

apparence, est au contraire d'une sensibilité invraisemblable. La matière du bolomètre, constitué en dernière analyse par un mince fil de platine, est tellement sensible qu'elle réagit — par une variation de conductibilité électrique — quand elle est frappée par un rayon de lumière d'une intensité assez faible pour ne produire qu'une élévation de température de un cent-millionième de degré.

Avec les progrès des moyens d'étude, cette extrême sensibilité de la matière se manifeste de plus en plus. M. H. Steele a constaté qu'il suffit de toucher légèrement du doigt un fil de fer pour qu'il devienne aussitôt le siège d'un courant électrique. On sait qu'à des centaines de kilomètres les ondes hertziennes modifient profondément l'état des métaux qu'elles atteignent puisqu'elles changent dans d'énormes proportions leur conductibilité électrique. C'est, sur ce phénomène que la télégraphie sans fil est basée.

L'extraordinaire sensibilité de la matière qui a permis de créer le bolomètre et la télégraphie sans fil, est utilisée dans d'autres instruments d'un emploi industriel; tel, par exemple, le télégraphone de Poulsen, qui permet de conserver et de reproduire la parole par les changements de magnétisme provoqués à la surface d'un ruban d'acier se déroulant entre les pôles d'un électro-aimant aux bornes duquel est relié un microphone. Quand on parle devant la membrane de ce dernier, les très minimes fluctuations du courant dans le circuit microphonique occasionnent dans les molécules du ruban d'acier des variations de magnétisme dont le métal garde la trace. Ce sont elles qui permettront de reproduire à volonté la parole en faisant repasser le même ruban entre les pôles d'un électro-aimant inséré dans le circuit d'un téléphone.

Cette sensibilité de la matière, si contraire à ce que

l'observation vulgaire semblait indiquer, devient de plus en plus familière aux physiciens ; c'est pourquoi une expression comme celle-ci : « la vie de la matière », dénuée de sens, il y a seulement vingt-cinq ans, est devenue d'un usage courant. L'étude de la matière brute révèle de plus en plus chez elle, en effet, des propriétés semblant jadis l'apanage exclusif des êtres vivants. En se basant sur ce fait que « le signe le plus général et le plus délicat de la vie est la réponse électrique », M. Bose a prouvé que cette réponse électrique « considérée généralement comme l'effet d'une force vitale inconnue » existe dans la matière. Et il montre par des expériences ingénieuses « la fatigue » des métaux et sa disparition après le repos, l'action des excitants, des déprimants et des poisons sur ces mêmes métaux.

Il ne faut pas trop s'étonner de rencontrer dans la matière des propriétés qui paraissent appartenir uniquement aux êtres vivants, et il serait inutile d'y chercher une explication simpliste du mystère si impénétré encore de la vie. Les analogies constatées tiennent vraisemblablement à ce que la nature ne varie pas beaucoup ses procédés et construit tous les êtres, du minéral jusqu'à l'homme, avec des matériaux semblables et doués, par conséquent, de propriétés communes. Elle applique toujours ce principe fondamental de la moindre action, qui suffirait à lui seul à établir les équations fondamentales de la mécanique. Il consiste, comme on le sait, dans cet énoncé si simple et d'une portée si profonde : parmi tous les chemins conduisant d'une situation à une autre, une molécule matérielle sollicitée par une force ne peut prendre qu'une seule direction, celle qui demande le moindre effort. On s'apercevra probablement un jour que ce principe n'est pas applicable seulement à la mécanique, mais aussi à la biologie. Il est peut-être la cause secrète de ces lois de

continuité observées dans beaucoup de phénomènes.

## § 2. — VARIATION DES ÉQUILIBRES MATÉRIELS SOUS L'INFLUENCE DES MILIEUX.

La matière est donc, comme tous les êtres, dans l'étroite dépendance du milieu et modifiée par les moindres changements de ce milieu. Si ces changements ne dépassent pas certaines limites, la vitesse et l'amplitude du mouvement des molécules matérielles sont modifiées sans que la position relative de ces molécules soit changée. Si ces limites sont dépassées les équilibres matériels sont détruits ou transformés. La plupart des réactions chimiques nous font assister à de telles transformations.

Mais de toutes façons la matière est si mobile et si sensible que les changements les plus insignifiants de milieu, par exemple une élévation ou un abaissement de température de un millionième de degré, se traduisent par des modifications que les instruments permettent de constater.

La matière, telle que nous la connaissons ne représente, comme il a été déjà dit, qu'un état d'équilibre, une relation entre les forces intérieures qu'elle recèle et les forces externes pouvant agir sur elles. Les secondes ne sont pas modifiables sans que les premières changent également, de même qu'on ne peut toucher à l'un des plateaux d'une balance équilibrée sans faire osciller l'autre.

On peut donc dire, employant le langage mathématique, que les propriétés de la matière sont une fonction de plusieurs variables, la température et la pression notamment.

Ces diverses influences sont susceptibles d'agir séparément, mais elles peuvent aussi combiner leurs

actions. C'est ainsi qu'il existe une température, — variable pour chaque corps, — dite critique, au-dessus de laquelle ce corps n<sup>e</sup> peut exister à l'état liquide. Il passe alors immédiatement à l'état gazeux et y demeure, quelle que soit la pression exercée sur lui. Si on chauffe de l'eau dans un tube fermé, il arrive un moment où, brusquement, elle se transforme totalement en un gaz tellement invisible que le tube semble absolument vide. Pendant longtemps, beaucoup de gaz n'ont pu être liquéfiés, précisément parce qu'on ignorait que l'action de la pression est entièrement nulle si la température du gaz n'a pas été d'abord abaissée au-dessous de son point critique. L'acide carbonique se liquéfie très facilement par la pression à une température inférieure à 31 degrés. Au-dessus de cette température aucune pression ne pourrait l'amener à l'état liquide.

Il faut donc considérer la matière comme une chose très mobile, en équilibre très instable et ne pouvant être conçue indépendante de son milieu. Elle ne possède aucune propriété indépendante en dehors de son inertie d'où résulte la constance de sa masse. Cette propriété est absolument la seule qu'aucun changement de milieu, pression, température, etc., puisse changer. Si on dépouillait la matière de son inertie, on ne voit pas comment il serait possible de définir une chose aussi changeante.

Malgré l'extrême mobilité de la matière, le monde paraît cependant très stable. Il l'est, en effet, mais simplement parce que dans sa phase actuelle d'évolution le milieu qui l'enveloppe varie dans des limites assez restreintes. La constance apparente des propriétés de la matière résulte uniquement de la constance actuelle du milieu où elle est plongée.

Cette notion d'influence du milieu, un peu négligée des anciens chimistes, a fini par prendre une grande

importance, depuis qu'il a été prouvé que beaucoup de réactions sont placées sous sa dépendance et varient en sens très différents, suivant des écarts parfois extrêmement faibles de température et de pression. Quand les écarts sont considérables, on voit se transformer entièrement ou devenir impossibles beaucoup de réactions. Si on ne pouvait examiner les corps qu'à certaines températures, on les considérerait comme fort différents des mêmes corps observés aux températures ordinaires. A la température de l'air liquide, le phosphore perd sa violente affinité pour l'oxygène et est sans action sur lui; l'acide sulfurique, si actif habituellement sur le papier de tournesol, ne le rougit plus. A une température élevée, nous voyons naître, au contraire, des affinités inexistantes à la température ordinaire. L'azote et le carbone qui ne se combinent avec aucun corps aux températures peu élevées, se combinent facilement avec plusieurs à la température de 3.000° et forment des corps autrefois inconnus, le carbure de calcium, par exemple. L'oxygène, sans action sur le diamant, a une si énergique affinité pour ce corps à une haute température, qu'il se combine avec lui en devenant incandescent. Le magnésium a une affinité assez faible pour l'oxygène, mais à une température suffisamment haute, son affinité pour lui devient telle que, plongé dans une atmosphère d'acide carbonique, il le décompose, s'empare de son oxygène et continue à brûler lorsqu'on l'a allumé.

Ainsi donc les éléments de la matière sont en mouvement incessant : un bloc de plomb, un rocher, une chaîne de montagnes n'ont qu'une immobilité apparente. Ils subissent toutes les variations du milieu et modifient constamment leurs équilibres pour s'y adapter. La nature ne connaît pas le repos. S'il se trouve quelque part, ce n'est ni dans le monde que

nous habitons, ni dans les êtres vivant à sa surface. Il n'est pas davantage dans la mort, qui ne fait que substituer à certains équilibres momentanés d'atomes d'autres équilibres dont la durée sera aussi éphémère.

## CHAPITRE II

### Les aspects divers de la matière. État gazeux, liquide, solide et cristallin.

---

#### § 1. — LES ÉTATS GAZEUX, LIQUIDES ET SOLIDES.

Suivant les forces extérieures auxquelles elle est soumise, la matière revêt trois états qu'on a nommés : solide, liquide et gazeux. Les recherches les plus récentes ont nettement prouvé qu'il n'existe d'ailleurs entre eux aucune séparation profonde. La continuité des états liquides et gazeux a été mise en évidence par les études de Van der Waals. La continuité des états liquides et solides par divers expérimentateurs. Sous une pression suffisante les solides se conduisent comme des liquides, leurs molécules glissent les unes sur les autres et un métal solide finit par couler comme un liquide. « Les lois de l'hydrostatique et de l'hydrodynamique, dit Spring, sont applicables aux solides soumis à de fortes pressions ».

Cette propriété des corps les plus durs de se comporter ainsi que des liquides sous certaines pressions a été utilisée par l'industrie en Amérique pour fabriquer des outils avec des blocs d'aciers soumis à une compression suffisante et sans qu'il soit besoin d'élever la température. Ce métal peut cepen-

dant être considéré comme le type des substances peu malléables.

L'état cristallin lui-même ne peut établir une séparation très nette entre les états solides et liquides. Il existe, comme Lehman l'a montré, des cristaux demi-liquides. J'ai moi-même trouvé le moyen de préparer des cristaux de consistance pâteuse<sup>1</sup>. Nous avons montré précédemment que des liquides, tout en restant liquides, peuvent prendre des formes géométriques voisines de l'état cristallin et dont certains procédés optiques permettent de révéler l'existence.

Les propriétés optiques des liquides les avaient jadis fait considérer comme isotropes, c'est-à-dire comme des corps physiquement homogènes possédant des propriétés optiques identiques dans toutes les directions, notamment celle de faire tourner dans un même sens les rayons de lumière polarisée. On voit maintenant se multiplier le nombre des liquides plus ou moins visqueux présentant lorsqu'on les place entre un polariseur et un analyseur, les croix colorées qu'on observe chez les corps anisotropes tels que les cristaux.

D'une façon générale, cependant, l'état cristallin constitue, comme nous allons le voir, un stade très particulier de la matière qui lui donne une individualité et la rapproche à certains points de vue des êtres vivants.

## § 2. — L'ÉTAT CRISTALLIN DE LA MATIÈRE. VIE DES CRISTAUX.

Parmi les forces inconnues, dont nous ne saisissons l'existence que par quelques-uns de leurs

---

1. Simplement en maintenant quelques minutes, avec une longue pince, une lame de magnésium dans du mercure en ébullition. Par le refroidissement le mélange se prend en lames cristallines dont les cristaux ont la consistance du beurre pendant l'été et se déforment par conséquent sous la pression du doigt



effets, se trouvent celles qui obligent les molécules des corps à prendre les formes géométriques rigoureuses portant le nom de cristaux.

Tous les corps solides tendent vers la forme cristalline. Les équilibres géométriques dont ces formes résultent donnent une sorte d'individualité aux molécules de la matière. Elle les individualise au même titre que l'être vivant individualise, en les incorporant à lui-même, les éléments empruntés à son milieu.

Cette expression d'individualisation de la matière

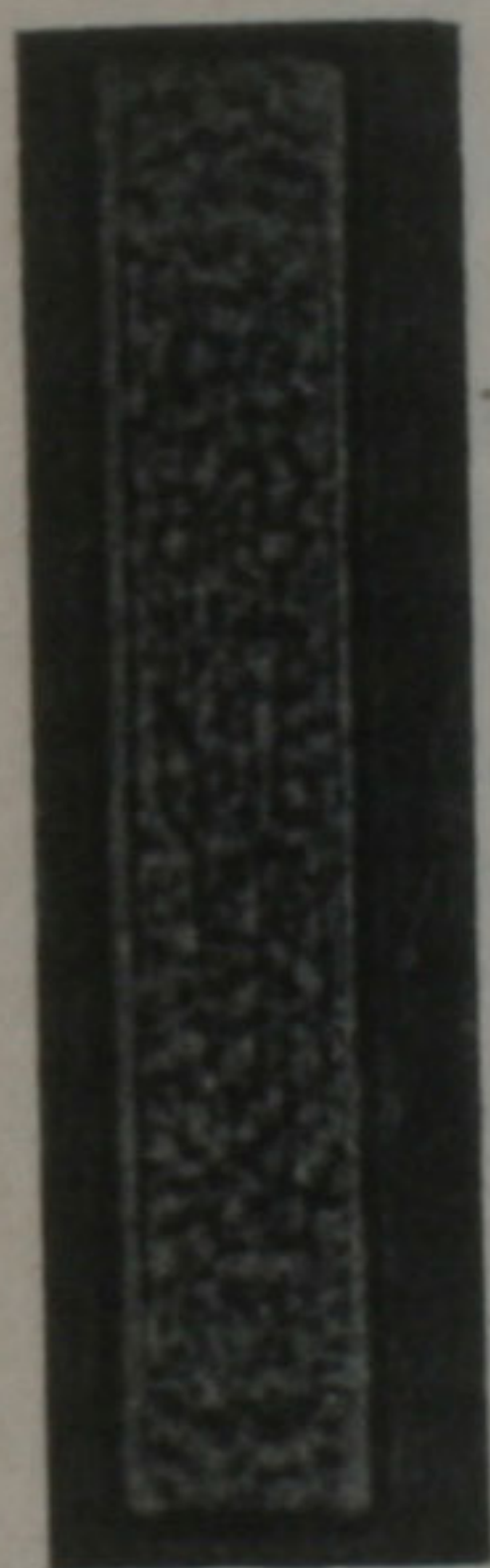


FIG. 33.



FIG. 34.



FIG. 35.

*Les trois phases de formation successives d'un cristal, d'après les photographies du professeur Schron.*

donnée à sa transformation en corps géométriques n'a rien d'excessif. L'être minéral est caractérisé par sa forme cristalline comme l'être vivant est caractérisé par sa forme anatomique. Le cristal subit en outre, comme l'animal ou la plante, une évolution progressive avant d'atteindre sa forme définitive. Comme l'animal ou la plante encore, le cristal mutilé sait

réparer sa mutilation. Le cristal est en réalité la dernière étape d'une forme particulière de la vie.

Parmi les faits pouvant servir de soutien à ces considérations, il faut surtout citer les belles expériences du professeur Schrön sur la succession des transformations qui amènent les molécules matérielles à revêtir la forme cristalline. Les trois principales sont : 1° une phase granuleuse ; 2° une phase fibreuse ; 3° une phase homogène. Elles sont représentées par les trois photographies reproduites ici et que je dois à l'obligeance de ce savant. Dans la solution qui va cristalliser se forment d'abord des globules au sein desquels apparaissent bientôt des granulations (fig. 33). Ces granulations s'allongent, prennent un aspect fibreux (fig. 34) auquel succède plus tard l'état homogène (fig. 35) qui constitue la forme définitive du cristal. Alors l'être cristal a terminé son cycle.

Ces lois de la formation des cristaux sont générales et s'observent aussi bien pour les cristaux de substances minérales que pour ceux qui, selon Schrön, accompagnent les micro-organismes. Parmi les sécrétions de chaque microbe apparaîtraient toujours, d'après lui, des cristaux caractéristiques de chaque espèce microbienne.

