

déjà publiées sur la dissociation spontanée de la matière, mais elles ne prouvent nullement, comme le croient quelques physiciens, qu'il y ait du radium partout. C'était la seule explication à laquelle pouvaient se rattacher les derniers partisans de la doctrine de l'indestructibilité de la matière. Admettre que les atomes de deux ou trois corps exceptionnels peuvent se dissocier est moins gênant que reconnaître qu'il s'agit d'un phénomène absolument général.

Nos expériences ôtent d'ailleurs toute vraisemblance à de telles explications. Quand nous réussissons à faire varier énormément la radio-activité d'un corps par certaines réactions chimiques, lorsque nous rendons très radio-actifs par leur mélange des corps tels que l'étain et le mercure qui, séparément, ne le sont pas, est-il vraiment possible d'imaginer que le radium soit pour quelque chose dans l'apparition de la radio-activité alors observée ?

Ce n'est que grâce à des expériences longues et minutieuses que j'ai pu établir l'universalité de la dissociation de la matière. Elles seront exposées dans la seconde partie de cet ouvrage. On n'indiquera dans ce chapitre que le résumé des résultats obtenus.

Sur quels phénomènes peut-on s'appuyer pour démontrer la dissociation de la matière ordinaire ?

Exactement sur ceux qui prouvent la dissociation des corps particulièrement radio-actifs, tels que le radium et le thorium, c'est-à-dire sur la production de particules émises avec une immense vitesse, capables de rendre l'air conducteur de l'électricité et d'être déviées par un champ magnétique.

Il existe d'autres caractères accessoires : impressions photographiques, production de phosphorescence et de fluorescence, etc., par les particules émises, mais ils sont d'une importance secondaire. Les 99 % de l'émission du radium se composent d'ailleurs de particules sans action sur la plaque

photographique et il existe des corps radio-actifs tels que le polonium, qui n'émettent que des radiations semblables.

Le plus important parmi les caractères énumérés plus haut est l'émission de particules rendant l'air conducteur de l'électricité et par conséquent déchargeant à distance un électroscope. Il a été exclusivement utilisé pour isoler le radium. C'est donc à lui que nous aurons principalement recours.

La possibilité de dévier ces particules par un champ magnétique et la mesure de leur charge électrique constituent ensuite les phénomènes les plus caractéristiques. Ils ont permis d'établir d'une façon indiscutable l'identité entre les particules émises par les corps doués de radio-activité, spontanée ou provoquée, et les rayons cathodiques de l'ampoule de Crookes. C'est le degré de déviation de ces particules par un champ magnétique qui a permis de mesurer leur vitesse.

§ 2. — DISSOCIATION DE LA MATIÈRE PAR LA LUMIÈRE.

Ce fut en étudiant attentivement l'action de la lumière sur les métaux et en constatant l'analogie des effluves qu'ils émettaient avec les rayons cathodiques que je fus conduit à découvrir l'universalité de la dissociation de la matière.

On verra dans la partie expérimentale de cet ouvrage que la technique des expériences démontrant la dissociation des corps sous l'influence de la lumière est assez simple, puisqu'elle se résume à envoyer sur un électroscope chargé positivement les effluves de matière dissociée qu'émet une lame métallique frappée par la lumière. Ces effluves ne sont pas produits uniquement par les métaux, mais par la plupart des corps. Pour quelques-uns, l'émission peut, à surface égale, être 40 fois plus considérable que celle

produite par certains corps spontanément radio-actifs tels que le thorium et l'uranium.

On a contesté pendant longtemps la composition de ces effluves que j'affirmais être de la nature des rayons cathodiques et des radiations émises par les corps radio-actifs, mais aujourd'hui aucun physicien ne nie cette identité.

Les effluves produits sous l'action de la lumière rendent, comme les rayons cathodiques, l'air conducteur de l'électricité, et sont également déviables par un aimant. La charge électrique des particules qui les composent, mesurée par J.-J. Thomson, a été trouvée égale à celle des particules cathodiques.

Nous montrerons dans la partie expérimentale de cet ouvrage que les diverses parties du spectre possèdent un pouvoir de dissociation très différent et que la résistance des divers corps à la dissociation par la lumière est fort inégale. L'ultra-violet est la région la plus active. Dans les régions extrêmes de l'ultra-violet produites par des étincelles électriques, régions qui n'existent pas dans le spectre solaire — parce que l'atmosphère les absorbe — on constate que tous les corps se dissocient avec une rapidité beaucoup plus grande qu'à la lumière ordinaire. Dans cette partie du spectre, des corps qui, ainsi que l'or et l'acier, ne sont pas influencés sensiblement par la lumière solaire, émettent des effluves en quantité assez abondante pour décharger presque instantanément l'électroscope. Si la terre n'était pas protégée de l'ultra-violet solaire extrême par son atmosphère, la vie, dans ses conditions actuelles, serait probablement impossible à sa surface.

La lumière solaire ne jouit pas de la propriété de dissocier les molécules des gaz. Celles-ci ne peuvent l'être que par les radiations tout à fait extrêmes de l'ultra-violet. Si, comme cela est probable, ces radiations existent dans le spectre solaire avant leur

absorption par l'enveloppe atmosphérique, une dissociation énergique des gaz de l'air doit se produire sur les confins de notre atmosphère. Cette cause a dû contribuer dans la suite des âges à priver certains astres comme la lune de leur atmosphère.

§ 3. — DISSOCIATION DE LA MATIÈRE PAR LES RÉACTIONS CHIMIQUES.

Nous arrivons ici à une des parties les plus curieuses et les plus imprévues de nos recherches. Persuadés du caractère général des phénomènes que nous avons constatés, nous nous sommes demandé si les réactions chimiques n'engendreraient pas des effluves analogues à ceux produits par la lumière sur les corps, effluves possédant toujours ce caractère commun de dissiper les charges électriques. L'expérience a pleinement vérifié cette hypothèse.

C'était là un fait absolument insoupçonné. On savait depuis fort longtemps, puisque l'observation remonte à Laplace et à Lavoisier, que l'hydrogène préparé par l'action du fer sur l'acide sulfurique était électrisé. Ce fait aurait dû d'autant plus frapper les physiciens que l'électrisation directe d'un gaz est impossible. Un gaz laissé indéfiniment en contact avec un plateau métallique chargé d'électricité ne s'électrise jamais. Si l'air pouvait s'électriser il ne serait plus isolant, un électroscope ne pourrait garder aucune charge et la plupart des phénomènes de l'électricité nous seraient encore inconnus. Mais ce fait d'une importance si grande, puisqu'il contenait la preuve, alors cachée, que la matière n'est pas indestructible, était passé complètement inaperçu.

Les phénomènes les plus frappants n'attirent guère notre attention que lorsqu'ils sont illuminés par d'autres phénomènes ou qu'une grande généralisation capable de les expliquer oblige à les regarder d'un peu

près. Si dans l'expérience de Lavoisier, que je viens de rappeler, l'hydrogène fut trouvé électrisé, c'était uniquement parce que les atomes de ce corps avaient subi un commencement de dissociation. Il est curieux de constater que la première expérience dont on pouvait déduire que la matière est périssable a eu précisément pour auteur le savant illustre dont le plus grand titre de gloire est d'avoir cherché à prouver que la matière est indestructible.

Les expériences réunies à la fin de cet ouvrage prouvent qu'un grand nombre de réactions chimiques, accompagnées ou non d'un dégagement de gaz, produisent des effluves analogues aux rayons cathodiques et révélant par conséquent une destruction sans retour de la matière pendant les réactions.

Parmi ces réactions, je me bornerai à mentionner : la décomposition de l'eau par le zinc et l'acide sulfurique ou simplement par l'amalgame de sodium, la formation d'acétylène au moyen du carbure de calcium, la formation d'oxygène par décomposition de l'eau oxygénée au moyen du bioxyde de manganèse, l'hydratation du sulfate de quinine.

En ce qui concerne le sulfate de quinine il présente des phénomènes fort curieux. Ce corps, on le savait depuis longtemps, devient phosphorescent par l'action de la chaleur, mais ce qu'on ne savait pas du tout, c'est que, lorsqu'il a perdu sa phosphorescence, en le chauffant suffisamment, il devient vivement lumineux par le refroidissement et radio-actif. Après avoir recherché la cause de sa phosphorescence par refroidissement, et prouvé qu'elle était due à une hydratation très légère, j'ai constaté que, par suite de cette hydratation, le corps devient radio-actif pendant quelques minutes. Ce fut le premier exemple que je découvris de dissociation de la matière, c'est-à-dire de radio-activité par réactions chimiques, et il me conduisit à en trouver beaucoup d'autres.

Depuis cette époque le docteur Kalähne, professeur de physique à l'université de Heidelberg, a repris le même sujet dans un mémoire important¹. Mes observations, dit-il, confirment absolument que le phénomène chimique indiqué par Gustave Le Bon est la cause du rayonnement. Rutherford a fait également vérifier mes résultats relatifs au sulfate de quinine par un de ses élèves qui leur a consacré un mémoire. Ce travail a été publié par la *Physical Review*, et Rutherford en a adopté et reproduit les conclusions dans son grand ouvrage sur la radio-activité.

L'auteur a constaté, comme moi, que l'air devenait conducteur de l'électricité et que le phénomène était bien produit, ainsi que je l'avais dit, par hydratation du sulfate de quinine, mais il croit que la radio-activité est due à une réaction chimique ou « à une sorte de lumière ultra-violette » engendrée par la phosphorescence.

Que la radio-activité soit due à une réaction chimique, c'est justement ce que j'avais voulu démontrer et ce que M. Kalähne a également confirmé. Qu'elle soit due à de la lumière ultra-violette est impossible, pour cette raison que la phosphorescence persiste beaucoup plus longtemps que la radio-activité, ce qui n'aurait pas lieu si cette dernière était la conséquence de la lumière produite par la phosphorescence.

Rutherford croit que les radiations ainsi produites diffèrent de celles des corps radio-actifs parce que, dit-il, elles sont peu pénétrantes. Il n'ignore pas, cependant, que cette pénétration ne prouve rien, puisque, suivant lui, les 99 % de l'émission du radium sont arrêtés par une mince feuille de papier et que certains corps très radio-actifs, tels que le

1. *Annalen der Physik*, p. 450. « Ce mémoire dit l'auteur en débutant contient les résultats de mes recherches sur le rayonnement du sulfate de quinine découvert par Gustave Le Bon ». Un examen du même sujet avait déjà été fait par M. Gate, mais par des méthodes différentes.

polonium, émettent uniquement des radiations ne possédant aucune pénétration. Je crois qu'en écrivant ce qui précède, l'éminent physicien était encore sous l'influence de l'idée, très répandue d'abord, que la radio-activité était l'apanage exclusif d'un petit nombre de corps exceptionnels.

§ 4. — DISSOCIATION DE LA MATIÈRE PAR LES ACTIONS ÉLECTRIQUES

Certaines actions électriques extrêmement intenses, par exemple des étincelles d'induction de 50 centimètres de longueur entre lesquelles est placé le corps à expérimenter, exercent bien une légère action, c'est-à-dire rendent un peu radio-actifs les corps soumis à leur influence; mais l'effet est beaucoup plus faible que celui produit par un simple rayon de lumière ou par la chaleur.

Il n'est pas très étonnant qu'il en soit ainsi. L'électricité, ainsi que je le montrerai bientôt, est un produit de la dissociation de la matière. Elle pourrait assurément engendrer, comme les rayons cathodiques ou les émissions radio-actives, des radiations secondaires sur les corps frappés, mais les ions auxquels elle donne naissance dans l'air ont une trop faible vitesse pour pouvoir produire beaucoup d'effet.

Sans doute on sait, d'après les expériences d'Elster et Geitel, qu'un fil électrisé à haut potentiel acquiert une radio-activité temporaire, mais on peut alors supposer que le fil, par suite de son électrisation, ne fait qu'attirer les ions existant toujours dans l'atmosphère.

C'est en poursuivant l'étude de la radio-activité provoquée par l'électricité, que j'ai été conduit à réaliser l'expérience dont il sera parlé ailleurs, permettant d'obliger les particules de matière dissociée à traverser visiblement, sans déviation, des lames minces de verre ou d'ébonite.

§ 5. — DISSOCIATION DE LA MATIÈRE PAR LA COMBUSTION

Si de faibles réactions chimiques, telle qu'une simple hydratation, peuvent provoquer la dissociation de la matière, on conçoit que les phénomènes de combustion qui constituent de puissantes réactions chimiques, doivent réaliser le maximum de la dissociation. C'est ce qu'on observe en effet. Un corps qui brûle est une source intense de rayons cathodiques analogues à ceux qu'émet un corps radio-actif, mais ne possédant pas, en raison de leur faible vitesse, une grande pénétration.

Depuis un siècle au moins on savait que les gaz des flammes déchargent les corps électrisés. Branly avait montré que même refroidis ils conservent cette propriété. Tous ces faits restaient sans interprétation et on ne soupçonnait guère qu'en eux résidait une des preuves de la dissociation des atomes.

C'est cependant la conclusion à laquelle on devait arriver. Elle a été nettement confirmée par les recherches récentes de J.-J. Thomson. Il a montré qu'un simple fil de métal ou de charbon porté au rouge blanc — par exemple, le fil de carbone d'une lampe à incandescence — est une source puissante et indéfinie d'électrons et d'ions, c'est-à-dire de particules identiques à celles des corps radio-actifs et portant la même charge électrique. « Nous sommes donc conduits à cette conclusion, dit-il, que d'un métal incandescent ou d'un fil de charbon chauffé sont projetés des électrons. » Leur quantité est énorme, fait remarquer le même auteur, car la quantité d'électricité que peuvent neutraliser ces particules correspond à plusieurs ampères par centimètre carré de surface. Nul corps radio-actif pourrait produire des électrons en telle proportion. Si on considère que le spectre du soleil indique la présence de beau-

coup de carbone dans sa photosphère, il en résulte que cet astre doit émettre une masse énorme d'électrons, qui, en frappant les couches supérieures de notre atmosphère, produisent peut-être les aurores boréales en raison de leur propriété de rendre phosphorescents les gaz raréfiés. Cette observation cadre parfaitement avec notre théorie de l'entretien de la chaleur du soleil par la dissociation de la matière qui le compose.

§ 6. — DISSOCIATION DE LA MATIÈRE PAR LA CHALEUR

Une chaleur très inférieure à celle produite par la combustion, c'est-à-dire ne dépassant pas 300° , est suffisante à provoquer la dissociation de la matière. Mais ici le phénomène est assez compliqué et son explication nous a demandé de très longues recherches.

C'est qu'en réalité la chaleur ne paraît pas agir alors comme agent de dissociation. Nous montrerons dans le chapitre consacré à nos expériences qu'elle agit comme si le métal contenait une provision limitée d'une substance analogue à l'émanation des matières radio-actives qu'il émettrait sous l'influence de la chaleur et ne récupérerait ensuite que par le repos. C'est pour cette raison que quand un métal a été rendu radio-actif par une légère chaleur, il perd bientôt toute trace de radio-activité et ne la reprend qu'après plusieurs jours. C'est du reste de la même façon que se conduisent, en réalité, les corps radio-actifs, mais en raison de leur activité beaucoup plus grande que celle des corps ordinaires, ce qu'ils perdent constamment se reconstitue à mesure de la perte, à moins qu'on ne les chauffe au rouge. Dans ce cas, la perte ne se compense qu'au bout d'un certain temps.

Lorsque j'ai publié ces expériences, J.-J. Thomson n'avait pas encore fait connaître ses recherches

prouvant que presque tous les corps de la nature contiennent une émanation comparable à celle des corps radio-actifs, tels que le radium et le thorium. Ses observations confirment les miennes pleinement.

§ 7. — DISSOCIATION SPONTANÉE DE LA MATIÈRE

Mes expériences auxquelles je viens de faire allusion prouvent que la plupart des corps contiennent une provision de matière radio-active qui peut être expulsée par une légère chaleur et se reconstitue spontanément ; ces corps sont donc, comme les substances radio-actives ordinaires, soumis à une dissociation spontanée. Elle est d'ailleurs extrêmement lente.

Dans les expériences précédentes cette dissociation spontanée n'a pu être mise en évidence que par une légère chaleur. On peut cependant, à l'aide d'artifices divers, par exemple en repliant le métal sur lui-même, de façon à en faire un cylindre fermé, laisser se former en son intérieur des produits radio-actifs dont on constate ensuite la présence par l'électroscope, mais le corps expérimenté cesse bientôt d'être actif.

Il n'a pas pour cela épuisé toute sa provision de radio-activité ; il a simplement perdu ce qu'il peut émettre à la température sous laquelle on opère. Mais, de même qu'à l'égard des corps phosphorescents ou des matières radio-actives, il suffit de le chauffer un peu pour qu'il produise une émission plus considérable d'effluves actifs.

Les recherches que je viens de résumer prouvent que tous les corps de la nature sont radio-actifs et que cette radio-activité n'est en aucune façon une propriété particulière à un petit nombre de corps.

Toute matière tend donc spontanément vers la dissociation. Cette dernière est le plus souvent minime, parce qu'elle est empêchée par l'action de forces antagonistes. Ce n'est qu'exceptionnellement, et sous diverses influences telles que la lumière, la combus-

tion, les réactions chimiques, etc., capables de lutter contre ces forces, que la dissociation atteint une certaine intensité.

Ayant prouvé par les expériences qui viennent d'être résumées et dont on trouvera le détail à la fin de ce volume que la dissociation de la matière est un phénomène général, nous sommes fondés à dire que la doctrine de l'invariabilité du poids des atomes sur lequel toute la chimie moderne est basée n'est qu'une trompeuse apparence résultant uniquement du défaut de sensibilité des balances. Il suffirait qu'elles fussent suffisamment sensibles pour que toutes nos lois chimiques soient considérées comme de simples approximations. Avec des instruments précis nous constaterions, dans une foule de circonstances, et, en particulier, pendant les réactions chimiques, que l'atome perd une partie de son poids. Il nous est donc permis d'affirmer, contrairement au principe posé comme base de la chimie par Lavoisier, que : *on ne retrouve pas dans une combinaison chimique le poids total des corps employés pour produire cette combinaison.*

§ 8. — ROLE DE LA DISSOCIATION DE LA MATIÈRE DANS LES PHÉNOMÈNES NATURELS.

Nous venons de voir que des causes très diverses et agissant d'une façon continuelle, telles que la lumière, peuvent dissocier la matière et la transforment finalement en éléments ne possédant plus aucune des propriétés de la matière et ne pouvant plus redevenir de la matière.

Cette dissociation qui s'accomplit depuis l'origine des âges a dû jouer un grand rôle dans les phénomènes naturels. Elle est probablement l'origine de l'électricité atmosphérique.

Elle est sans doute aussi celle des nuages, et par conséquent des pluies qui exercent un si grand rôle sur les climats. Une des propriétés caractéristiques des émissions radio-actives est de condenser la vapeur d'eau, propriété que possèdent d'ailleurs toutes les poussières et qu'on démontre par une expérience connue depuis longtemps. Un ballon plein d'eau en ébullition est mis en communication par des tubes de verre avec deux autres ballons, l'un rempli d'air ordinaire pris dans un appartement, l'autre plein du même air dépouillé de ses poussières par simple filtration, à travers de la ouate. On constate alors que la vapeur arrivant dans le ballon contenant de l'air non dépouillé de poussières se condense immédiatement en un épais brouillard, alors que la vapeur arrivant dans le ballon contenant de l'air pur ne se condense pas.

Nous voyons combien s'accroît l'importance du phénomène de la dissociation de la matière à mesure que nous poursuivons son étude. Son universalité s'étend chaque jour, et l'heure n'est pas loin, je crois, où elle sera considérée comme l'origine d'un grand nombre de phénomènes observés à la surface de notre planète.

Mais ce ne sont pas là les plus importants des phénomènes dus à la dissociation de la matière. Nous avons déjà montré qu'elle était la source de la chaleur solaire et nous verrons bientôt qu'elle est l'origine de l'électricité.

CHAPITRE V

Les équilibres artificiels des éléments provenant de la dématérialisation de la matière.

Nous verrons dans un prochain chapitre que les particules qui s'échappent d'une pointe électrisée en rapport avec un des pôles d'une machine électrique en mouvement sont composées d'ions et d'électrons ayant la même composition que les particules de matière dissociée émises par les corps radio-actifs ou par un tube de Crookes. Elles rendent également l'air conducteur de l'électricité et sont déviées par un champ magnétique.

Si donc nous voulons étudier les équilibres dont sont susceptibles les éléments de matière dissociée, nous pouvons remplacer un corps radio-actif par une pointe électrisée en rapport avec un des pôles d'une machine électrique.

Ces particules sont soumises aux lois des attractions et répulsions qui régissent tous les phénomènes



FIG. 4.

Rayonnement de particules de matière dissociée non soumise à des attractions ou à des répulsions. (Photographie instantanée.)

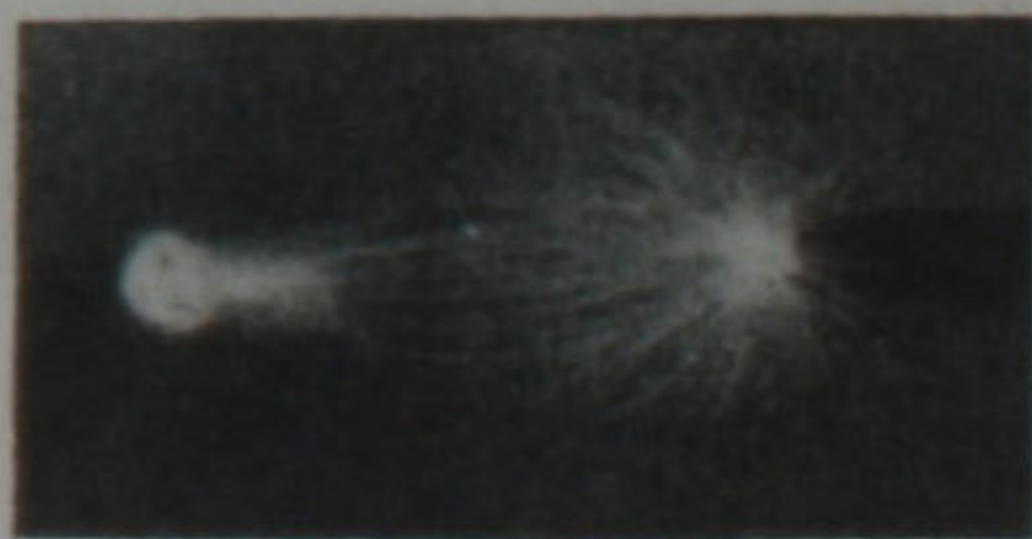


FIG. 5.

Attractions de particules de matière dissociée chargée d'électricité positive et négative. (Photographie instantanée.)

électriques. En utilisant ces lois nous pourrions obtenir à volonté les équilibres les plus variés.

De tels équilibres ne pourront être maintenus qu'un instant. Si nous

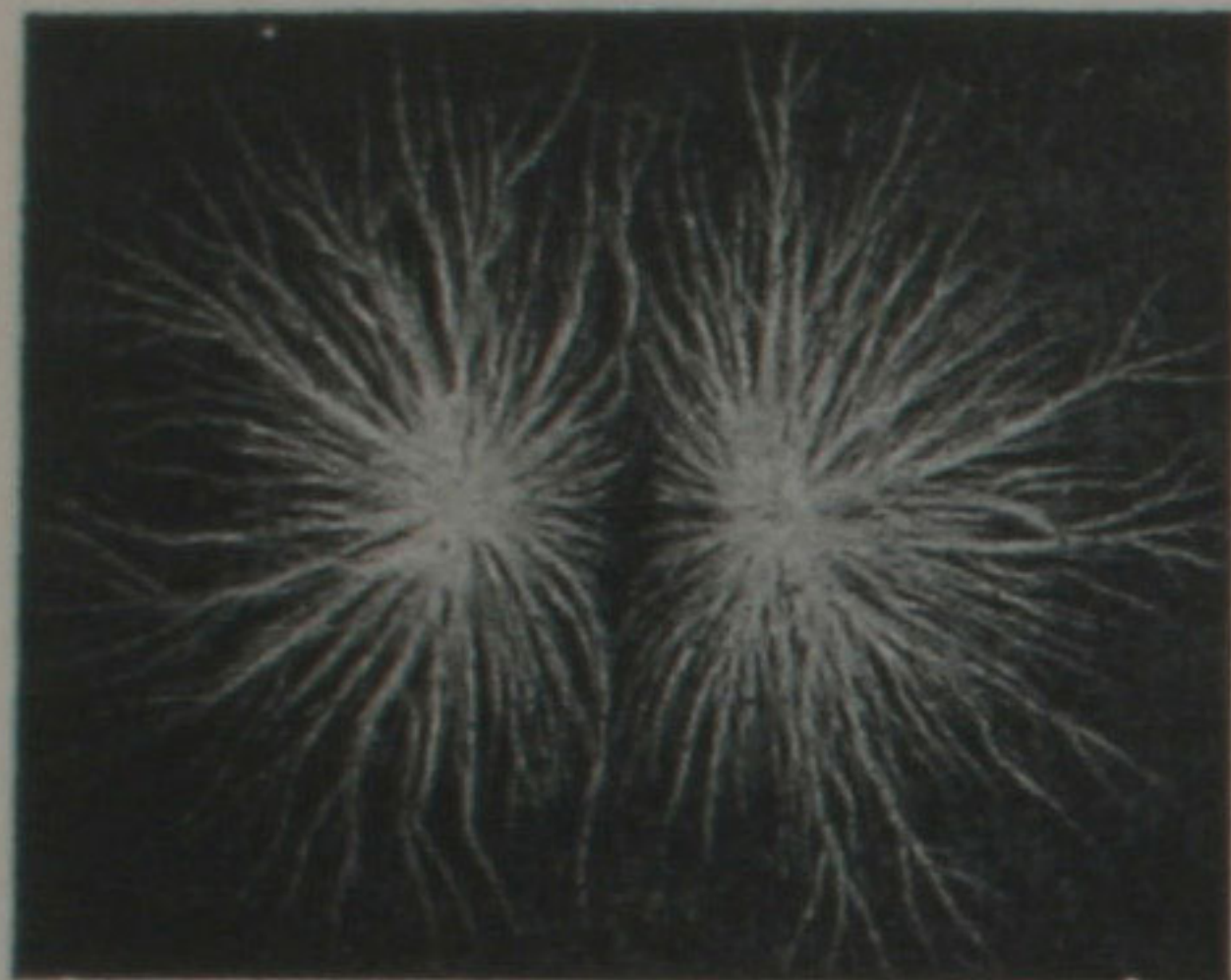


FIG. 6.

Répulsion de particules de matière dissociée émises par deux pointes et se mouvant suivant la direction des lignes de force. (Photographie instantanée.)

