduation de l'instrument.

Ce zéro est évidemment très arbitraire, puisqu'on aurait pu prendre comme origine de la graduation le point de fusion d'un corps quelconque. Tous nos zéros, tel par exemple celui des tensions électriques, sont également des points de repère conventionnels.

Les physiciens furent cependant conduits depuis longtemps à concevoir pour la température un zéro qui mériterait bien le nom d'absolu par lequel on le désigne, puisque les corps amenés à ce zéro ne contiendraient plus aucune énergie calorifique.

Cette conception fut imaginée à l'époque où la chaleur était considérée comme un fluide. La température à laquelle les corps auraient expulsé toute leur provision de ce fluide constituait le zéro absolu.

Les discussions théoriques permettant de le fixer ont été nombreuses. Laplace et Lavoisier le plaçaient entre 1.500 et 3.000 degrés au-dessous de la glace fondante. Dalton le fixait à 1.500 degrés. Les raisons de ces choix divers étaient d'ailleurs fort médiocres.

Bien qu'abandonnée, la théorie de la matérialité de la chaleur a continué à peser sur la pensée des physiciens. Des considérations tirées de l'étude de la thermodynamique conduisirent lord Kelvin à adopter pour le zéro absolu le chiffre de  $-273$  degrés, déjà



déduit de cette considération que les gaz se contractant de  $1/273$  de leur volume par degré, ne pourraient plus se contracter à 273 degrés au-dessous du zéro ordinaire.

Dans la conception du zéro absolu, les corps ne contiendraient donc plus de chaleur à  $-273$  degrés. Si la chaleur n'est que la conséquence des mouvements des particules matérielles, comme on l'admet généralement, ces mouvements cesseraient alors entièrement. Avec cette cessation disparaîtraient sans doute aussi les autres forces comme la cohésion. On ne voit pas très bien alors ce que la matière deviendrait. Divers physiciens considèrent d'ailleurs aujourd'hui le zéro absolu comme une limite théorique inaccessible, un simple point de repère pour les calculs.

Sa théorie est très antérieure à l'époque de la découverte de l'existence de l'énergie intra-atomique. On peut supposer à la rigueur que les énergies intramoléculaires, relativement très faibles, puissent disparaître à une certaine température; mais il est impossible d'admettre l'évanouissement des énergies intra-atomiques. Elles sont tellement considérables, en effet, que pour les annuler il faudrait des forces immensément supérieures à toutes celles dont nous pouvons disposer. Si, par un moyen quelconque, tel que l'abaissement de la température, on parvenait à troubler profondément les équilibres intérieurs des éléments toujours en vibration et rotation des atomes d'un fragment de matière, ils se désagrégeraient et retourneraient à l'éther.

Dans ce chapitre consacré à l'étude de la chaleur, nous n'avons pas eu à nous occuper de la sensation désignée par ce terme. « Ce qui dans notre sensation, dit Locke, est de la chaleur, n'est dans l'objet que du mouvement. »

Le physicien étudie ces mouvements, mais sans



avoir réussi à les expliquer. La chaleur est un chapitre de la physique dont quelques fragments se précisent, mais qui se compose surtout d'incertitudes. Nous verrons en grandir le nombre, en étudiant les relations des mouvements matériels produits par la chaleur avec ceux de l'éther que ces mouvements engendrent.



## CHAPITRE II

### Transformation des mouvements de la matière en vibrations de l'éther. La chaleur rayonnante.

---

#### § 1. — NATURE DE LA CHALEUR RAYONNANTE. ABSORPTION ET TRANSFORMATION PAR LA MATIÈRE DES VIBRATIONS DE L'ÉTHER.

Le terme classique de chaleur rayonnante est un des plus erronés de la physique, malgré sa justesse apparente. En s'approchant d'un foyer, on est échauffé ; il rayonne donc quelque chose. Que serait-ce, sinon de la chaleur ?

On mit fort longtemps pour découvrir qu'un corps chaud ne rayonne rien qui ressemble à de la chaleur. On sait aujourd'hui qu'il produit des vibrations de l'éther, n'ayant par elles-mêmes aucune température. Un corps chaud, du charbon incandescent par exemple, nous échauffe à distance, parce que les vibrations de l'éther qu'il engendre étant arrêtées par les molécules de l'air, ou les corps placés devant lui, engendrent de la chaleur. Ces vibrations ne sont pas de la chaleur, mais simplement une cause de chaleur, comme le serait un mouvement quelconque.

Cette confusion de la chaleur rayonnante avec la chaleur des corps, que perpétuent encore bien des livres classiques, empêcha pendant longtemps de reconnaître l'identité de la chaleur rayonnante et de la



lumière considérées jadis comme deux choses différentes.

Ce qu'on désigne du nom très impropre de chaleur rayonnante, a pour unique origine des vibrations de l'éther. Elles produisent de la chaleur lorsque leur mouvement est détruit, comme une pierre par son choc ; mais elles ne possèdent, je le répète, aucune température. On le prouve facilement en interposant une lentille de glace sur le passage d'un faisceau de chaleur rayonnante. Si intense que soit ce faisceau, la lentille n'est pas fondue, alors qu'un morceau de métal placé à son foyer devient incandescent. L'éther n'ayant aucune température et la glace étant très transparente pour ses vibrations, ces dernières l'ont traversée sans provoquer sa fusion. Le métal les arrêtant, au contraire, est devenu incandescent par l'absorption des vibrations de l'éther qu'il restitue ensuite sous forme d'autres vibrations, en devenant à son tour une source de cette chaleur rayonnante, sans température, dont nous venons d'indiquer les effets.

Puisque les vibrations de l'éther, qualifiées de chaleur rayonnante, ne produisent de la chaleur qu'après leur absorption par un corps, il est évident que dans les espaces célestes où n'existe pas, comme autour de la terre une atmosphère absorbante, un froid considérable doit régner même dans le voisinage d'astres incandescents, tels que le soleil. Le thermomètre, plongé dans ces espaces, y marquerait cependant une température très élevée, parce qu'il intercepterait des vibrations de l'éther ; la température qu'il indiquerait alors ne serait pas du tout celle du milieu ambiant, mais sa propre température. La glace n'y fondrait pas laissant passer, sans les arrêter, les vibrations de l'éther ; mais un métal deviendrait incandescent, car il absorbe les mêmes vibrations.

La vie n'est possible sur notre globe qu'à cause de l'absorption des vibrations de l'éther par l'atmosphère