Ces observations montrent que pendant sa période précristalline, c'est-à-dire durant sa jeunesse, le futur cristal se conduit comme un être vivant. Il représente un tissu en évolution. C'est un être organisé subissant une série de transformations dont le terme est la forme cristalline, comme le chêne est le terme de l'évolution du gland. Le cristal serait donc la phase ultime de certains équilibres de la matière ne pouvant s'élever à des formes de vie supérieure.

Les recherches exécutées dans des voies diverses viennent confirmer les conclusions précédentes. C'est ainsi que M. Cartaud a constaté que les métaux polis, puis attaqués par l'acide picrique

en solution dans l'acétone, montrent « un réseau cellulaire microscopique complètement fermé ».

« Cellules et cristaux présentent entre eux, dit-il, une évidente filiation : les plages de même orientation cristalline offrent le caractère de posséder une maille cellulaire de forme et de disposition spécifiques, ce qui permet d'envisager un cristal comme un agrégat de cellules semblables et semblablement disposées ». La structure cellulaire serait donc une phase embryonnaire et la structure cristalline une forme adulte.

Loin d'être un état exceptionnel, la forme cristalline est en réalité celle vers laquelle tendent tous les corps et qu'ils atteignent dès que se réalisent certaines conditions de milieu. Les sels dissous dans une solution qui s'évapore, un métal fondu qui se refroidit, tendent toujours à prendre la forme cristalline, et si on considère, comme on le fait aujourd'hui, que les solutions présentent d'étroites analogies avec les gaz, on pourrait dire que les deux formes les plus habituelles de la matière sont la forme gazeuse et la forme cristalline.

Il n'y a guère dans la nature que le cristal qui possède véritablement une forme stable et définie. Un être vivant ordinaire est, au contraire, quelque chose d'extrêmement mobile, de toujours changeant, qui ne continue à vivre qu'à la condition de mourir et de se régénérer sans cesse. Sa forme ne paraît bien définie que parce que nos sens perçoivent seulement des fragments des choses. L'œil n'est pas fait pour tout voir. Il trie dans l'océan des formes ce qui lui est accessible et croit que cette limite artificielle est une limite véritable. Ce que nous connaissons d'un être vivant n'est qu'une partie de sa forme réelle. Il est entouré des vapeurs qu'il exhale, des radiations de grande longueur d'onde qu'il émet constamment par suite de sa température. Si nos yeux pouvaient

tout voir, un être vivant nous apparaîtrait comme un nuage aux changeants contours<sup>1</sup>.

D'où vient le cristal qui apparaît dans une solution? Quel est le point de départ des transformations que subissent les molécules de cette solution avant de devenir un cristal?

L'observation démontre que tous les êtres vivants, de la bactérie jusqu'à l'homme, dérivent toujours d'un être antérieur. En serait-il de même pour le cristal? Dérive-t-il, lui aussi, par filiation, d'un être antérieur ou naît-il spontanément?

Il paraît bien prouvé aujourd'hui, surtout depuis les recherches d'Oswald, que ces deux modes de génération existent pour les cristaux. Dans certaines conditions déterminées de milieu, c'est-à-dire de pression, de concentration des solutions, etc., les liquides ne peuvent cristalliser que quand ils ont préalablement reçu un germe cristallin. Les cristaux qui se forment peuvent alors, suivant l'expression de Dastre dans son beau livre *la Vie et la Mort*, être considérés comme la postérité d'un cristal antérieur absolument comme les bactéries développées dans une solution représentent la postérité des bactéries qu'on y a d'abord introduites.

Il existe cependant d'autres conditions de milieu dans lesquelles la cristallisation spontanée s'observe sans aucune introduction préalable de germes. Ces conditions diverses étant connues et susceptibles d'être produites à volonté, on peut placer une solution dans les conditions qui lui permettent de cristalliser spontanément ou dans celles où elle ne cristallisera

---

1. Notre œil n'est pas sensible aux radiations infra-rouges que les êtres vivants rayonnent sans cesse, mais supposons un être dont l'œil — tel que l'est peut-être celui des animaux nocturnes — soit organisé de façon à ne percevoir que les radiations de grande longueur d'onde et non celles du reste du spectre qui pour nous sont la lumière. A cet être ainsi organisé un animal apparaîtrait sous la forme d'un nuage aux contours indécis rendu visible par la réflexion des radiations infra-rouges sur la vapeur d'eau qui l'enveloppe.

qu'après l'introduction de germes convenables. Il est donc permis de dire que les cristaux présentent deux modes de reproduction très distincts : la génération spontanée et la génération par filiation.

Cette faculté de la génération spontanée, possible pour l'être cristal est impossible, comme on le sait, pour l'être vivant. Ce dernier ne se reproduit que par filiation et jamais spontanément. Cependant, il faut bien admettre qu'avant de naître par filiation, les premières cellules des temps géologiques ont dû naître sans parents. Nous ignorons les conditions qui permirent à la matière de s'organiser spontanément pour la première fois, mais rien n'indique que nous les ignorerons toujours.

Nous voyons donc s'accentuer cette notion que le cristal forme un être intermédiaire entre la matière brute et la matière vivante placé plus près de la seconde que de la première. Il possède en commun avec les êtres vivants les qualités que nous avons mentionnées et en particulier quelque chose ressemblant singulièrement à une vie ancestrale. Les germes cristallins que nous introduisons dans une solution pour la faire cristalliser semblent indiquer toute une série de vies antérieures. Ils rappellent les germes des êtres vivants, c'est-à-dire les spermatozoïdes qui résument l'ensemble des formes successives de la vie d'une race et contiennent, malgré leur petitesse, tous les détails des transformations successives que présentera l'être vivant avant d'arriver à l'état adulte.

Tous les faits de cet ordre appartiennent à la catégorie de ces phénomènes inexplicables dont la nature est pleine et qui se multiplient dès qu'on pénètre dans les régions inexplorées. La complication des choses semble grandir à mesure qu'on les étudie davantage.

## CHAPITRE IV

### L'unité de composition des corps simples

---

#### § I. — LES DIVERS CORPS SIMPLES SONT-ILS COMPOSÉS D'UN MÊME ÉLÉMENT ?

Lorsqu'on soumet à certaines opérations chimiques les composés divers existant dans la nature, on arrive à les séparer en éléments qu'aucune réaction ne peut décomposer davantage. Ces éléments irréductibles sont qualifiés de corps simples ou éléments chimiques. De leur combinaison est formé notre globe et les êtres qui l'habitent.

L'idée que tous les corps supposés simples dériveraient d'un élément unique à divers états de condensation ou de combinaison vient si naturellement à l'esprit qu'elle fut émise dès que la chimie se constitua. Après avoir été abandonnée, faute de preuves, elle renaît depuis que les expériences récentes sur la dissociation de la matière ont paru montrer que les produits résultant de la dissociation des divers corps sont formés des mêmes éléments.

Des faits anciennement connus indiquaient déjà que les atomes des corps les plus différents possèdent certaines propriétés communes. Les plus importantes sont l'identité de la chaleur spécifique et de la charge électrique quand, au lieu d'opérer sur

des poids semblables de matière, on opère sur des quantités proportionnelles aux poids atomiques.

Chacun sait que la chaleur spécifique des corps, c'est-à-dire la quantité de chaleur, exprimée en calories, qu'il faut leur communiquer pour élever leur température d'un même nombre de degrés, varie beaucoup suivant les corps. C'est ainsi qu'avec la quantité de chaleur nécessaire pour élever un kilogramme d'eau de 3°, on peut élever de 97° la température de un kilogramme de mercure. Mais si au lieu de comparer des poids égaux des diverses substances on compare des quantités proportionnelles à leurs poids atomiques, on constate que tous les corps éprouvent le même échauffement par la même quantité de chaleur.

On constate également par l'électrolyse qu'ils portent une charge électrique en rapport avec leur poids atomique.

A ces faits, anciennement connus, se joignent ceux résultant des recherches récentes exposées dans cet ouvrage, qui montrent que, par la dissociation de la matière, on retire des corps les plus différents des produits semblables. On peut donc admettre comme infiniment probable, que tous les corps sont formés d'un même élément.

Mais, alors même que la démonstration de cette unité de composition serait complète, elle ne présenterait qu'un intérêt pratique assez faible. Par l'analyse chimique, on retrouve les mêmes éléments dans un tableau de Rembrandt ou dans l'enseigne d'un marchand de vins; on constate également que le corps d'un chien et celui d'un homme ont la même composition. De telles constatations ne nous disent absolument rien de la structure des corps analysés. En ce qui concerne les atomes, ce que nous désirerions connaître ce sont les lois architecturales, qui ont permis de créer avec des matériaux

semblables des édifices complètement différents. Que les atomes du chlore, du diamant et du zinc soient composés d'un même élément, rien n'est plus vraisemblable, mais comment cet élément peut-il donner aux atomes des divers corps des propriétés si différentes? Voilà ce qui est ignoré, à un point tel qu'on ne peut même pas formuler sur ce sujet la moindre hypothèse.

Quelle que soit la nature des équilibres existant entre les éléments des atomes des divers corps simples, il est certain que ces équilibres possèdent, malgré leur mobilité, une stabilité très grande puisque, après les réactions chimiques les plus violentes, les corps simples se retrouvent toujours inaltérés. Toutes les transformations que l'on fait subir à une quantité donnée d'un élément quelconque ne modifient ni sa nature ni son poids. C'est même pour cette raison, que les atomes avaient été considérés jusqu'ici comme indestructibles.

Cette indestructibilité apparente a toujours donné une grande force à la croyance dans l'invariabilité des espèces chimiques. Nous allons voir cependant qu'en regardant les choses d'un peu plus près, cet argument perd beaucoup de sa valeur, puisque, même sans invoquer le phénomène de la dissociation de la matière, nous constaterons que les mêmes corps peuvent subir en réalité des transformations très profondes de leurs propriétés ressemblant singulièrement parfois à de véritables transmutations.



§ 2 — LES CORPS SIMPLES PEUVENT-ILS ÊTRE CONSIDÉRÉS  
COMME DES ÉLÉMENTS D'UNE FIXITÉ INVARIABLE ?

Aux débuts de la chimie les méthodes d'analyse manquaient un peu de sensibilité, et les procédés d'investigation physique, tels que la spectroscopie, étaient ignorés. On ne pouvait donc séparer, et par conséquent connaître, que des corps ayant des propriétés bien tranchées. Ces corps étaient visiblement trop différents pour qu'on pût les rapprocher. C'est ainsi que naquit la doctrine, analogue à celle alors admise en biologie, que les espèces chimiques étaient, comme les espèces vivantes, invariables.

Après un demi-siècle d'observations patientes, les biologistes ont fini par renoncer à leur idée d'invariabilité des espèces, mais les chimistes la défendent encore.

Les faits découverts ont cependant montré qu'il existe entre les espèces chimiques, tout comme entre les espèces vivantes, des transitions incontestables. Il a fallu reconnaître qu'un assez grand nombre de corps simples ne présentent pas du tout des propriétés nettement tranchées permettant de les séparer facilement. Il en existe au contraire beaucoup, qui sont tellement voisins les uns des autres, c'est-à-dire qui possèdent des propriétés tellement analogues, qu'aucune réaction chimique ne permet de les différencier. C'est même pour cette raison qu'ils furent pendant longtemps ignorés. Près du quart des corps simples connus, c'est-à-dire une quinzaine environ, se ressemblent par leurs caractères chimiques, au point que, sans l'emploi de certaines méthodes d'investigation physique (raies spectrales, conductibilité électrique, chaleur spécifique, etc., etc.), on ne les aurait jamais séparés. Ces corps sont les métaux dont les oxydes forment ce qu'on

appelle les *terres rares*. « Ils ne se distinguent, écrivent MM. Wyruboff et Verneuil, à deux ou trois exceptions près, que par leurs propriétés physiques et se trouvent chimiquement identiques. Ils le sont à ce point qu'aucune réaction n'arrive jusqu'ici à les séparer et qu'on est réduit, pour les obtenir à l'état plus ou moins pur, au procédé empirique et grossier du fractionnement ».

D'autres faits, récemment découverts, montrent que les espèces chimiques les plus caractérisées, tels que les métaux ordinaires, présentent des variétés nombreuses. Il existe probablement autour de chaque élément toute une série de variétés présentant des caractères communs, mais possédant cependant des propriétés assez caractéristiques pour qu'on puisse les différencier, ainsi que cela s'observe pour les espèces vivantes. L'argent, comme nous le verrons bientôt, n'est pas un métal unique. Il existe au moins cinq ou six espèces d'argent constituant des corps simples différents. De même pour le fer et probablement aussi pour tous les autres métaux.

L'ancienne chimie avait bien noté l'existence de corps semblant identiques par leur nature, quoique différents par leurs propriétés. Elle appelait allotropiques ces états différents d'un même corps. Si elle ne les considérait pas comme des corps simples indépendants, c'est qu'au moyen de divers réactifs, on pouvait toujours les ramener à un état commun. Le phosphore rouge diffère complètement du phosphore blanc, et le diamant ne diffère pas moins du charbon; mais le phosphore blanc ou le phosphore rouge peuvent donner un même composé : l'acide phosphorique. Avec du charbon ou du diamant, on peut faire également un même composé : l'acide carbonique.

Sans ces propriétés communes, on n'eût jamais songé à rapprocher des corps aussi profondément

dissemblables que le charbon et le diamant, le phosphore blanc et le phosphore rouge. Le phosphore blanc est un des corps les plus avides d'oxygène et le phosphore rouge un des moins avides. Le phosphore blanc fond à  $44^{\circ}$ , alors que le rouge ne fond à aucune température et se réduit en vapeur sans passer par l'état liquide. Le premier est un des corps les plus toxiques que l'on connaisse, alors que le second est des plus inoffensifs. Des différences aussi accentuées existent entre le charbon et le diamant.

Il en est de même pour certains métaux qui peuvent se présenter sous des formes très différentes. M. Coste a montré que du sélénium recuit est très conducteur de l'électricité, et c'est pourquoi il lui donne le nom de sélénium métallique. Le sélénium ordinaire vitreux, obtenu par refroidissement rapide, est, au contraire, isolant, et n'a plus par conséquent les propriétés d'un métal.

Tant que les états allotropiques n'ont été observés que sur un très petit nombre de corps, on pouvait les considérer comme des exceptions, mais des méthodes d'investigation plus sensibles ont prouvé que ce que l'on considérait comme exceptionnel constituait, au contraire, une loi très générale. Le savant astronome Deslandres admet que les grandes différences qu'on peut observer dans les spectres de beaucoup de corps, le carbone et l'azote par exemple, suivant la température à laquelle ils se produisent, sont dus à des états allotropiques de ces corps<sup>1</sup>.

Sans qu'il soit besoin d'invoquer les indications fournies par l'analyse spectrale on constate facilement que les corps les plus usuels, les mieux définis en apparence, tels que le fer et l'argent, présentent de nombreux états allotropiques, permettant de les considérer certainement comme des espèces diffé-

---

1. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 14 septembre 1903.

rentes d'un même genre. On connaît déjà une demi-douzaine d'espèces différentes de fer et d'argent, ayant des caractères nettement tranchés, bien que possédant certaines réactions communes qui, autrefois, les faisaient confondre. Il est probable qu'avec des méthodes d'observation nouvelles, le nombre de ces espèces se multipliera beaucoup. Les recherches récentes sur les métaux colloïdaux, dont nous parlerons dans un autre chapitre, montrent même que certaines espèces métalliques sont capables d'être modifiées au point de perdre la totalité des propriétés du métal dont elles dérivent, et de se rapprocher davantage des substances organisées que des métaux.

Mais, sans même envisager ces cas extrêmes des métaux colloïdaux et en ne considérant que les corps les plus communs, préparés par les méthodes absolument classiques, il a fallu reconnaître comme nous allons le voir, que le même métal pouvait se présenter sous des formes impossibles à confondre.