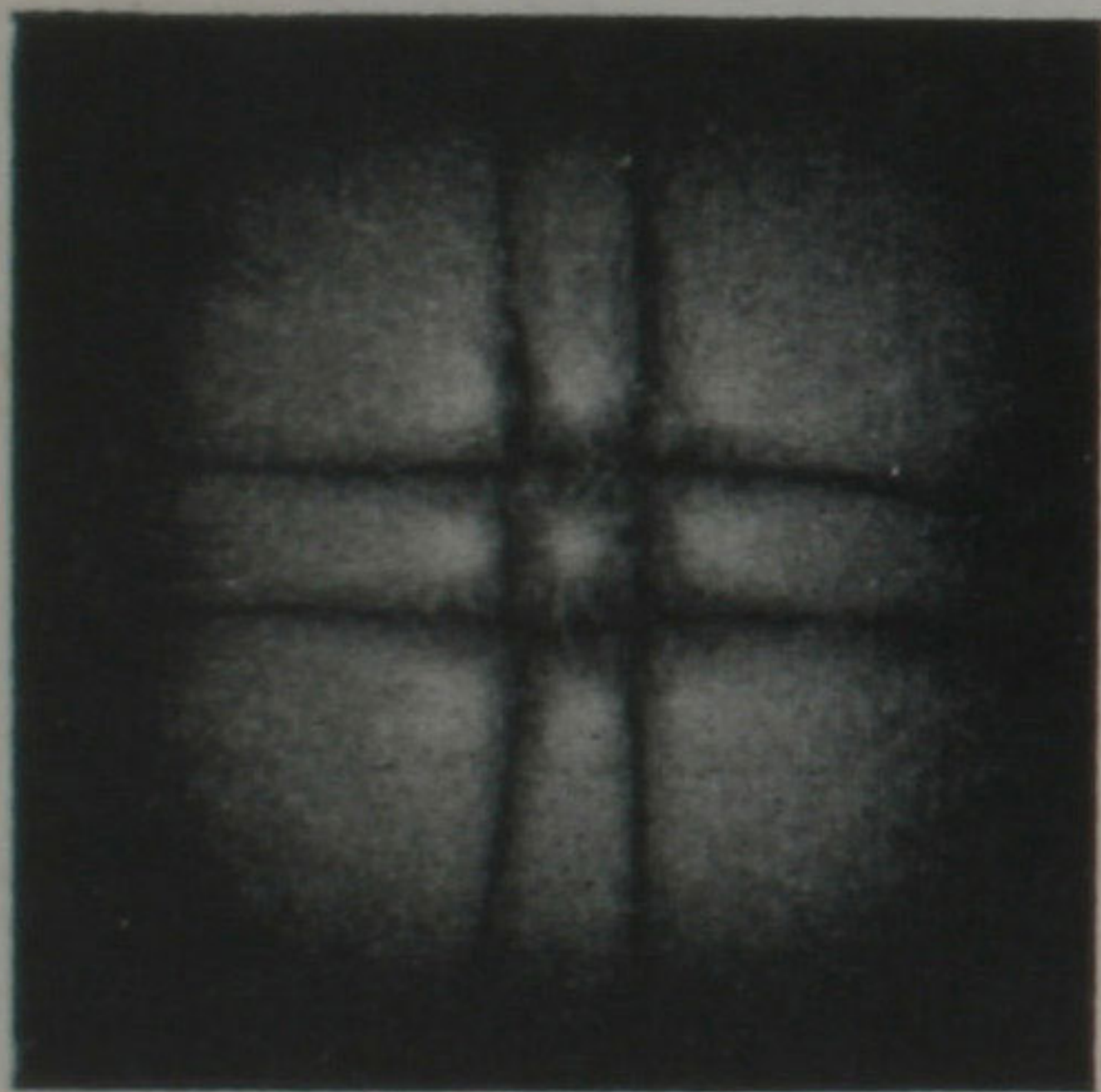


FIG. 7.

Répulsion de particules de matière dissociée émises par plusieurs pointes. (Photographie instantanée.)

pouvions les fixer pour toujours, c'est-à-dire de façon à ce qu'ils puissent survivre à leur cause génératrice, nous réussirions à créer avec des particules immatérielles quelque chose qui ressemblerait singulièrement à de la matière. La quantité énorme d'énergie condensée dans l'atome montre l'impossibilité de réaliser une telle expérience.

Mais si nous ne pouvons pas réaliser avec des choses immatérielles des équilibres pouvant survivre à la cause qui les a fait naître, nous pouvons au moins les maintenir un temps suffisant pour les photographier et créer ainsi une sorte de matérialisation momentanée.

En utilisant uniquement les lois dont nous parlions plus haut, nous avons réussi à grouper les particules de matière dissociée, de façon à donner à leur groupement toutes les formes possibles : lignes droites ou courbes, prismes, cellules, etc., que nous avons fixées ensuite par la photographie.

Dans les figures 8 à 11 nous voyons des figures droites et courbes produites par les répulsions exercées entre particules de matière dissociée ayant

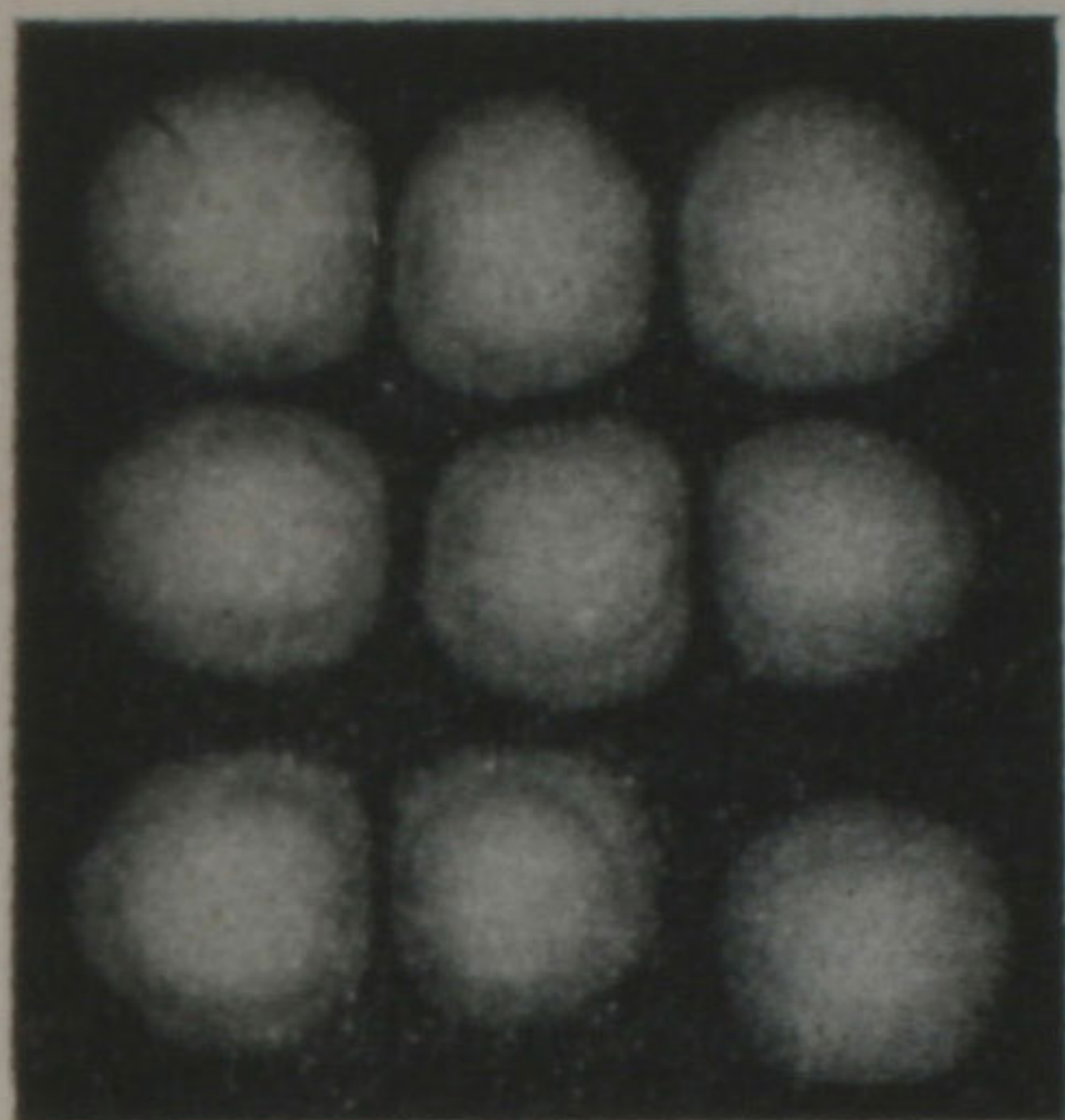


FIG. 8.

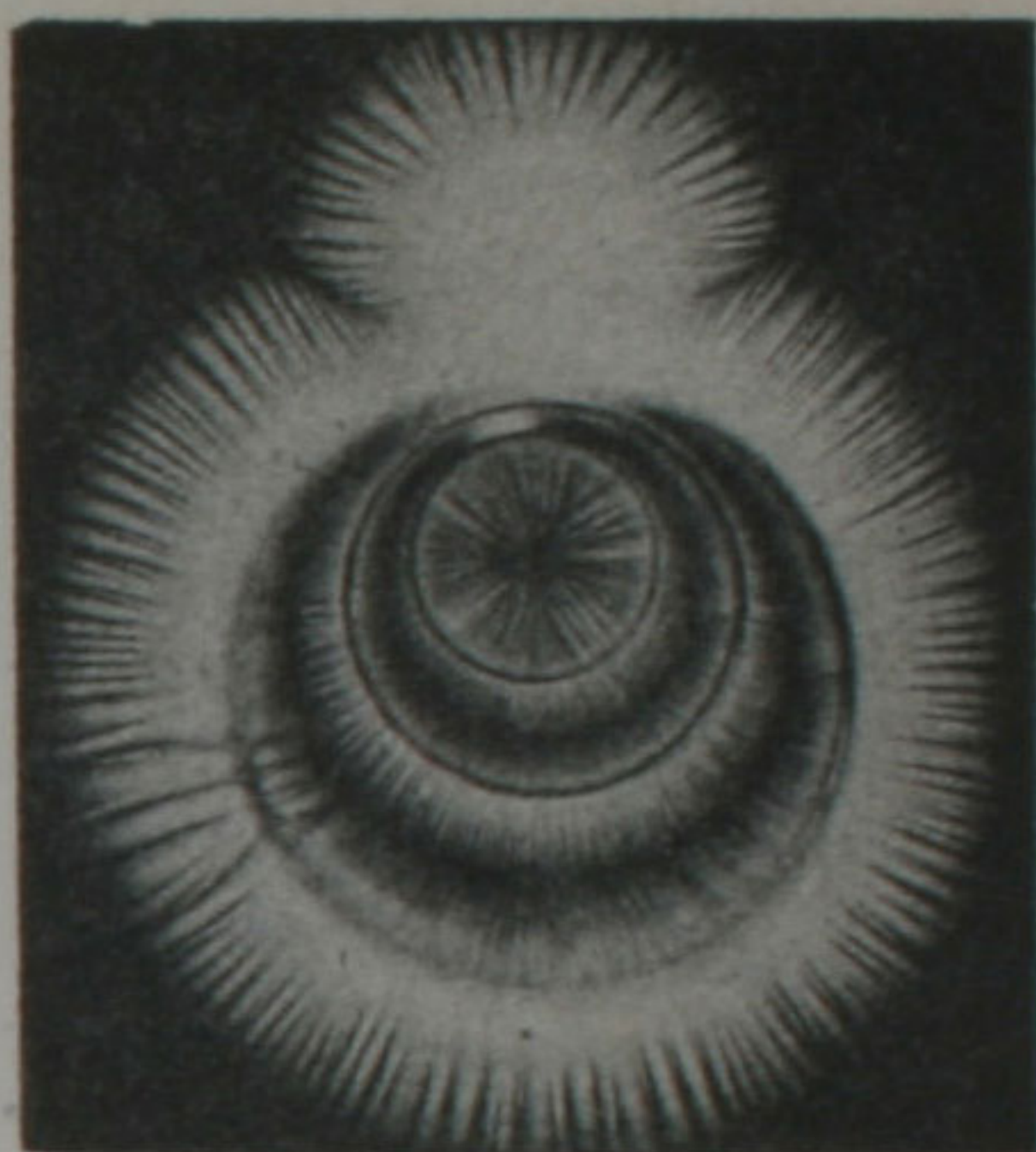


FIG. 9.

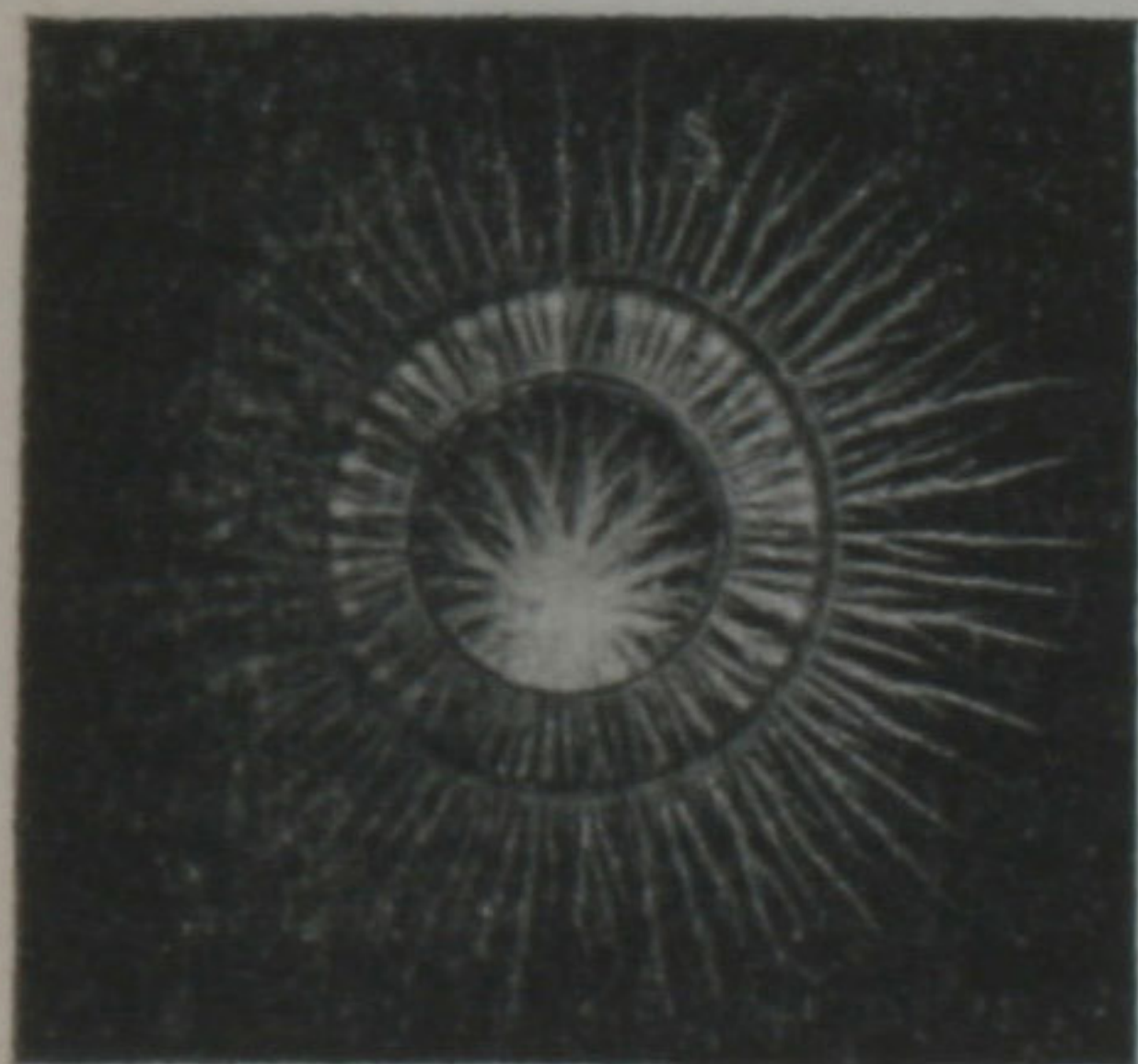


FIG. 10.



FIG. 11.

Figures diverses obtenues en obligeant les particules de matière dissociée à se mouvoir et à se repousser suivant certaines directions.

des charges électriques de même signe. Dès que ces particules sont suffisamment rapprochées, elles se repoussent et n'arrivent pas à se toucher, comme le montrent les lignes noires qui les séparent, et le raccourcissement considérable du rayonnement du côté où les particules sont en présence. En multipliant les

décharges, au moyen d'un système de fines aiguilles, on arrive aux formes régulières des figures 12 à 15.

Les formes polygonales, représentées dans quelques-unes de nos photographies, ne sont pas, bien entendu, la reproduction d'images planes, mais bien de formes possédant trois dimensions, dont la photographie ne peut évidemment donner que la projection. Ce sont donc bien des figures dans l'espace que nous avons obtenues en maintenant momentanément, dans l'équilibre que nous leur imposons, des particules de matière dissociée¹.

Les particules qui formèrent le modèle des images ici reproduites ne se composent pas uniquement d'électrons. D'après les idées actuelles, on doit les considérer comme constituées par des atomes électriques entourés d'un cortège de particules matérielles. Elles sont donc formées de ces ions que nous avons étudiés dans un précédent chapitre. Mais leur noyau est constitué par ces atomes électriques que produit la dématérialisation de la matière.

Parmi les formes d'équilibre diverses que nous pouvons faire prendre aux particules de matière dissociée, il en est une, la forme globulaire, dont la théorie n'est pas établie encore, car les attractions et répulsions ne suffisent pas à l'expliquer. Il est vraisemblable que les atomes électriques doivent s'y trouver dans un état d'équilibre tourbillonnaire spécial. Cet équilibre, quoique encore momentané, est cependant beaucoup plus stable que dans les expériences précédentes.

L'électricité sous cette forme a été observée pendant plusieurs orages, mais assez rarement pour qu'on se soit cru fondé pendant longtemps à nier son exis-

1. On peut en utilisant les répulsions et attractions électriques annuler entièrement l'action de la pesanteur. J'ai décrit dans la *Nature* (16 décembre 1905) une expérience dans laquelle j'ai réussi à immobiliser entièrement dans l'espace un corps solide soumis à l'influence d'un champ électrique.

tence. Elle se présente alors sous l'aspect de globes brillants, pouvant atteindre la grosseur d'une tête d'enfant. Ils circulent lentement et finissent par

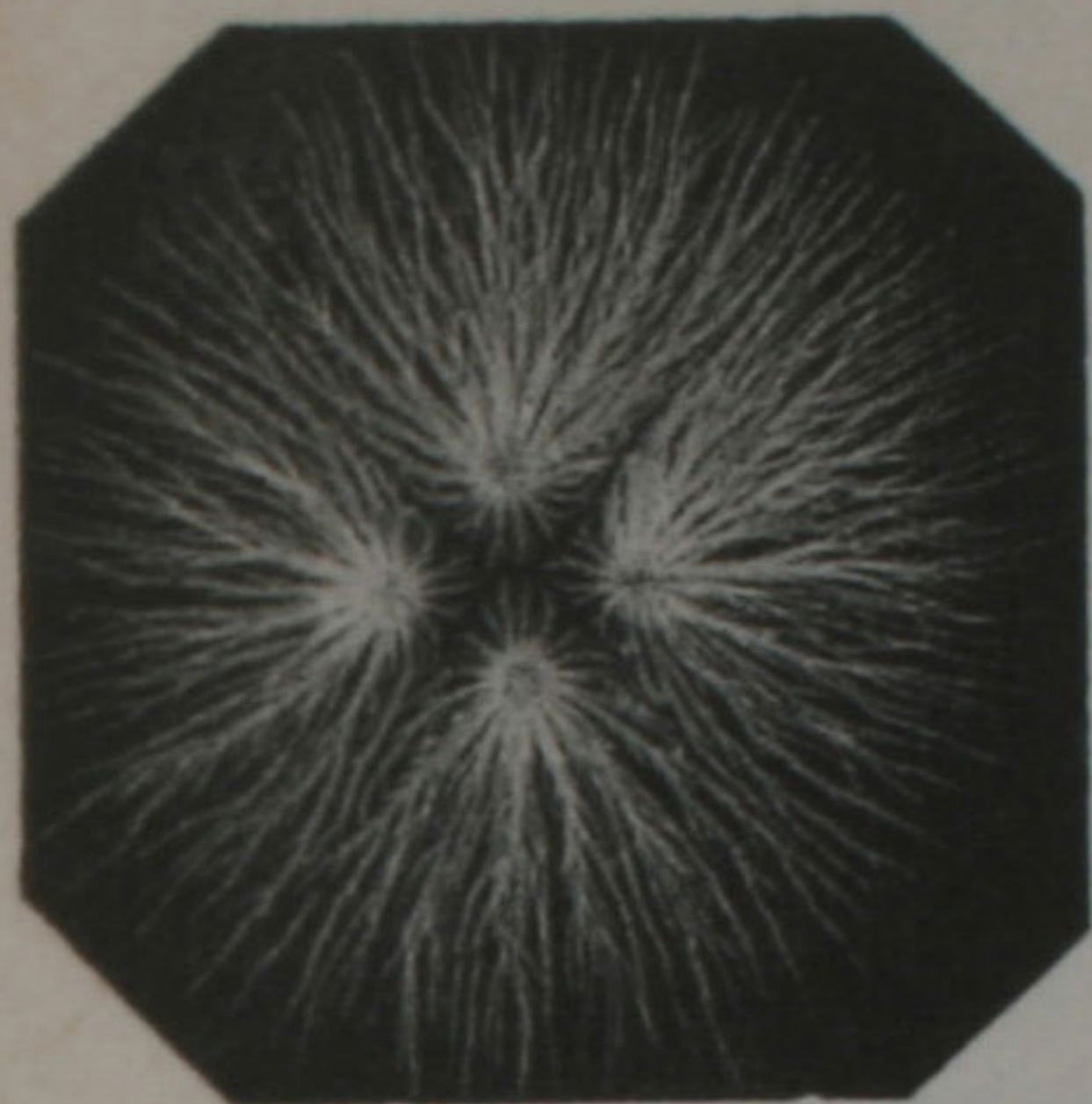


FIG. 12.

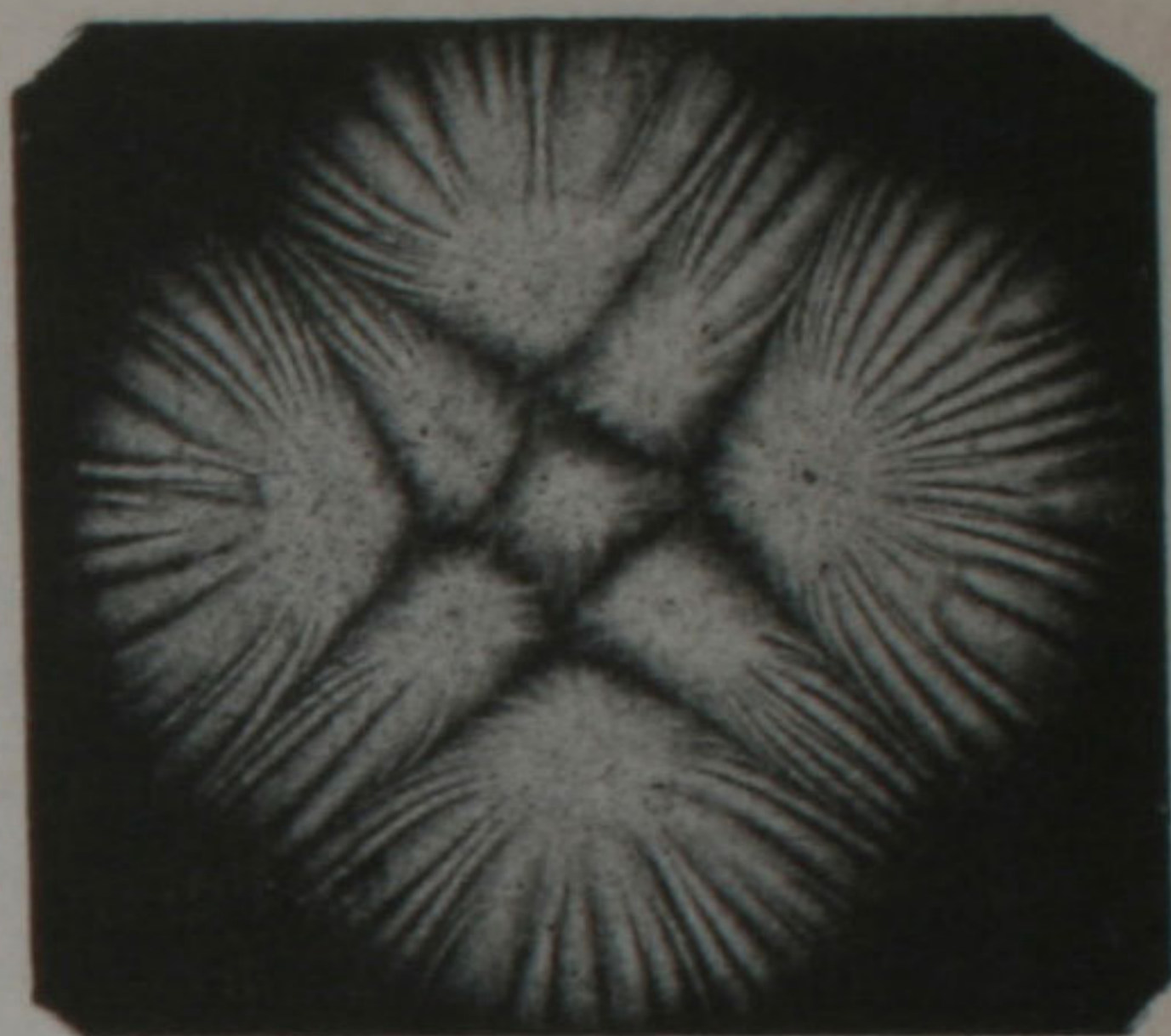


FIG. 13.

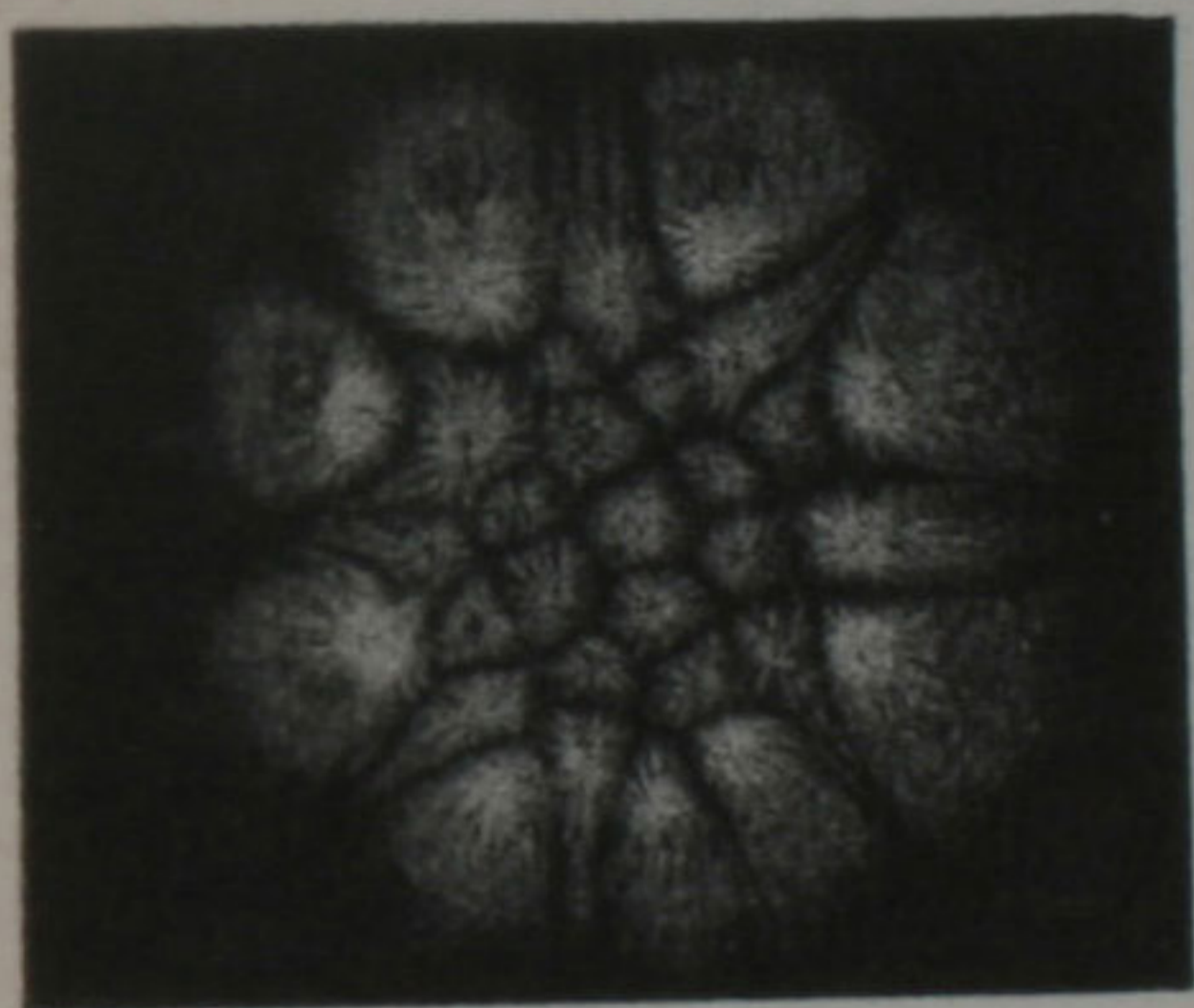


FIG. 14.

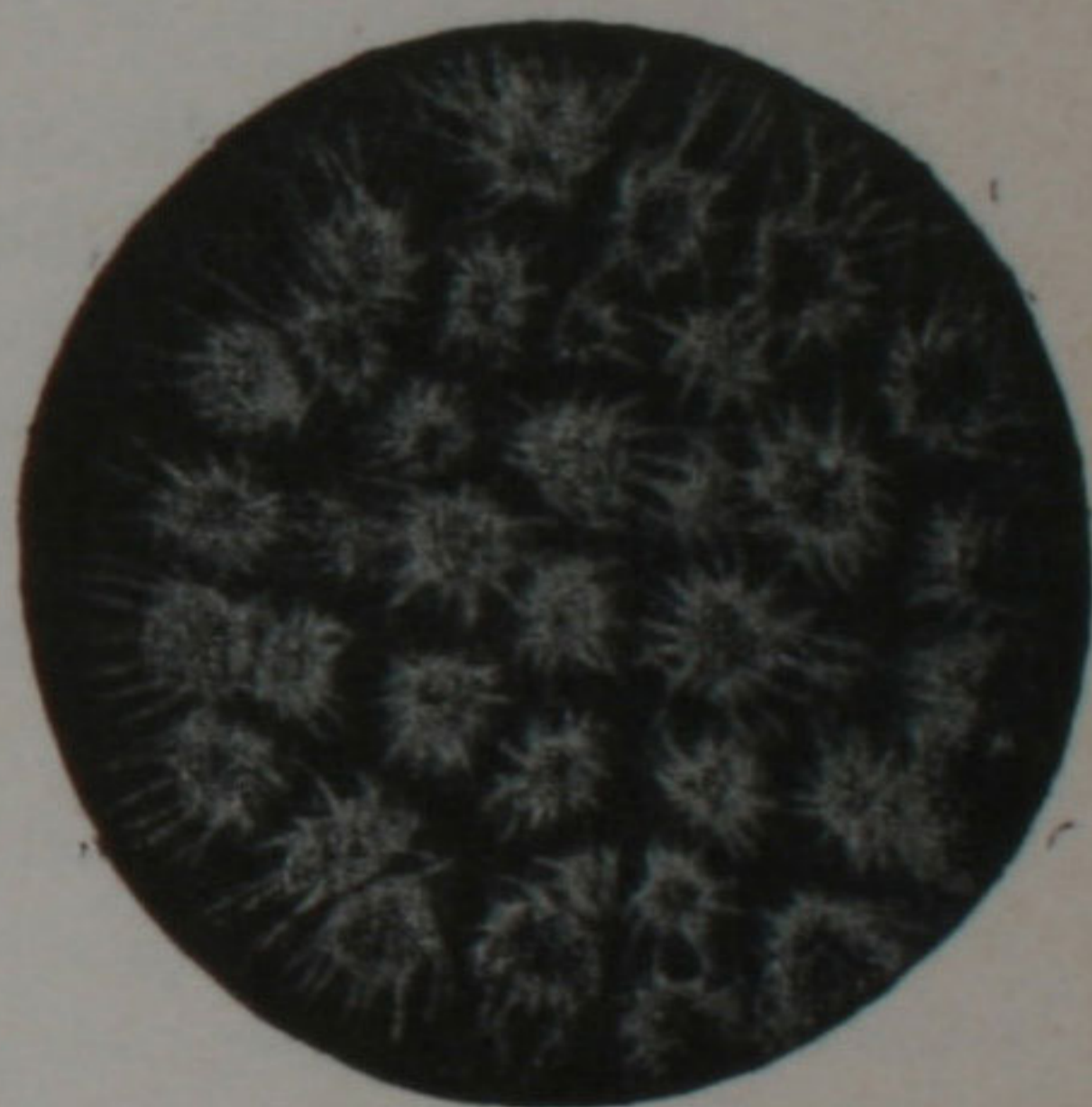


FIG. 15.

Matérialisations apparentes produites dans l'espace en utilisant les répulsions des particules de matière dissociée. — Dans la figure 12, on voit comment se font les répulsions entre particules sorties de quatre pointes électrisées voisines. Dans les figures 13, 14 et 15, on a multiplié le nombre des pointes et on est arrivé finalement à créer dans l'espace des figures dont les photographies représentent les projections et dont quelques-unes rappellent, par leurs formes, les cellules des êtres vivants.

éclater bruyamment, comme un obus, en produisant de grands ravages. L'énergie qui y est enfermée est donc considérable, et j'invoque volontiers cet exemple

pour faire comprendre ce que peut être de l'énergie condensée dans un état d'équilibre douée de stabilité, au moins momentanée.

Nous ne pouvons espérer engendrer dans nos laboratoires des phénomènes d'une telle intensité, mais nous pouvons les reproduire sur une petite échelle.

On obtient de petites sphères lumineuses imitant la foudre globulaire par diverses méthodes. Celle de M. Leduc permet de les former avec une grande facilité. Il suffit de placer sur une plaque photographique, à quelques centimètres l'une de l'autre, deux tiges très fines en relation chacune avec l'un des pôles d'une machine statique. Il sort bientôt de la tige reliée au pôle négatif de petites sphères lumineuses de 1 millimètre environ de diamètre apparent qui se dirigent très lentement vers l'autre tige et s'évanouissent en la touchant.

Mais, avec cette façon d'opérer, on peut toujours supposer l'existence d'une forme particulière d'effluves agissant entre les deux pôles. J'ai donc cherché à obtenir l'électricité en boule avec un seul pôle. J'y ai réussi par un procédé très simple. Une tige métallique d'un demi-centimètre environ de diamètre, terminée par une aiguille, dont on appuie la pointe sur une plaque couverte de gélatino-bromure d'argent, est reliée au pôle négatif d'une machine de Wimshurst. L'autre pôle est mis à la terre. La machine étant en mouvement, on voit bientôt se détacher de la pointe de l'aiguille une ou plusieurs boules lumineuses qui cheminent lentement et disparaissent brusquement après un parcours de quelques centimètres, en laissant sur la plaque la trace de leur trajet.

Si, au lieu d'employer une grosse tige terminée par une aiguille, on se servait d'une tige fine, on n'obtiendrait pas la formation de sphères lumineuses. Le phé-

nomène semble se passer, — bien que probablement il se produise tout autrement, — comme si l'électricité de la grosse tige s'accumulait à la pointe de l'aiguille à la façon d'une goutte de liquide.

Il est difficile de préciser le rôle du gélatino-bromure de la plaque photographique dans ces expériences. Sa présence facilite le résultat, mais est-elle indispensable ? Quelques auteurs disent avoir obtenu l'électricité en boule avec de simples lames de verre ou de mica, mais je n'ai pas réussi à les produire de cette manière.

Quoi qu'il en soit, les sphères lumineuses formées par un des procédés que j'ai indiqués, jouissent de propriétés très singulières et notamment d'une stabilité considérable. On peut les toucher et les changer de place avec une lame métallique sans les décharger¹. Un champ magnétique — au moins celui d'intensité assez faible dont je disposais — est sans action sur elles. Si ces sphères ne sont constituées que d'ions agglomérés, ces derniers doivent s'y trouver dans un état très spécial. Leur stabilité ne peut résulter que de mouvements tourbillonnaires extrêmement rapides, analogues à ceux du gyroscope qui, on le sait, ne doit son équilibre qu'au mouvement de rotation dont il est animé.

Dans les expériences précédentes, nous avons réalisé avec des particules de matière dissociée des figures géométriques d'une stabilité momentanée et ne survivant guère à la cause qui les engendrait;

1. Dans un cas de foudre globulaire observé à *Autun*, cité dans les *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* du 29 août 1904, M. Roche rapporte que le globe de feu, après avoir parcouru 500 mètres en arrachant les portes et rasant trois gros corps de cheminées, a occasionné une très forte commotion sur la sous-préfecture surmontée d'un paratonnerre. Le narrateur en tire cette conclusion : « Il semble donc que le paratonnerre soit sans action sur la foudre globulaire ». Ce dernier fait est à rapprocher de l'impossibilité constatée dans nos expériences de décharger un globule électrique en le touchant avec un corps métallique.

mais il est possible de maintenir pour un temps assez long certaines formes du fluide électrique sur une surface et de lui faire prendre la forme de figures géométriques planes à contours arrêtés.

En parlant des propriétés des gaz ionisés, nous avons qualifié de fluide ionique le fluide que les particules ionisées constituent par leur ensemble. Grâce à son inertie, il est aisé, en suivant la méthode

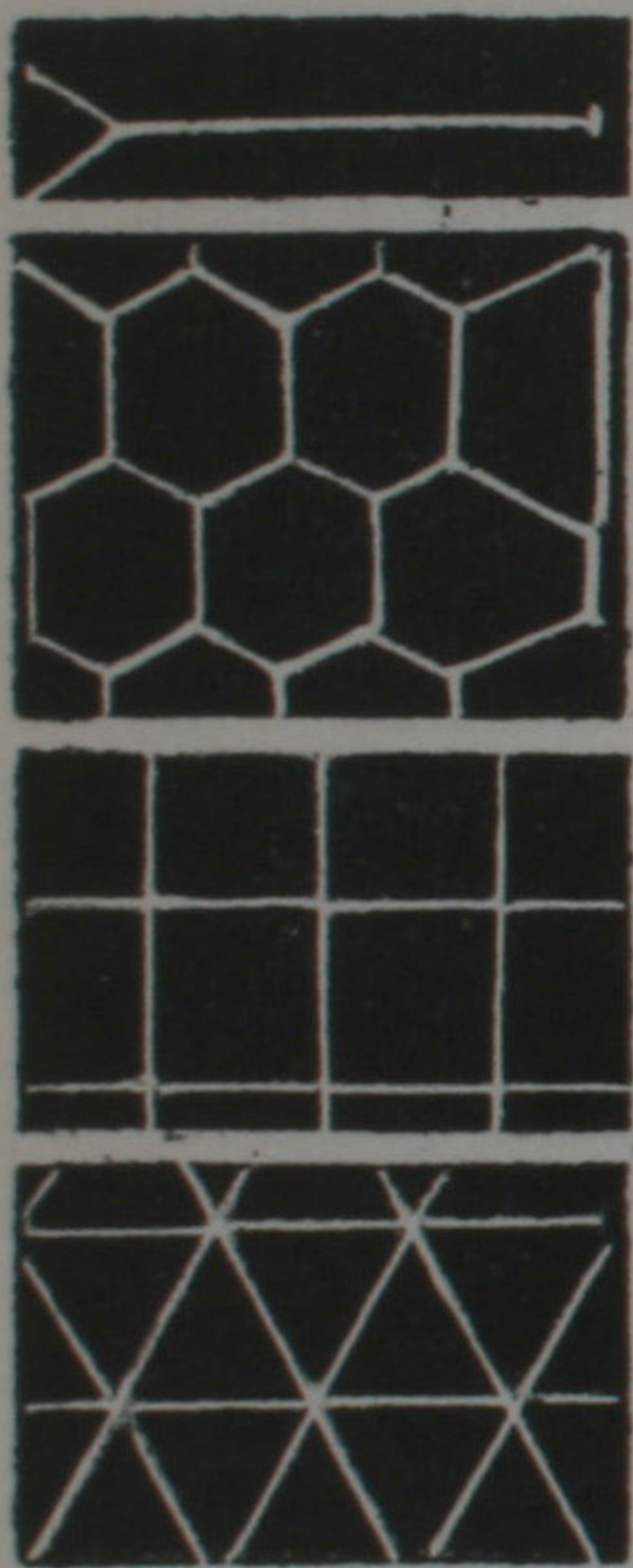


FIG. 16 à 19. — Photographies de figures géométriques obtenues par le fluide ionique localisé sur des plateaux de colophane.

indiquée par M. le professeur de Heen, de le transformer en figures géométriques régulières possédant une certaine fixité. L'expérience est très simple. On prend un grand plateau carré de colophane de 30 à 40 centimètres de côté et on commence par l'électriser en promenant sa surface sur un des pôles d'une machine électrique en mouvement. On expose ensuite plusieurs secondes la face électrisée de ce plateau à quelque distance de deux sources d'ionisation, par exemple deux brûleurs de Bunsen, placés à 5 ou 6 centimètres l'un de l'autre. Les ions partis de ces sources arrivent au contact du plateau, repoussent l'électricité, puis, quand ils sont en présence, s'arrêtent et forment une ligne droite

(fig. 16). On rend visible cette ligne invisible en saupoudrant le plateau de soufre en poudre avec un tamis. En secouant ensuite légèrement le plateau, il ne reste à sa surface que la ligne droite tracée par le fluide ionique.

Si, au lieu de deux brûleurs, on en dispose un cer-

tain nombre formant les sommets de figures géométriques, on obtient sur le plateau des images variées : triangles, hexagones, etc., aussi réguliers que si on les avait tracés avec une règle (fig. 17 à 19). Il est évident qu'avec un gaz ordinaire, nous ne pourrions rien produire de pareil, puisqu'en se diffusant dans l'atmosphère, il s'échapperait hors du plateau.

Dans les diverses expériences précédemment énumérées, nous avons matérialisé, cristallisé en quelque sorte, pour un instant, ce fluide si immatériel en apparence, composé de la réunion des éléments provenant de la dissociation de la matière. Nous pouvons entrevoir maintenant comment, avec des équilibres plus compliqués et surtout avec les forces colossales dont elle dispose, la nature a pu créer ces éléments stables qui constituent les atomes matériels. En évoluant vers l'état de matière, l'éther a dû passer sans doute par des phases intermédiaires d'équilibre analogues à celles indiquées dans ce chapitre et aussi par des formes diverses dont nous ignorons l'histoire.

CHAPITRE VI

Comment, malgré sa stabilité, la matière peut se dissocier.

§ 1. — LES CAUSES SUSCEPTIBLES DE MODIFIER LES ÉDIFICES MOLÉCULAIRES ET ATOMIQUES

La première objection qui vient à l'esprit d'un chimiste auquel on expose la théorie de la dissociation de la matière est celle-ci : comment des corps aussi stables que les atomes et qui paraissent résister aux réactions les plus violentes, puisqu'on retrouve toujours leur poids invariable, peuvent-ils se dissocier, soit spontanément, soit sous des influences aussi légères qu'un rayon de lumière à peine capable d'influencer un thermomètre ?

Dire, comme nous le soutenons, que la matière est un réservoir considérable de forces, montre simplement qu'il n'est pas besoin de rechercher au dehors l'origine de l'énergie dépensée pendant la dissociation, mais cela n'explique nullement comment l'énergie intra-atomique condensée sous une forme évidemment très stable peut s'affranchir des liens qui la maintiennent. La doctrine de l'énergie intra-atomique ne fournit donc pas de réponse à la question qui vient d'être posée. Elle ne saurait dire pourquoi l'atome, qui est, au moins en apparence, la plus stable des choses de l'univers, peut, dans certaines conditions,

perdre sa stabilité au point de se désagréger facilement.

Si nous voulons découvrir la solution de ce problème, il sera d'abord nécessaire de montrer, par divers exemples que pour produire dans la matière des changements d'équilibre très profonds, ce n'est pas toujours la grandeur de l'effort qui importe, mais bien la qualité de cet effort. Chaque équilibre de la matière n'est sensible qu'à un excitant approprié, et c'est cet excitant qu'il faut trouver pour obtenir un effet cherché. Quand on l'a découvert, on constate aisément que de très faibles causes peuvent modifier facilement l'équilibre des atomes et déterminer, comme l'étincelle sur une masse de poudre, des effets dont l'intensité dépasse beaucoup celle de la cause provocatrice.

Une analogie acoustique bien connue permet de préciser cette différence entre l'intensité et la qualité de l'effort au point de vue des effets produits. Le coup de tonnerre le plus violent, l'explosion la plus bruyante, peuvent être impuissants à faire vibrer un diapason, tandis qu'un son très faible, mais de période convenable, suffira à le mettre en mouvement. Quand un diapason entre en vibration parce que l'on a produit dans son voisinage un son identique à celui qu'il peut rendre, on dit qu'il vibre par résonance. On sait le rôle joué aujourd'hui aussi bien en acoustique qu'en optique par la résonance : c'est elle qui explique le mieux les phénomènes d'opacité et de transparence. Elle peut servir, avec tous les faits que je vais citer, à expliquer que des causes infimes puissent produire sur la matière de grandes transformations.

Bien que nos moyens d'observer les variations intérieures des corps soient très insuffisants, des faits, déjà nombreux, prouvent qu'il est facile de changer profondément les équilibres moléculaires et

atomiques, quand on sait faire agir sur eux les excitants appropriés. De ces faits je me bornerai à rappeler quelques-uns.

Un simple rayon de lumière, dont l'énergie est pourtant bien faible, modifie en tombant à la surface de corps tels que le sélénium, le sulfure d'argent, l'oxyde de cuivre, le noir de platine, etc., leur résistance électrique dans des proportions considérables.

Plusieurs diélectriques deviennent bi-réfringents quand on les électrise. La boracite, bi-réfringente à la température ordinaire, devient mono-réfringente, lorsqu'elle est chauffée. Certains alliages de fer et de nickel deviennent instantanément magnétiques par la chaleur, et perdent leur magnétisme par le refroidissement. Si un corps transparent placé dans un champ magnétique est traversé par un rayon lumineux, on observe la rotation du plan de polarisation.

Tous ces changements de propriétés physiques impliquent nécessairement des changements d'équilibres moléculaires. Il a suffi de faibles causes pour amener ces changements, parce que les équilibres moléculaires étaient sensibles à ces causes. Des forces très supérieures, mais non appropriées, seraient restées au contraire sans action. Prenons un sel quelconque, du chlorure de potassium par exemple, nous pouvons indéfiniment le broyer, le pulvériser avec les machines les plus puissantes, sans jamais réussir à séparer les molécules dont il se compose. Et pourtant pour dissocier ces molécules, pour séparer ce qu'on nomme les ions, c'est-à-dire le chlore et le potassium, il suffit, d'après les théories modernes sur l'électrolyse, de faire dissoudre le corps dans un liquide de façon que la dissolution soit suffisamment étendue.

Nombreux sont les exemples analogues. Pour écarter les molécules d'une barre d'acier, il faudrait la soumettre à des tractions mécaniques énormes. Il

suffit cependant de l'échauffer légèrement, ne fût-ce qu'en la touchant avec la main, pour qu'elle s'allonge. On peut même, comme le faisait Tyndall, rendre l'allongement de la barre par le contact de la main visible à tout un auditoire au moyen d'un levier et d'un miroir convenablement disposés. Un phénomène analogue s'observe pour l'eau. Elle est à peu près incompressible sous la plus forte pression, et cependant il suffit d'abaisser légèrement sa température pour qu'elle se contracte.

Nous pouvons produire dans un métal des déplacements moléculaires bien plus profonds encore que ceux déterminés par la chaleur, puisqu'ils impliquent un changement complet de l'orientation des molécules. Aucune force mécanique ne saurait produire de telles transformations. On les obtient pourtant instantanément, en approchant une barre de fer d'un aimant. Toutes ses molécules changent immédiatement d'orientation.

L'emploi récent de températures élevées que nous ne pouvions autrefois produire, ainsi que l'intervention des hauts potentiels électriques, qui ont permis de produire des combinaisons chimiques nouvelles, devaient naturellement conduire à penser que ce sera surtout avec l'emploi de ces forces énormes que certaines transformations seront possibles. Sans doute on réussit par ces moyens nouveaux à créer certains équilibres chimiques jadis ignorés, mais, pour modifier l'instable matière il n'est pas besoin de ces efforts gigantesques. Nous en avons la preuve en voyant certains rayons lumineux d'une longueur d'onde déterminée, produire instantanément sur diverses substances les réactions chimiques qui engendrent la phosphorescence, et des radiations d'une longueur d'onde plus courte donner naissance à des réactions inverses détruisant non moins instantanément cette phosphorescence. Une autre preuve nous en est fournie quand nous constatons que les ondes hertziennes

produites par les étincelles électriques, transforment à 500 kilomètres de distance la structure moléculaire de limailles métalliques, ou encore quand nous constatons que le voisinage d'un simple aimant change immédiatement, malgré tous les obstacles interposés, l'orientation des molécules d'une barre de fer.

Dans la dissociation de la matière on observe des faits analogues. Des métaux très radio-actifs, sous l'influence de radiations lumineuses d'une certaine longueur d'onde, ne le sont presque pas sous l'influence de radiations de longueur d'onde peu différentes. Les choses semblent se passer ici comme dans le phénomène de la résonance. On peut, comme je le rappelais précédemment, faire vibrer un diapason ou même une lourde cloche en produisant auprès d'eux une note d'une certaine période vibratoire, alors que les bruits les plus violents peuvent les laisser insensibles.

Lorsque nous connaissons mieux les causes capables de dissocier un peu l'agrégat d'énergie condensée dans l'atome, nous arriverons certainement à une dissociation plus complète et nous pourrons l'utiliser pour les besoins de l'industrie.

L'ensemble des faits qui précèdent justifie notre assertion que, pour obtenir des transformations d'équilibre moléculaire profondes, ce n'est pas l'intensité de l'effort qui importe, mais bien sa qualité.

Ces considérations permettent de comprendre que des édifices aussi stables que les atomes puissent se dissocier sous l'influence de causes aussi faibles qu'un rayon de lumière. Si des radiations ultra-violettes invisibles peuvent dissocier les atomes d'un bloc d'acier sur lesquels toutes les forces mécaniques seraient sans action, c'est parce qu'elles constituent un excitant auquel la matière est sensible. Les éléments de la rétine ne sont pas sensibles à cet excitant et c'est pourquoi la lumière ultra-violette, qui

est capable de dissocier l'acier, est sans action sur l'œil qui ne s'aperçoit même pas de sa présence.

La matière, insensible à des actions considérables peut donc être, je le répète, sensible à des actions minimes. Sous des influences appropriées, un corps très stable peut devenir très instable. Nous verrons bientôt que des traces parfois impondérables de substances peuvent modifier profondément les équilibres d'autres corps, et agir, par conséquent comme ces excitants légers, mais appropriés, auxquels obéit la matière.

§ 2. — MÉCANISME DE LA DISSOCIATION DE LA MATIÈRE.

Dans les idées actuelles sur la constitution des atomes, chacun d'eux peut être considéré comme un petit système solaire comprenant une partie centrale autour de laquelle tournent, avec une immense vitesse, un millier au moins de particules et quelquefois beaucoup plus. Ces dernières doivent donc posséder une grande énergie cinétique. Qu'une cause quelconque appropriée vienne à troubler leur trajectoire, ou que leur vitesse de rotation devienne suffisante pour que la force centrifuge, qui en résulte, dépasse la force d'attraction qui les maintient dans leur orbite, et les particules périphériques s'échapperont dans l'espace en suivant la tangente de la courbe qu'elles parcourent. Par cette émission elles donneront naissance aux phénomènes de radio-activité. Telle est, du moins, une des hypothèses que l'on peut provisoirement formuler.

Lorsqu'on admettait que la radio-activité était une propriété exceptionnelle n'appartenant qu'à un très petit nombre de corps tels que l'uranium et le radium, on croyait — et beaucoup de physiciens croient encore — que l'instabilité de ces corps était une conséquence de l'élévation de leur poids atomique. Cette expli-

cation s'évanouit devant le fait, démontré par mes recherches, que ce sont justement les métaux dont le poids atomique est le plus faible, tel que le magnésium et l'aluminium, qui deviennent le plus facilement radio-actifs sous l'influence de la lumière, alors que ce sont, au contraire, les corps possédant un poids atomique élevé, comme l'or, le platine et le plomb, dont la radio-activité est la plus faible. La radio-activité est donc indépendante du poids atomique et probablement due, très souvent, comme je l'expliquerai bientôt, à certaines réactions chimiques de nature inconnue. Deux corps qui ne sont pas radio-actifs le deviennent quelquefois par leur combinaison. Le mercure et l'étain, peuvent être rangés parmi les corps dont la dissociation, sous l'action de la lumière, est la plus faible; j'ai montré cependant que le mercure devenait extraordinairement radio-actif sous cette même influence dès qu'on lui ajoute des traces d'étain.

Toutes les interprétations qui précèdent ne constituent assurément que des ébauches d'explication. Le mécanisme de la dissociation de la matière nous est inconnu. Mais quel est le phénomène physique dont les causes profondes ne soient pas également inconnues?

§ 4. — LES CAUSES SUSCEPTIBLES DE PRODUIRE LA DISSOCIATION DES CORPS TRÈS RADIO-ACTIFS.

Des causes variées, nous l'avons vu, peuvent produire la dissociation de la matière ordinaire. Mais dans la dissociation des corps spontanément très radio-actifs, le radium et le thorium par exemple, aucune cause extérieure ne semble amener le phénomène. Comment dès lors peut-on l'expliquer?

Contrairement aux opinions émises au début des recherches sur la radio-activité, nous avons toujours soutenu que les phénomènes observés avec le radium provenaient de certaines réactions chimiques spéciales,

analogues à celles qui se produisent dans la phosphorescence. Ces réactions se passent entre corps dont l'un est en proportion infinitésimale à l'égard de l'autre. Nous n'avons publié ces considérations qu'après avoir découvert des corps devenant radio-actifs dans de telles conditions. Les sels de quinine, par exemple, ne sont pas radio-actifs. En les laissant s'hydrater légèrement après dessiccation, ils le deviennent et sont phosphorescents pendant toute la durée de l'hydratation. Le mercure et l'étain ne présentent pas de radio-activité sensible sous l'influence de la lumière, mais qu'on ajoute au premier de ces corps une trace du second et aussitôt sa radio-activité devient très intense. Ces expériences nous ont même conduit ensuite à modifier entièrement les propriétés de certains corps simples par addition de quantités minimales de corps étrangers.

La désintégration de la matière implique nécessairement un changement d'équilibre dans la disposition des éléments qui composent un atome. Ce n'est qu'en passant à d'autres formes d'équilibre qu'il peut perdre de son énergie et, par conséquent, rayonner quelque chose.

Les changements dont il est alors le siège diffèrent de ceux que la chimie connaît par ce point fondamental, qu'ils sont intra-atomiques, alors que les réactions habituelles ne touchant qu'à l'architecture des groupements d'atomes, sont extra-atomiques. La chimie ordinaire ne peut que varier la disposition des pierres destinées à bâtir un édifice. Dans la dissociation des atomes, les matériaux mêmes avec lesquels l'édifice est construit sont transformés.

Le mécanisme de cette désagrégation atomique est ignoré, mais il est de toute évidence qu'elle comporte des conditions d'un ordre particulier, très différentes de celles étudiées jusqu'ici par la chimie. Les quantités de matières mises en jeu sont infini-

ment petites et les énergies libérées extraordinairement grandes, ce qui est le contraire de ce que nous obtenons dans nos réactions ordinaires.

Une autre caractéristique de ces réactions intra-atomiques produisant la radio-activité, c'est qu'elles semblent se passer, comme je le disais plus haut, entre corps dont l'un se trouve en quantité extrêmement petite à l'égard de l'autre. Ces réactions particulières sur lesquelles nous reviendrons dans un autre chapitre s'observent pendant la phosphorescence.

Des corps purs tels que le sulfure de calcium, le sulfure de strontium, etc., ne sont jamais phosphorescents. Ils ne le deviennent qu'après avoir été mélangés à des quantités très petites d'autres corps; ils forment alors des combinaisons mobiles, capables d'être détruites et régénérées avec la plus grande facilité et qui s'accompagnent de phosphorescence ou de disparition de phosphorescence. D'autres réactions nettement définies, telles qu'une légère hydratation, peuvent également produire à la fois de la phosphorescence et de la radio-activité.