On sait que la chaleur absorbée ou dégagée par les divers corps simples, dans leurs combinaisons, est une quantité constante, représentée par des chiffres précis, et qui constitue un de leurs caractères essentiels. Ces chiffres, jadis considérés comme invariables pour chaque corps, avaient servi à fonder une science spéciale : la thermo-chimie.

Dès que les formes allotropiques des métaux ont été connues, on a repris ces chiffres, et il a fallu reconnaître que, suivant le mode de préparation du métal, ils pouvaient être vingt fois plus forts ou plus faibles que les chiffres trouvés pour le même corps préparé par des méthodes différentes. On ne peut donc même pas dire, d'un grand nombre des chiffres publiés jusqu'ici, qu'ils soient grossièrement approximatifs.

C'est M. Berthelot lui-même, un des fondateurs de la thermo-chimie, qui a contribué à cette consta-

tation<sup>1</sup>. Il est bien probable que, s'il l'avait faite trente ans plus tôt, la thermo-chimie ne serait pas née.

Au point de vue défendu par nous, de la variabilité des espèces chimiques, ces résultats sont du plus haut intérêt. Au point de vue des idées jadis régnantes et sur lesquelles la thermo-chimie fut fondée, ils sont nettement désastreux. M. Berthelot le fait pressentir dans les considérations suivantes :

« De telles inégalités d'énergie étant ainsi établies par l'expérience, il est clair que l'on ne saurait appliquer avec certitude aux métaux ordinaires, ni plus généralement aux éléments, dans la discussion de leurs réactions, les valeurs thermo-chimiques obtenues en partant d'états différents.

« Les états de l'argent que j'ai étudiés, sauf un, ne répondent pas au chiffre de + 7 cal. pour la chaleur de formation de l'oxyde  $Ag_2O$  qui figure dans les traités de thermo-chimie.

« Dans le cas de l'argent, la différence thermo-chimique des états de cet élément peut s'élever, pour un atome d'argent, à 2 calories, ce qui fait, pour la formation d'oxyde, avec 2 atomes d'argent ( $Ag_2O$ ) un écart de + 4 calories. »

Les chiffres donnés dans les livres seraient donc, pour le cas précédent, erronés de près de 50%. L'auteur se demande ensuite s'il n'en serait pas de même pour le fer qui présente tant de formes allotropiques. L'observation est probablement applicable, non seule-

1. Voici d'ailleurs pour l'argent, d'après les *Comptes Rendus* du 4 février 1901, les nombres obtenus par M. Berthelot, suivant l'espèce de métal employée. Les chiffres représentent la chaleur de dissolution d'un même poids du corps dans le mercure :

1° Argent battu en feuilles minces : + 2 cal. 03;

2° Argent produit par la transformation du métal précédent chauffé 20 heures à 500-550° dans un courant d'oxygène : + 0 cal. 47;

3° Argent cristallisé en aiguilles, obtenu par électrolyse de l'azotate d'argent dissous dans 10 parties d'eau : + 0 cal. 10;

4° Argent précipité de son azotate par le cuivre; lavé et séché d'une part à la température ordinaire : + 1 cal. 10;

5° Argent précédent desséché à 120° : + 0 cal. 76;

6° Argent précédent chauffé au rouge sombre : + 0 cal. 08.

ment au fer, mais à tous les autres corps. Et alors, que reste-t-il de tous les chiffres de la thermo-chimie présentés jadis comme si absolus ?

Il en restera probablement bien peu de chose, car alors même qu'on partirait de métaux préparés de la même façon, on ne serait jamais sûr de partir d'un même corps, puisque sa simple température de dessiccation permet de faire varier sa chaleur de combinaison et qu'il suffit de changer très peu son état physique pour changer ses propriétés thermiques. Faraday avait remarqué il y a longtemps, que de l'argent déposé sur une lame de verre, par voie chimique, a un grand pouvoir réflecteur et une très faible transparence. Si on porte de 250 à 300° la lame de verre l'argent perd la plus grande partie de son pouvoir réflecteur et acquiert une forte transparence. Faraday en concluait que l'argent, dans ces deux cas, devait représenter des formes très différentes. Ce sont des prévisions que l'expérience a entièrement confirmées.

A l'époque où furent établis les chiffres de la thermo-chimie, les chimistes ne pouvaient pas raisonner autrement qu'ils l'ont fait, puisqu'ils ne savaient alors différencier les corps que par des réactions incapables de mettre en évidence certaines dissimilitudes pourtant fondamentales. De l'argent, d'origine quelconque, traité par de l'acide nitrique, donnait invariablement du nitrate d'argent de même composition centésimale, et on pouvait toujours en retirer la même quantité d'argent métallique. Comment aurait-on pu, dès lors, soupçonner qu'il existait, en réalité, des métaux divers, quoique présentant le même aspect connus sous le nom d'argent ?

Nous le savons aujourd'hui, parce que nos méthodes d'investigation se sont perfectionnées. Quand elles le seront davantage, il est probable, comme je le disais plus haut, que le nombre des espèces chimiques

dérivées d'un même corps se multipliera encore.

Les faits précédemment exposés mettent en évidence cette loi générale importante, que les corps simples ne se composent pas du tout d'éléments fixes de structure invariable, mais bien d'éléments qu'on peut faire varier dans des limites assez étendues. Chaque corps simple représente seulement un type d'où dérivent des variétés très différentes. En adoptant pour la classification des métaux celle des espèces vivantes, on pourrait dire qu'un métal, comme l'argent ou le fer, constitue un genre comprenant plusieurs espèces. Toutes les espèces d'un même genre, le genre fer et le genre argent, par exemple, se différencient nettement, bien que possédant des caractères communs. Et si nous considérons que dans le monde minéral les espèces sont assez facilement modifiables, puisque, par exemple, l'espèce phosphore blanc peut devenir l'espèce phosphore rouge, ou que l'espèce argent, capable de dégager beaucoup de calories par ses combinaisons, peut devenir une espèce qui en dégage moins, il est permis d'affirmer que les espèces chimiques sont bien plus aisément transformables que les espèces animales. On ne saurait s'en étonner, puisque l'organisation des secondes est bien autrement compliquée que celle des premières.

Ainsi donc les espèces chimiques sont susceptibles de variabilité. Nous savons, d'autre part, que, soumis à certaines actions appropriées, les atomes peuvent subir un commencement de dissociation. La variabilité des corps simples est-elle limitée ? Peut-on espérer, au contraire, réussir à transformer un corps simple entièrement ? C'est le problème que nous examinerons maintenant.

## CHAPITRE V

### La variabilité des espèces chimiques.

---

#### §. I — LA VARIABILITÉ DES CORPS SIMPLES.

« Il est bien rare, écrivait il y a plus de soixante ans le célèbre chimiste Dumas, qu'on parvienne à saisir les lois d'une classe de phénomènes, en étudiant ceux où l'action se présente avec la plus haute intensité. C'est ordinairement le contraire que l'on observe et c'est presque toujours par l'analyse patiente d'un phénomène faible ou lent qu'on parvient à trouver les lois de ceux qui échappaient d'abord à cette analyse. »

L'histoire entière des sciences confirme cette vue. C'est en examinant attentivement les oscillations d'une lampe suspendue que Galilée découvrit la plus importante des lois de la mécanique. C'est en étudiant longuement l'ombre d'un cheveu que Fresnel édifia les théories qui transformèrent l'optique. C'est en analysant avec des appareils rudimentaires de minuscules phénomènes électriques que Volta, Ampère et Faraday firent surgir du néant une science qui devait bientôt constituer un des plus importants facteurs de notre civilisation.

« Il est certain que dans l'avenir comme dans le passé, écrit M. Lucien Poincaré, les découvertes les plus profondes, celles qui viendront subitement



révéler des régions entièrement inconnues, ouvrir des horizons tout à fait nouveaux, seront faites par quelques chercheurs de génie qui poursuivront dans la méditation solitaire leur labeur obstiné et qui, pour vérifier leurs conceptions les plus hardies, ne demanderont sans doute que les moyens expérimentaux les plus simples et les moins coûteux. »

De telles considérations devraient toujours être présentes à l'esprit des chercheurs indépendants, lorsqu'ils se voient arrêtés par l'insuffisance de leurs ressources et l'indifférence ou l'hostilité qui accueille le plus souvent leurs travaux. Il n'existe peut-être pas un phénomène physique qui, étudié avec patience sous tous ses aspects, ne finisse par révéler, grâce à des moyens d'investigation très simples, des faits complètement imprévus. C'est ainsi que l'étude attentive des effluves engendrés par la lumière sur le morceau de métal qu'elle vient frapper, a été l'origine de toutes les recherches consignées dans cet ouvrage et nous a conduit finalement à montrer le peu de fondement du dogme séculaire de l'indestructibilité de la matière.

Le grand intérêt de telles recherches, lorsqu'elles sont poursuivies opiniâtement, c'est qu'on voit sans cesse apparaître des faits inconnus et qu'on ne sait jamais dans quelle région ignorée on sera conduit. Je l'ai constaté plus d'une fois pendant les nombreuses années consacrées à mes expériences. Faites dans un tout autre but elles m'ont amené à étudier expérimentalement la question de la variabilité des espèces chimiques, et, si j'ai donné les explications précédentes, c'est un peu pour m'excuser d'avoir traité un sujet qui semble au premier abord en dehors du cadre de mes recherches.

Au point de vue philosophique, le problème de la variabilité des espèces chimiques est du même ordre que celui de la variabilité des espèces vivantes qui a

pendant si longtemps agité la science. Niée énergiquement d'abord, cette variabilité des espèces organisées a fini par être admise. Le principal argument qui l'a fait accepter est l'étendue des variations qu'on peut faire subir aux êtres bien qu'on n'ait jamais réussi encore à obtenir expérimentalement la transformation d'une seule espèce vivante.

Si donc nous réussissons à obtenir des variations très grandes de quelques espèces chimiques, la possibilité de leur transformation pourra être admise pour des raisons du même ordre que celles qui ont semblé probantes aux biologistes.

Cette variabilité des espèces chimiques, mise en évidence dans le chapitre précédent par la simple discussion de faits déjà connus, demandait à être discutée d'abord pour préparer le lecteur à l'interprétation des expériences que nous allons exposer maintenant.

Pour obtenir la transformation de certains corps nous n'aurons recours à aucun moyen énergétique, tels que les températures élevées, les hauts potentiels électriques, etc. Nous avons déjà montré que la matière, très résistante à des agents fort puissants, est sensible, au contraire, à des excitants légers, à la condition qu'ils soient appropriés. C'est précisément pour cette raison qu'elle peut, malgré sa stabilité, se dissocier sous l'influence de causes aussi légères qu'un faible rayon de lumière.

J'ai déjà signalé, le rôle tout à fait considérable que jouent des traces de substance étrangère ajoutées à certains corps. Son importance m'apparut dès que je vis des propriétés aussi curieuses que la phosphorescence, aussi capitales que la radio-activité, se produire sous l'influence de tels mélanges.

Si des phénomènes aussi importants peuvent être créés par des moyens d'une telle simplicité, ne

pouvait-on parvenir, en procédant d'une façon analogue, à modifier toutes les propriétés fondamentales de certains éléments ?

Par propriétés fondamentales d'un élément nous comprenons celles en apparence irréductibles sur lesquelles les chimistes s'appuient pour les classer. C'est ainsi, que la propriété de l'aluminium de ne pas décomposer l'eau à froid et de ne pas s'oxyder à la température ordinaire constitue une des caractéristiques fondamentales de ce métal. Si on l'oblige à s'oxyder à froid et à décomposer l'eau, en lui ajoutant simplement des traces de certains corps, on sera évidemment autorisé à dire qu'on a modifié ses propriétés fondamentales.

Ces expériences étant accessoires pour nous, puisqu'elles sortaient de l'ensemble de nos recherches, nous les avons fait porter seulement sur trois métaux, l'aluminium, le magnésium et le mercure. Comme elles nécessitent, bien que très simples, certaines explications techniques, nous renvoyons leur description détaillée à la partie purement expérimentale de cet ouvrage. On y verra que, en mettant les deux premiers de ces métaux en présence de traces de diverses substances, par exemple, d'eau distillée ayant servi à laver un flacon vide dans lequel s'était trouvé précédemment du mercure, il nous a été possible de modifier leurs caractères au point que, si on les classait d'après leurs propriétés nouvelles, il faudrait changer leur place dans les classifications. Ces métaux habituellement sans action sur l'eau la décomposent violemment, l'aluminium s'oxyde instantanément à l'air, en se recouvrant de houppes épaisses qu'on voit grandir sous les yeux et qui donnent à un miroir d'aluminium poli l'aspect d'une prairie.

Plusieurs hypothèses ont été émises pour expliquer ces faits lorsqu'ils furent présentés en mon nom à l'Académie des Sciences. M. Berthelot fit remarquer que

les métaux en présence pouvaient former des couples électriques qui seraient l'origine des phénomènes constatés, et que ce ne seraient pas dès lors les propriétés des métaux qu'on observait, mais celles de leurs couples. Cette explication a été généralement considérée comme fort insuffisante.

D'autres savants comparèrent les métaux ainsi transformés à des alliages qui, d'après certaines idées actuelles, seraient constitués par des combinaisons en proportions définies, dissoutes dans un excédent de l'un des métaux en présence. Mais dans les alliages, les changements obtenus : dureté, fusibilité, etc., sont surtout d'ordre physique, et dans aucun d'eux on n'observe de transformations chimiques analogues à celles que nous avons obtenues.

En étendant ces recherches, on trouvera certainement un grand nombre de faits du même ordre. La chimie en possède déjà un certain nombre. Il n'est pas, je l'ai dit, de corps plus dissemblables peut-être que le phosphore blanc et le phosphore rouge. Par certaines de leurs propriétés chimiques fondamentales, leur oxydabilité entre autres, ils diffèrent presque autant l'un de l'autre que le sodium se distingue du fer. Cependant il suffit d'ajouter au phosphore blanc des traces d'iode ou de sélénium pour le transformer en phosphore rouge.

Les exemples du fer et de l'acier, du fer pur et du fer ordinaire, ne sont pas moins typiques. Chacun sait que l'acier, si dissemblable du fer par sa dureté et son aspect, n'en diffère chimiquement que par la présence de quelques millièmes de carbone. On sait aussi que les propriétés du fer pur sont absolument différentes de celles du fer ordinaire. Ce dernier, en effet, ne s'oxyde pas dans l'air sec. Le fer pur obtenu, en réduisant par l'hydrogène à chaud du sesquioxyde de fer, est tellement oxydable au contraire qu'il prend spontanément feu à l'air, d'où le nom de fer pyrophorique qu'on lui a donné.

On pourrait même, en présence de tels faits, se demander si les propriétés classiques de plusieurs métaux usuels ne seraient pas uniquement dues à l'influence d'une quantité infinitésimale d'autres corps, dont la présence nous échappe souvent, et que nous qualifions d'impuretés lorsque l'analyse nous les révèle. Nous verrons que les plus importants composés de la chimie organique, les diastases, perdent toutes leurs propriétés dès qu'on les dépouille des traces de certains métaux dont l'existence n'était pas autrefois soupçonnée.

Les faits mis en évidence par nos recherches et tous ceux du même ordre que nous en avons rapprochés semblent donc bien prouver que les corps simples ne possèdent pas du tout l'invariabilité qu'on leur supposait.

Admettre qu'ils ne sont pas invariables, c'est admettre aussi qu'on pourrait les transformer, et revenir à ce vieux problème de la transmutation des corps, qui a tant occupé les alchimistes du moyen âge, et que la science moderne avait fini par juger aussi indigne de ses recherches que la quadrature du cercle ou le mouvement perpétuel. Considéré comme chimérique pendant longtemps, il renaît aujourd'hui sous des formes variées, et préoccupe les plus éminents chimistes.