On pourrait considérer comme singulière — et en tout cas comme peu conforme à ce que nous montrent les observations de nos laboratoires — l'existence de réactions chimiques se continuant presque indéfiniment. Mais nous trouvons également dans la phosphorescence des réactions capables de s'effectuer avec une extrême lenteur. J'ai montré par mes expériences sur la luminescence invisible que des corps phosphorescents étaient capables de conserver dans l'obscurité pendant deux ans après leur insolation la propriété de rayonner, d'une façon continue, une lumière invisible capable d'impressionner les plaques photographiques. La réaction chimique pouvant détruire la phosphorescence, continuant à agir durant deux années, on comprend que d'autres réactions, telles que celles

susceptibles de produire la radio-activité, puissent se perpétuer pendant beaucoup plus longtemps.

Bien que la quantité d'énergie rayonnée par les atomes pendant leur désagrégation soit très grande, la perte de substance matérielle qui se produit est extrêmement faible, en raison de l'énorme condensation d'énergie contenue dans l'atome. M. Becquerel avait évalué la durée de 1 gramme de radium à 1 milliard d'années. M. Curie se contente de 1 million d'années. Plus modeste encore, M. Rutherford parle seulement de 1 millier d'années et M. Crookes d'une centaine d'années pour la dissociation de un gramme de radium. Ces chiffres, dont les premiers sont tout à fait fantaisistes, se réduisent de plus en plus à mesure que les expériences se précisent. M. Heydweiler¹, d'après des pesées directes, évalue la perte de 5 grammes de radium à 0^{mg}02 en vingt-quatre heures. Si la perte se continuait au même taux, ces 5 grammes de radium auraient perdu 1 gramme de leur poids en cent trente-sept ans. Nous sommes déjà étonnement loin du milliard d'années supposé par M. Becquerel. Le chiffre de Heydweiler serait même, d'après certaines de nos expériences, trop élevé encore. Il a mis, en masse, dans un tube, le corps sur lequel il opérait, alors que nous avons constaté que la radio-activité d'une même substance augmente considérablement si le corps est étendu sur une grande surface, ce qu'on obtient en laissant dessécher le papier qui a servi à filtrer une solution de cette substance. Nous sommes alors arrivés à cette conclusion que 5 grammes de radium perdent probablement le cinquième de leur poids en vingt ans et par conséquent que 1 gramme durerait cent ans, ce qui est justement le chiffre donné par M. Crookes.

¹. *Physikalische Zeitschrift*, 15 octobre 1902.

En réalité ce seront seulement des expériences répétées qui permettront de trancher la question.

Mais alors même que nous accepterions le chiffre de un millier d'années donné par M. Rutherford pour la durée de l'existence de 1 gramme de radium, il suffirait à prouver que si les corps spontanément radio-actifs, tels que le radium, avaient existé aux époques géologiques, ils se seraient évanouis depuis fort longtemps et par conséquent n'existeraient plus. Et ceci vient encore à l'appui de notre théorie d'après laquelle la radio-activité spontanée rapide, n'est apparue qu'après que les corps ont été engagés dans certaines combinaisons chimiques particulières capables d'atteindre la stabilité de leurs atomes, combinaisons que nous pourrions peut-être arriver à reproduire un jour.

§ 4. — PEUT-ON AFFIRMER AVEC CERTITUDE
L'EXISTENCE DU RADIUM?

Les produits qu'on obtient aujourd'hui sous le nom de radium ne sont en aucune façon un métal, mais du bromure ou du chlorure de ce métal supposé. Je considère comme très probable que si le radium existe et qu'on réussisse à l'isoler, il aura perdu toutes les propriétés qui rendent ses combinaisons si intéressantes.

Il y a déjà longtemps¹ que j'ai prédit en m'appuyant sur diverses raisons que l'on n'isolera pas le radium et comme cet isolement est trop simple pour n'avoir pas été tenté par ceux qui possèdent des quantités suffisantes de cette substance, le silence complet observé sur ces tentatives est une forte présomption en faveur de mon hypothèse. La séparation du

¹, *Revue scientifique*, 5 mai 1900.

baryum de ses sels est si facile que ce métal fut un des premiers isolé par Dawy.

La préparation des sels de radium permet de présenter de quelle façon ont pu se former, sans qu'on connaisse leur nature, les combinaisons donnant naissance à la radio-activité.

On sait comment les sels de radium furent découverts. M. Curie ayant constaté que certains minerais d'urane agissaient beaucoup plus sur l'électroscope que l'uranium lui-même, il fut naturellement conduit à tâcher d'isoler la substance à laquelle était due cette activité spéciale.

La propriété de rendre l'air plus ou moins conducteur de l'électricité constatée par l'électroscope étant le seul moyen d'investigation utilisable, ce fut uniquement l'action sur l'électroscope qui servit de guide dans cette recherche. C'est par elle seulement, en effet, qu'on pouvait savoir dans quelle partie des précipités se trouvaient les substances les plus actives. Après avoir dissous le minerai dans des dissolvants divers et précipité les produits contenus dans ces dissolvants par des réactifs appropriés, on recherchait au moyen de l'électroscope les parties les plus actives, on les redissolvait, on les divisait de nouveau par précipitations et on répétait les mêmes manipulations un grand nombre de fois. L'opération fut terminée par des cristallisations fractionnées et on obtint finalement une petite quantité d'un sel très actif. C'est au métal non isolé encore du sel ainsi obtenu, que fut donné le nom de radium.

Les propriétés chimiques des sels de radium sont identiques à celle des combinaisons du baryum. Ils n'en diffèrent, en dehors de la radio-activité, que par quelques raies spectrales. Le poids atomique supposé du radium, calculé d'après de très petites quantités de sels de radium, a tellement varié suivant les observateurs qu'on ne peut rien en déduire sur l'existence de ce métal.

Sans pouvoir être absolument affirmatif, je crois, je le répète, que l'existence du radium est très contestable. Il est, en tout cas, certain qu'il n'a pu être isolé. J'admettrai beaucoup plus volontiers l'existence d'une combinaison inconnue du baryum capable de donner à ce métal les propriétés radio-actives. Le chlorure de radium radio-actif serait au chlorure de baryum inactif ce qu'est le sulfure de baryum impur mais phosphorescent, au sulfure de baryum pur et pour cette raison non phosphorescent.

Il suffit, comme je l'ai fait remarquer plus haut, de traces de corps étrangers pour donner à certains sulfures, ceux de calcium, de baryum ou de strontium, etc., la propriété merveilleuse de devenir phosphorescents sous l'action de la lumière. Cette phosphorescence qui peut se produire sous l'influence de certaines radiations agissant pendant $1/10^{\circ}$ de seconde et être détruite comme nous l'avons prouvé par d'autres radiations agissant pendant un temps aussi court, prouve l'existence de combinaisons chimiques d'une mobilité extrême. La phosphorescence est un phénomène qui nous frappe peu parce que nous la connaissons depuis longtemps, mais en y réfléchissant, il faut bien reconnaître qu'elle est tout aussi singulière que la radio-activité et moins explicable encore.

J'ajouterai qu'en opérant avec des sels de radium peu actifs, c'est-à-dire mélangés encore à des corps étrangers, le rôle des réactions chimiques se montre assez nettement. C'est ainsi, par exemple, que la phosphorescence de ces sels se perd par la chaleur et ne reparait qu'au bout de quelques jours. L'humidité la détruit entièrement.

Qu'il s'agisse donc de la phosphorescence ordinaire ou des propriétés radio-actives, elles semblent produites par des réactions chimiques, dont la nature est encore complètement inconnue, mais où il semble qu'un des corps en combinaison soit toujours en quantité infiniment petite à l'égard de l'autre.

Sans doute la loi des proportions définies nous dit que les corps ne peuvent se combiner que dans certaines proportions, mais ce qu'elle prouve seulement en réalité c'est que les corps ne forment d'équilibres stables — les seuls accessibles à la chimie — que lorsqu'ils sont combinés dans certaines proportions. Le nombre des combinaisons que deux ou plusieurs corps peuvent former est peut-être infini, mais comme elles ne sont pas stables nous ne pouvons les soupçonner que lorsqu'elles sont accompagnées de certains phénomènes physiques. Les combinaisons accompagnées de radio-activité ou de phosphorescence sont probablement des combinaisons instables de cette nature.

Et si tous les métaux sont comme je l'ai prouvé et comme cela a été reconnu depuis par plusieurs observateurs spontanément radio-actifs et possèdent, par conséquent, bien qu'à un degré beaucoup plus faible, les propriétés des sels de radium, c'est uniquement sans doute parce qu'ils ne sont pas purs. Ce qu'on appelle les impuretés joue en chimie un rôle colossal bien qu'à peine soupçonné, me disait récemment un de nos plus illustres chimistes. On ne connaît pas aujourd'hui plus de trois ou quatre métaux que l'on puisse considérer comme à peu près purs et c'est justement à leurs impuretés que les métaux usuels doivent la plupart de leurs propriétés.

Comme conclusion générale de ce qui précède, nous pouvons dire que la science se trouve actuellement en présence de ces deux faits bien nets : 1° certaines combinaisons particulières de nature inconnue, mais que nous pouvons reproduire à volonté, mettent les corps dans un état où ils peuvent se dissocier sous les influences les plus légères, l'action d'un rayon de soleil, par exemple ; 2° certains corps, en très petit nombre, tels que les sels d'uranium, de thorium et de

radium, peuvent se dissocier spontanément d'une façon beaucoup plus énergique.

D'où proviennent ces différences ? Ne pourrait-on compléter l'hypothèse des combinaisons spéciales que nous avons supposée par la suivante :

Les atomes des divers corps ne se sont pas sans doute formés à la même époque, comme le prouvent les observations astronomiques dont nous parlerons plus loin. Leur âge est donc inégal. Il est, par conséquent, possible que les atomes de certains corps soient déjà arrivés à une période de vieillesse où leur équilibre étant moins stable, ils commencent à se dissocier. Cette hypothèse permettrait d'expliquer pourquoi la radio-activité de certains corps n'est apparue qu'à une époque évidemment avancée de l'histoire du globe. Si elle était apparue plus tôt, les corps présentant ce phénomène auraient disparu depuis longtemps, par le fait même de leur dissociation.

Quoi qu'il en soit, la première des théories qui précèdent me fut d'un grand secours dans mes recherches. C'est grâce à elle que j'ai été conduit à découvrir la radio-activité qui accompagne certaines réactions chimiques, à trouver des combinaisons capables d'accroître énormément la dissociation d'un corps sous l'influence de la lumière et enfin à modifier, d'une façon fondamentale, les propriétés de certains corps simples.

LIVRE V

LE MONDE INTERMÉDIAIRE ENTRE LA MATIÈRE ET L'ÉTHÉR

CHAPITRE PREMIER

Propriétés des substances intermédiaires entre la matière et l'éther.

Toutes les substances que nous avons étudiées, comme produits de la dissociation de la matière, se sont présentées avec des caractères visiblement intermédiaires entre ceux de la matière et ceux de l'éther. Elles possèdent parfois des qualités matérielles. Telle l'émanation du thorium et du radium qu'on peut condenser de même qu'un gaz et enfermer dans un tube. Elles présentent également plusieurs qualités des choses immatérielles comme cette même émanation qui, à certaines phases de son évolution, s'évanouit en se transformant en particules électriques. C'est là une transformation très nette d'un corps matériel en une substance immatérielle, mais il est possible d'aller plus loin encore.

Quels sont les caractères permettant d'affirmer qu'une substance n'est plus tout à fait de la matière sans être encore de l'éther et qu'elle constitue quelque chose d'intermédiaire entre ces deux substances ?

C'est uniquement si nous voyons la matière perdre un de ses caractères irréductibles, c'est-à-dire un de

ceux dont on ne pourrait la priver par aucun moyen, que nous serons autorisés à dire qu'elle a perdu sa qualité de matière.

Nous avons déjà vu que ces caractères irréductibles ne sont pas nombreux, puisqu'on n'a pu en trouver qu'un seul jusqu'ici. Toutes les propriétés habituelles de la matière, la solidité, la forme, la couleur, etc., sont destructibles. Un bloc de rocher peut, par la chaleur, être transformé en vapeur. Une seule propriété, la masse mesurée par le poids, reste invariable à travers toutes les transformations des corps et permet de les suivre et de les retrouver, malgré la fréquence de leurs changements. C'est sur cette invariabilité de la masse que la chimie et la mécanique ont été bâties.

La masse n'est, on le sait, que la mesure de l'inertie, c'est-à-dire de la propriété d'essence inconnue possédée par la matière de résister au mouvement ou aux changements de mouvement. Sa grandeur qui peut être traduite par un poids est une quantité absolument invariable pour un corps donné quelles que soient les conditions où on pourra le placer. On est donc conduit à considérer comme quelque chose de très différent de la matière une substance dont la masse peut être rendue variable par un moyen quelconque.

Or, c'est justement cette variabilité de la masse que l'on constate dans les particules électriques émises par les corps radio-actifs pendant leur désagrégation. La variabilité de cette propriété fondamentale nous permettra de dire que les éléments résultant de la dissociation des corps et qui sont d'ailleurs si différents, par leurs propriétés générales, des corps matériels, forment une substance intermédiaire entre la matière et l'éther.

Bien avant les théories actuelles sur la structure du fluide électrique que l'on suppose maintenant formé

par la réunion d'atomes particuliers, dits électrons, on avait constaté que ce fluide possède de l'inertie, c'est-à-dire de la résistance au mouvement ou au changement de mouvement; mais, dans ces derniers temps seulement, on est arrivé à mesurer cette inertie.

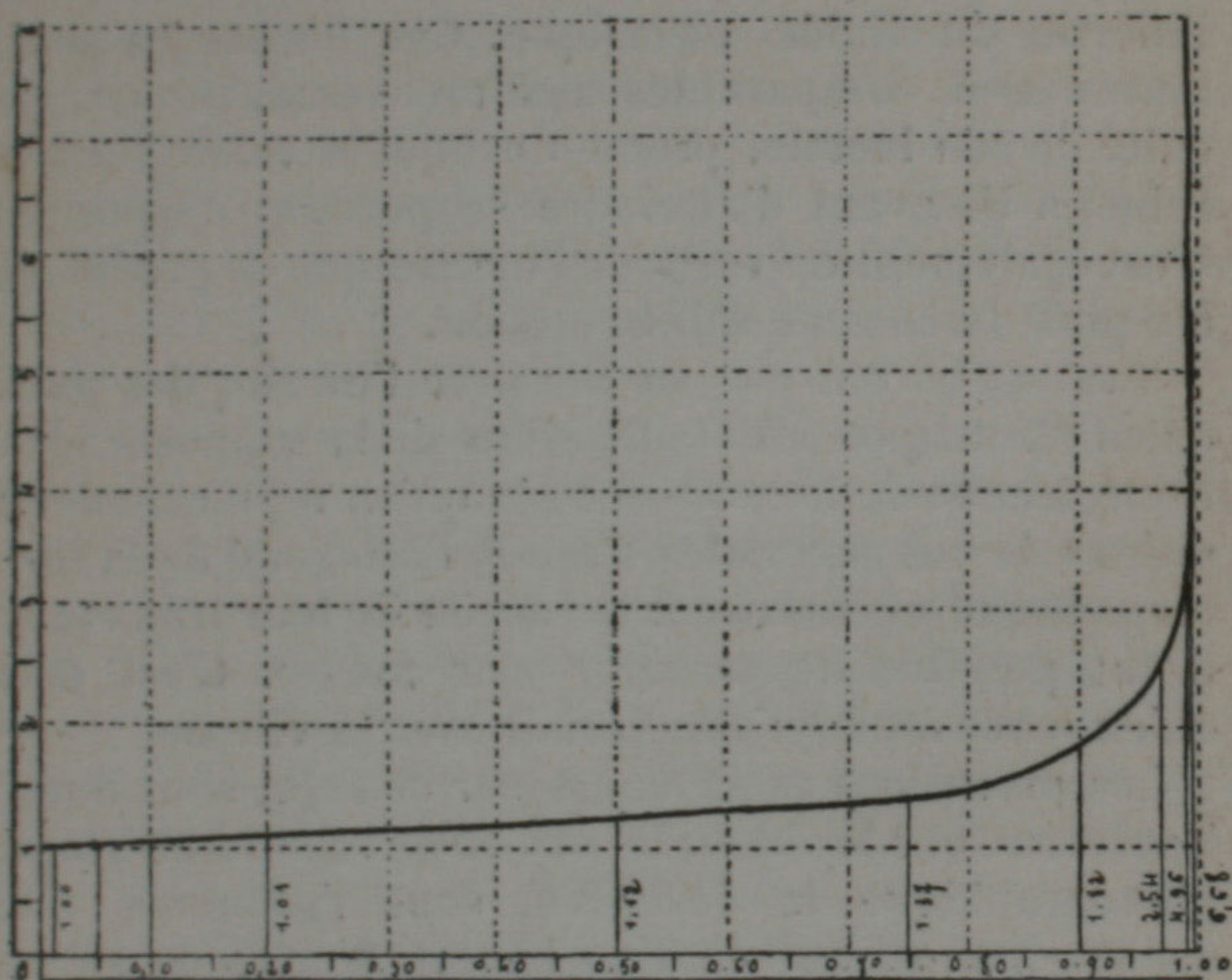
Les décharges oscillantes des bouteilles de Leyde furent un des premiers phénomènes qui révélèrent l'inertie du fluide électrique. Ces décharges oscillantes sont comparables aux mouvements que, par suite de son inertie, prend un liquide versé dans un tube en U, avant d'atteindre sa position d'équilibre. C'est également en vertu de l'inertie que se produisent les phénomènes de self-induction.

Tant qu'on n'a pas su mesurer l'inertie des particules électriques, il était permis de la supposer identique à celle de la matière; dès qu'on a pu calculer la vitesse de ces particules d'après l'intensité de la force magnétique nécessaire à les dévier de leur trajectoire, il fut possible de mesurer leur masse. C'est alors qu'on a reconnu qu'elle variait avec la vitesse.

Les premières expériences sur ce sujet sont dues à Kaufmann et Abraham. Ils ont observé sur une plaque photographique la déviation, sous l'influence d'un champ magnétique et d'un champ électrique superposés, des particules β émises par un corps radio-actif. Ces particules ayant, comme nous l'avons dit, des vitesses différentes, sont déviées inégalement et par conséquent au lieu de tracer un point sur la plaque photographique y inscrivent une courbe dont on peut mesurer ensuite les coordonnées. L'étude de la courbe ainsi obtenue a prouvé que le rapport de la charge électrique e , transportée dans une particule radio-active, à la masse m de cette particule, varie avec sa vitesse. Comme il n'est pas supposable que, dans ce rapport, ce soit la charge qui change, il est évident que c'est la masse qui varie.

La variation de la masse des particules avec leur

vitesse est d'ailleurs d'accord avec la théorie électromagnétique de la lumière et avait déjà été signalée par divers auteurs, Larmor entre autre. Cette variation de la masse suffirait à prouver que les substances présentant une telle propriété ne sont plus de la matière. C'est pourquoi Kaufmann déduit de ses obser-



Variations de la vitesse, celle de la lumière étant prise comme unité.

FIG. 20.

Courbe traduisant une des propriétés fondamentales des substances intermédiaires entre la matière pondérable et l'éther impondérable. — La masse au lieu d'être une grandeur constante, comme celle de la matière, varie avec la vitesse.

vations que l'électron dont se composent certaines émissions radio-actives « n'est autre chose qu'une charge électrique, distribuée sous un volume ou une surface de dimensions très petites ».

En mettant sous forme de courbe l'équation d'Abraham on voit très bien de quelle façon la masse des éléments de matière dissociée varie avec leur

vitesse. D'abord constante même pour des vitesses très grandes, elle augmente brusquement et tend très vite à devenir infinie dès qu'elle s'approche de la vitesse de la lumière¹.

Tant que la masse n'a pas atteint une vitesse égale à 20 % de celle de la lumière, c'est-à-dire ne dépassant pas 60.000 kilomètres par seconde, sa grandeur représentée par 1 à l'origine, reste à peu près constante (1,012). Quand la vitesse est égale à la moitié de celle de la lumière, soit 150.000 kilomètres par seconde, la masse n'est encore accrue que de 1/10 (1,119). Quand la vitesse est égale aux 3/4 de celle de la lumière, l'augmentation de la masse est encore très faible (1,369). Lorsque la vitesse est égale aux 9/10 de celle de la lumière, la masse n'a pas encore tout à fait doublé (1,82); mais

1. Max Abraham a donné pour exprimer ces variations l'équation suivante :

$$\mu = \mu_0 \frac{3}{4} \psi(\beta)$$

où μ_0 représente la valeur de la masse électrique pour de petites vitesses, $\beta = \frac{q}{c}$, le rapport de la vitesse q de cette masse à celle c de la lumière et

$$\psi(\beta) = \frac{1}{\beta^2} \left[\frac{1 + \beta^2}{2\beta} \log \frac{1 + \beta}{1 - \beta} - 1 \right]$$

Dans le but d'obtenir une représentation graphique de la variation de la masse en fonction de sa vitesse, j'ai mis l'équation précédente sous une forme où le rapport $\frac{\mu}{\mu_0}$ apparaisse comme une fonction explicite du rapport $\beta = \frac{q}{c}$: J'ai pris pour abscisses les valeurs du rapport $\beta = x$ et pour ordonnées les valeurs du rapport $\frac{\mu}{\mu_0} = y$.

L'équation de la courbe devient alors :

$$y = \frac{3}{4x^2} \left[\frac{1 + x^2}{2x} \log \frac{1 + x}{1 - x} - 1 \right]$$

L'horizontale $y = 1$ correspond à $\frac{\mu}{\mu_0} = 1$ et représente la grandeur constante de la masse mécanique. Pour détacher plus vite la courbe, j'ai adopté une échelle des ordonnées égale à 10 fois celle des abscisses. La réduction trop grande de la courbe nécessitée par le format de ce livre a rendu les nombres peu lisibles. Les chiffres exprimant les variations de la masse en fonction de la vitesse ont été calculés avec 8 décimales. Les plus intéressants sont donnés dans le texte.

dès que la vitesse atteint les 0,999 de celle de la lumière, la masse est sextuplée (6,678).

Nous sommes bien près de la vitesse de la lumière et la masse n'a fait encore que sextupler, mais c'est maintenant que les chiffres déduits de l'équation vont grandir singulièrement. Pour que la masse de l'atome électrique devint 20 fois plus grande (20,49), il faudrait que sa vitesse ne différât de celle de la lumière que d'une fraction de millimètre. Pour que sa masse devint 100 fois plus grande, il faudrait que sa vitesse ne différât de celle de la lumière que d'une fraction de millimètre représentée par une fraction comprenant 58 chiffres. Si enfin la vitesse de l'atome électrique devenait exactement égale à celle de la lumière, sa masse deviendrait théoriquement infinie.

Ces derniers résultats ne sont vérifiables par aucune expérience et ne sont évidemment qu'une extrapolation. Il ne faudrait pas cependant considérer comme absurde *a priori* l'existence d'une substance dont la masse augmenterait dans d'immenses proportions quand sa vitesse déjà très grande ne varierait que d'une faible fraction de millimètre. L'accroissement considérable d'un effet sous l'influence de la variation très petite d'une cause s'observe dans beaucoup de lois physiques traduisibles par des courbes asymptotiques. Les variations immenses de grandeur de l'image d'un objet pour un déplacement très petit de cet objet quand il est très près du foyer principal d'une lentille en fournissent un exemple. Supposons qu'un objet soit placé à $1/10$ de millimètre du foyer d'une lentille ayant 10 centimètres de foyer. L'équation générale des lentilles nous montre que son image sera grandie mille fois. Si l'objet est rapproché de $1/100$ de millimètre, son image sera théoriquement grandie cent mille fois. Si enfin l'objet est placé au foyer même de la lentille, son image sera théoriquement infinie. Toutes les fois qu'une loi physique peut

se traduire par des courbes analogues à la précédente, la moindre variation de la variable entraîne des variations extrêmement considérables de la fonction dans le voisinage de la limite¹.

Laissant de côté ces considérations théoriques et revenant aux données de l'expérience, nous pouvons dire ceci : les particules produites pendant la dissociation de la matière possèdent une propriété qui ressemble à l'inertie et en ceci elles se rapprochent de la matière, mais cette inertie, au lieu d'être une grandeur constante, varie avec la vitesse et, sur ce point, les particules de matière dissociée se différencient nettement des atomes matériels.

L'étude des propriétés de l'inertie de ces éléments entraîne, on le voit, à les considérer comme quelque chose qui, sorti de la matière, possède des propriétés un peu voisines, mais cependant notablement différentes de celles des atomes matériels. Représentant une des phases de la dématérialisation de la matière, elles ne peuvent conserver qu'une partie des propriétés de cette dernière.

Nous verrons dans un autre chapitre que le fluide électrique possède également des propriétés intermédiaires entre celles de la matière et celles de l'éther.

Quelques physiciens ont supposé, sans pouvoir, d'ailleurs, en fournir aucune preuve, que l'inertie de la matière est due aux particules électriques dont elle serait composée et par conséquent que toute l'inertie des substances matérielles serait entièrement d'origine électro-magnétique. Rien n'indique qu'on

1. Je ferai remarquer en passant, et cette observation explique bien des événements historiques, que ce ne sont pas seulement les phénomènes physiques, mais beaucoup de phénomènes sociaux qui peuvent être également traduits par des courbes jouissant des propriétés que nous venons de dire, et où l'on voit par conséquent les changements très petits d'une cause produire des effets très grands. Cela tient à ce que, quand une cause agit longtemps dans le même sens, ses effets croissent en progression géométrique, alors que la cause ne varie qu'en progression arithmétique. *Les causes sont les logarithmes des effets.*

puisse identifier l'inertie matérielle avec celle des particules de matière dissociée. La masse de ces dernières n'est, en réalité, qu'une masse apparente résultant simplement de son état de corps électrisé en mouvement. Elles paraissent d'ailleurs avoir une masse longitudinale (celle qui mesure l'opposition à l'accélération dans la direction du mouvement), différente de la masse transversale (celle perpendiculaire à la direction du mouvement). De toutes façons, il est évident que les propriétés d'un élément de matière dissociée diffèrent considérablement de celles d'un atome matériel.

Par quoi donc sont constitués ces atomes supposés électriques émis par tous les corps pendant leur dissociation ?

La réponse à cette question fournit le lien cherché entre le pondérable et l'impondérable.

Il est impossible, dans l'état actuel de la science, de pouvoir définir une particule dite électrique, mais au moins nous pouvons dire ceci :

Des substances ni solides, ni liquides, ni gazeuses, qui traversent les obstacles et n'ont de propriété commune avec la matière qu'une certaine inertie et encore une inertie variant avec la vitesse, se différencient très nettement de la matière. Elles se différencient aussi de l'éther, dont elles ne possèdent pas les attributs.

Ainsi donc les effluves émanés des corps spontanément radio-actifs ou capables de le devenir, sous l'influence des causes si nombreuses que nous avons décrites, forment un lien entre la matière et l'éther.

Et puisque nous savons que ces effluves ne peuvent se produire sans perte définitive de matière, nous sommes fondés à dire que la dissociation de la matière réalise d'une incontestable façon la transformation du pondérable en impondérable.

Cette transformation, si contraire à toutes les idées que la science nous avait léguées, est cependant un des phénomènes les plus fréquents de la nature. Elle se produit journellement sous nos yeux, mais comme on ne possédait jadis aucun réactif pour la constater on ne l'avait pas vue.

CHAPITRE II

L'électricité considérée comme une substance demi-matérielle engendrée par la dématérialisation de la matière.

§ I. — LES PHÉNOMÈNES RADIO-ACTIFS ET LES PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES.

En poursuivant nos recherches sur la dissociation de la matière, nous avons été progressivement amenés, par l'enchaînement des expériences, à reconnaître que l'électricité, dont l'origine était si ignorée, représentait un des plus importants produits de la dissociation de la matière et, par conséquent, pouvait être considérée comme une manifestation de l'énergie intra-atomique libérée par la dissociation des atomes.

Nous avons vu dans le chapitre précédent que les particules provenant des corps radio-actifs constituaient une substance dérivée de la matière et possédant des propriétés intermédiaires entre la matière et l'éther. Nous allons voir maintenant que les produits de la dissociation de la matière sont identiques à ceux qui se dégagent des machines électriques de nos laboratoires. Cette généralisation bien établie, l'électricité tout entière, et non pas seulement quelques-unes de ses formes, nous apparaîtra comme le lien véritable entre le monde de la matière et celui de l'éther.

Nous savons que les produits de la dissociation de tous les corps sont identiques et diffèrent seulement par la puissance de leur pouvoir de pénétration résultant de leurs différences de vitesse. Nous avons constaté qu'ils se composent : 1° d'ions positifs volumineux à toutes les pressions et comprenant toujours dans leur structure des parties matérielles ; 2° d'ions négatifs formés d'atomes électriques dits électrons, qui peuvent s'entourer dans l'atmosphère de particules neutres matérielles ; 3° d'électrons dégagés de tout élément matériel et pouvant créer par leur choc, quand leur vitesse est suffisante, des rayons X.

Ces éléments divers sont engendrés par tous les corps qui se dissocient et notamment par les substances spontanément radio-actives. On les retrouve avec des propriétés identiques dans les produits provenant des tubes de Crookes, c'est-à-dire des tubes dans lesquels on envoie des décharges électriques, après y avoir fait le vide. La seule différence existant entre un tube de Crookes en action et un corps radio-actif se dissociant est, comme nous l'avons déjà vu, que le second produit spontanément, c'est-à-dire sous l'influence d'actions inconnues, ce que le premier produit seulement sous l'influence de décharges électriques.

Ainsi donc l'électricité, sous des formes diverses, se retrouve toujours comme produit ultime de la dissociation de la matière quel que soit le procédé employé pour sa dissociation. C'est ce fait d'expérience qui nous a déterminé à rechercher si d'une façon générale l'électricité engendrée par un moyen quelconque, une machine statique par exemple, ne serait pas simplement une des formes de la dissociation de la matière.

Mais si l'analogie entre un tube de Crookes et un corps radio-actif a fini par devenir si évidente qu'elle n'est plus contestée, il était moins facile d'établir

l'analogie entre les phénomènes qui se passent dans le même tube et les décharges électriques dans l'air à la pression ordinaire. Ce sont pourtant deux choses identiques, bien que leur aspect diffère. Nous allons le montrer maintenant.

Lorsque deux tiges métalliques en relation avec les pôles d'un générateur d'électricité se trouvent à une petite distance l'un de l'autre, les deux fluides électriques de nom contraire dont elles sont chargées tendent à se recombinaer en vertu de leurs attractions. Dès que la tension électrique est devenue suffisante pour surmonter la résistance de l'air, ils se recombinaent violemment en produisant de bruyantes étincelles.

L'air, en raison de ses propriétés isolantes, présente une grande résistance au passage de l'électricité, mais si nous supprimons cette résistance en introduisant les deux électrodes dont il vient d'être question dans un ballon où on a fait le vide, les phénomènes seront très différents. Mais en réalité rien n'a été créé dans le tube. Tout ce qu'on y trouve, ions et électrons résidait déjà dans l'électricité qui y fut introduite. Tout au plus peut-il s'y former de nouveaux électrons provenant du choc de ceux venus de la source électrique contre les particules de gaz raréfié que contient encore le tube.

Si les effets obtenus par une décharge dans un tube vide sont fort différents de ceux produits par la même décharge dans un tube plein d'air, c'est que dans le vide, les particules électriques ne sont pas gênées par les molécules d'air entravant leur marche. Dans le vide seul les électrons peuvent prendre la vitesse nécessaire pour produire les rayons X quand ils viennent frapper les parois du tube.

De toutes façons, je le répète, ions et électrons ne se sont pas formés dans le tube vide, ils ont été apportés du dehors. Ce sont des éléments produits

par le générateur de l'électricité. *Ce n'est pas dans le tube de Crookes que la matière se dissocie, elle y est amenée déjà dissociée.*

S'il en est réellement ainsi nous devons retrouver dans les décharges électriques produites dans l'air par une machine électrique, les éléments divers — ions et électrons — dont nous avons constaté l'existence dans l'ampoule de Crookes et que nous savons être engendrés également par les corps radio-actifs.

Étudions donc l'électricité telle qu'elle est fournie par les petites machines statiques de nos laboratoires. Nous pourrions prendre comme type des générateurs d'électricité le plus simple de tous, un bâton de verre ou de résine frotté donnant de l'électricité sous une tension de 2 à 3.000 volts, mais son emploi serait incommode pour plusieurs expériences. La plupart des machines électriques des laboratoires ne diffèrent d'ailleurs de cet appareil élémentaire que par la plus grande surface que présente le corps frotté et parce qu'il est possible à l'aide de divers artifices de recueillir séparément l'électricité positive et négative à deux extrémités différentes nommées pôles

Une machine statique possède d'ailleurs au point de vue qui nous occupe un avantage considérable. Son débit est très faible, mais l'électricité en sort sous une tension extrêmement élevée pouvant facilement dépasser 50.000 volts.

C'est précisément cette circonstance qui nous permettra de montrer dans les particules électriques projetées par les pôles isolés d'une machine statique une analogie étroite avec les particules émises par les corps radio-actifs. L'électricité des piles est évidemment identique à celle des machines statiques, mais comme elle n'en sort que sous une tension de quelques volts, elle ne saurait produire les mêmes effets de projection.

Il est probable aussi que le frottement sur lequel

les anciennes machines statiques sont fondées constitue un moyen de dissociation de l'atome et, par conséquent, met en jeu l'énergie intra-atomique. Cette dernière n'agit pas sans doute dans la dissociation moléculaire des corps composés sur lesquels les piles sont basées, et c'est vraisemblablement pourquoi

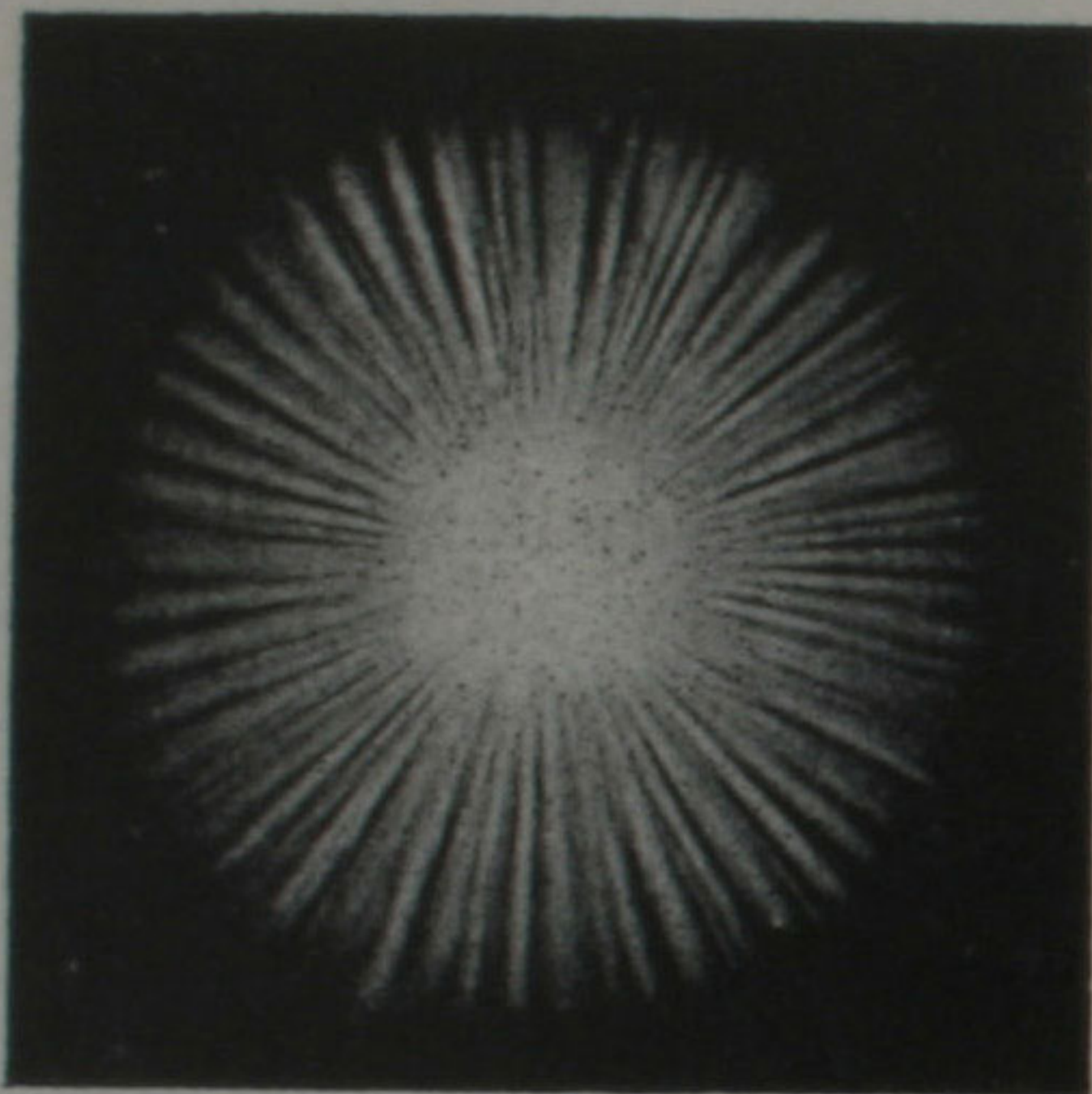


FIG. 21. — *Vue en projection du rayonnement des particules électriques d'un seul pôle. (Photographie instantanée).*

l'électricité en sort en quantité très grande, mais sous une tension très faible dépassant à peine 2 volts pour les meilleures piles. Si le débit d'une machine statique pouvait atteindre celui d'une petite pile ordinaire, ce serait un agent excessivement puissant capable de produire un travail industriel énorme. Supposons qu'une machine électrique mue à la main, et donnant de l'électricité sous une tension de 50.000 volts, ait seulement un débit de 2 ampères, c'est-à-dire celui de la plus modeste pile, son rendement représenterait un travail de 100.000 watts, soit 136 chevaux-vapeur par seconde. Étant donné qu'une libération d'énergie

considérable résulte de la dissociation d'une très faible quantité de matière, on peut considérer comme possible la future création d'une telle machine, c'est-à-dire d'un appareil fournissant un travail extrêmement supérieur à celui dépensé pour le mettre en mouvement. C'est un problème dont l'énoncé eût paru

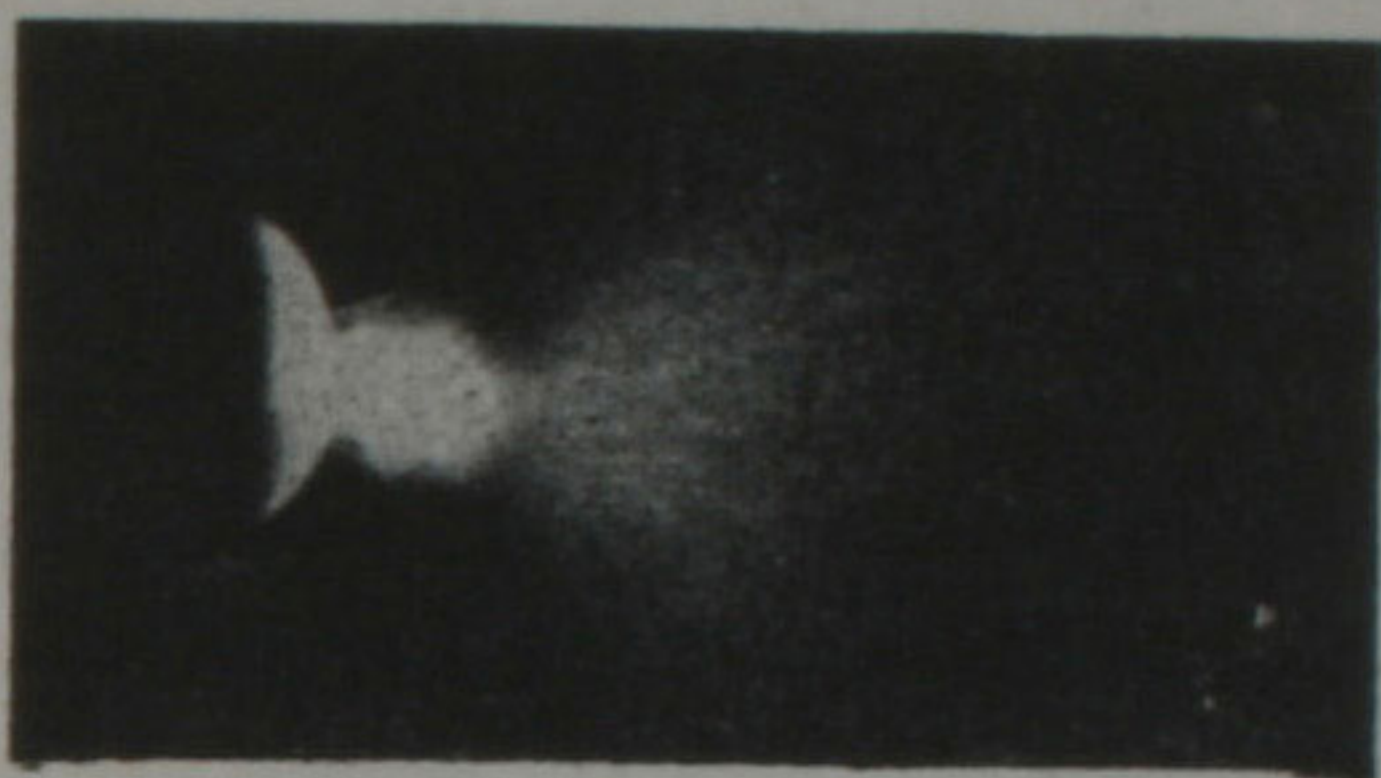


FIG. 22.

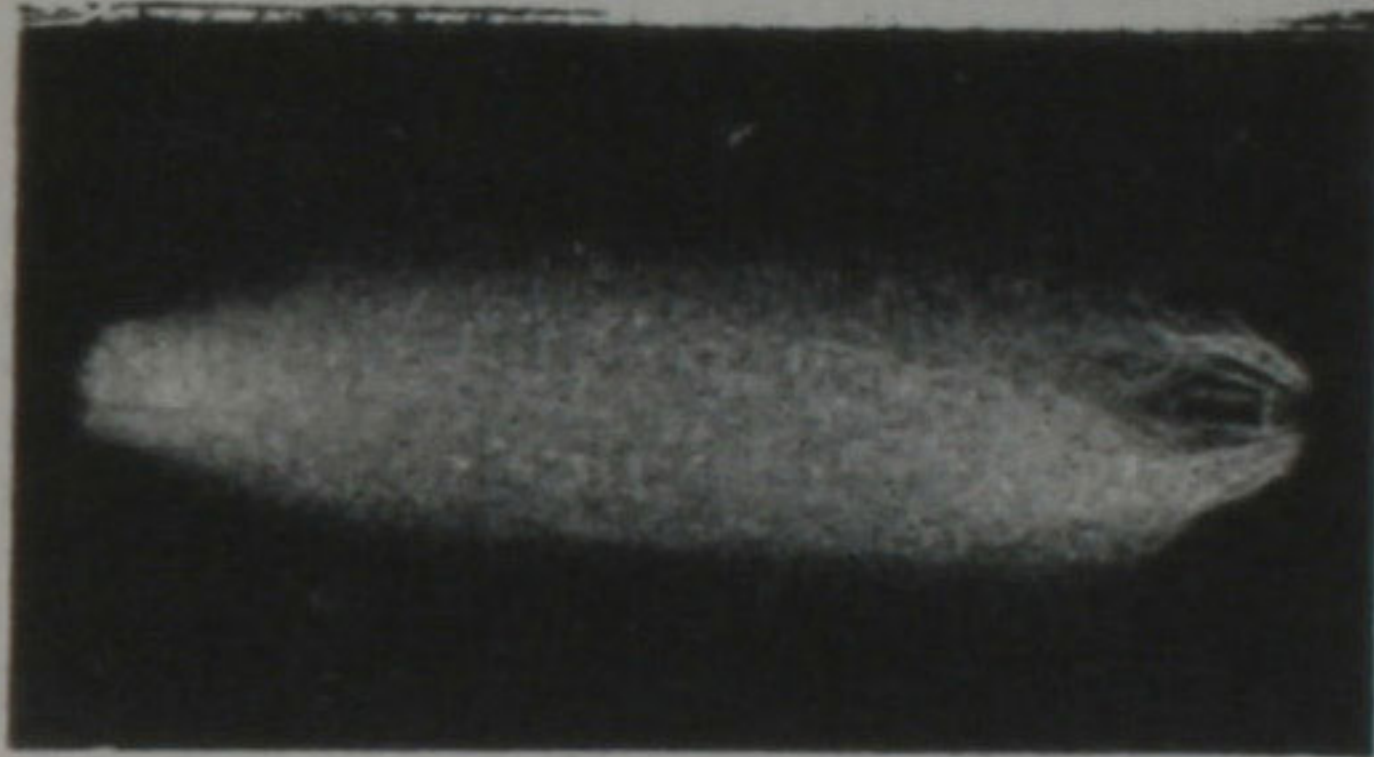


FIG. 23.

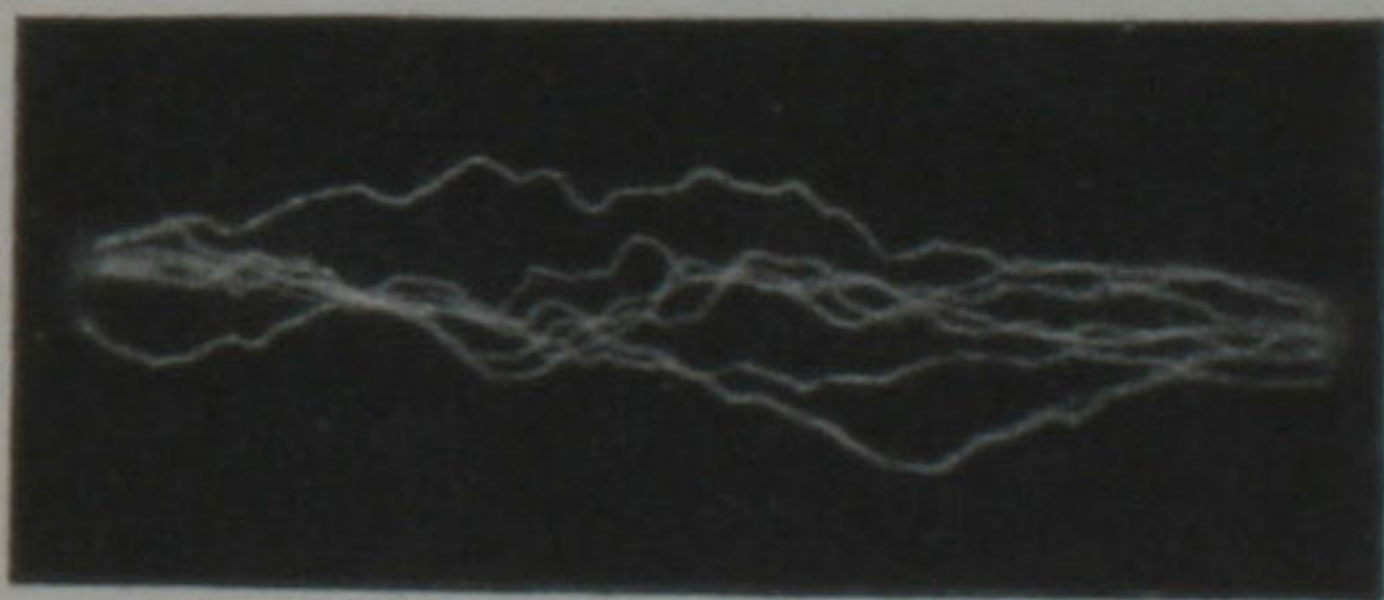


FIG. 24.

FIG. 22. — Photographie des aigrettes produites par les particules électriques qu'émet un des pôles d'une machine statique.

FIG. 23. — Particules électriques positives et négatives formées aux deux pôles et s'attirant.

FIG. 24. — Concentration des particules électriques en un petit nombre de lignes d'où résulte la décharge sous forme d'étincelles.

tout à fait absurde, il y a seulement une dizaine d'années. Pour le résoudre, il suffirait de trouver le moyen de mettre la matière dans un état où elle se

dissocie facilement ; or, nous verrons qu'un simple rayon de soleil est un agent actif de cette dissociation. Il est probable qu'on en découvrira bien d'autres.

Examinons maintenant notre machine électrique ordinaire en fonction et recherchons ce qui s'en dégage :

Si les tiges terminales formant les pôles sont fort écartées, on perçoit à leurs extrémités des gerbes de très petites étincelles nommées aigrettes (fig. 21 et 22) qui se dégagent avec un bruissement caractéristique. Dans la production de ces éléments réside le phénomène fondamental. C'est en examinant leur composition qu'on constate les analogies qui existent entre les produits émis par les corps radio-actifs, par les tubes de Crookes et par une machine électrique.

Les effets obtenus avec les éléments qui sortent des pôles varient suivant la façon de disposer ces pôles, et c'est ce qu'il importe de rappeler tout d'abord.

Si nous réunissons les deux pôles par un fil de longueur quelconque, dans le circuit duquel nous intercalerons un galvanomètre, la déviation de l'aiguille aimantée de ce dernier nous révélera la production silencieuse et invisible de ce qu'on appelle un courant électrique. Il est identique à celui qui sillonne nos lignes télégraphiques et est constitué par un fluide formé, d'après les idées actuelles, de la réunion des particules électriques dites électrons que la machine engendre constamment.

Au lieu de relier les pôles par un fil, rapprochons-les un peu, mais en maintenant entre eux cependant une certaine distance. Les éléments électriques de noms contraires s'attirant, les aigrettes dont nous avons déjà constaté l'existence s'allongent considérablement et, avec une machine un peu puissante, on les voit former dans l'obscurité un nuage de particules lumineuses reliant les deux pôles (fig. 23).

Si nous rapprochons un peu plus les pôles, ou si, sans les rapprocher, nous augmentons la tension de l'électricité au moyen d'un condensateur, les attractions entre les particules électriques de noms contraires deviennent beaucoup plus énergiques. Ces particules se concentrent alors sur un petit nombre de lignes ou sur une seule ligne, et la recombinaison des deux fluides électriques se fait sous forme de longues étincelles étroites, bruyantes et lumineuses (fig. 24). Ce sont toujours les mêmes éléments que précédemment qui les constituent, car la distance entre les pôles ou l'élévation de la tension sont les seuls facteurs que nous ayons fait varier.

Les divers effets que nous venons de décrire sont naturellement fort différents de ceux observés quand la décharge électrique se fait dans un ballon où l'air a été plus ou moins raréfié. L'absence de l'air produit ces différences, mais ce gaz n'exerce aucune action sur les éléments électriques dégagés par les générateurs d'électricité. En quoi consistent ces éléments ?

§ 2. — COMPOSITION ET PROPRIÉTÉS DES ÉLÉMENTS ÉMIS
PAR LES POLES D'UNE MACHINE ÉLECTRIQUE.

LEUR ANALOGIE AVEC LES ÉMISSIONS DES CORPS RADIO-ACTIFS.

Pour analyser ces éléments, il faut les étudier avant la recombinaison des particules électriques, c'est-à-dire quand les pôles sont entièrement écartés et produisent les aigrettes signalées plus haut.

Nous retrouverons chez elles les propriétés fondamentales des émissions des corps radio-actifs, notamment celles de rendre l'air conducteur de l'électricité et d'être déviées par un champ magnétique. Du pôle positif de la machine partent des ions positifs. Du pôle négatif partent ces atomes

d'électricité pure de grandeur définie nommés électrons, mais contrairement à ce qui se passe dans le vide, ces électrons deviennent immédiatement un centre d'attraction de particules gazeuses et se transforment en ions négatifs identiques à ceux qui se produisent dans l'ionisation des gaz et dans toutes les formes d'ionisation.

Ces émissions d'ions s'accompagnent de phénomènes secondaires, chaleur, lumière, etc., que nous examinerons plus loin. Ils s'accompagnent aussi d'une projection de poussières arrachées au métal des pôles, dont la vitesse peut atteindre, d'après J.-J. Thomson, 1.800 mètres par seconde, c'est-à-dire à peu près le double de celle d'un boulet de canon.

La vitesse de projection des ions dont l'ensemble constitue les aigrettes des pôles d'une machine statique dépend naturellement de la tension électrique. En l'élevant à plusieurs centaines de milliers de volts avec un résonateur de haute fréquence, j'ai pu obliger les particules électriques des aigrettes à traverser visiblement (fig. 25 et 26) et sans aucune déviation des lames de corps isolants de 1/2 millimètre d'épaisseur. C'est une expérience faite autrefois avec la collaboration du Dr Oudin et que j'ai déjà publiée avec photographies à l'appui. On trouvera dans la partie expérimentale de ce livre les indications techniques nécessaires pour la répéter. Elle a peu frappé les physiciens malgré son importance¹, et bien que ce fût la première fois qu'on eût réussi à faire traverser *visiblement* de la matière par des atomes électriques. En plaçant une lame de verre entre les pôles rapprochés d'une bobine d'induction, on arrive facilement à la percer, comme on le sait depuis longtemps

1. Elle n'a été relevée à ma connaissance que par un savant électricien anglais le professeur Fleming qui l'a décrite et qualifiée de frappante dans une de ses leçons sur les oscillations électriques publiées par « *Cantor lectures* », 1900.

mais c'est là une simple action mécanique. Les aigrettes, dans notre expérience, traversent les corps sans les altérer, absolument comme le ferait la lumière. Le sens de leur charge prouve qu'elles se composent généralement d'ions positifs.

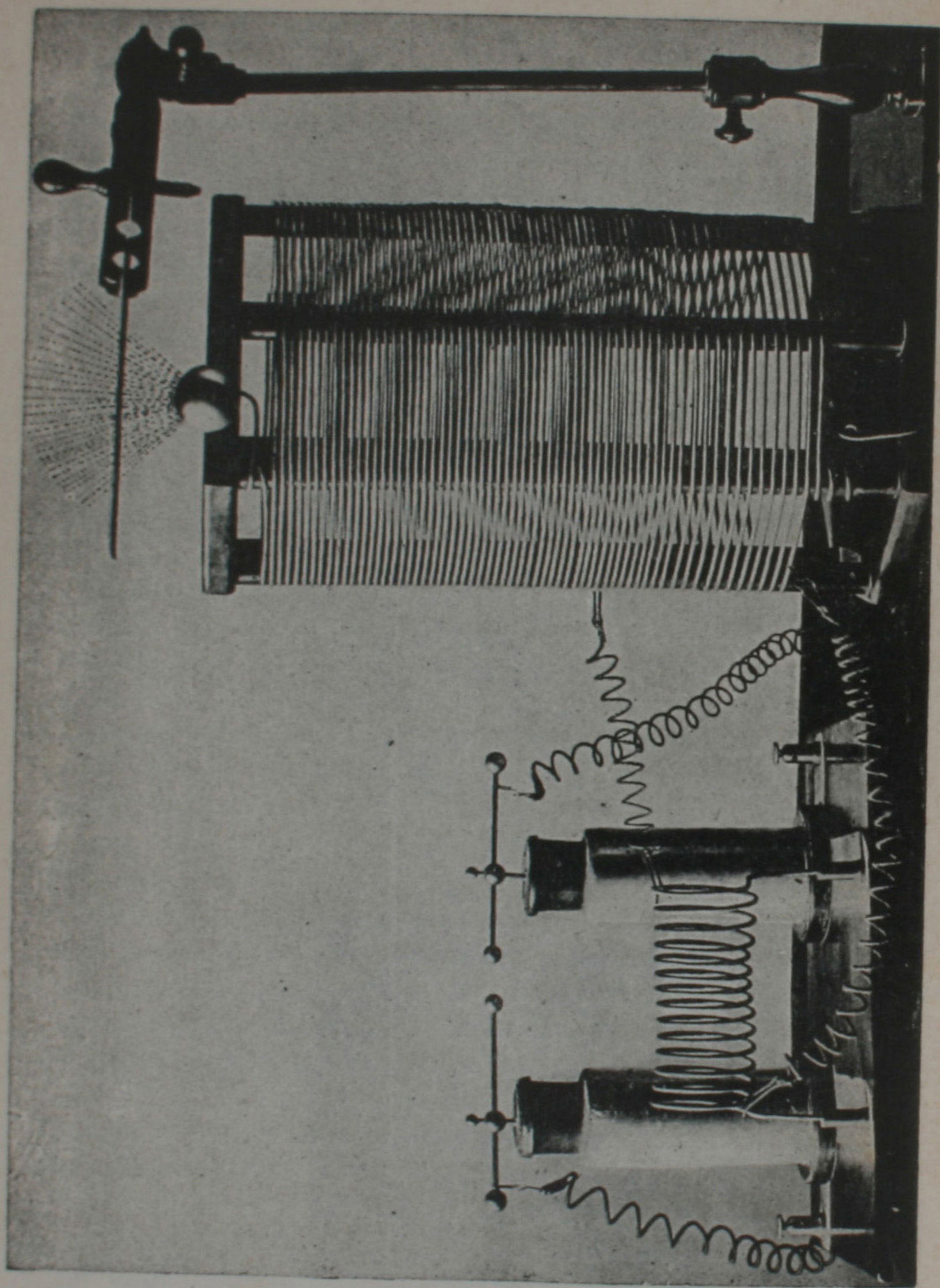
L'émission par les pôles d'une machine électrique d'électrons, bientôt transformés en ions, s'accompagne de phénomènes divers que l'on retrouve dans les corps radio-actifs sous des formes peu différentes.