« La grande découverte moderne qu'il y aurait à réaliser aujourd'hui, écrivait il y a quelques années M. Moissan, ne serait donc pas d'accroître d'une unité le nombre de nos éléments, mais au contraire de le diminuer en passant d'une façon méthodique d'un corps simple à un autre corps simple... Arriverons-nous enfin à cette transformation des corps simples les uns dans les autres qui jouerait en chimie un rôle aussi important que l'idée de combustion saisie par l'esprit pénétrant de Lavoisier?... De grandes questions restent à résoudre. Et cette chimie miné-

rable, que l'on croyait épuisée, n'est encore qu'à son aurore. »

En réalité, avec la théorie actuelle sur la dissociation électrolytique, les chimistes sont obligés d'admettre comme choses très courantes des transmutations tout aussi singulières que celles rêvées par les alchimistes, puisqu'il suffirait de dissoudre un sel dans l'eau pour le transformer.

On sait que, suivant cette théorie, dans une solution aqueuse d'un sel, le chlorure de potassium, par exemple, les atomes du chlore et du potassium se sépareraient et resteraient en présence au sein du liquide. Le chlorure de potassium serait dissocié par le fait seul de sa dissolution en chlore et en potassium.

Mais, comme le potassium est un métal qui ne peut séjourner dans l'eau sans la décomposer avec violence, ni se trouver en présence du chlore sans se combiner énergiquement avec lui, il faut bien admettre que le chlore et le potassium de cette solution jouissent de propriétés nouvelles sans analogie avec les propriétés ordinaires de ces corps. Il en résulte que leurs atomes ont été transformés entièrement. On le reconnaît, d'ailleurs, puisqu'on interprète le phénomène en disant que les différences constatées tiennent à ce que dans la solution les atomes chlore et les atomes potassium sont formés d'ions porteurs de charges électriques de nom contraire neutralisés dans le chlore et dans le potassium ordinaires. Il existerait donc deux espèces de potassium très différentes, le potassium des laboratoires, jouissant de toutes les propriétés que nous lui connaissons, et le potassium ionisé sans parenté aucune avec le premier. De même pour le chlore.

Cette théorie a été acceptée parce qu'elle facilite les calculs, mais il est évident qu'elle conduirait à considérer l'atome comme la chose la plus facile à trans-

former, puisqu'il suffirait de dissoudre un corps dans l'eau pour obtenir une transformation radicale de ses éléments caractéristiques.

Plusieurs chimistes étaient allés d'ailleurs assez loin dans cette voie. H. Sainte-Claire Deville déclarait à ses élèves qu'il ne croyait pas à la persistance des éléments dans les composés. W. Ostwald, professeur de chimie à l'Université de Leipzig, affirme également que les éléments ne sauraient subsister dans les combinaisons chimiques. « Il est, suivant lui, contraire à toute évidence d'admettre que la matière subissant une réaction chimique ne disparaisse pas pour faire place à une autre douée de propriétés différentes. » De l'oxyde de fer, par exemple, ne contiendrait nullement du fer et de l'oxygène. Lorsqu'on fait agir l'oxygène sur le fer, on opère une transformation complète de l'oxygène et du fer, et si de l'oxyde ainsi formé on retire ensuite de l'oxygène et du fer, ce n'est qu'en opérant une transformation inverse. « N'est-ce pas un non-sens, écrit M. Ostwald, que de prétendre qu'une substance définie existe encore sans plus posséder aucune de ses propriétés ? En fait, cette hypothèse de pure forme n'a qu'un but, mettre d'accord les faits généraux de la chimie avec la notion tout à fait arbitraire d'une matière inaltérable. »

Il paraît bien résulter de ce qui précède que les équilibres des éléments constituant les atomes peuvent être modifiés facilement, mais il est incontestable aussi qu'ils ont une tendance invincible à retourner à certaines formes d'équilibre spéciales à chacun d'eux puisque, après toutes les modifications possibles, ils peuvent toujours revenir à leur forme primitive d'équilibre. On peut donc dire que dans l'état actuel de la science, la variabilité des espèces chimiques est prouvée, mais qu'avec les moyens dont nous

disposons, elle n'est réalisable que dans des limites peu étendues.

## § 2. — LA VARIABILITÉ DES CORPS COMPOSÉS.

Ce que nous venons de dire de la variabilité des corps simples et des moyens qui permettent de l'obtenir, s'applique également aux espèces chimiques composées. Il existe aujourd'hui une très importante industrie, celle des lampes à incandescence, fondée justement sur le principe de la transformation de certaines propriétés des corps composés en présence de faibles quantités d'autres corps.

Lorsqu'on imbibe les manchons de ces lampes d'oxyde de thorium pur, ils ne deviennent pas lumineux quand on les chauffe, ou le deviennent très peu, mais si l'on additionne l'oxyde de thorium de 1 pour cent d'oxyde de cérium, ce mélange donne au manchon la luminosité éclatante que tout le monde connaît. Avec l'augmentation ou la diminution de la quantité d'oxyde de cérium ajouté à celui de thorium l'incandescence diminue aussitôt. C'était là un phénomène fort imprévu, et c'est pourquoi la création de ce mode d'éclairage a demandé de très longues recherches.

Mais c'est peut-être dans les phénomènes chimiques qui se passent au sein des êtres vivants que le même principe se vérifie le plus fréquemment. Diverses diastases perdent entièrement leurs propriétés si on les dépouille des traces de substances minérales qu'elles contiennent, le manganèse notamment. Il est probable que des corps comme l'arsenic, qu'on retire maintenant à doses infinitésimales de beaucoup de tissus, exercent une influence importante que l'ancienne chimie ne soupçonnait pas.



C'est probablement à ces actions exercées par la présence de corps en quantité très faible que sont dues les différences observées entre des composés considérés autrefois comme identiques et qui varieraient au contraire suivant leur origine. Jadis des principes bien définis, tels que le sucre, la chlorophylle, l'hémoglobine, la nicotine, les essences, etc., étaient considérés comme identiques, quel que fut l'être vivant dont ils provenaient.

Armand Gautier a établi que c'était une erreur : « quoique restant toujours de même famille chimique, ces principes, lorsqu'on les isole et les étudie de près, se sont, d'une race végétale à l'autre, modifiés par isomérisation, substitution, oxydation; *ils sont devenus en somme d'autres espèces chimiques définies...* Il en est de même chez l'animal. Il n'y a pas une hémoglobine, mais des hémoglobines, chacune propre à chaque espèce ».

Tout en constatant ces différences entre corps semblables de diverses origines, Armand Gautier n'en donne pas les causes. C'est par analogie que j'ai supposé les différences reconnues produites par des traces de certaines matières et par la variation de leur quantité. J'ai déjà fait remarquer que les ferments organiques perdent leurs propriétés dès qu'on les dépouille de la petite proportion de matières métalliques qu'ils contiennent toujours. L'hémoglobine, qui paraît agir comme ferment catalytique, contient des quantités de fer, très variables suivant les espèces animales.

Ce principe de la transformation des propriétés d'une substance par l'addition d'une très petite quantité d'autres corps a donc, comme on le voit, une impor-

tance générale<sup>1</sup>. Ce n'est cependant que l'énoncé d'observations empiriques dont les causes secrètes restent toujours cachées. Les combinaisons particulières ainsi formées et sur lesquelles nous reviendrons dans un prochain chapitre, échappent absolument aux lois fondamentales de la chimie.

Les applications diverses que j'ai faites de ce principe m'ont prouvé qu'il sera fécond et trouvera son application non seulement en chimie et en physiologie mais encore en thérapeutique.

Je base cette dernière assertion sur des études que j'ai entreprises, il y a plusieurs années, relativement aux propriétés tout à fait nouvelles que prend la caféine associée dans certaines conditions à de très faibles doses de théobromine (alcaloïde n'agissant sur l'organisme qu'à très haute dose quand il est isolé). D'après des expériences faites sur un grand nombre de sujets avec des appareils enregistreurs et dont plusieurs ont été répétées dans un des laboratoires de la Sorbonne par M. le professeur Charles Henry, la caféine théobromée serait le plus énergique des excitants musculaires connus. Des observations faites sur un certain nombre d'artistes et d'écrivains

1. L'intérêt de ces considérations n'a pas échappé à tous les chimistes. J'en trouve la preuve dans une note de M. Duboin, professeur de chimie à la Faculté des Sciences de Grenoble, publiée dans la *Revue scientifique* du 2 janvier 1904, et dont j'extrais le passage suivant :

« La lecture des derniers mémoires de Gustave Le Bon m'a conduit à une théorie nouvelle de la constitution des corps présentant plusieurs états allotropiques.

« Je crois que des trois variétés connues du phosphore : phosphore blanc, phosphore rouge, phosphore violet, une seule serait un corps simple, les deux autres étant des combinaisons de celle-là avec un élément à poids atomique extrêmement faible, analogue aux particules émanées des corps radio-actifs.

« Lorsque l'oxygène oxyde lentement le phosphore blanc, il lui enlèverait cet élément et se combinerait avec lui pour donner l'ozone, qui serait ainsi une combinaison d'oxygène et de cet élément inconnu.

« C'est là sans doute une hypothèse, mais si des expériences la confirmaient, ce serait une incursion dans ce domaine de la chimie sans balance, dont Gustave Le Bon a le premier fait entrevoir l'étendue. »

m'ont prouvé également sa puissance singulière sur l'activité intellectuelle.

Les expériences sur la variabilité des espèces chimiques composées n'ont pas évidemment la même importance que celles relatives à la variabilité des corps simples puisque la chimie savait depuis longtemps modifier par des réactions diverses les corps composés. Si je les ai relatées, c'est pour montrer que le principe de la méthode permettant de faire varier les propriétés des corps simples est applicable à beaucoup de corps composés et pour faire pressentir ses conséquences. Dans l'ancienne chimie minérale, les corps composés quelconques, le nitrate d'argent par exemple, étaient considérés comme des substances très définies formées par la combinaison de certains éléments en proportion rigoureusement constante. Il n'en est rien probablement. La loi des proportions définies n'est sans doute qu'une loi approchée comme la loi de Mariotte et ne doit son exactitude apparente qu'à l'insuffisance de nos moyens d'observation.

En ce qui concerne la variabilité des corps simples il faut faire remarquer cependant qu'une raison très sérieuse, déduite de nos recherches, s'opposera sans doute toujours à ce que l'atome puisse subir des transformations d'équilibre complètes. Nous avons fait voir qu'il est un colossal réservoir d'énergie. Il semble donc probable que pour le transformer entièrement il faudrait mettre en jeu des quantités d'énergie très supérieures à celles dont nous disposons.

Mais l'expérience prouve que, sans pouvoir définitivement détruire les équilibres atomiques, il nous est permis de les modifier. Nous savons aussi que, par des moyens très simples, nous pouvons provoquer la dissociation de la matière et par conséquent libérer une partie de son énergie. Si donc il nous est impossible d'ajouter assez d'énergie à l'atome pour le trans-

former, nous pouvons au moins espérer arriver à le dépouiller d'une partie de son énergie, c'est-à-dire lui faire descendre une série qu'il ne saurait remonter dans l'échelle de ses états successifs. L'atome, dépouillé d'une certaine quantité d'énergie, ne pourrait plus être ce qu'il était avant de l'avoir perdue. C'est alors qu'apparaîtrait sans doute une véritable transmutation.

En rapprochant les faits précédemment exposés nous arrivons à cette conclusion, que la matière à laquelle nos expériences avaient déjà ôté l'immortalité n'a pas davantage la fixité qu'on lui supposait. Il en résulte que toutes les idées encore régnantes sur l'invariabilité des espèces chimiques paraissent condamnées à disparaître.

Quand on voit combien sont profondes les transformations dites allotropiques, les transformations des corps dans les solutions électrolytiques, les transformations complètes de plusieurs métaux en présence de faibles quantités de certaines substances, la facilité avec laquelle les corps simples se dissocient et se réduisent aux mêmes éléments lorsqu'ils deviennent radio-actifs, on est nécessairement conduit à renoncer aux idées classiques et à formuler le principe suivant :

*Les espèces chimiques, pas plus que les espèces vivantes, ne sont invariables.*

## CHAPITRE VI

### Les équilibres chimiques des éléments matériels.

---

#### § 1. — LES ÉQUILIBRES CHIMIQUES DES SUBSTANCES MINÉRALES.

Les divers éléments peuvent en se combinant donner naissance à des corps de complexité croissante, depuis les minéraux qui constituent notre globe jusqu'aux composés formant les tissus des êtres vivants.

Depuis longtemps la chimie étudie ces combinaisons. On pourrait donc supposer que nous allons pénétrer maintenant dans un domaine très connu. On n'y séjourne pas longtemps sans reconnaître qu'il constitue au contraire un monde rempli de parties totalement ignorées.

Le règne minéral étant le seul qui fût accessible aux anciennes méthodes chimiques, c'est par lui naturellement que les études ont commencé. Elles étaient relativement faciles, et c'est pourquoi la chimie a semblé d'abord une science simple et précise.

Les substances minérales sont, en effet, formées généralement par les combinaisons d'un très petit nombre d'éléments : oxygène, hydrogène, soufre, etc. Ces combinaisons possèdent une composition constante et représentent des édifices moléculaires d'une struc-

ture peu complexe. C'est seulement quand on arrive aux composés élaborés dans les tissus des êtres vivants que les phénomènes deviennent difficiles à interpréter. Les édifices moléculaires possèdent alors une complication excessive et une instabilité très grande nécessitée par la rapide production d'énergie que demande l'entretien de la vie. L'édifice élémentaire du monde minéral, ne comprenant que quelques pierres, est devenu une ville. La structure des substances organisées arrive parfois à se compliquer tellement que le plus souvent elle nous échappe entièrement.

Mais si simples en apparence que paraissent les édifices minéraux, il s'en faut de beaucoup que nous discernions la nature des équilibres capables de leur donner naissance. Ce sont uniquement les effets produits par ces équilibres qui nous sont accessibles. Il nous est impossible de savoir en quoi un atome de soufre diffère d'un atome d'oxygène ou de tout autre atome, et impossible également de comprendre la cause des différences de propriété des composés formés par leurs combinaisons. Tout ce qu'il est possible de dire, c'est que la position relative des atomes semble déterminer les propriétés des corps, bien plus que les attributs supposés inhérents à ces atomes. Il n'y a guère de propriétés des éléments que l'on ne parvienne à transformer en modifiant la structure des édifices moléculaires dans lesquels ils sont engagés. Quelles sont les propriétés du rigide diamant qu'on retrouve dans l'acide carbonique gazeux résultant de la combinaison du diamant avec l'oxygène ? Quelles sont les propriétés du chlore suffocant, du sodium altérable, qu'on rencontre dans le sel marin formé par leur association ? Le cacodyle et l'arsenic sont des corps très toxiques, la potasse est un corps fort caustique ; tandis que le cacodylate de potasse, qui renferme 42 % d'arsenic, est un corps nullement caustique et tout à fait inoffensif.

Les propriétés des éléments sont donc susceptibles d'être entièrement transformées par les changements de position des atomes qui entrent dans leur structure. En chimie, comme en architecture, la forme de l'édifice a une importance beaucoup plus grande que celle des matériaux qui le constituent.

C'est principalement dans les corps isomères, c'est-à-dire possédant une composition centésimale identique, bien que manifestant des propriétés différentes que se montre l'importance de la structure des édifices moléculaires. Dans les corps isomères dits métamères, il y a non seulement même composition centésimale, mais souvent le même nombre d'atomes par molécule. L'identité est complète en apparence, mais les différences de propriétés montrent qu'elle ne saurait l'être.