Pour les étudier, il est préférable de terminer les pôles de la machine par des pointes. On constate alors facilement que *ce qui sort d'une pointe électrisée est identique à ce qui sort d'un corps radio-actif.*

La seule différence réelle est que la pointe ne produit pas de rayons X à la pression ordinaire. Quand on veut observer ces derniers il faut relier la pointe avec un conducteur permettant d'opérer la décharge dans un ballon où on a fait le vide. Dans ce cas, la production des rayons X est assez abondante pour rendre visible sur un écran de platino-cyanure de baryum, le squelette de la main, même en ne se servant que d'un seul pôle.

La non production de rayons X à la pression ordinaire est d'ailleurs conforme à la théorie. Les rayons X ne naissent que par le choc d'électrons possédant une grande vitesse. Or, les électrons formés dans un milieu gazeux à la pression atmosphérique se transformant immédiatement en ions, par l'adjonction d'un cortège de particules neutres, ne peuvent, par suite de cette surcharge, garder la vitesse nécessaire pour engendrer les rayons X.

En dehors de cette propriété d'engendrer des rayons X que ne possèdent pas, d'ailleurs, tous les corps radio-actifs, les particules qui se dégagent d'une pointe électrisée sont, je le répète, tout à fait



25. — Passage visible à travers un obstacle matériel formé d'une lame de verre ou d'ébène, des effluves produits par la dématérialisation de la matière. On a pointillé les effluves comme ils se montrent à l'œil. La figure suivante représente la photographie du phénomène. Le pointillé a disparu par suite de la nécessité de prolonger la pose photographique.

comparables à celles résultant de la dissociation des atomes de tous les corps.

Elles rendent en effet, l'air conducteur de l'électri-

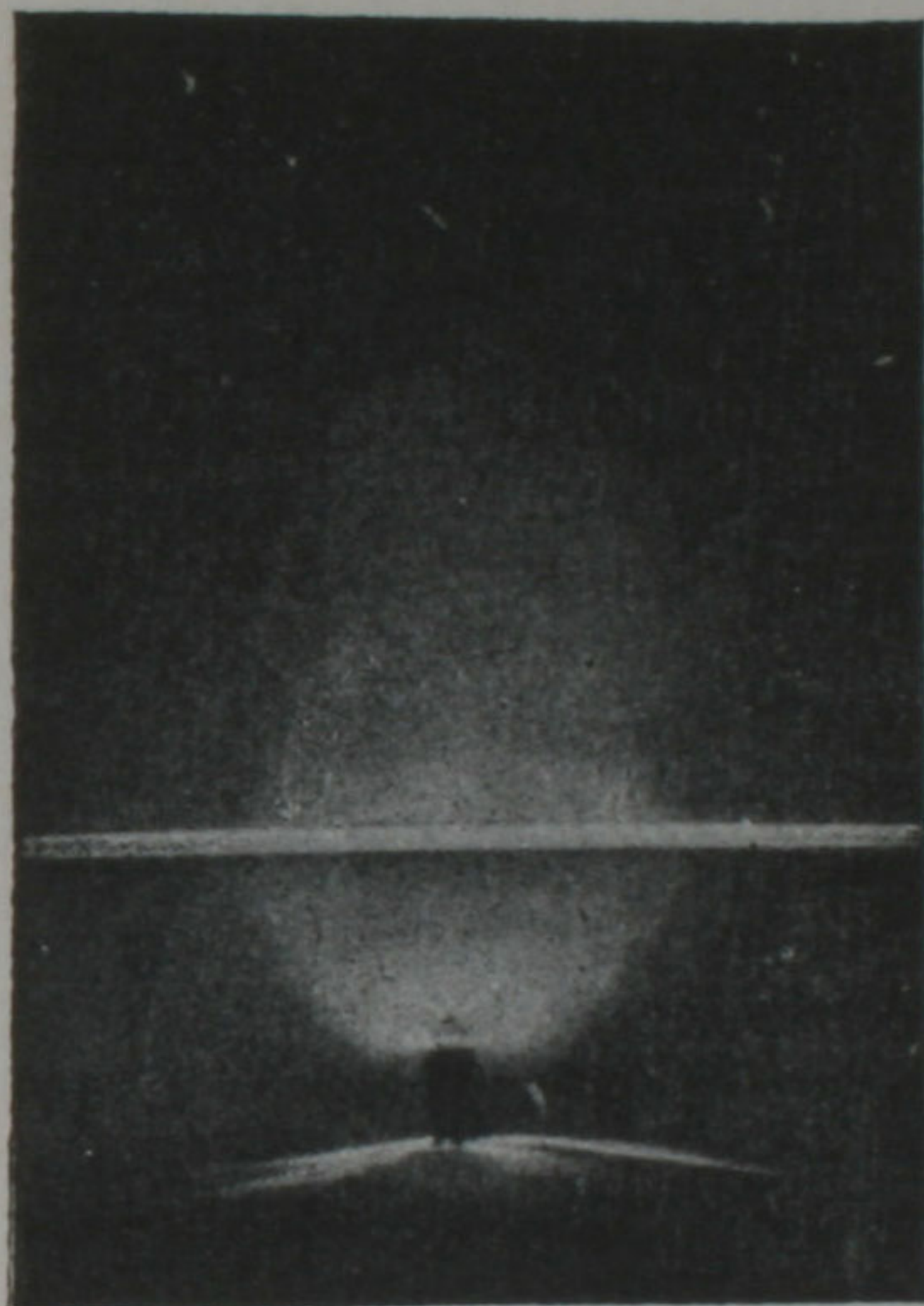


FIG. 26

Photographie des effluves provenant de la dématérialisation de la matière pendant leur passage à travers un obstacle matériel : lame de verre ou d'ébonite.

ité ainsi que Branly l'avait montré depuis longtemps et sont, comme l'a prouvé J.-J. Thomson, déviées par un champ magnétique.

La projection des particules de matière dissociée, c'est-à-dire des ions, contre les molécules de l'air, produit ce qu'on appelle le vent électrique, avec lequel

on peut éteindre une lampe, faire fonctionner un tourniquet, etc. Il n'est nullement dû, comme on le répète dans tous les traités de physique, à l'électrisation des particules de l'air, car un gaz ne peut être électrisé par aucun moyen, sauf quand on le décompose. C'est l'énergie cinétique des ions transmise aux molécules de l'air qui cause le déplacement de ces dernières.

Les ions qu'émettent les pointes par lesquelles nous avons terminé les pôles d'une machine électrique peuvent produire des effets de fluorescence très analogues à ceux observés avec le radium. Ils permettent d'imiter les effets du spinthariscopes qui rend visible la dissociation de la matière. Il suffit, suivant les indications de M. Leduc, de rapprocher dans l'obscurité, à quelques centimètres d'un écran de platino-cyanure de baryum, une tige terminée par une pointe très fine en relation avec un des pôles, — le pôle positif de préférence, — d'une machine statique, l'autre pôle étant à la terre. Si on observe alors l'écran à la loupe, on constate exactement la même pluie de fines étincelles que dans le spinthariscopes, et la cause en est probablement identique.

Les ions qui sortent des pôles d'une machine statique ne sont pas en général très pénétrants, — pas plus d'ailleurs que les ions α qui forment les 99 % de l'émission du radium. Cependant j'ai pu obtenir des impressions photographiques très nettes à travers une feuille de papier noir en élevant suffisamment la tension électrique (fig. 27). Il suffit de placer l'objet à reproduire, une médaille par exemple, entourée de papier noir contre une plaque photographique posée sur une feuille de métal en relation avec un des pôles, tandis que, au-dessus de la médaille, se trouve une tige communiquant avec l'autre pôle. Quelques petites étincelles suffisent. On ne peut attribuer la reproduction ainsi obtenue à la lumière ultra-violette que

la décharge produit, puisque la médaille est séparée de la plaque par une feuille de papier noir et que, dans ces conditions, il est évident qu'aucune lumière visible ou invisible n'arriverait à produire une impression des détails de la médaille. Le phénomène est d'ailleurs très complexe et sa discussion complète entraînerait trop loin. C'est pourquoi je n'y insiste pas.

Les ions émis par les pointes électrisées s'accom-

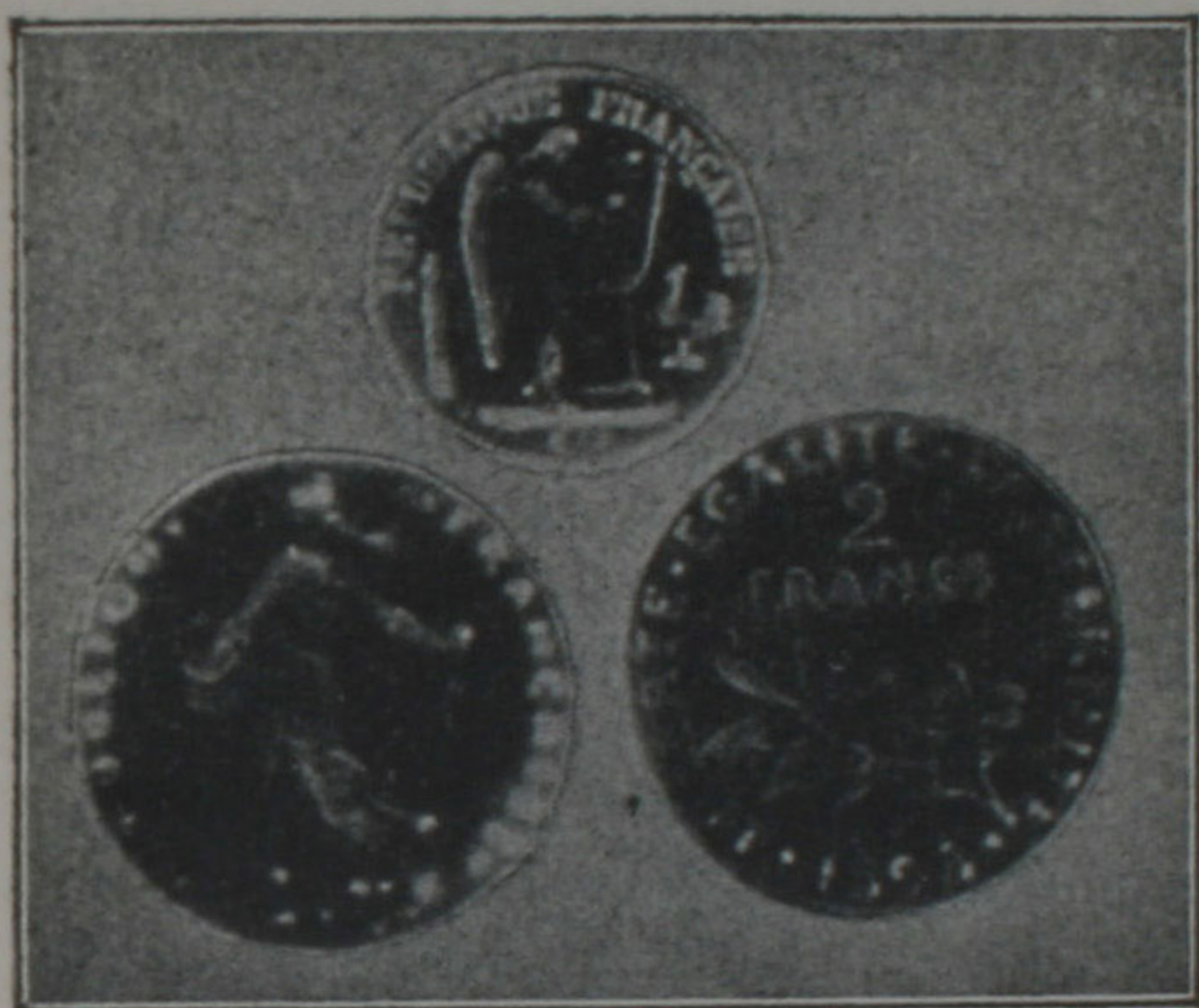


FIG. 27. — Impressions produites par les ions issus d'une pointe électrisée à travers une feuille de papier noir.

pagnent le plus souvent d'émission de lumière, phénomène observé également dans certains corps radioactifs. Le spectre de cette lumière est singulièrement étendu. Il va, en effet, d'après mes recherches, depuis des ondes hertziennes n'ayant pas plus de 2 ou 3 millimètres de longueur jusqu'à des ondes ultra-violettes dont la longueur est inférieure à $\lambda = 0 \mu 230$. Si on donnait un centimètre de longueur à un spectre solaire de diffraction, le spectre des pointes électrisées aurait à la même échelle 30 mètres environ de longueur.

La production de lumière ultra-violette dans les spectres d'étincelles électriques est connue et utilisée depuis fort longtemps, mais c'est, je crois, M. Leduc qui l'a signalée pour la première fois dans les aigrettes des pointes.

Il me restait cependant un doute sur son existence. Dans toute la région environnant une pointe électrisée existe un champ électrique intense, capable d'illuminer, à une distance assez grande, un tube de Geissler, et capable peut-être aussi d'illuminer les corps fluorescents. Il fallait donc éliminer son action.

Pour séparer l'action de l'ultra-violet de celle pouvant être due à un champ électrique, j'ai utilisé une grande machine à 12 plateaux du D^r Oudin dont l'action est tellement puissante que les aigrettes produites peuvent, à plusieurs mètres, illuminer un écran de platino-cyanure de baryum ou un tube de Geissler.

La séparation de l'action du champ électrique de celle de la lumière ultra-violette a été faite d'une façon catégorique par l'expérience suivante réalisée avec le concours du D^r Oudin.

On introduit dans une cage de bois enveloppée de gaze métallique, reliée à la terre, — de façon à supprimer toute action électrique, — des tubes de Geissler, et des lames de métal sur lesquelles on a tracé des lettres avec du platino-cyanure de baryum broyé dans une solution de gomme arabique. On constate alors que les tubes de Geissler qui, à côté de la cage, brillent vivement, cessent entièrement d'être lumineux, lorsqu'ils sont placés dans son intérieur, alors, au contraire, que les lettres tracées avec le platino-cyanure mises dans la cage métallique continuent à briller. L'illumination de ces dernières est donc bien due uniquement à la lumière ultra-violette.

Il résulte de ce qui précède que la formation

d'aigrettes électriques s'accompagne d'une production énorme de lumière invisible. Avec un résonateur de haute fréquence, sa quantité est telle que l'illumination du platino-cyanure se produit jusqu'à plus de cinq mètres.

Je n'ai pas à rechercher ici comment agit la lumière ultra-violette sur les corps fluorescents. On admet, depuis Stokes, que la fluorescence provient de la transformation des ondes ultra-violettes invisibles en ondes plus grandes et pour cette raison visibles. Mais je ferai remarquer en passant qu'il serait peut-être plus simple de supposer la fluorescence due à la production — sous l'influence de la lumière ultra-violette, dont l'action ionisante énergique est bien connue — de petites décharges électriques atomiques des corps que leur structure rend susceptibles de fluorescence.

Pour déterminer les limites de l'ultra-violet produit dans les expériences précédentes, j'ai fait usage de divers écrans placés sur le platino-cyanure et dont j'avais préalablement déterminé la transparence au spectrographe dans des recherches antérieures. L'ultra-violet actif, c'est-à-dire capable de produire la fluorescence, s'étend jusqu'à $\lambda = 0\mu, 230$ environ.

Mais une pointe électrisée qui se décharge n'est pas seulement une source de lumière ultra-violette, elle émet aussi des ondes hertziennes, ce qu'on ignorait absolument avant mes recherches. J'ai indiqué dans la partie expérimentale de cet ouvrage, les moyens employés pour les révéler. En raison de leur faible longueur qui ne dépasse probablement pas 2 millimètres, elles ne se propagent guère à plus de 40 ou 50 centimètres¹.

1. L'onde hertzienne qui accompagne toujours les étincelles électriques n'est plus de l'électricité mais un phénomène vibratoire de l'éther et elle paraît ne différer de la lumière que par la longueur d'onde. Sortie de l'électricité elle peut reprendre la forme électrique ordinaire quand elle vient à toucher un corps.

Cette production d'ondes hertziennes, de lumière visible et de lumière ultra-violette invisible, compagnes constantes de toutes les émissions de particules électriques, doit être retenue, car elle nous fournira plus tard la clef du processus final de la transformation de la matière en vibrations de l'éther, lorsque nous aborderons cette question dans un autre chapitre.

Comme résumé de ce qui précède, nous pouvons dire qu'un corps électrisé par un moyen quelconque, le frottement, notamment, est simplement un corps dont les atomes ont subi un commencement de dissociation. Si les produits de cette dissociation sont émis dans le vide, ils sont identiques à ceux qu'engendrent les substances radio-actives. S'ils sont émis dans l'air, ils possèdent des propriétés qui ne diffèrent de celles des émissions radio-actives qu'en ce que leur vitesse est moindre.

Envisagée à ce point de vue, l'électricité nous apparaît comme une des plus importantes phases de la dématérialisation de la matière, et, par conséquent, comme une forme particulière de l'énergie *intra-atomique*. Elle constitue par ses propriétés une substance demi-matérielle intermédiaire entre la matière et l'éther.

Elle lui communique alors une charge constatable à l'électroscope et peut produire des étincelles. C'est même sur ce dernier phénomène que Hertz s'est basé pour découvrir l'existence des ondes qui portent son nom.

Il y a entre l'onde hertzienne et l'électricité une différence de même ordre qu'entre la chaleur rayonnante et la chaleur par conduction que l'on confondait autrefois. Ce sont deux phénomènes fort différents puisque l'un se passe dans la matière, l'autre dans l'éther. Ils peuvent cependant se transformer également l'un dans l'autre. Un corps chauffé émet des ondes dans l'éther analogues à celles que produit une pierre lancée dans l'eau. Ces ondes, en frappant une substance matérielle, sont absorbées par elle et se transforment en chaleur. Dès que la substance matérielle est échauffée elle rayonne aussitôt dans l'éther des ondes calorifiques, de même que l'onde hertzienne en touchant un corps l'électrise et lui donne la faculté d'émettre, à son tour, d'autres ondes hertziennes.

CHAPITRE III

Comparaison des propriétés du fluide électrique et des fluides matériels.

Nous avons montré que l'électricité sous toutes ses formes possède des propriétés intermédiaires entre celles de l'éther et de la matière.

Ces propriétés intermédiaires, nous allons les retrouver encore en comparant les lois de l'écoulement des fluides matériels à celles qui régissent la distribution du fluide électrique.

Les différences entre ces divers fluides sont trop visibles pour qu'il soit nécessaire de les indiquer longuement. Le fluide électrique est d'une mobilité qui lui permet de circuler dans un fil métallique avec la vitesse de la lumière, ce que ne pourrait aucune substance matérielle. Il échappe aux lois de la gravitation, alors que les équilibres des fluides matériels sont régis par ces seules lois, etc.

Les différences sont donc très grandes, mais les analogies le sont également. La plus remarquable est constituée par l'identité des lois qui régissent l'écoulement des fluides matériels et du fluide électrique. Quand

on connaît les premières on connaît les secondes.

Cette identité qui a mis assez longtemps à s'établir, est devenue classique aujourd'hui. Les traités les plus élémentaires insistent à chaque page sur l'assimilation qu'on peut établir entre la distribution de l'électricité et celle des liquides. Ils ont soin néanmoins de faire remarquer que cette assimilation est symbolique et ne s'applique pas à tous les cas. En y regardant d'un peu plus près il a fallu cependant reconnaître qu'il ne s'agissait nullement d'une simple assimilation. Dans un travail récent¹, le savant mathématicien Bjerkness a montré qu'il suffit d'employer un certain système d'unités électriques pour que « les formules électriques et magnétiques deviennent *identiques* aux formules hydrodynamiques ».

Quelques exemples mettront de suite en évidence ces similitudes. Pour leur donner plus d'autorité je les emprunte à un travail de Cornu, publié il y a quelques années².

Il fait d'abord remarquer que la loi fondamentale de l'électricité, celle de Ohm $\left(I = \frac{E}{R} \right)$, aurait pu être déduite du mouvement des liquides dans les tuyaux de conduite dont les propriétés étaient connues depuis longtemps des ingénieurs.

Voici d'ailleurs, pour les cas les plus importants, la comparaison des lois régissant ces divers phénomènes. Une des deux colonnes s'applique aux fluides matériels, l'autre au fluide électrique.

Le débit d'un liquide dans l'unité de temps, par un tube de communication, est proportionnel à la différence de niveau et en raison inverse de la résistance du tube.

L'intensité d'un courant dans un fil donné est proportionnelle à la différence de potentiel existant entre les deux extrémités et en raison inverse de la résistance.

1. BJERKNES. *Les actions hydrodynamiques à distance.*

2. CORNU. *Corrélation des phénomènes d'électricité statique et dynamique.*

Dans la chute d'un liquide à travers un tube de communication d'un niveau donné à un autre niveau également fixe, le travail disponible est égal au produit de la quantité de liquide par la différence de niveau.

La hauteur du niveau dans un vase croît proportionnellement à la quantité de liquide versé et en raison inverse de la section du vase.

Deux vases remplis de liquide, mis en communication convenable, sont en équilibre hydrostatique, lorsque leurs niveaux sont les mêmes.

La quantité totale de liquide se partage alors proportionnellement aux capacités des vases.

Dans le passage à travers un fil de l'électricité d'un potentiel donné à un autre potentiel également fixe, le travail disponible des forces électriques est égal au produit de la quantité d'électricité par la différence de potentiel (chute) d'électricité.

Le potentiel électrique d'un conducteur croît proportionnellement à la quantité d'électricité cédée (charge) et en raison inverse de la capacité du conducteur.

Deux conducteurs électrisés mis en communication sont en équilibre électrostatique lorsque leurs potentiels sont les mêmes.

La charge électrique totale se partage alors proportionnellement aux capacités des conducteurs.

Cornu, qui a multiplié ces analogies beaucoup plus que je ne viens de le faire, a soin de rappeler que ce sont là des assimilations d'un usage courant dans la pratique, « une canalisation électrique doit être traitée comme une distribution d'eau : en chaque point du réseau il faut assurer la pression nécessaire au débit ».

Tous les phénomènes précédents observés avec le fluide électrique aussi bien qu'avec les fluides matériels, sont le résultat de perturbations d'équilibre d'un fluide qui obéit à certaines lois pour reprendre son équilibre.

Les perturbations d'équilibre produisant les phénomènes électriques se manifestent lorsque, par un moyen quelconque, le frottement par exemple, on arrive à séparer les deux éléments, positif et négatif, dont on suppose formé le fluide électrique. Le réta-

blissement de l'équilibre est caractérisé par la recombinaison de ces deux éléments.

Il n'y a, comme je l'ai dit déjà, que les phénomènes résultant de perturbations d'équilibre qui nous soient accessibles. Le fluide électrique neutre, c'est-à-dire le fluide électrique n'ayant subi aucun changement d'équilibre, est une chose dont on peut supposer l'existence, mais qu'aucun réactif ne révèle. Il est cependant naturel de croire qu'il a une existence aussi réelle que celle de l'eau renfermée dans des réservoirs entre lesquels ne se trouve aucune dénivellation susceptible de produire un effet mécanique, révélateur de la présence du liquide. Ce que nous appelons électricité, provient uniquement des phénomènes résultant du déplacement du fluide dit électrique ou de ses éléments.

Nous venons de montrer que l'électricité en mouvement se conduit comme un fluide matériel ; mais pourquoi ces deux substances, évidemment si différentes, obéissent-elles aux mêmes lois ? L'analogie des effets indiquerait-elle l'analogie des causes ?

Nous savons qu'il n'en est rien. La pesanteur est sans action appréciable sur l'électricité, alors qu'elle est l'unique raison des lois de l'écoulement des liquides. Si un liquide passe d'un niveau supérieur à un niveau inférieur, c'est qu'il obéit à la gravitation, ce qui n'est pas du tout le cas de l'électricité. Le potentiel d'une chute d'eau, c'est-à-dire la différence de hauteur entre son point de départ et son point d'arrivée, est dû tout entier à la pesanteur et si de l'eau emmagasinée à une certaine hauteur représente de l'énergie, c'est qu'elle est attirée vers le centre de la terre, attraction à laquelle les parois qui l'emprisonnent l'empêchent seules d'obéir. Quand on laisse le liquide s'écouler en perçant le réservoir, sa chute produit, par suite de l'attraction terrestre, un travail correspondant à celui employé pour l'élever. Arrivé

à la surface du sol il ne pourra plus produire de travail.

Si la gravitation qui détermine l'écoulement des liquides est entièrement étrangère aux phénomènes constatés dans la circulation du fluide électrique, quelle est leur cause?

Nous savons que cette cause agit exactement comme la gravitation, mais que, forcément, elle en diffère. Bien que sa nature intime soit inconnue ; nous pouvons la pressentir, puisque l'observation enseigne que le fluide électrique, en vertu de la répulsion réciproque de ses molécules, présente une tendance à l'expansion nommée tension. Tous les modes d'énergie, se présentant sous forme de quantité et de tension, obéissent aux mêmes lois générales.

Cette tendance à l'expansion s'observe aussi dans les gaz, mais elle diffère de celle du fluide électrique. Ce dernier peut en effet être retenu sur la surface d'un corps isolé alors que les gaz se diffusent immédiatement s'ils ne sont pas retenus par les parois d'une enceinte hermétiquement fermée.

Nous voyons donc se poursuivre les analogies — tantôt rapprochées, tantôt lointaines — entre les choses matérielles et celles qui ne le sont plus. C'est précisément à la nature intermédiaire de ces dernières entre l'éther et la matière, que sont dues les différences et les ressemblances constatées.

CHAPITRE IV

Les mouvements des particules électriques. Théorie moderne de l'Électricité.

Nous venons de montrer les analogies du fluide électrique et des fluides matériels et constaté que les lois de leur distribution sont identiques.

Ces analogies deviennent très faibles et même finissent par s'évanouir quand au lieu d'examiner l'électricité à l'état de fluide, on étudie les propriétés des éléments dont ce fluide paraît formé. On sait que, d'après les idées actuelles, il se composerait de particules dites électrons.

Cette conception de la structure discontinue, c'est-à-dire granulaire de l'électricité, qui remonte à Faraday et Helmholtz, a trouvé un grand appui dans les découvertes récentes.

Convenablement interprétée, elle nous permettra de rapprocher dans une vue d'ensemble, non seulement les phénomènes dits radio-actifs, mais encore ceux antérieurement connus en électricité et en optique, tels que le courant voltaïque, le magnétisme et la lumière notamment. La plupart de ces phénomènes peuvent être produits par de simples changements d'équilibre et de mouvement des particules électriques, c'est-à-dire par des déplacements d'une même chose. C'est ce que nous allons maintenant montrer.

Au lieu d'envisager un atome électrique ou électron, corps hypothétique, nous le remplacerons, pour la majorité des cas, par une petite sphère métallique électrisée. Cette simple substitution, qui ne modifie pas la théorie, a l'avantage de rendre possible les vérifications expérimentales.

Suivant que cette sphère sera en repos, en mouvement ou arrêtée dans son mouvement, elle pourra, comme nous allons le voir, produire toute la série des phénomènes électriques et lumineux.

Prenons donc notre petite sphère métallique, isolée par un moyen quelconque, et commençons par l'électriser. Rien n'est plus simple, puisqu'il suffit de la mettre en contact avec une substance hétérogène. Deux métaux différents, séparés après s'être touchés, restent comme on le sait chargés d'électricité. L'électrisation par frottement sur lequel les anciennes machines étaient basées ne représente qu'un cas particulier de l'électrisation par contact. Le frottement ne fait, en effet, que multiplier et renouveler les surfaces hétérogènes en présence.

Ceci posé, éloignons un peu notre sphère électrisée du corps avec lequel elle avait été d'abord mise en contact. On constate alors par divers moyens qu'elle lui est reliée par des lignes dites de force auxquelles on attribue maintenant une structure fibreuse. Ces lignes tendent à rapprocher les corps entre lesquels elles existent et jouissent de la propriété de se repousser¹. Faraday les comparait à des ressorts tendus entre les corps. Ce serait l'extrémité de ces ressorts qui constituerait les charges électriques.

Éloignons maintenant à une grande distance notre sphère de la substance qui a servi à l'électriser par

(1) Voir des photographies de ces répulsions de lignes de force ou plutôt de particules suivant la direction de lignes de force, fig. 6, p. 160.

son contact. Les lignes de force qui reliaient les deux corps restent attachées à chacun d'eux et rayonnent en ligne droite dans l'espace¹. C'est à leur ensemble qu'on donne le nom de champ de force électrostatique.

Si notre sphère ainsi électrisée et entourée de lignes de force rayonnantes est bien isolée, elle conservera sa charge électrique et pourra produire tous les phénomènes étudiés en électricité statique : attraction des corps légers, production d'étincelles, etc.

Dans cet état de repos, la sphère électrisée ne possède aucune action magnétique comme le prouve son absence d'effet sur une aiguille aimantée. Elle ne peut acquérir cette propriété qu'après avoir été mise en mouvement.

Mettons-la donc en mouvement et admettons que sa vitesse soit uniforme.

Notre sphère électrisée va acquérir par le fait seul de son mouvement toutes les propriétés du courant voltaïque ordinaire, c'est-à-dire du courant qui circule le long des fils télégraphiques. On admet même dans la théorie actuelle qu'il ne peut y avoir d'autre courant que celui produit par le mouvement des électrons.

Mais, puisque notre sphère électrisée en mouvement se conduit comme un courant voltaïque, elle doit en posséder toutes les propriétés, et, par conséquent, l'action magnétique. Elle s'entoure, en effet, par le fait de son mouvement de lignes de force circulaires constituant un champ magnétique. Ces dernières enveloppent la trajectoire du corps électrisé et se superposent à son champ électrostatique composé comme nous l'avons dit de lignes droites rayonnantes.

(1) Voir fig. 4, une photographie qui représente assez bien les lignes de force d'un corps électrisé au repos.

Ce champ magnétique dont s'entoure un corps électrisé en mouvement n'est pas du tout une simple vue théorique, mais un fait d'expérience révélé par la déviation imprimée à une aiguille aimantée placée dans son voisinage¹. On montre facilement l'existence de ces lignes circulaires de force qui entourent un courant en lui faisant parcourir une tige métallique rectiligne traversant perpendiculairement à son plan une feuille de carton saupoudrée de limaille de fer. Ces limailles, attirées par le champ magnétique du courant, se disposent en cercles autour de la tige.

Ainsi donc par le fait seul qu'un corps électrisé est en mouvement, il acquiert les propriétés d'un courant électrique et d'un aimant. Cela revient à dire que toute variation d'un champ électrique produit un champ magnétique.

Mais ce n'est pas tout encore. Nous avons supposé que la vitesse de notre sphère électrisée en mouvement était uniforme. Faisons maintenant varier ce mouvement, soit en le ralentissant, soit en l'accélérant. De nouveaux phénomènes très différents des précédents vont apparaître.

Le changement de vitesse du corps électrisé a pour conséquence, par suite de l'inertie des particules électriques, la production des phénomènes dits d'induction, c'est-à-dire la naissance d'une force électrique nouvelle qui se manifeste dans une direction

(1) Ce fut Rowland qui dans une expérience, mémorable (origine de toutes les théories actuelles), prouva le premier qu'un corps électrisé en mouvement possède les propriétés d'un courant électrique dirigé dans le sens du mouvement et par conséquent est entouré d'un champ magnétique. Un disque isolant, couvert de secteurs métalliques chargés d'électricité, qu'on met en mouvement dévie une aiguille aimantée placée au-dessous de lui, exactement comme le fait un courant voltaïque ordinaire. Il y a quelques années un élève du laboratoire de M. Lippmann avait cru pouvoir contester cette expérience fondamentale, mais un savant physicien M. Pender l'obligea à reconnaître son erreur en lui montrant qu'il ne réussissait pas à obtenir la déviation prouvant l'existence d'un courant, simplement parce qu'il avait eu la malheureuse idée de recouvrir les secteurs métalliques d'un vernis isolant qui absorbe l'électricité.

perpendiculaire à celle des lignes magnétiques et par conséquent dans la direction du courant. La variation d'un champ magnétique a donc pour effet de produire un champ électrique. C'est sur ce phénomène que beaucoup de machines industrielles produisant de l'électricité sont basées.

Un autre résultat de la superposition de cette force nouvelle au champ magnétique du corps électrisé dont on a modifié le mouvement, est l'apparition dans l'éther de vibrations qui s'y propagent avec la vitesse de la lumière. Ce sont des ondes de cette sorte qu'utilise la télégraphie sans fil. Dans la théorie électro-magnétique de la lumière, acceptée par tous les physiciens actuels, on admet même que ces vibrations sont la cause unique de la lumière dès qu'elles sont assez rapides pour être perçues par la rétine.

Dans tout ce qui précède, nous avons supposé que le corps électrisé en mouvement se déplaçait dans l'air ou dans un gaz à la pression ordinaire. Si on l'oblige à se mouvoir dans un milieu très raréfié, de nouveaux phénomènes fort différents encore des précédents apparaissent. Ce sont les rayons cathodiques dans lesquels l'atome électrique paraît être entièrement dégagé de tout support matériel, puis les rayons X engendrés par les chocs de ces atomes électriques contre un obstacle. Ici, évidemment, nous ne pouvons plus avoir recours à notre image d'une sphère métallique électrisée. Il faut considérer uniquement la charge électrique débarrassée de la sphère matérielle qui la portait.

Ainsi donc, comme nous le disions en commençant, il suffit de modifier le mouvement et l'équilibre de certaines particules pour obtenir tous les phénomènes électriques et lumineux.

La théorie qui précède est vérifiée, dans la plupart des cas, par l'expérience. Elle n'est même, en réalité, qu'une traduction théorique de l'expérience.

En ce qui concerne les phénomènes lumineux cependant elle n'avait reçue, avant les recherches de Zeeman, aucune confirmation expérimentale. C'était par hypothèse seulement qu'on admettait que ce sont les atomes électriques et non la matière qui entre en vibration dans les corps incandescents. On supposait qu'une flamme contient des électrons en mouvement autour d'une position d'équilibre avec une vitesse suffisante pour donner naissance à des ondes électro-magnétiques capables de se propager dans l'éther et de produire sur l'œil la sensation de la lumière quand elles sont assez rapides.

Pour justifier cette hypothèse il fallait pouvoir dévier les électrons des flammes par un champ magnétique puisqu'un corps électrisé en mouvement est déviable par un aimant. C'est cette déviation que Zeeman réussit à produire en faisant agir sur une flamme un électro-aimant puissant. Il constata alors en regardant la flamme au spectroscopie que les raies spectrales étaient déviées et dédoublées.

De la distance qui sépare les lignes spectrales ainsi écartées, Zeeman a pu déduire le rapport $\frac{e}{m}$ existant entre la charge électrique e de l'électron dans la flamme et sa masse m . Ce rapport s'est trouvé exactement égal à celui des particules cathodiques de l'ampoule de Crookes. Cette mesure contribue à prouver l'analogie d'une flamme ordinaire avec les rayons cathodiques et les corps radio-actifs.

On voit le rôle fondamental que jouent dans les idées actuelles les électrons. Pour beaucoup de physiciens ils formeraient l'unique élément du fluide électrique. « Un corps électrisé positivement, dit l'un d'eux, serait simplement un corps ayant perdu quelques-uns de ses électrons. Le transport de l'électricité d'un point à un autre est réalisé par le transport des électrons de la place où il y a un excès d'électri-

sation positive à celle où il y a un excès d'électrisation négative ». L'aptitude des éléments à entrer dans les composés chimiques dépendrait de l'aptitude de leurs atomes à acquérir une charge d'électrons. Leur instabilité proviendrait de la perte ou de l'excédent de leurs électrons.

La théorie des électrons permet d'expliquer d'une façon très simple beaucoup de phénomènes, mais laisse subsister bien des incertitudes.

Par quel mécanisme s'opère la propagation si rapide des électrons dans les corps conducteurs, un fil télégraphique par exemple? Comment se fait-il que les électrons traversent les écrans métalliques alors que ces derniers constituent un obstacle absolu aux étincelles électriques les plus violentes? Pourquoi les électrons qui traversent les métaux ne peuvent-ils traverser un intervalle de 1 millimètre d'espace vide, comme on le constate en rapprochant dans un tube où a été fait le vide complet (vide de Hittorf), deux électrodes en relation avec une bobine d'induction?¹

L'électron est devenu aujourd'hui, pour beaucoup de physiciens, une sorte de fétiche universel avec lequel ils croient pouvoir expliquer tous les phénomènes. On lui a transféré les anciennes propriétés de l'atome et plusieurs le considèrent comme l'élément fondamental de la matière qui ne serait ainsi qu'un agrégat d'électrons.

De sa structure intime nous ne pouvons rien dire. Ce n'est pas donner une explication très sûre que d'assurer qu'il est constitué par un tourbillon d'éther comparable à un gyrostat. Ses dimensions seraient

(1) En remplaçant les électrodes par de fines aiguilles j'ai pu obtenir quelquefois le passage du courant, mais je ne tire aucune conclusion de l'expérience n'étant pas certain que le vide du tube était complet. On peut cependant obliger les particules électriques comme l'a montré Hewit à traverser le vide complet en produisant d'abord entre les électrodes un court circuit.

de toutes façons extraordinairement petites, mais peut-on le considérer comme indivisible, ce qui impliquerait qu'il possède une rigidité infinie? Ne serait-il pas lui-même d'une structure aussi compliquée que celle attribuée maintenant à l'atome et ne formerait-il pas, comme ce dernier, un véritable système planétaire? Dans l'infini des mondes, la grandeur et la petitesse n'ont qu'une valeur relative.

Ce qui nous semble le plus vraisemblable dans l'état actuel de nos connaissances, c'est que l'on confond sous le nom d'électricité, des choses extrêmement différentes ayant cet unique caractère commun de produire finalement certains phénomènes électriques. C'est une idée sur laquelle nous sommes revenus déjà plusieurs fois. Nous ne sommes pas plus fondé à qualifier d'électricité tout ce qui produit de l'électricité que nous serions fondé à qualifier de chaleur toutes les causes capables d'engendrer de la chaleur.

LIVRE VI

LE MONDE DU PONDÉRABLE.

NAISSANCE, ÉVOLUTION ET FIN DE LA MATIÈRE.

CHAPITRE PREMIER

Constitution de la Matière. — Les forces qui
maintiennent les édifices matériels.

§ 1. — LES IDÉES ANCIENNES SUR LA STRUCTURE DES ATOMES

Avant d'exposer les idées actuelles relatives à la constitution de la matière, nous rappellerons brièvement celles dont la science a vécu jusqu'ici.

Suivant des idées qui sont encore classiques, la matière serait composée de petits éléments indivisibles nommés atomes. Comme ils semblent persister à travers toutes les transformations des corps, on

admet pour cette raison qu'ils sont indestructibles. Les molécules des corps, dernières particules subsistant avec les propriétés de ces corps, se composeraient d'un petit nombre d'atomes.

Cette notion fondamentale a plus de 2.000 ans d'existence. Le grand poète romain Lucrèce l'a exposée dans les termes suivants, que les livres modernes ne font guère que reproduire.

« Les corps ne sont pas anéantis en disparaissant à nos yeux : la nature forme de nouveaux êtres avec leurs débris et ce n'est que par la mort des uns qu'elle accorde la vie aux autres. *Les éléments sont inaltérables et indestructibles...* Les principes de la matière, les éléments du grand tout sont solides et éternels — nulle action étrangère ne peut les altérer. L'atome est le plus petit corps de la nature... Il représente le dernier terme de la division. Il existe donc dans la nature des corpuscules d'essence immuable... leurs différentes combinaisons changent l'essence des corps. »

Cette antique conception de la matière semblait avoir été confirmée d'une façon inébranlable par les célèbres expériences de Lavoisier et on n'y avait ajouté que quelques hypothèses sur la structure des atomes. Alors que Newton les considérait comme des corps durs incapables d'être déformés, W. Thomson, revenant aux idées de Descartes, les supposait constitués par des tourbillons analogues à ceux qu'on peut former en frappant à son extrémité postérieure une boîte rectangulaire pleine de fumée et dont la face antérieure est percée d'un trou. Il en sort des tourbillons de la forme d'un tore composé de filets gazeux tournant autour des méridiens de ce tore. L'ensemble se déplace tout d'une pièce et n'est pas détruit par le contact d'autres tores. Tous ces tourbillons présenteraient des oscillations et des vibrations permanentes dont l'intensité

et la fréquence seraient modifiables par diverses influences, telles que celle de la chaleur.

C'est en grande partie sur l'ancienne hypothèse des atomes que fut fondée pendant le dernier siècle la théorie dite atomique. On admit d'abord que tous les corps amenés à l'état gazeux contiennent le même nombre de molécules sous le même volume. Leur poids à volume égal étant supposé proportionnel à celui de leurs atomes, on peut, par une simple pesée du corps en vapeur, connaître ce que l'on appelle son poids moléculaire d'où l'on déduit, par des procédés d'analyse que je n'ai pas à exposer ici, ce qu'on désigne conventionnellement sous le nom de poids atomique. Il est rapporté à celui de l'hydrogène pris pour unité.

§ 2. — LES IDÉES ACTUELLES SUR LA CONSTITUTION DE LA MATIÈRE

Il est très difficile d'exposer les idées actuelles sur la constitution de la matière, car elles sont encore en voie de formation. Nous sommes dans une période d'anarchie où l'on voit s'évanouir les théories anciennes et surgir celles qui serviront à édifier la science de demain.

Les savants, qui suivent dans les Revues et les Mémoires scientifiques publiés à l'étranger les expériences et les discussions auxquelles sont attachés les noms des plus éminents physiciens, assistent à un curieux spectacle. Ils voient fondre jour après jour des conceptions scientifiques fondamentales qui semblaient assez solidement établies pour rester éternelles. C'est une véritable révolution qui s'accomplit.

Les interprétations découlant des faits récemment

découverts, bouleversent entièrement les bases mêmes de la physique et de la chimie et semblent appelées à renouveler toutes nos conceptions de l'univers. Notre enseignement supérieur officiel est trop exclusivement occupé en France à faire réciter les manuels préparant aux examens et trop hostile aux idées générales pour se préoccuper de ce prodigieux mouvement. La philosophie nouvelle des sciences en voie de naître ne l'intéresse pas.

La révolution scientifique qui s'accomplit semble rapide, mais cette rapidité est beaucoup plus apparente que réelle. La transformation des idées présentes sur la constitution de la matière qui semble s'être effectuée en quelques années fut préparée, en réalité, par un siècle de recherches.

Les idées scientifiques ne changent en effet qu'avec une extrême lenteur. Lorsqu'elles paraissent se modifier brusquement, on constate toujours que cette transformation est la conséquence d'une évolution souterraine ayant demandé de longues années pour s'accomplir.

Cinq découvertes fondamentales forment la base sur laquelle s'édifièrent lentement les idées nouvelles relatives à la constitution de la matière. Ce sont : 1° les faits révélés par l'étude de la dissociation électrolytique ; 2° la découverte des rayons cathodiques ; 3° celle des rayons X ; 4° celle des corps dits radio-actifs comme l'uranium et le radium ; 5° la démonstration que la radio-activité n'appartient pas uniquement à certains corps, et constitue une propriété générale de la matière.

La plus ancienne de ces découvertes, puisque, en réalité, elle remonte à Davy, c'est-à-dire au commencement du dernier siècle, est celle de la dissociation des composés chimiques par un courant électrique. Divers physiciens, Faraday notamment, complétèrent plus tard son étude. Elle a conduit progressivement

à la théorie de l'électricité atomique et à l'influence prépondérante que jouent les éléments électriques dans les réactions chimiques et les propriétés des corps.

La seconde des découvertes mentionnées plus haut, celle des rayons cathodiques, fit entrevoir qu'il pourrait bien exister un état de la matière différent de ceux déjà connus; mais cette idée resta sans influence jusqu'au jour où Roentgen, regardant de plus près les tubes de Crookes, que les physiciens maniaient depuis vingt ans sans y rien voir, remarqua qu'il en sortait des rayons particuliers, absolument différents de tout ce que l'on connaissait, auxquels il donna le nom de rayons X. Une chose imprévue, entièrement nouvelle, ne présentant d'analogie d'aucune sorte avec les phénomènes connus, faisait ainsi irruption dans la science.

La découverte de la radio-activité de l'uranium, puis du radium, et enfin celle de la radio-activité universelle de la matière suivit de très près celle des rayons X. On ne vit pas, d'abord, le lien qui rattachait tous ces phénomènes de si dissemblable apparence. Il fut établi par mes recherches qu'ils ne formaient qu'une seule chose.

Bien avant ces dernières découvertes, on savait fort bien que l'électricité joue un rôle essentiel dans les réactions chimiques, mais on la croyait simplement superposée aux molécules matérielles. Par la découverte de l'électrolyse, Faraday avait montré que les molécules des corps composés portent une charge d'électricité neutre de grandeur définie et constante qui se dissocie en ions positifs et en ions négatifs, quand les solutions des sels métalliques sont traversées par un courant électrique.

Les molécules des corps furent alors considérées comme composées de deux éléments, une particule matérielle, puis une charge électrique qui lui serait combinée ou superposée.

Les idées le plus généralement admises avant les découvertes récentes sont bien exprimées dans le passage suivant d'un travail publié, il y a quelques années, par M. Nernst, professeur de chimie à l'Université de Göttingen.

« Les ions sont une sorte de combinaison chimique entre les éléments ou radicaux et les charges électriques... la combinaison entre la matière et l'électricité est soumise aux mêmes lois que les combinaisons entre matières différentes : lois des proportions définies ; lois des proportions multiples... Si nous admettons que le fluide électrique est continu, les lois de l'électro-chimie semblent inexplicables ; si, au contraire, nous supposons que la quantité d'électricité se compose de particules de grandeur invariable, les lois précitées en seront évidemment une conséquence. *Dans la théorie chimique de l'électricité, en plus des éléments connus, il y en aurait deux autres : l'électron positif et l'électron négatif.* »

Dans cette phase d'évolution des idées, l'électron positif et l'électron négatif étaient simplement deux substances à ajouter à la liste des corps simples et capables de se combiner avec eux. L'ancienne idée de l'atome matériel persistait toujours.

Dans la période d'évolution actuelle, on tend à aller beaucoup plus loin. Après s'être demandé si ce support matériel de l'électron était vraiment nécessaire, plusieurs physiciens sont arrivés à la conclusion qu'il ne l'était pas du tout. Ils le rejettent entièrement et considèrent l'atome uniquement constitué par un agrégat de particules électriques sans d'autres éléments. Ces particules pourraient se dissocier suivant le mécanisme précédemment exposé.

C'était un pas énorme, et il s'en faut de beaucoup que tous les physiciens l'aient franchi.

Une grande incertitude règne encore dans leurs idées et leur langage. Pour la plupart, le support matériel reste nécessaire, et les particules électriques, c'est-à-dire les électrons, sont mêlés ou superposés aux atomes matériels. Ces électrons, toujours d'après eux, circu-

leraient à travers les corps conducteurs, tels que les métaux, avec une vitesse de l'ordre de celle de la lumière, par un mécanisme d'ailleurs totalement inconnu.

Pour les partisans de la structure exclusivement électrique de la matière, l'atome se composerait uniquement de tourbillons électriques. Autour d'un petit nombre d'éléments positifs tourneraient avec une extrême vitesse des électrons négatifs, dont le nombre ne serait pas inférieur à un millier et souvent très supérieur. Leur ensemble formerait un atome qui serait ainsi une sorte de système solaire en miniature. « L'atome de matière, écrit Larmor, se compose d'électrons et de rien d'autre ».

Sous sa forme habituelle l'atome serait électriquement neutre. Il deviendrait positif ou négatif seulement lorsqu'on le dépouillerait d'électrons de noms contraires, comme on le fait dans l'électrolyse. Toutes les réactions chimiques seraient dues à des pertes ou à des gains d'électrons.

Si, au lieu d'être en mouvement rapide dans l'atome les électrons étaient en repos ils se précipiteraient les uns sur les autres, mais la vitesse dont ils sont animés fait que leur force centrifuge fait équilibre à leurs attractions réciproques. Quand la vitesse de rotation est réduite par une cause quelconque, telle qu'une perte d'énergie cinétique due à la radiation des électrons dans l'éther, l'attraction peut l'emporter et les électrons tendent à se réunir ; si c'est, au contraire, la force centrifuge qui l'emporte, ils s'échappent dans l'espace, comme on le constate dans les phénomènes radio-actifs.

L'atome, et par conséquent la matière, ne serait donc en équilibre stable que grâce aux mouvements des éléments qui la composent. On peut comparer ces éléments à une toupie, qui lutte contre la pesanteur tant que l'énergie cinétique due à sa rotation dépasse une

certaine valeur. Si elle descend au-dessous de cette valeur, l'instrument perd son équilibre et tombe sur le sol.

Les mouvements des éléments atomiques sont bien autrement compliqués encore que ceux qui viennent d'être supposés. Non seulement ils sont dans la dépendance les uns des autres, mais encore ils sont reliés à l'éther par leurs lignes de force et ne semblent être en réalité que des noyaux de condensation dans l'éther.

Tel est, dans ses grandes lignes, l'état actuel des idées en voie de formation sur la constitution des atomes dont la matière est formée. Ces idées peuvent se concilier très bien avec celles que je me suis efforcé d'établir dans cet ouvrage et d'après lesquelles l'atome serait un réservoir colossal d'énergie condensée sous la forme déjà expliquée.

Quel que soit l'avenir de ces théories on peut déjà dire avec certitude que l'ancien atome des chimistes, jadis estimé si simple, est d'une extrême complication. Il apparaît de plus en plus comme une sorte de système sidéral comprenant un ou plusieurs soleils et des planètes gravitant autour avec une immense vitesse. De l'architecture de ce système dérivent les propriétés des divers atomes, mais leurs éléments fondamentaux semblent identiques.

§ 3. — GRANDEUR DES ÉLÉMENTS DONT SE COMPOSE LA MATIÈRE.

Les molécules des corps et, à plus forte raison, les atomes, ont une petitesse extrême. Les plus infimes microbes sont d'énormes colosses auprès des éléments primitifs de la matière.

Des considérations diverses ont permis d'évaluer leurs grandeurs. Elles conduisent à des chiffres qui

ne disent plus rien à l'esprit parce que les nombres infiniment petits sont aussi difficiles à se représenter que les nombres infiniment grands.

C'est grâce à l'extrême petitesse des éléments dont sont formés les atomes que la matière, en se dissociant, peut émettre d'une façon permanente et sans perdre sensiblement de son poids, une véritable poussière de particules.

Nous avons parlé, dans un précédent chapitre, des millions de corpuscules par seconde que peut émettre durant des siècles 1 gramme d'un corps radio-actif. De tels chiffres provoquent toujours une certaine défiance, parce que nous n'arrivons pas à nous représenter l'extraordinaire petitesse des éléments de la matière. Cette défiance disparaît quand on constate que des substances très ordinaires sont susceptibles, sans subir aucune dissociation, d'être pendant des années le siège d'une émission de particules abondantes, faciles à constater par l'odorat, sans que cette émission soit appréciable aux plus sensibles balances.

M. Berthelot s'est livré sur ce sujet à d'intéressantes recherches¹. Il a essayé de déterminer la perte de poids que subissent des corps très odorants bien que fort peu volatils. L'odorat est d'une sensibilité infiniment supérieure à celle de la balance, puisque, pour certaines substances telles que l'iodoforme, la présence de 1 centième de millièmième de milligramme peut, suivant M. Berthelot, être facilement révélée.

Ses recherches ont été faites avec ce corps et il est arrivé à la conclusion que 1 gramme d'iodoforme perd seulement 1 centième de milligramme de son poids en une année, c'est-à-dire 1 milligramme en cent ans, bien qu'émettant sans cesse un flot de particules odorantes dans toutes les directions. M. Berthelot ajoute

1. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 21 mai 1904.

que si, au lieu d'iodoforme, on s'était servi de musc, les poids perdus auraient été beaucoup plus petits « mille fois plus peut-être », ce qui ferait 100.000 ans pour la perte de 1 milligramme.

Le même savant fait remarquer dans un travail postérieur « qu'il n'est presque aucun corps métallique ou autre qui ne manifeste, surtout par friction, des odeurs propres », ce qui revient à dire que tous les corps s'évaporent lentement.

Ces expériences nous donnent une idée de l'immensité du nombre de particules que peut contenir une minime quantité de matière¹.

D'après des expériences diverses dont les auteurs les plus récents Rutherford, Thomson, etc., ont accepté les résultats, 1 millimètre cube d'hydrogène contiendrait 36 millions de milliards de molécules. C'est un chiffre dont on ne peut comprendre la grandeur qu'en le transformant en unités faciles à interpréter. On aura une idée de son énormité en recherchant quelle serait la dimension d'un réservoir nécessaire pour contenir un nombre égal de grains de sable cubiques ayant chacun 1 millimètre de côté. Ces 36 millions de milliards de grains de sable ne pourraient être enfermés que dans un réservoir parallélépipédique dont la base aurait 100 mètres sur chacune de ses faces et une hauteur de 3.600 mètres. Il faudrait rendre ce dernier chiffre

1. Des considérations diverses antérieures, d'ailleurs, aux théories actuelles avaient conduit depuis longtemps à donner aux molécules des corps une extrême petitesse. On a calculé qu'il fallait 6 à 700 millions de bactéries pour faire le poids de 1 milligramme. Certaines de ces bactéries donnent naissance en 24 heures à 16 millions d'individus. Le professeur Mackendrick fait remarquer qu'un germe organique contient nécessairement un nombre immense de molécules puisqu'il doit renfermer les caractéristiques héréditaires d'une longue série d'ancêtres. Il cite des spores ayant $1/20.000^*$ de millimètre au-dessous desquels il y en a probablement que nous ne voyons pas comme le prouverait l'action de solutions filtrées où le microscope ne découvre rien. Suivant Wismann un corpuscule du sang dont la dimension est d'environ 7 millièmes de millimètre, contiendrait 3 milliards 625 millions de particules. La tête d'un spermatozoïde suffisante pour la fécondation d'un œuf et ayant un diamètre de $1/20^*$ de millimètre, contiendrait 25 milliards de « molécules organiques » composées chacune de plusieurs atomes.

beaucoup plus grand encore si on voulait représenter la quantité de particules que pourrait donner 1 millimètre cube d'hydrogène par la dissociation de ses atomes.

§ 4. — LES FORCES QUI MAINTIENNENT LES ÉDIFICES MOLÉCULAIRES.

Nous avons vu que la matière est constituée par la réunion d'éléments de structure très compliquée nommés molécules et atomes. On est obligé d'admettre que ces éléments ne se touchent pas, car, autrement, les corps ne pourraient ni se dilater, ni se contracter, ni changer d'état. Il a fallu également supposer ces particules animées de mouvements giratoires permanents. Les variations de ces mouvements peuvent seuls expliquer, en effet, les absorptions et les dépenses d'énergie qui se constatent dans l'édification et la destruction des composés chimiques.