Dans les corps dits polymères, la composition centésimale reste également identique, mais le poids moléculaire varie, soit par condensation, soit par dédoublement des molécules. Telle est du moins l'explication. Si nous pouvions créer des éléments polymères des métaux que nous connaissons, nous arriverions probablement à créer des corps nouveaux, tout comme en polymérisant l'acétylène, simplement en le chauffant, nous le transformons en benzine. Par le fait seul que trois molécules d'acétylène  $C^2H^2$  se sont unies à elles-mêmes, elles ont formé un corps entièrement différent: le tri-acétylène ou benzine  $3(C^2H^2) = C^6H^6$ .

Tant que la chimie n'eut qu'à manier les combinaisons très simples du monde minéral: l'eau, les acides, les sels minéraux, etc., dont la composition lui était bien connue, elle a réussi, en faisant varier méthodiquement leur composition, à transformer leurs propriétés et à créer des corps nouveaux à volonté.

Si on prend, par exemple, une combinaison peu

compliquée, le gaz des marais ou formène, composé de carbone et d'hydrogène ( $\text{CH}_4$ ), on peut, en remplaçant successivement un atome d'hydrogène par un atome de chlore, obtenir des produits très divers, tels que le formène monochloré ou chlorure de méthyle ( $\text{CH}_3\text{Cl}$ ), le formène bichloré ( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ), le formène trichloré ou chloroforme ( $\text{CHCl}_3$ ). Si on enlève à la combinaison son dernier atome d'hydrogène, elle devient le perchlorure de carbone ( $\text{CCl}_4$ ).

Toutes ces réactions, étant très simples, peuvent s'exprimer par des formules également très simples. Si la chimie en était restée à cette phase, elle aurait pu être considérée comme une science parfaitement constituée. L'étude des équilibres chimiques des substances organisées est venue montrer l'insuffisance des anciennes notions.

## § 2. — LES ÉQUILIBRES CHIMIQUES DES SUBSTANCES ORGANISÉES.

Dès que la chimie a dépassé les limites du monde minéral pour pénétrer dans l'étude du monde organisé, les phénomènes sont devenus de plus en plus compliqués. On constata facilement l'existence d'équilibres indépendants de la composition centésimale des corps, et que par conséquent les formules habituelles ne pouvaient traduire, à moins de donner la même formule à des corps très dissemblables. Il fallut donc renoncer aux anciennes méthodes et recourir à des figures géométriques pour représenter approximativement les structures qui se révélaient. On supposa d'abord — contre toute vraisemblance d'ailleurs — que les atomes se disposaient sur un plan suivant des lignes géométriques dont le type était l'hexagone. Puis, on finit par comprendre qu'ils étaient forcément disposés suivant les trois dimensions de l'espace et on arriva alors à les représenter par des figures solides



dont le type est le tétraèdre. Ainsi est née la stéréochimie qui, sans rien nous dire assurément de l'inaccessible architecture des atomes, a permis de synthétiser certains faits connus et d'en trouver d'autres.

Ces structures schématiques, sans aucune parenté avec la réalité, finirent cependant par se montrer elles-mêmes très insuffisantes. On fut alors conduit à supposer que les éléments des corps ne sont pas en équilibre statique, mais en équilibre dynamique. D'où, une nouvelle chimie en voie d'organisation que l'on pourrait nommer la *chimie cinématique*. Dans ses formules, les atomes sont représentés par de petits cercles, autour desquels on trace une flèche indiquant le sens supposé de leur rotation. L'idée que les atomes et leurs éléments composants sont en perpétuel mouvement dans les corps est bien conforme aux notions que nous avons exposées, mais traduire par des figures des mouvements aussi compliqués est évidemment au-dessus de nos ressources.

Ce qui ressort de plus net des conceptions actuelles, c'est que les composés chimiques apparaissent de plus en plus comme des équilibres mobiles, variables avec les conditions extérieures, telles que la température et la pression auxquelles ils sont soumis.

Les réactions indiquées par les équations chimiques ne doivent leur apparente rigueur qu'à ce que les conditions de milieu où elles se réalisent ne varient pas notablement. Quand elles se modifient beaucoup, les réactions changent aussitôt et les équations habituelles ne sont plus applicables. Ce qu'on appelle, en chimie, la loi des phases, est née de cette constatation. Une combinaison chimique quelconque doit être toujours considérée comme un état d'équilibre entre les forces extérieures qui entourent un corps et les forces intérieures que ce corps contient.

Tant que la chimie n'a eu qu'à étudier des composés minéraux ou organiques très simples, des lois élé-

mentaires ont pu suffire, mais une étude plus approfondie a montré qu'il existe des substances pour lesquelles aucune des lois connues de la chimie ne pouvait être appliquée. Or ces substances sont justement celles qui jouent le rôle prépondérant dans les phénomènes de la vie.

Un être vivant est constitué par un ensemble de composés chimiques provenant de la combinaison d'un petit nombre d'éléments associés de façon à composer des édifices moléculaires d'une mobilité très grande. Cette mobilité, nécessaire pour la production rapide d'une grande quantité d'énergie, est une des conditions mêmes de l'existence. La vie est liée à la construction et à la destruction incessante d'édifices moléculaires très compliqués et très instables. La mort est caractérisée, au contraire, par le retour à des édifices moléculaires peu compliqués d'une stabilité d'équilibre très grande.

Un grand nombre des composés chimiques, dont l'ensemble constitue un être vivant, possèdent une structure et des propriétés auxquelles aucune des lois de l'ancienne chimie ne sont applicables. On y trouve toute une série de corps : diastases, toxines, anti-toxines, alexines, etc., dont l'existence n'a été révélée le plus souvent que par des caractères physiologiques. Aucune formule ne peut traduire leur composition. Nulle théorie n'explique leurs propriétés. Ils tiennent sous leur dépendance la plupart des phénomènes de la vie et possèdent ce caractère mystérieux de produire des effets très grands sans changer de composition apparente et par leur simple présence. C'est ainsi que le protoplasma, c'est-à-dire la substance fondamentale des cellules, ne semble jamais changer, bien que, par sa présence, il détermine les réactions chimiques les plus compliquées, notamment celles qui ont pour résultat de transformer les corps contenant de l'énergie à bas potentiel

en d'autres corps dont le potentiel est élevé.

La plante sait fabriquer avec des composés peu compliqués, tels que l'eau et l'acide carbonique des édifices moléculaires oxydables très compliqués, chargés d'énergie. Avec l'énergie à faible tension qui l'entoure, elle fabrique donc de l'énergie à haute tension. Elle bande le ressort que d'autres êtres débanderont pour utiliser sa force.

Les édifices chimiques, que savent fabriquer d'humbles cellules, comprennent, non seulement les opérations les plus savantes de nos laboratoires : étherification, oxydation, réduction, polymérisation, etc., etc., mais beaucoup d'autres bien plus savantes encore, que nous ne saurions imiter. Par des moyens que nous ne soupçonnons pas, les cellules vitales savent construire ces composés compliqués et variés : albuminoïdes, cellulose, graisses, amidon, etc., nécessaires à l'entretien de la vie. Elles savent décomposer les corps les plus stables, comme le chlorure de sodium, extraire l'azote des sels ammoniacaux, le phosphore des phosphates, etc.

Toutes ces opérations si précises, si admirablement adaptées à un but, sont dirigées par des forces dont nous n'avons aucune idée, et qui se conduisent exactement comme si elles possédaient une clairvoyance très supérieure à la raison. Ce qu'elles accomplissent à chaque instant de notre existence est très au-dessus de ce que peut réaliser la science la plus avancée.

Un être vivant est un agrégat de vies cellulaires. Tant que nous ne pourrons pas comprendre les phénomènes qui se passent au sein d'une cellule isolée et que nous n'aurons pas découvert les forces qui les dirigent il sera bien inutile de bâtir des systèmes philosophiques pour expliquer la vie.

La chimie a réalisé au moins ce progrès de nous montrer que nous nous trouvions devant un monde de réactions totalement inconnues. Aux anciennes

certitudes d'une science trop jeune elle a fini par substituer les incertitudes dont est toujours chargée une science plus avancée. Il ne faut pas trop les montrer pourtant, car la longueur du chemin à parcourir paralyserait nos efforts. Heureusement, ceux qui débudent dans ces études ne voient pas combien elles sont peu avancées et très souvent leurs maîtres ne le voient pas davantage. Il ne manque pas de formules savantes pour cacher nos ignorances.

Quel rôle peut jouer l'énergie intra-atomique dans les réactions si inconnues encore qui se passent au sein des cellules ? C'est ce que nous allons rechercher maintenant.

## CHAPITRE VII

### La chimie intra-atomique et les équilibres ignorés de la matière

---

#### § 1. — LA CHIMIE INTRA-ATOMIQUE.

Nous venons de montrer sommairement l'existence de réactions chimiques révélant des équilibres de la matière complètement ignorés. Sans prétendre pouvoir déterminer la nature de ces équilibres ne serait-il pas déjà possible de pressentir un peu leurs origines? Il semble extrêmement probable qu'un grand nombre des réactions inexplicables dont nous avons parlé, au lieu d'atteindre seulement les édifices moléculaires, atteignent, également, les édifices atomiques et mettent en jeu les forces considérables dont nous avons prouvé l'existence dans leur sein. La chimie ordinaire sait déplacer les matériaux dont les composés sont formés, mais elle n'avait pas songé jusqu'ici à toucher à ces matériaux, qu'elle considérait comme indestructibles.

Quelle que soit l'interprétation que l'on veuille donner aux faits dont l'exposé va suivre, il est certain qu'ils prouvent l'existence d'équilibres de la matière qu'aucune des anciennes théories de la chimie ne pourrait expliquer.

On y voit des actions considérables produites par

des réactions si faibles, que nos balances ne les aperçoivent pas, des phénomènes qu'aucune des doctrines chimiques n'auraient pu prévoir et qui sont le plus souvent en contradiction avec elles. Nous sommes au seuil d'une science nouvelle où les réactifs usuels et la balance ne peuvent être d'aucun secours, puisqu'il s'agit de réactions dont les effets sont énormes, bien qu'il n'y ait que des quantités infiniment petites de matière mises en jeu.

Les phénomènes fondamentaux révélant la dissociation des atomes, ayant été étudiés ailleurs, il serait inutile d'y revenir à présent. Les faits que nous allons énumérer prouvent, suivant nous, que cette dissociation joue un rôle important dans beaucoup de phénomènes inexplicables jusqu'ici.

Ces faits ne sauraient être classés d'une façon méthodique, puisqu'il s'agit d'une science qui n'est pas encore née. Nous nous bornerons donc à les décrire dans une suite de paragraphes, sans essayer de les présenter avec un ordre que leur caractère fragmentaire ne comporte pas.

## § 2. — LES MÉTAUX COLLOÏDAUX.

Un des meilleurs types des substances, échappant aux lois ordinaires de la chimie, est représenté par les métaux colloïdaux. Un des moyens employés pour les préparer suffirait à indiquer à lui seul, à défaut de leurs propriétés toutes spéciales, que l'atome doit y être partiellement dissocié.

Nous avons vu que des pôles métalliques d'une machine statique en mouvement sortent des électrons et des ions, résultant de la dissociation de la matière. Au lieu d'une machine statique, prenons, uniquement pour la commodité de l'expérience, une bobine d'induction et terminons ses pôles par des tiges formées

du métal à dissocier, de l'or ou du platine, par exemple, que nous plongerons dans de l'eau distillée. En faisant ensuite éclater des étincelles entre les deux tiges, suivant la méthode décrite par Bredig, on voit se former un nuage autour des électrodes. Au bout d'un certain temps, le liquide se colore et contient, en plus de particules métalliques arrachées des électrodes et faciles à séparer par filtration, quelque chose d'inconnu provenant de la dissociation du métal. C'est à cette chose inconnue qu'on donne le nom de métal colloïdal<sup>1</sup>. Si on prolonge l'opération, le métal colloïdal ne se forme plus, comme si le liquide était saturé.

Les propriétés des métaux à l'état colloïdal sont absolument différentes de celles des corps dont ils émanent. A la dose prodigieusement faible de 1/300<sup>e</sup> de milligramme par litre, le métal colloïdal exerce déjà les actions très énergiques que nous indiquerons plus loin.

Le liquide où se trouve le métal colloïdal est coloré, mais il est impossible d'en rien séparer par filtration, ni d'y apercevoir au microscope aucune particule en suspension, ce qui montre que ces particules, si elles existent, sont inférieures aux longueurs d'onde de la lumière.

La théorie des ions étant applicable à la plupart des phénomènes, on l'a naturellement appliquée aux colloïdes. Une solution colloïdale est considérée aujourd'hui comme contenant des granules porteurs de charges électriques, les unes positives, les autres négatives.

Quoiqu'il en soit de cette théorie un peu simpliste, il est évident qu'un métal colloïdal n'a gardé aucune

---

1. Il existe des méthodes chimiques pour préparer les métaux, l'argent notamment, à l'état dit colloïdal, mais il n'est pas du tout démontré qu'ils soient identiques aux corps obtenus avec l'étincelle électrique, suivant la méthode que je viens d'indiquer.

des propriétés du même métal à l'état ordinaire. Ses atomes ont probablement subi un commencement de dissociation et c'est justement pour cette raison qu'ils ne possèdent plus aucune de leurs anciennes propriétés. Du platine ou de l'or colloïdal ne sont plus certainement ni de l'or, ni du platine, bien que fabriqués avec ces métaux.

Les propriétés des métaux colloïdaux sont, en effet, sans aucune analogie avec celles d'un sel du même métal en solution. Par certaines de leurs actions, ils se rapprochent beaucoup plus des composés organiques, les oxydases notamment, que des sels minéraux. Ils présentent les plus grandes analogies avec les toxines et les ferments, d'où le nom de ferments inorganiques qu'on leur donne quelquefois. Le platine colloïdal décompose l'eau oxygénée comme le font certains ferments du sang; il transforme l'alcool par oxydation en acide acétique comme le fait le *mycoderma aceti*. L'iridium colloïdal décompose le formiate de chaux en carbonate de chaux, acide carbonique et hydrogène à l'instar de certaines bactéries. Chose plus curieuse encore, les corps qui, de même que l'acide prussique, l'iode, etc., empoisonnent les ferments organiques, paralysent ou détruisent de la même façon l'action des métaux colloïdaux.

Les propriétés si spéciales et si énergiques de ces métaux devaient conduire à étudier leur action sur l'organisme. Elle est très intense. C'est à leur présence dans diverses eaux minérales que M. le professeur Garrigou attribue plusieurs propriétés de ces eaux, celle d'enrayer des phénomènes d'intoxication par exemple. M. Robin a employé les métaux colloïdaux en injectant à des malades 5 à 10 centimètres cubes d'une solution contenant 10 milligrammes de métal par litre contre diverses affections : fièvre typhoïde et pneumonie notamment. Le résultat a été l'accroissement considérable des échanges organiques



et de l'oxydation des produits d'élimination révélée par une surproduction d'urée et d'acide urique. Ces solutions étant malheureusement très rapidement altérables, leur utilisation pratique est fort difficile.

Il n'y a, on le voit, aucune parenté ni rapprochée ni lointaine entre les métaux colloïdaux et les corps d'où ils dérivent. Aucune réaction chimique ne saurait expliquer les propriétés qu'ils possèdent. Leur mode de préparation autorise à supposer qu'ils contiennent, comme je l'ai dit plus haut, des éléments de matière dissociée. Je n'ai constaté cependant chez eux aucun phénomène de radio-activité mais on comprend que si ces phénomènes se produisent pendant la dissociation de la matière, il n'y a aucune raison pour qu'ils apparaissent quand la matière est déjà dissociée.

En dehors des métaux, beaucoup de substances peuvent exister à l'état dit colloïdal et on tend aujourd'hui à faire jouer à cette forme inconnue des équilibres matériels un rôle prépondérant en physiologie. Le protoplasma, par exemple, ne serait qu'un mélange de substances colloïdales, ce qui, d'ailleurs, ne nous éclaire nullement sur ses merveilleuses propriétés.

### § 3. — LES DIASTASES, LES ENZYMES, LES TOXINES ET LES ACTIONS DE PRÉSENCE.

Des métaux colloïdaux obtenus par la dissociation de divers corps simples, il faut rapprocher les composés classés sous le nom de diastases, toxines, enzymes, etc., dont les réactions sont très voisines de celles des métaux colloïdaux. Leur constitution chimique est profondément ignorée. Ils agissent presque exclusivement par leur présence et sont parfois d'une toxicité extrême à des doses presque impondérables. Suivant Armand Gautier 2 gouttes

de toxine tétanique contenant 99 % d'eau et 1 % seulement de corps actif, — ce qui représente à peine 1 milligramme, — suffisent à tuer un cheval <sup>1</sup>. Un gramme de ce corps suffirait, dit-il, à tuer 75.000 hommes. De pareilles énergies font songer à celles que peuvent manifester de très faibles dissociations atomiques.

A l'époque où l'on croyait que les bactéries constituaient l'agent actif des intoxications, il était possible d'expliquer par leur multiplication rapide l'intensité des effets observés, mais on sait maintenant que les toxines restent aussi actives après avoir été séparées par filtration des bactéries. La substance vivante dite levure de bière transforme la glucose en alcool et acide carbonique, mais, après avoir tué cette levure en la chauffant à une certaine température, on peut en extraire un corps dépourvu de toute organisation appelé zymase aussi apte à produire la fermentation que la levure vivante elle-même. Les phénomènes attribués il y a quelques années à des micro-organismes sont donc dus à des substances chimiques non vivantes fabriquées par eux.

Le rôle des divers corps dont je viens de parler est, je l'ai fait remarquer déjà, tout à fait prépondérant dans les phénomènes de la vie. La chimie s'est montrée complètement impuissante à expliquer leur structure aussi bien que leur action. Le plus souvent ce sont seulement des réactions physiologiques qui révèlent leur existence et permettent de les isoler. Tout ce qu'on sait d'eux, c'est qu'ils perdent leurs propriétés si on les dépouille des quantités infini-

---

1. Des traces insignifiantes de diverses substances suffisent à paralyser l'action des diastases. Ce sont des poisons qui ont leurs poisons. Elles résistent à certains réactifs énergiques et sont influencées par des traces de corps qui semblent bien inoffensifs. Des produits aussi violents que l'acide prussique, le sublimé et le nitrate d'argent, sont sans action sur le venin de cobra, alors que des traces d'un sel alcalin l'empêchent d'agir.

ment petites de matières minérales qu'ils contiennent sous une forme qu'on suppose voisine de l'état colloïdal.

La plupart des corps précédents : métaux colloïdaux, diastases, ferments, etc., possèdent la propriété, très inexplicquée encore, de n'agir — du moins en apparence — que par leur présence. Ils n'apparaissent pas dans les produits des réactions qu'ils provoquent.

Ces actions de présence dites aussi catalytiques ont été observées en chimie depuis fort longtemps ; on savait, par exemple, que l'oxygène et l'acide sulfureux sans action l'un sur l'autre s'unissent pour former de l'acide sulfurique en présence du noir de platine, sans que ce dernier intervienne dans la réaction ; que le nitrate d'ammonium habituellement inaltérable donne un dégagement continu d'azote en présence du même noir de platine. Ce dernier corps ne se combine pas avec l'oxygène mais il peut en absorber 800 fois son volume. On suppose — mais ce n'est évidemment qu'une hypothèse — qu'il agit généralement en empruntant l'oxygène à l'air pour le porter sur les substances avec lesquelles il est en contact.

Parmi les corps dont on pourrait dire à la rigueur qu'ils n'agissent que par leur présence, se trouve la vapeur d'eau, qui, à dose extrêmement petite, joue un grand rôle dans diverses réactions. De l'acétylène parfaitement desséché est sans action sur l'hydrure de potassium, mais, en présence d'une trace d'humidité, les deux corps réagissent l'un sur l'autre, avec une telle violence que le mélange devient incandescent.

L'acide carbonique bien desséché est également sans action sur le même hydrure de potassium ; en présence d'une quantité presque impondérable de vapeur d'eau il produit un formiate. De même pour beaucoup d'autres corps, le gaz ammoniac et le gaz chlorhydrique, par exemple, qui se combinent habituellement en donnant

d'épaisses fumées blanches, mais ne se combinent plus dès qu'ils ont été soigneusement desséchés. On se rappelle que j'ai constaté qu'en ajoutant à des sels de quinine desséchés des traces de vapeurs d'eau, ils deviennent phosphorescents et radio-actifs.

Bien que les actions catalytiques soient anciennement connues, c'est depuis quelques années seulement qu'on a constaté qu'elles jouaient un rôle prépondérant dans la chimie des êtres vivants. On admet maintenant que les diastases et les ferments divers dont le rôle est si capital, n'agissent que par leur présence.

En examinant de près le rôle des corps agissant par leur simple présence, on constate qu'ils se comportent comme si de l'énergie était transportée du corps catalyseur au corps catalysé. Ce fait ne peut guère s'expliquer, croyons-nous, que si le corps catalyseur subit un commencement de dissociation atomique. Nous savons que, en raison de l'énorme vitesse dont sont animées les particules de la matière pendant sa dissociation, des quantités considérables d'énergie peuvent être produites par la dissociation d'une quantité de matière tellement impondérable qu'elle échappe à toute pesée. *Les corps catalyseurs seraient donc simplement des libérateurs d'énergie.*

S'il en est réellement ainsi nous devons constater que le corps catalyseur finit à la longue par subir une certaine altération. Or c'est justement ce qui se vérifie par l'observation. Le noir de platine et les métaux colloïdaux finissent par s'user, c'est-à-dire qu'à force de servir ils perdent une grande partie de leur action catalysante.

#### § 4. — LES ÉQUILIBRES CHIMIQUES OSCILLANTS

Toutes les réactions précédemment indiquées sont, nous le répétons, inexplicables avec les idées actuelles. Elles sont même contraires aux lois les plus impor-

tantes de la chimie, telles que celle des proportions définies et celle des proportions multiples. Nous voyons, en effet, des corps se transformer sous l'influence de doses impondérables de certaines substances, d'autres provoquer des réactions intenses par leur simple présence, etc.

L'étude de l'ancienne chimie laissait dans l'esprit la notion de produits très stables, de composition bien définie et constante, ne pouvant être modifiés que par des moyens violents, tels que des températures élevées. Plus tard est née la notion de composés moins fixes, capables d'éprouver toute une série de modifications en rapport avec les variations de milieu, température et pression, qu'ils subissent. Dans ces dernières années on a vu se dessiner de plus en plus, cette notion qu'un corps quelconque représente simplement un état d'équilibre entre les éléments intérieurs dont il est formé et les éléments extérieurs qui agissent sur lui. Si cette relation n'apparaît pas nettement pour certains corps, c'est qu'ils sont constitués de façon à ce que leurs équilibres se maintiennent sans changements apparents dans des limites de variation de milieu assez grandes. L'eau, peut rester liquide pour des variations de température comprises entre 0° et 100° et la plupart des métaux ne paraissent pas changer d'état pour des écarts plus considérables encore.

Il est nécessaire maintenant d'aller plus loin et d'admettre qu'en dehors des seuls facteurs envisagés par la chimie jusqu'ici : masse, pression et température, il en est d'autres où interviendraient les éléments résultant de la dissociation des atomes. Ces éléments seraient capables par leur influence de donner aux corps des équilibres d'une mobilité telle que ces équilibres pourraient se détruire ou se régénérer dans un temps très court sous des influences extérieures très légères.

Cette succession de changements s'accompagnerait de la libération d'une certaine quantité de l'énergie intra-atomique que la matière contient. Les actions de présence dont l'importance est si grande dans les phénomènes de la vie trouveraient peut-être une explication au moyen de cette théorie.

Ce sont nos études sur la phosphorescence qui nous ont conduit à cette hypothèse. On se rappelle que les corps purs, sulfures divers, phosphates de chaux, etc., ne sont jamais phosphorescents et ne le deviennent que chauffés au rouge pendant un temps assez long avec des traces de divers corps : bismuth, manganèse, etc. Nous avons montré, d'autre part, que cette élévation de température provoque toujours une dissociation de la matière. Il est donc permis d'admettre que les éléments provenant de cette dissociation ont une part d'action dans les composés inconnus alors formés, qui donnent aux corps l'aptitude à la phosphorescence.

Les combinaisons ainsi obtenues ont justement le caractère, signalé plus haut, d'être d'une mobilité extrême, c'est-à-dire de pouvoir se détruire et se régénérer très rapidement. Un rayon de lumière bleue tombant sur un écran de sulfure de zinc, l'illumine en un dixième de seconde, et un rayon de lumière rouge tombant sur le même écran détruit la phosphorescence dans le même temps, c'est-à-dire ramène l'écran à son état primitif. Ces deux opérations contraires impliquant nécessairement deux réactions inverses, peuvent être indéfiniment répétées.

Quoiqu'il en soit, les faits énumérés dans ce chapitre, nous montrent que la chimie est au seuil de phénomènes entièrement nouveaux, caractérisés très probablement par des réactions intra-atomiques accompagnées d'une libération d'énergie. En raison de la quantité énorme d'énergie intra-atomique que la matière contient, des pertes de substances trop petites

pour être appréciées par nos balances peuvent s'accompagner d'un dégagement d'énergie très grand.

En essayant de faire intervenir le phénomène de la dissociation des atomes dans des réactions chimiques inexplicables, je n'ai fait évidemment qu'une hypothèse dont la justification n'est pas suffisante encore. Elle a, du moins, l'avantage d'expliquer des faits restés jusqu'ici sans interprétation. Il est certain qu'un phénomène aussi capital et aussi fréquent que celui de la dissociation de la matière doit jouer un rôle dominant dans diverses réactions. La chimie intra-atomique est une science dont nous entrevoyons seulement l'aurore. Dans cette science nouvelle le vieux matériel des chimistes, leurs balances et leurs réactifs, resteront probablement sans emploi.

## CHAPITRE VIII

### Naissance, Évolution et Fin de la Matière.

---

#### § 1. — GENÈSE ET ÉVOLUTION DES ATOMES.

Il y a quarante ans à peine, il eût été impossible d'écrire sur le sujet que nous abordons maintenant une seule ligne déduite d'une observation scientifique et on pouvait penser que d'épaisses ténèbres envelopperaient toujours l'histoire de l'origine et du développement des atomes. Comment d'ailleurs supposer qu'ils pouvaient évoluer? N'était-il pas universellement admis qu'ils étaient indestructibles? Tout changeait dans le monde et tout était éphémère. Les êtres se succédaient en revêtant des formes toujours nouvelles, les astres finissaient par s'éteindre, l'atome seul ne subissait pas l'action du temps et semblait éternel. La doctrine de son immuabilité régnait depuis deux mille ans et rien ne permettait de supposer qu'elle pût un jour être ébranlée.

Nous avons exposé les expériences qui ont fini par ruiner cette antique croyance. Nous savons maintenant que la matière s'évanouit lentement et, par conséquent, n'est pas destinée à durer toujours.

Mais si les atomes sont condamnés eux aussi à une existence relativement éphémère, il est naturel de supposer qu'ils ne furent pas autrefois ce qu'ils sont



aujourd'hui et qu'ils ont dû évoluer pendant la suite des âges. Par quelles phases successives ont-ils passé? Quelles formes graduelles ont-ils revêtues? Qu'étaient autrefois les diverses matières qui nous entourent : la pierre, le plomb, le fer, tous les corps en un mot?

L'astronomie seule pouvait répondre un peu à de telles questions. Sachant pénétrer par l'analyse spectrale dans la structure des astres d'âges divers qui illuminent nos nuits, elle a pu révéler les transformations que subit la matière quand elle vient à vieillir.

On sait que l'analyse spectrale prouve qu'un corps incandescent a un spectre d'autant plus étendu vers l'ultra-violet que sa température est plus élevée. Ce spectre a d'ailleurs un maximum d'éclat qui se déplace également vers l'ultra-violet quand la température de la source lumineuse augmente et vers le rouge quand elle diminue. On sait, d'autre part, que les raies spectrales d'un même métal varient avec sa température. Watteville a montré que si on introduit un métal, du potassium par exemple dans une flamme, son spectre change suivant que le métal se trouve dans des régions plus ou moins chaudes de cette flamme.

Le spectroscope nous donne donc les moyens de savoir de quels éléments se composent les astres et comment ils varient avec la température. C'est ainsi qu'on a pu suivre leur évolution.

Les nébuleuses, qui ne présentent que les spectres de gaz permanents, comme l'hydrogène, ou de produits dérivés du carbone, constitueraient, suivant plusieurs astronomes, la première phase d'évolution des corps célestes. En se condensant, elles formeraient de nouveaux stades de la matière qui aboutiraient à la formation des étoiles. Ces dernières représentent des périodes d'évolution très diverses.

Les étoiles les plus blanches, qui sont aussi les plus chaudes, comme le prouve la prolongation de leur spectre dans l'ultra-violet, ne se composent que d'un très petit nombre d'éléments chimiques. Sirius et  $\alpha$  de la Lyre, par exemple, paraissent contenir presque exclusivement de l'hydrogène incandescent. Dans les étoiles rouges et jaunes, astres moins chauds qui commencent à se refroidir, et sont par conséquent plus âgés, on voit successivement apparaître les autres éléments chimiques. D'abord, le magnésium, le calcium, le silicium, etc. Certains corps ne s'observant que dans les étoiles les plus refroidies, on doit en conclure que c'est avec l'abaissement de la température que les éléments des atomes ont subi de nouvelles phases d'évolution dont le résultat fut la formation de la plupart des corps simples.

Il est probable que les éléments solides que nous observons, l'or, l'argent, le platine, etc., sont des corps ayant perdu des quantités différentes de leur énergie intra-atomique et par conséquent vieilli. Les corps simples à l'état gazeux : azote, hydrogène, oxygène, sont les moins nombreux sur notre globe. Pour passer à l'état solide, ce qu'ils ne peuvent faire qu'à une température extrêmement basse, ils doivent perdre d'abord une très grande quantité d'énergie.

Il paraît fort douteux que la chaleur soit la seule cause de l'évolution sidérale des atomes. D'autres forces ont dû probablement agir. Nous savons par exemple que les variations de pression peuvent, comme l'a montré Deslandres, faire varier considérablement les raies du spectre ; « aux pressions croissantes on voit surgir de nouvelles séries qui existaient seulement en germe aux pressions plus basses ».

En résumé, l'observation des astres nous montre l'évolution des atomes, et la formation des divers corps simples sous l'influence de cette évolution

Nous ignorons la nature et le mode d'action des forces capables de condenser une partie de l'éther qui remplit l'univers en atomes d'un gaz quelconque tel que l'hydrogène ou l'hélium, puis de transformer ce gaz en substances comme le sodium, le plomb ou l'or, mais les changements observés dans les astres sont la preuve que des forces capables de produire de telles transformations existent, qu'elles ont agi dans le passé et continuent à agir encore.

Dans le système du monde développé par Laplace, le soleil et les planètes auraient d'abord été une grande nébuleuse au centre de laquelle s'est formé un noyau animé d'un mouvement de rotation et duquel se détachèrent successivement des anneaux qui formèrent plus tard la terre et les autres planètes. D'abord gazeuses, ces masses se sont progressivement refroidies et l'espace que remplissait primitivement la nébuleuse n'a plus été occupé que par un petit nombre de globes tournant sur eux-mêmes et autour du soleil. Il est permis de supposer que les atomes ne se sont pas formés autrement. Nous avons vu que chacun d'eux peut être considéré comme un petit système solaire comprenant une ou plusieurs parties centrales, autour de laquelle tournent, avec une immense vitesse, des milliers de particules. C'est de la réunion de ces petits systèmes solaires en miniature que la matière se compose.