Nous devons donc nous représenter un corps quelconque, un bloc d'acier ou un fragment rigide de rocher, comme composé d'éléments isolés en mouvement ne se touchant jamais. Les atomes dont chaque molécule est formée contiennent eux-mêmes des milliers d'éléments décrivant autour d'un ou plusieurs centres des courbes aussi régulières que celles des astres.

Quelles sont les forces qui maintiennent en présence les particules dont est formée la matière et l'empêchent de tomber en poussière ?

L'existence de ces forces est évidente, mais leur nature reste totalement inconnue. Les noms de cohésion et d'affinité par lesquels on les désigne ne nous apprennent rien. L'observation révèle seulement que les éléments de la matière exercent des attractions et des répulsions. Nous pouvons cependant ajouter à cette brève constatation que l'atome étant

un énorme réservoir de forces, on peut admettre, comme je l'ai fait remarquer déjà dans un autre chapitre, que la cohésion et l'affinité sont des manifestations de l'énergie intra-atomique.

La stabilité des édifices moléculaires reliés par la cohésion est généralement assez grande. Elle ne l'est cependant pas assez pour que la chimie ne puisse la modifier ou la détruire par divers moyens, la chaleur notamment, c'est pourquoi il est possible de liquéfier les corps, les réduire en vapeurs et les décomposer. La stabilité des édifices atomiques, dont les molécules sont formées, est au contraire si grande qu'on se croyait fondé à déclarer, après des expériences séculaires, l'atome inaltérable et indestructible.

La cohésion qui maintient les éléments des corps en présence, se manifeste par des actions attractives et répulsives exercées par les molécules les unes sur les autres.

La grandeur des forces produisant la cohésion se mesure par l'effort que nous sommes obligés de produire pour déformer un corps. Il reprend son état primitif quand on cesse d'agir sur lui, ce qui prouve l'existence au sein de la matière de forces attractives. Il résiste, quand on tente de le comprimer, ce qui montre l'existence de forces de répulsion lorsque les molécules se rapprochent au delà d'une certaine limite.

Les attractions et répulsions par lesquelles se manifestent la cohésion sont intenses, mais leur rayon d'activité est extrêmement restreint. Elles n'exercent aucune action à distance, comme le fait, par exemple, la gravitation. Il suffit pour les annuler d'écartier suffisamment les molécules des corps par la chaleur. La force de cohésion étant abolie, le corps le plus rigide est aussitôt transformé en liquide ou en vapeur.

En dehors des attractions et répulsions qui s'exer-

cent entre les particules d'un même corps, il en est d'autres se produisant entre les particules de corps différents et qui varient suivant ces corps. On les désigne sous le terme général d'affinité. Ce sont elles qui déterminent la plupart des réactions chimiques.

Les attractions et répulsions résultant de l'affinité engagent les atomes dans des combinaisons nouvelles ou permettent de les séparer de ces combinaisons. Les réactions chimiques ne sont que des destructions et des rétablissements d'équilibre dus aux affinités des corps en présence. On sait, par les effets des explosifs, la puissance des actions que l'affinité peut produire quand certains équilibres sont troublés.

C'est de la façon dont l'énergie d'affinité groupe les atomes que résultent les édifices moléculaires. Ils peuvent être très instables et alors le moindre excitant, un choc ou même le frottement d'une barbe de plume, suffisent à les détruire. Tels le fulminate de mercure, l'iodure d'azote et divers explosifs. L'édifice peut être, au contraire, si solide qu'il est difficilement destructible. Tels ces sels organiques d'arsenic, comme le cacodylate de soude, où la molécule est si stable qu'aucun réactif ne peut révéler la présence de la quantité pourtant énorme d'atomes d'arsenic qu'elle contient. L'eau régale, l'acide nitrique fumant, l'acide chromique sont sans action sur l'édifice moléculaire : c'est une forteresse solidement construite.

§ 5. — LES ATTRACTIONS ET RÉPULSIONS DES MOLÉCULES MATÉRIELLES ISOLÉES ET LES FORMES D'ÉQUILIBRE QUI EN RÉSULTENT.

Les énergies d'affinité et de cohésion se manifestent donc par des attractions et des répulsions. Nous avons déjà vu que c'est par ces deux formes de mouvement, — qu'il s'agisse de particules matérielles ou électriques, — que se traduisent généralement les phéno-

mènes ; c'est pourquoi leur étude a toujours tenu dans la science une place prépondérante. Beaucoup de physiciens ramènent encore les phénomènes de l'univers à l'étude d'attractions et de répulsions de molécules soumises aux lois de la mécanique. « Tous les phénomènes terrestres, disait Laplace, dépendent des attractions moléculaires, comme les phénomènes célestes dépendent de la gravitation universelle ».

Il paraît probable aujourd'hui que les choses de la nature sont plus compliquées. Si les attractions et répulsions semblent jouer un si grand rôle, c'est que de tous les effets que les forces peuvent produire, ces mouvements nous sont le plus facilement accessibles.

Les équilibres déterminés par les attractions et répulsions naissant au sein des corps solides, sont très difficilement discernables, mais nous pouvons les rendre visibles en isolant leurs particules. Le moyen est facile puisqu'il n'y a qu'à dissoudre les corps dans un liquide convenable. Les molécules sont alors à peu près aussi libres que si le corps était transformé en gaz et on observe facilement les effets des attractions et des répulsions mutuelles. On sait, d'ailleurs, que les molécules d'un corps dissous se meuvent au sein du dissolvant en y développant la même pression que si elles étaient gazéifiées dans le même espace.

Ces attractions exercées par les molécules en liberté sont d'une observation journalière. A elles sont dues les formes que prend la goutte de liquide restant attachée à l'extrémité d'une baguette de verre. Elles sont l'origine de ce qu'on a nommé la tension superficielle des liquides, tension en vertu de laquelle une surface se comporte comme si elle était formée d'une membrane tendue.

Toutes les attractions et répulsions ne peuvent s'exercer qu'à une certaine distance. On donne, comme

on le sait, le nom de champ de force à l'espace dans lequel elles s'exercent et celui de lignes de force aux directions suivant lesquelles se produisent les effets attractifs et répulsifs.

C'est dans les phénomènes dits osmotiques que se manifestent le mieux les attractions et répulsions moléculaires. Lorsque au-dessus d'une solution aqueuse de certains sels, du sulfate de cuivre, par exemple, on verse lentement de l'eau, on remarque, par la simple différence de couleur, que les liquides

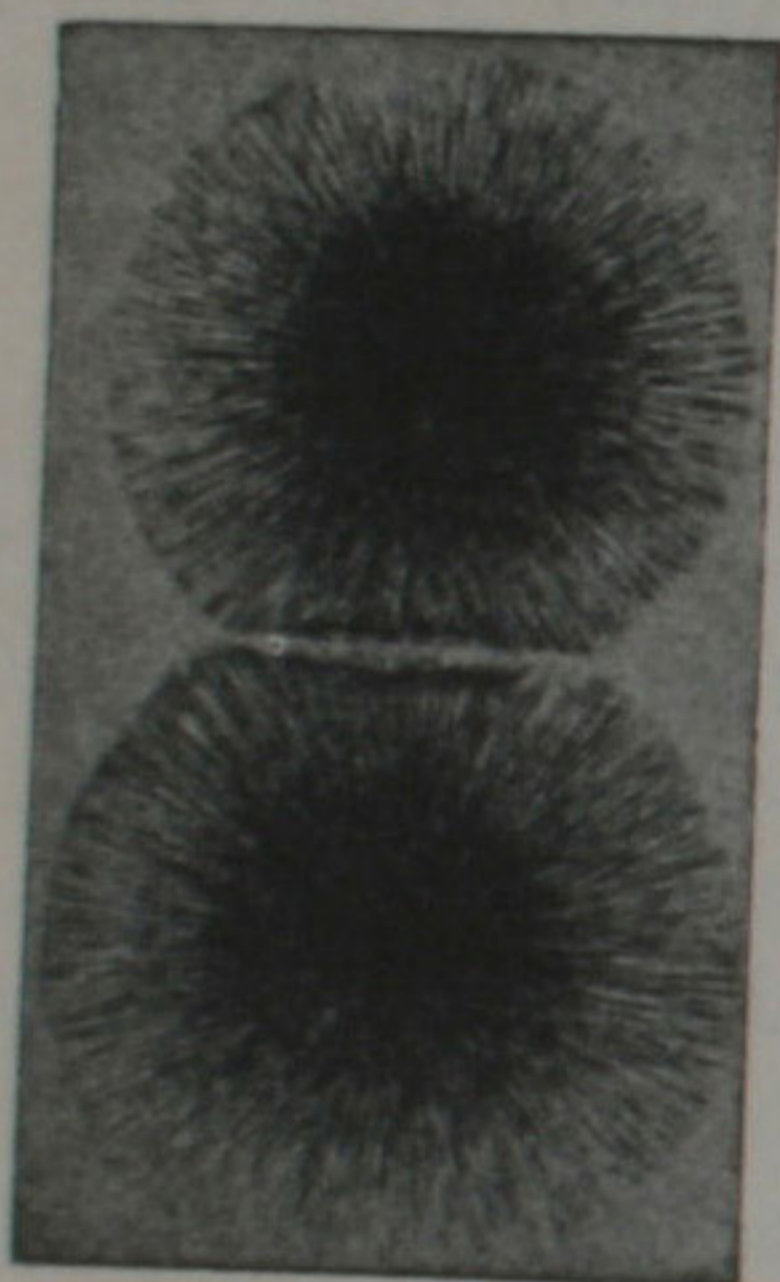


FIG. 28.



FIG. 29.

Répulsions et attractions de molécules au sein d'un liquide¹.

sont d'abord séparés, mais bientôt on voit les molécules du sel dissous se diffuser dans le liquide qui les surmonte. Il existe donc en elles une force leur permettant de vaincre la pesanteur. Cette force de diffusion est la conséquence de l'attraction réciproque des particules de l'eau et du sel dissous. On lui a donné le nom de pression ou de tension osmotique.

Toutes les substances jouissant de la propriété de se dissoudre dans un liquide attirent leur dissolvant

1. Les photographies 28 à 32 ont été exécutées par M. le professeur Stéphane Leduc.

et inversement sont attirées par lui. De la chaux mise dans un vase attire rapidement la vapeur d'eau de l'atmosphère et augmente de volume au point de briser le vase.

Les attractions osmotiques sont très énergiques. Dans les cellules des plantes, elles peuvent faire équilibre à des pressions de 160 atmosphères, et même beaucoup plus, d'après certains auteurs. Elles sont rarement inférieures à une dizaine d'atmosphères.

Bien que la grandeur de la pression osmotique soit considérable, puisque 342 gr. de sucre dissous dans un litre d'eau, exercent une pression de 22 atmosphères, cette pression ne se mani-

feste pas sur les parois du vase, parce que le dissolvant oppose de la résistance au mouvement des

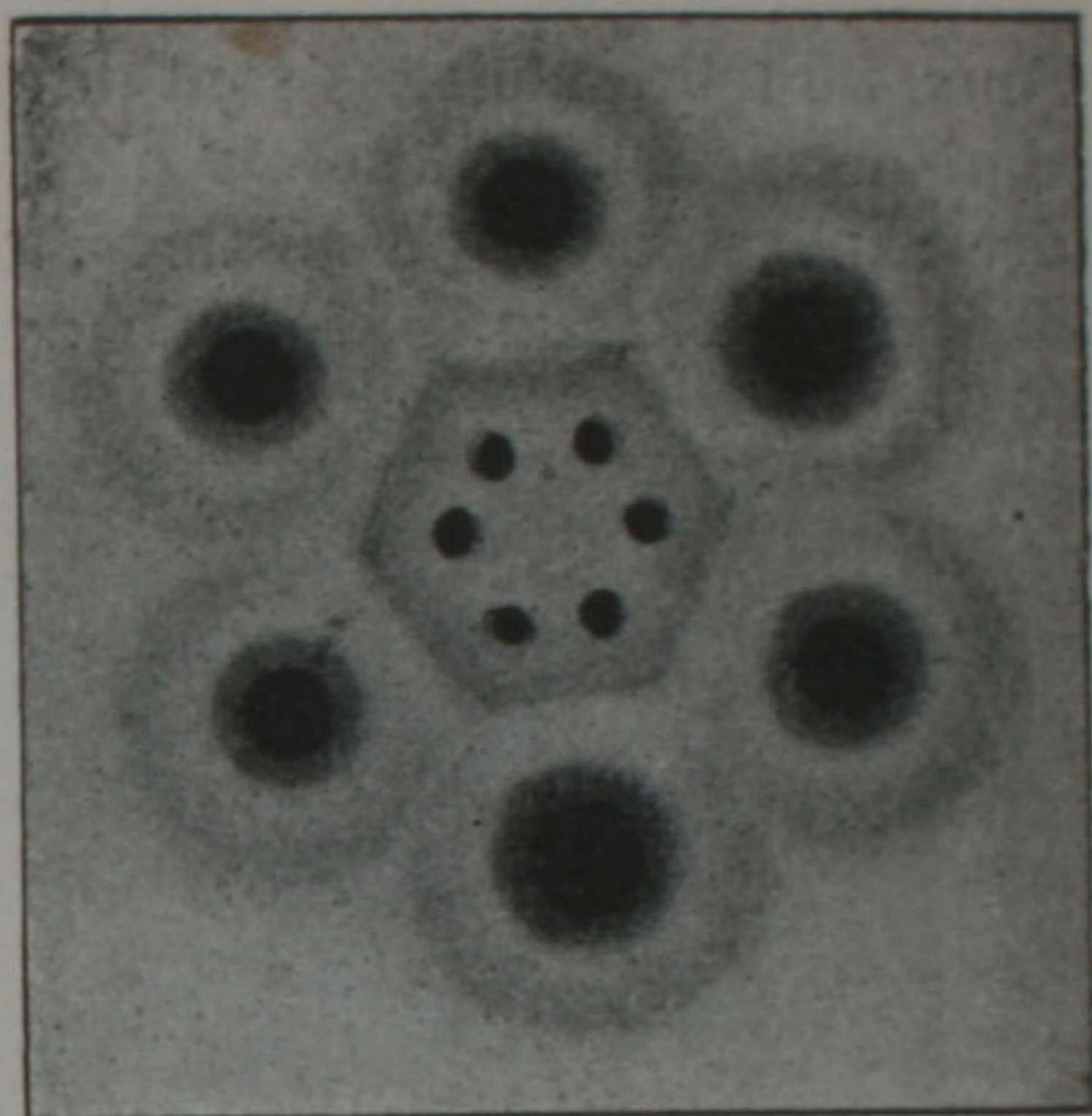


FIG. 30

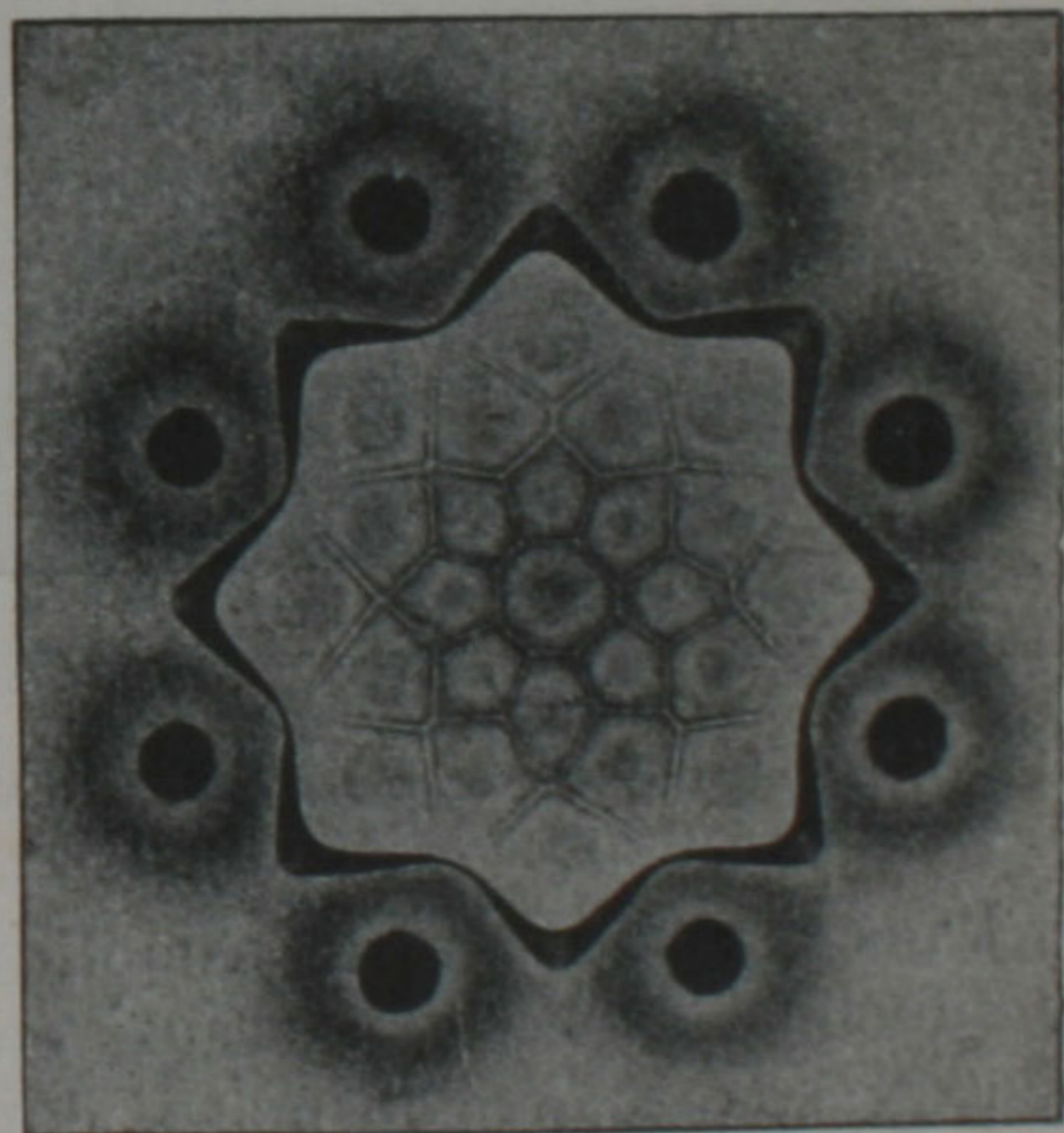


FIG. 31.

Fig. 30 et 31 : Photographies de cellules artificielles résultant des attractions et répulsions moléculaires au sein d'un liquide.

molécules. Pour la mesurer, il faut séparer les corps en présence par une cloison imperméable à l'un d'eux. De telles cloisons sont dites, pour cette raison, semi-perméables. Il serait plus correct peut-être de dire : inégalement perméables. Chez les cellules des plantes, la cloison est formée par leurs parois.

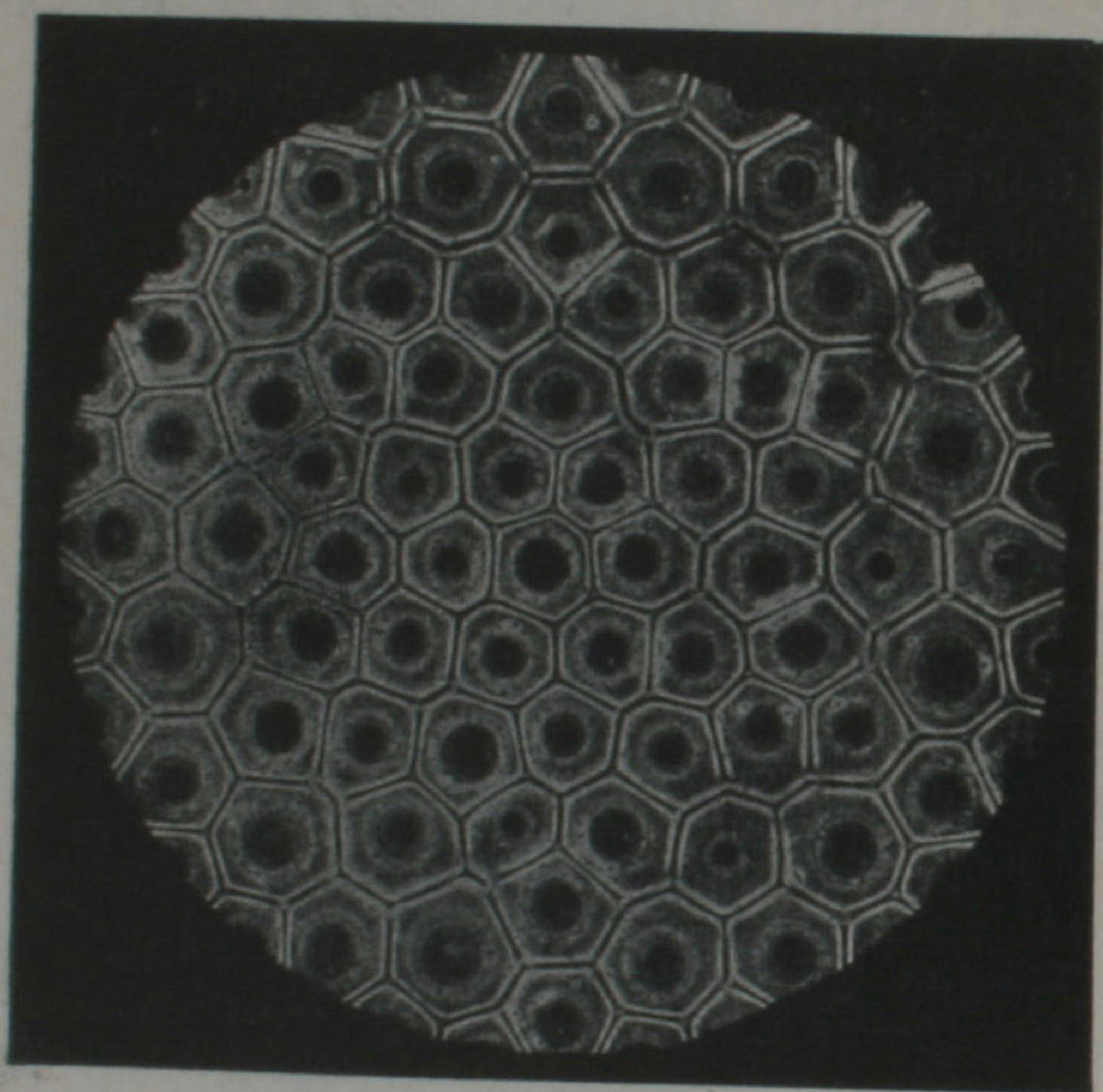


FIG. 32.

Photographie de cellules artificielles obtenues par diffusion.

Dans les phénomènes osmotiques, il y a toujours production de deux courants en sens inverse dits d'exosmose et d'endosmose, dont l'un peut primer l'autre.

Ces simples attractions et répulsions moléculaires, agissant au sein des liquides, régissent un grand nombre de phénomènes vitaux et sont, peut-être, une des causes les plus importantes de la formation des êtres vivants. « La pression osmotique,

dit Van't Hoff, est un facteur fondamental dans les diverses fonctions vitales des animaux et des végétaux. D'après Vriès, c'est elle qui règle la croissance des plantes; selon Massart, elle gouverne la vie des germes pathogènes. »

Les molécules qui existent au sein d'un liquide pouvant s'attirer ou se repousser à distance, sont nécessairement entourées d'un champ de force, c'est-à-dire d'une région dans laquelle s'exerce leur action.

En utilisant les attractions et répulsions des molécules en liberté dans un liquide, M. Leduc a réussi à créer des formes géométriques tout à fait analogues à celles des cellules des êtres vivants. Suivant les mélanges employés, il a pu mettre en présence des particules qui s'attirent ou se repoussent, comme les atomes électriques. En étendant sur une plaque de verre une solution de nitrate de potasse sur laquelle on verse, à deux centimètres l'une de l'autre, deux gouttes d'encre de Chine, on obtient deux pôles dont les lignes de force se repoussent. Pour obtenir deux pôles de nom contraire et dont, par conséquent, les lignes de force s'attirent, on place dans une solution étendue du sel indiqué plus haut, un cristal de nitrate de potasse et à 2 centimètres une goutte de sang défilbriné. En réunissant plusieurs gouttes, pouvant produire des pôles de même nom, on obtient des polyèdres ayant l'aspect des cellules des êtres vivants (fig. 32). Si, enfin, on fait cristalliser un sel dans une solution colloïdale, de la gélatine, par exemple, le champ de force de cristallisation, pouvant agir en sens inverse des attractions osmotiques, la forme du cristal se trouve changée. Ces recherches jettent une vive lumière sur l'origine de phénomènes vitaux fondamentaux.

Les données qui précèdent sur la constitution de la matière peuvent se résumer ainsi : dès qu'on a pu

soulever le voile des apparences, la matière, si inerte d'aspect, s'est montrée d'une organisation extrêmement compliquée et possédant une vie intense. Son élément primitif, l'atome, est un système solaire en miniature composé de particules tournant les unes autour des autres sans se toucher et poursuivant incessamment leur course éternelle sous l'influence des forces qui les dirigent. Si ces forces cessaient d'agir un seul instant, le monde et tous ses habitants seraient instantanément réduits en une invisible poussière.

A ces équilibres prodigieusement compliqués de la vie intra-atomique se superposent, par suite de l'association des atomes, d'autres équilibres qui les compliquent encore. Des lois mystérieuses uniquement connues par quelques-uns de leurs effets, interviennent pour édifier avec les atomes les édifices matériels dont les mondes sont formés. Relativement très simples dans le règne minéral, ces édifices se sont compliqués graduellement, comme nous allons le montrer maintenant, et ont fini, après de lentes accumulations d'âges, par engendrer ces associations chimiques extrêmement mobiles qui constituent les êtres vivants.

CHAPITRE II

Mobilité et sensibilité de la Matière. Variations des équilibres matériels sous l'influence des milieux.

§. I — MOBILITÉ ET SENSIBILITÉ DE LA MATIÈRE.

Nous sommes actuellement à cette phase de l'histoire des atomes où, sous l'influence de causes ignorées, dont nous ne pouvons que constater les effets, ils ont fini par former les divers composés constituant notre globe et les êtres vivants. La matière est née et va persister pendant une longue succession d'âges.

Elle persiste avec des caractères divers dont le plus net en apparence est la stabilité de ses éléments. Ils servent à construire des édifices chimiques dont la forme varie facilement, mais dont la masse reste pratiquement invariable à travers tous les changements.

Ces édifices chimiques, formés par les combinaisons atomiques, semblent très fixes, mais ils sont, en réalité, d'une mobilité très grande. Les moindres variations de milieu — température, pression, etc. — modifient instantanément les mouvements des éléments constitutifs de la matière.

C'est qu'en effet un corps aussi rigide en appa-

rence qu'un bloc d'acier, représente simplement un état d'équilibre entre son énergie intérieure et les énergies extérieures, chaleur, pression, etc., qui l'entourent. La matière cède à l'influence de ces dernières comme un fil élastique obéit aux tractions exercées sur lui mais reprend sa forme dès que la traction a cessé, si elle n'a pas été trop considérable.

La mobilité des éléments de la matière est un de ses caractères les plus faciles à constater, puisqu'il suffit d'approcher la main du réservoir d'un thermomètre pour voir la colonne liquide se déplacer aussitôt. Ses molécules se sont donc écartées sous l'influence d'une légère chaleur. Quand nous approchons la main d'un bloc de métal, les mouvements de ses éléments se modifient également, mais d'une façon si faible pour nos sens qu'ils ne les perçoivent pas et c'est pourquoi la matière nous apparaît comme très peu mobile.

La croyance générale à sa stabilité semble confirmée d'ailleurs par l'observation, que pour faire subir à un corps des modifications considérables, par exemple pour le fondre ou le réduire en vapeur, il faut des moyens très puissants.

Des méthodes d'investigation suffisamment précises montrent, au contraire, que non seulement la matière est d'une mobilité extrême, mais encore douée d'une sensibilité inconsciente dont la sensibilité consciente d'aucun être vivant ne saurait approcher.

Les physiologistes mesurent comme on le sait, la sensibilité d'un être par le degré d'excitation nécessaire pour obtenir de lui une réaction. On le considère comme fort sensible lorsqu'il réagit sous des excitants très faibles. En appliquant à la matière brute un procédé d'investigation analogue, on constate que la substance la plus rigide et la moins sensible en