Notre nébuleuse, comme toutes celles qui brillent encore dans la nuit, provenait forcément de quelque chose. Dans l'état actuel de la science, on ne voit que l'éther qui ait pu constituer ce point de départ cosmique et c'est pourquoi toutes les investigations ramènent toujours à le considérer comme l'élément fondamental de l'Univers. Les mondes y naissent et ils vont y mourir

Nous ne pouvons pas dire comment s'est constitué l'atome et pourquoi il finit par lentement s'évanouir;

mais au moins nous savons qu'une évolution analogue se poursuit sans trêve, puisque nous pouvons observer des mondes à toutes les phases d'évolution depuis la nébuleuse jusqu'à l'astre refroidi, en passant par les soleils encore incandescents comme le nôtre. Les transformations du monde inorganique apparaissent maintenant aussi certaines que celles des êtres organisés. L'atome et par conséquent la matière n'échappent pas à cette loi souveraine qui fait naître, grandir et périr les êtres qui nous entourent et les astres innombrables dont est peuplé le firmament.

## § 2. — LA FIN DE LA MATIÈRE.

Nous avons essayé dans cet ouvrage de déterminer la nature des produits de la dématérialisation de la matière et de montrer qu'ils constituent des substances intermédiaires par leurs propriétés entre la matière et l'éther.

Le terme ultime de la dématérialisation de la matière semble être l'éther au sein duquel elle est plongée. Comment y revient-elle? Quelles formes d'équilibre prend-elle pour y retourner?

Nous sommes évidemment ici sur l'extrême limite des choses que l'intelligence peut connaître, et fatalement nous devons faire des hypothèses. Elles ne seront pas vaines s'il est possible de leur donner quelques faits précis et des analogies pour soutiens.

En étudiant l'origine de l'électricité nous avons vu qu'elle pouvait être envisagée comme une des formes les plus générales de la dématérialisation de la matière. Nous avons reconnu également que les produits ultimes de la dissociation des corps radio-

actifs étaient formés d'atomes électriques. Ces derniers représenteraient donc une des dernières phases d'existence des substances matérielles.

Quel est le sort de l'atome électrique après la dissociation de la matière. Est-il éternel alors que la matière ne l'est pas? S'il possède une individualité, combien de temps la conserve-t-il? Et s'il ne la conserve pas que devient-il?

Que les atomes électriques soient destinés à ne pas avoir de fin, cela est bien peu probable. Ils sont sur la limite extrême des choses. Si l'existence de ces éléments avait persisté depuis leur formation sous l'influence des causes diverses qui produisent la lente dissociation de la matière, ils auraient fini par s'accumuler au point de pouvoir former un nouvel univers ou tout au moins une sorte de nébuleuse. Il est donc vraisemblable qu'ils finissent par perdre leur existence individuelle. Mais alors comment peuvent-ils disparaître? Devons-nous supposer que leur destinée est celle de ces blocs de glace flottant dans les régions polaires et gardant une existence individuelle tant que la seule cause de destruction qui puisse les anéantir — une élévation de température — ne les atteint pas? Dès que cette cause de destruction agit sur eux, ils s'évanouissent dans l'océan et disparaissent. Tel est, sans doute, le sort final de l'atome électrique. Quand il a rayonné toute son énergie il s'évanouit dans l'éther et n'est plus rien.

L'expérience permet de donner quelque appui à cette hypothèse. Nous avons montré à propos des éléments de matière dissociée émis par les machines de nos laboratoires, que les atomes électriques s'accompagnent toujours dans leurs mouvements, de vibrations de l'éther. De telles vibrations ont reçu les noms d'ondes hertziennes, de chaleur rayonnante, de lumière visible, de lumière ultra-violette invisible, etc., suivant les effets qu'elles produisent sur nos sens ou

sur nos instruments, mais nous savons que leur nature est la même. Elles sont comparables aux vagues de l'océan qui ne diffèrent que par leur grandeur.

Ces vibrations de l'éther, accompagnant toujours les atomes électriques, représentent très vraisemblablement la forme sous laquelle ils s'évanouissent en rayonnant leur énergie.

La particule électrique d'une individualité propre, d'une grandeur définie et constante, constituerait donc l'avant-dernière étape de la disparition de la matière. La dernière serait représentée par les vibrations de l'éther, vibrations qui ne possèdent pas plus d'individualité durable que les vagues formées dans l'eau quand on y jette une pierre et qui bientôt s'évanouissent.

Comment les atomes électriques provenant de la dématérialisation de la matière peuvent-ils perdre leur individualité et se transformer en vibrations de l'éther ?

Toutes les recherches modernes conduisent à considérer ces particules comme constituées par des tourbillons, analogues à des gyroscopes, formés au sein de l'éther et en relation avec lui par leurs lignes de force.

La question se réduit dès lors à celle-ci : comment un tourbillon formé dans un fluide peut-il disparaître dans ce fluide en y produisant des vibrations ?

Ramenée à cette forme, la solution du problème ne présente pas de sérieuses difficultés. On voit facilement, en effet, comment un tourbillon engendré aux dépens d'un liquide peut, lorsque son équilibre est troublé, s'évanouir en rayonnant l'énergie qu'il contient sous forme de vibrations du milieu où il est plongé. C'est de cette façon, par exemple, qu'une trombe marine formée d'un tourbillon liquide perd son individualité et disparaît dans l'océan.

Il en est sans doute de même des vibrations de l'éther. Elles représentent le dernier terme de la dématérialisation de la matière, celui qui précède sa

disparition finale. Après ces vibrations éphémères, l'éther revient au repos et la matière a définitivement disparu. Elle est retournée à l'éther primitif d'où des centaines de millions de siècles et des forces inconnues pourraient seules la faire de nouveau surgir comme elle a surgi déjà aux âges lointains où s'esquissèrent dans le chaos les premiers linéaments de notre univers. Le commencement des choses ne fut sans doute qu'un recommencement. Rien ne permet de supposer qu'elles aient commencé ni qu'elles puissent finir.

Si les vues exposées dans cet ouvrage sont exactes, la matière a successivement passé par des stades d'existence fort différents.

Le premier nous reporte à l'origine même des mondes et échappe à toutes les données de l'expérience. C'est la période du chaos des vieilles légendes. Ce qui devait former l'univers n'était alors constitué que par des nuages informes d'éther.

En s'orientant et en se condensant sous l'influence de forces inconnues agissant pendant des entassements d'âges, l'éther a fini par s'organiser sous forme d'atomes. C'est de l'agrégation de ces derniers que se compose la matière telle qu'elle existe dans notre globe ou telle que nous pouvons l'observer dans les astres à diverses phases d'évolution.

Pendant cette période de concentration progressive les atomes ont emmagasiné la provision d'énergie qu'ils devaient dépenser sous des formes diverses : chaleur, électricité, etc., dans la suite des temps.

En perdant lentement ensuite l'énergie, d'abord accumulée par eux, ils ont subi des évolutions diverses et revêtu par conséquent des aspects variés. Quand ils ont rayonné toute leur énergie sous forme de vibrations lumineuses, calorifiques ou autres, ils retournent par le fait même des rayonnements consécutifs à leur dissociation, à l'éther primitif d'où ils dérivent. Ce dernier

représenté donc le nirvana final auquel reviennent toutes choses après une existence plus ou moins éphémère.

L'évolution des mondes comprendrait donc en dernière analyse deux phases très différentes, l'une de condensation de l'énergie dans l'atome, l'autre de dépense de cette énergie.

Ces aperçus sommaires sur les origines de notre univers et sur sa fin ne constituent évidemment que de faibles lueurs projetées dans les ténèbres profondes qui enveloppent notre passé et voilent notre avenir. Ce sont de bien insuffisantes explications, sans doute, mais la science ne peut en proposer d'autres. Elle n'entrevoit pas encore le moment où elle pourra découvrir la véritable raison première des choses, ni même atteindre les causes réelles d'un seul phénomène. Il lui faut donc laisser aux religions et aux philosophies le soin d'imaginer des systèmes capables de satisfaire notre besoin de connaître. Tous ces systèmes représentent la synthèse de nos ignorances et de nos espérances, et ne sont par conséquent que des illusions pures; mais ces créations de nos rêves furent toujours plus séduisantes que les réalités et c'est pourquoi l'homme n'a pas cessé de les choisir pour guides.

### § 3. — CONCLUSIONS.

Les expériences analysées dans cet ouvrage nous ont permis de suivre l'atome depuis sa naissance jusqu'à son déclin. Nous avons vu que la matière, jadis considérée comme indestructible, s'évanouit lentement par la dissociation des éléments qui la composent. Cette matière, envisagée autrefois comme inerte et ne pouvant que restituer l'énergie qui lui avait été communiquée, s'est au contraire montrée à nous comme un immense réservoir de forces. De ces forces dérivent la plupart des modes d'énergie connus, les attractions moléculaires, la chaleur solaire et l'électricité notamment.



Nous avons montré que la matière peut se dissocier sous l'influence de causes très multiples et que les produits de ses dématérialisations successives constituaient des substances intermédiaires [par leurs propriétés entre la matière et l'éther. Il en est résulté que l'antique dualité entre le monde du pondérable et celui de l'inpondérable, jadis si séparés, devait disparaître.

L'étude des phases successives d'existence de la matière nous a conduit à cette conclusion que le terme final de son évolution était le retour à l'éther.

En essayant ainsi d'entrevoir les origines de la matière, son évolution et sa fin, nous sommes progressivement arrivés aux dernières limites de ces demi-certitudes que la science peut atteindre et au delà desquelles il n'y a plus que les ténèbres de l'inconnu.

Notre travail est donc terminé. Il représente la synthèse de laborieuses investigations poursuivies pendant de longues années. Parti de l'observation attentive des effets produits par la lumière sur un fragment de métal, nous avons été successivement conduit par l'enchaînement des phénomènes à explorer des régions très diverses de la physique et ébaucher une synthèse de l'univers.

Sans doute l'expérience a toujours été notre principal guide, mais pour interpréter les résultats obtenus et en découvrir d'autres, il a fallu édifier plus d'une hypothèse. Dès qu'on pénètre dans les régions obscures de la science, il est impossible de procéder autrement. Si on se refuse à choisir l'hypothèse pour guide, il faut se résigner à prendre le hasard pour maître. « Le rôle de l'hypothèse, dit Poincaré, est tel que le mathématicien ne saurait s'en passer et que l'expérimentateur ne s'en passe pas davantage. » Faire des hypothèses, les vérifier par des expériences, puis tâcher de relier, à l'aide de généralisations, les faits constatés, représente les stades

nécessaires de l'édification de toutes nos connaissances.

Ce n'est pas autrement que les grands édifices scientifiques ont été construits. Si imposants qu'ils soient déjà, ils contiennent encore un grand nombre de théories invérifiées, et ce sont souvent les moins vérifiables qui jouent le plus grand rôle dans la direction des recherches de chaque époque.

On dit avec raison que la science est fille de l'expérience, mais il est bien rare que l'expérience n'ait pas l'hypothèse pour guide. Celle-ci est la baguette magique qui fait sortir le connu de l'inconnu, le réel de l'irréel, et donne un corps aux plus ondoyantes chimères. Des âges héroïques aux temps modernes, l'hypothèse fut toujours un des grands ressorts de l'activité des hommes. C'est avec des hypothèses religieuses que les plus imposantes civilisations ont été fondées, c'est avec des hypothèses scientifiques que les plus grandes découvertes modernes ont été accomplies. La science moderne n'en accepte pas moins que n'en acceptaient nos pères. Leur rôle est, en réalité, beaucoup plus grand aujourd'hui qu'il ne le fut jamais, et aucune science ne pourrait progresser sans elles.

Les hypothèses servent surtout à fonder ces dogmes souverains qui jouent dans la science un rôle aussi prépondérant que dans les religions et les philosophies. Le savant, autant que l'ignorant, a besoin de croyances pour orienter ses recherches et diriger ses pensées. Il ne peut rien créer si une foi ne l'anime pas, mais il ne doit pas s'immobiliser trop longtemps dans sa foi. Les dogmes deviennent dangereux dès qu'ils commencent à vieillir.

Il importe peu que les hypothèses et les croyances qu'elles enfantent soient insuffisantes ; il suffit qu'elles soient fécondes, et elles le sont dès qu'elles provoquent des recherches. D'hypothèses rigoureu-

sement vérifiables, il n'en existe pas. De lois physiques absolument sûres, il n'en existe pas davantage. Les plus importants des principes sur lesquels des sciences entières reposent ne sont que des vérités approchées à peu près vraies dans certaines limites, mais qui, en dehors de ces limites, perdent toute exactitude.

La science vit de faits, mais ce sont toujours les grandes généralisations qui les font naître. Une théorie fondamentale ne peut être modifiée sans que l'orientation des recherches scientifiques change aussitôt. Par le fait seul que les idées sur la constitution et l'invariabilité des atomes sont en voie de se transformer, les doctrines qui servaient de base à des parties fondamentales de la physique, de la chimie et de la mécanique devront changer et la direction des recherches changera également. Cette orientation nouvelle des investigations amènera nécessairement une éclosion de faits nouveaux et imprévus.

Personne ne pouvait songer à étudier le monde des atomes à l'époque, si récente encore, où on les croyait formés d'éléments très simples, irréductibles, inaccessibles et indestructibles. Aujourd'hui nous savons que la science a quelque prise sur ces éléments et que chacun d'eux est un petit univers d'une structure extraordinairement compliquée, siège de forces jadis ignorées et dont la grandeur dépasse immensément toutes celles connues jusqu'ici. Ce que la chimie et la mécanique croyaient le mieux connaître était en réalité ce qu'elles connaissaient le moins.

C'est dans ces univers atomiques, dont la nature fut méconnue pendant si longtemps, qu'il faudra chercher l'explication de la plupart des mystères qui nous entourent. L'atome, qui n'est pas éternel comme l'assuraient d'antiques croyances, est bien autrement puissant que s'il était indestructible et par conséquent

incapable de changement. Ce n'est plus quelque chose d'inerte, jouet aveugle de toutes les forces de l'univers. Ces forces sont au contraire créées par lui. Il est l'âme même des choses. Il détient les énergies qui sont le ressort du monde et des êtres qui l'animent. Malgré sa petitesse infinie, l'atome contient peut-être tous les secrets de l'infinie grandeur.

**FIN DE LA PREMIÈRE PARTIE**

---

## DEUXIEME PARTIE

### RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

---

#### CHAPITRE PREMIER

##### Méthodes générales d'observations permettant de constater la dissociation de la matière.

---

Toutes les théories exposées dans les pages qui précèdent reposent sur une longue série d'expériences. Une doctrine scientifique ou philosophique n'ayant pas l'expérience pour base, est dépourvue d'intérêt et ne constitue qu'une dissertation littéraire sans portée.

Je ne puis donner dans les pages qui vont suivre qu'un bref résumé des expériences que j'ai publiées pendant près de dix ans. Les mémoires où elles ont été exposées ayant occupé 400 colonnes environ de la *Revue scientifique*, je ne pouvais songer à les reproduire ici. Il en est comme celles sur la phosphorescence, les ondes hertziennes, l'infra-rouge, etc., que j'ai dû laisser entièrement de côté.

Dans tout ce qui va suivre, j'ai tenu surtout à donner des expériences très simples et, par conséquent, faciles à répéter. Je

ne reviendrai pas naturellement sur celles indiquées déjà dans le corps de l'ouvrage toutes les fois qu'elles pouvaient être exposés sans qu'il fut nécessaire d'entrer dans trop de détails techniques. -

Plusieurs des appareils et des méthodes exposés dans les pages qui vont suivre n'ont plus qu'un intérêt historique. Les uns et les autres ont été considérablement perfectionnés par les physiciens qui se sont engagés dans la voie que j'avais tracée. Il est toujours utile cependant de connaître les appareils employés au début de nouvelles recherches et c'est pourquoi j'ai décrit sans y rien changer les instruments et les méthodes qui m'ont servi.

J'ai déjà expliqué, dans un chapitre de cet ouvrage, les principes des méthodes employées pour étudier la dissociation de la matière, c'est-à-dire sa dématérialisation. Avant de les écrire en détail, je rappellerai ce que j'ai déjà dit en quelques lignes.

Les moyens employés pour observer la dissociation d'un corps, qu'il s'agisse du radium ou d'un métal quelconque, sont identiques. Le phénomène caractéristique à étudier est toujours l'émission de particules animées d'une immense vitesse, déviables par un champ magnétique, et capables de rendre l'air conducteur de l'électricité : c'est uniquement ce dernier caractère qui a été utilisé pour isoler le radium et les divers corps radio-actifs.

Il existe d'autres caractères accessoires, tels que les impressions photographiques, la 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 de telles radiations.

La possibilité de dévier ces particules, par un champ magnétique, constitue après l'aptitude à rendre l'air conducteur de l'électricité, le phénomène le plus important. Il a permis d'établir, d'une façon indiscutable, l'identité entre les particules émises par les corps radio-actifs et les rayons cathodiques de l'ampoule de Crookes. C'est le degré de déviation de ces particules par un champ magnétique qui a rendu possible la mesure de leur vitesse.

La mesure de la déviation magnétique des particules radio-actives exigeant des appareils très délicats et fort coûteux, il est impossible de la faire figurer parmi les expériences d'une répétition facile. Ne voulant donner ici que de telles expériences, j'aurai surtout recours à la propriété fondamentale des particules de matière dissociée de rendre l'air conducteur de l'électricité.

Moyen de constater que l'air a été rendu conducteur de l'électricité. — Le procédé classique employé pour prouver qu'un corps émet des particules

d'atomes dissociés, capables de rendre l'air conducteur de l'électricité, est fort simple. Il n'exige, en effet, d'autre instrument qu'un électroscope gradué. La substance X, supposée capable de se dissocier, est placée sur un plateau quelconque A (fig. 36).

Au-dessus, on dispose une plaque métallique B en relation avec un électroscope chargé C. Si des particules conductrices

— ions ou électrons — sont émises par le corps X, l'air devient conducteur entre les deux plaques et l'électroscope se décharge. La vitesse de chute des feuilles est proportionnelle à l'intensité de l'émission des particules provenant de la dissociation.

On obtient absolument les mêmes résultats en plaçant les corps à étudier dans une cuve métallique, placée directement sur l'électroscope. C'est le moyen auquel j'ai eu habituellement recours.

Il ne faudrait pas croire que l'électroscope constitue un procédé sommaire d'examen incapable de donner des mesures précises. Rutherford, qui l'a longuement étudié, montre au contraire, que c'est un instrument fort précis, très supérieur, pour la plupart des expériences, à l'électromètre à quadrants et beaucoup plus sensible, quand il est bien construit, ce qui est d'ailleurs fort rare, que le meilleur des galvanomètres. La capacité  $c$  d'un système à feuille d'or de 4 centimètres de longueur est, suivant lui, d'environ 1 unité électro-statique. Si on appelle  $v$  la chute du potentiel des feuilles en  $t$  secondes, l'intensité du courant  $i$  à travers le gaz est donné, par la

formule  $i = \frac{c v}{t}$ . On peut ainsi mesurer un courant de  $2 \times 10^{-15}$  ampères, ce que ne permettrait aucun galvanomètre.

Pour les expériences ordinaires, une grande sensibilité est absolument inutile, et, le plus souvent, on peut se borner à se servir d'un électroscope à plateau, au-dessus duquel ou sur lequel on dispose, suivant les cas, le corps à expérimenter. Il est seulement nécessaire, que le diélectrique, à travers lequel passe la tige supportant les feuilles d'or, soit un isolant parfait et soit très peu volumineux.

Ces conditions essentielles ne sont pas réalisées malheureusement dans les électroscopes du commerce. Il n'y a d'ailleurs que ceux dont l'isolant est fait avec du soufre pur ou de l'ambre qui soient vrai-

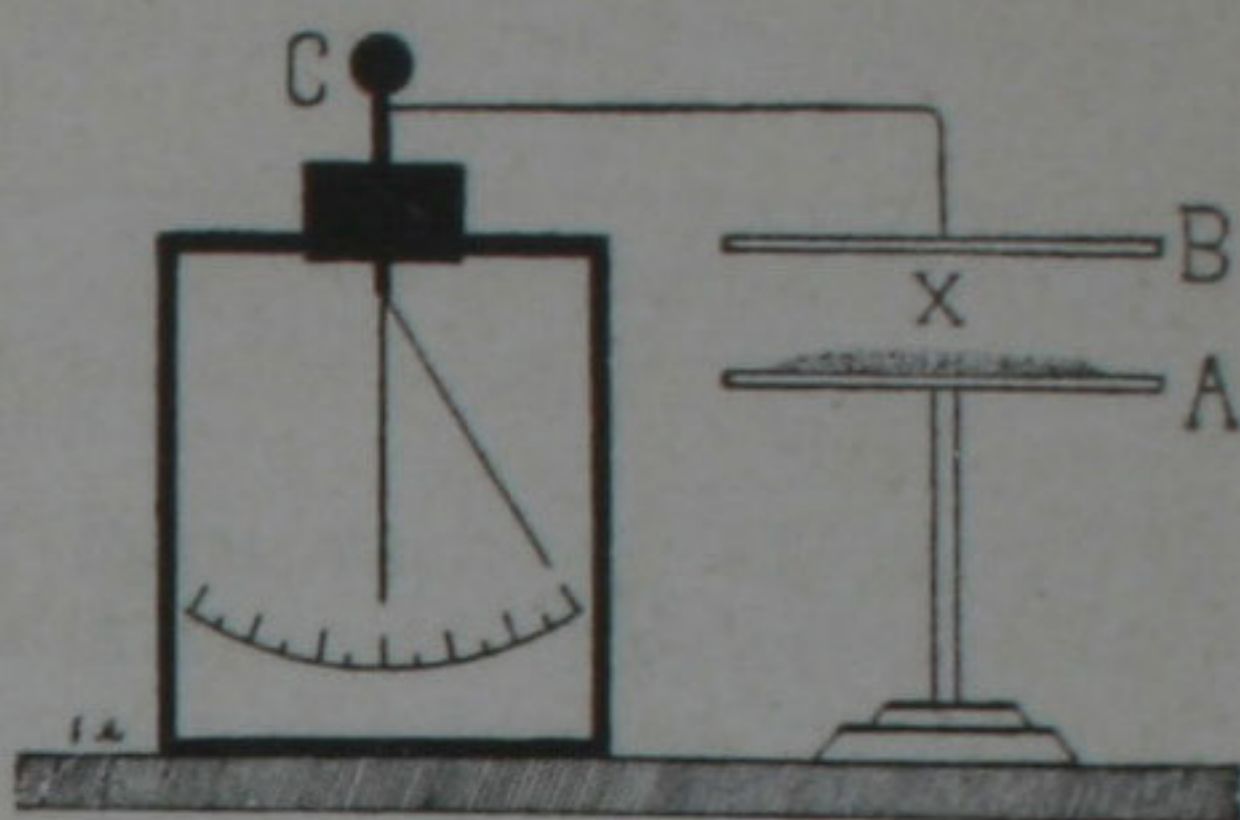


FIG. 36.

*Méthode classique employée pour constater la radio-activité des corps.*

ment utilisables, et les constructeurs n'en livrent pas. Il faut donc les construire soi-même. Les supports formés de paraffine, ou d'un mélange de soufre et de paraffine, ne restent pas isolants pendant longtemps, et l'instrument perd sa charge. Si on se résigne à en

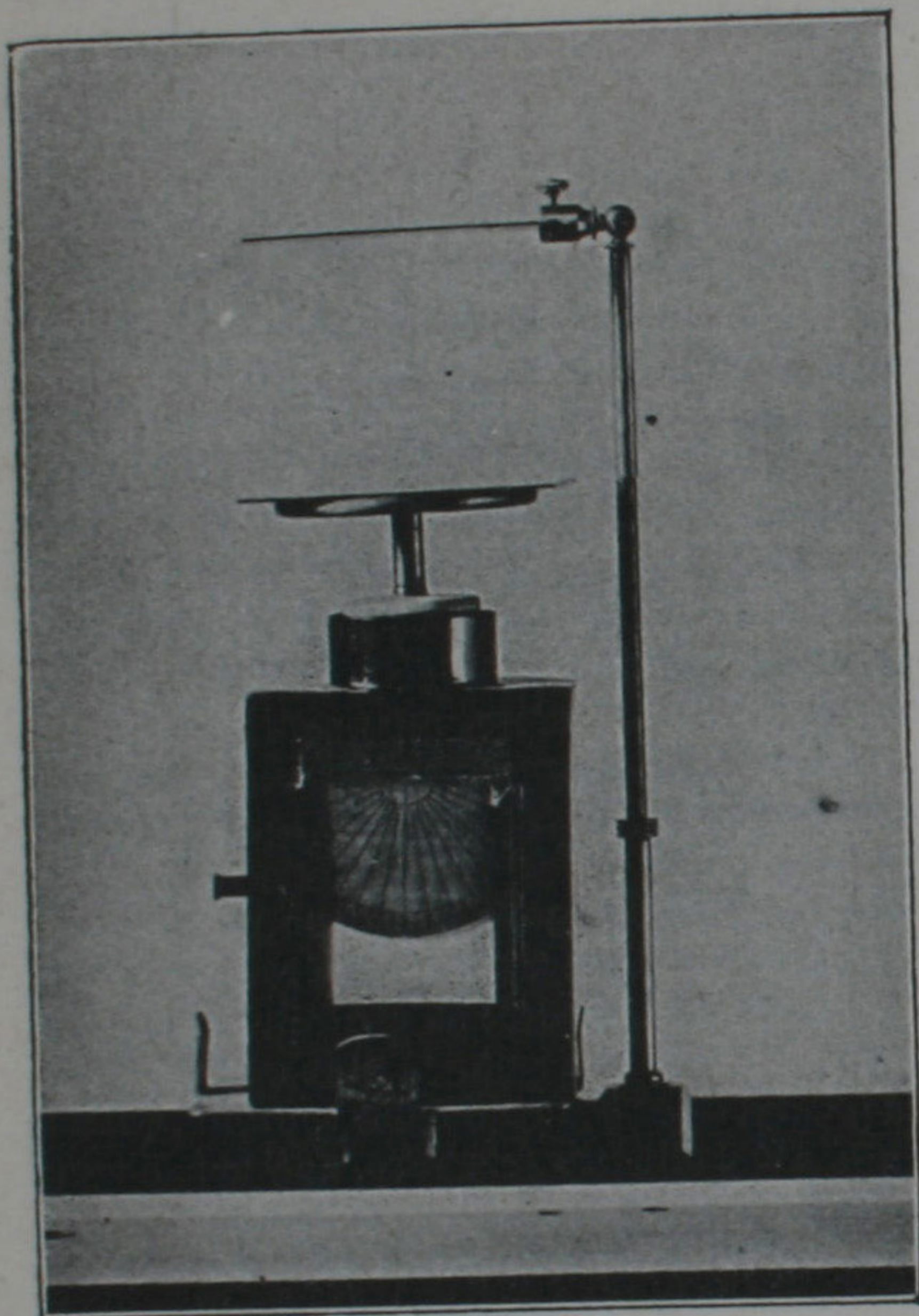


FIG. 37.

*Appareil destiné à réduire la rapidité de la déperdition électrique produite par les corps radio-actifs.*

— La matière radio-active est mise dans une cuve de métal placée sur le plateau de l'électroscope et on fait varier la vitesse de la décharge au moyen d'une lame métallique disposée à des distances plus ou moins grandes de ce plateau.

faire usage, il faut nettoyer, au moins une fois par jour, l'isolant avec une feuille de papier à l'émeri, opération d'autant plus nécessaire que la surface du diélectrique finit à la longue par se charger d'électricité. Un électroscope n'est utilisable, pour ce genre de recherches, que quand il ne donne pas une perte supérieure à  $1^\circ$  angulaire, en une heure, lorsqu'il est recouvert de son chapeau.

Au lieu des deux feuilles d'or classiques, il est préférable de ne faire usage que d'une feuille d'or avec lame centrale rigide, en cuivre oxydé. L'écart angulaire de la feuille d'or est alors très sensiblement proportionnel à la grandeur du potentiel. Avec les élec-

troscopes dont je fais usage, un écart de  $90^\circ$  de la feuille d'or correspond à une charge de 1,300 volts, soit environ 14 volts par degré angulaire. Par des artifices divers, qu'il serait sans intérêt d'exposer ici et qui se réduisent d'ailleurs à diminuer considérablement les dimensions de la feuille d'or, de la lame centrale et du diélectrique, on peut construire des électroscopes dont la sensi-



bilité est telle que 1 degré représente 1/10 de volt. Leur construction est très facile et dans quelques cas il est nécessaire d'y avoir recours. On trouve ces instruments chez les constructeurs de Cambridge. J'en possède un dans lequel la feuille d'or n'a que 1 millimètre de largeur et 2 centimètres de longueur. Il est d'ailleurs d'un maniement très incommode et je ne signale son existence que pour conseiller d'éviter son emploi. Bien que l'électroscope soit un instrument très simple on peut dire qu'il n'en existe encore aucun modèle pratique pour les expériences délicates.

Pour lire la chute des feuilles d'or, le procédé classique du microscope à micromètre est peu commode, surtout quand il s'agit de chutes rapides, comme celle produite par la lumière. Il est très préférable de fixer, contre un des verres fermant la cage de l'instrument, un rapporteur en corne, divisé en degrés, derrière lequel on met une feuille de papier à calquer. Pour lire les divisions, on place une petite lampe à quelques mètres de l'instrument dans un endroit obscur. La feuille d'or se projette par sa tranche sur le papier dépoli, et on peut lire ainsi le quart de degré.

Pour réduire la sensibilité parfois gênante de l'électroscope dans les expériences avec des corps très radio-actifs, il n'y a qu'à placer une lame métallique à des distances variables du plateau (fig. 37). Elle agit non seulement par sa capacité, mais encore en réduisant la quantité d'air sur laquelle agissent les ions. Une matière radio-active qui produisait par exemple 18° de décharge par minute, n'en donnait plus que 12 si la lame était à 5 centimètres du plateau et 8 si on la rapprochait à 2 centimètres.

Pour certaines expériences on est obligé de faire usage d'un instrument que j'ai imaginé, et désigné sous le nom d'électroscope condensateur différentiel. En voici la description.

**Électroscope condensateur différentiel.** — Ayant constaté par diverses expériences que les effluves provenant de la matière dissociée contournent les obstacles, j'ai été conduit à imaginer un instrument où ce contournement fût impossible. C'est son emploi qui m'a révélé que tous les corps contiennent, comme les substances radio-actives, une « émanation » qui se reforme constamment. Pour les corps ordinaires elle ne se dissipe rapidement que sous l'influence de la chaleur et met plusieurs jours à se reformer comme on le verra dans la suite de ces recherches. Je me bornerai maintenant à donner la description de l'instrument.

A (fig. 38) représente la boule d'un électroscope monté sur une tige métallique à la partie inférieure de laquelle sont fixées des feuilles d'or. Cette tige est supportée par un cylindre isolant de soufre D. Sur ce cylindre est posé un cylindre d'aluminium B fermé à sa partie supérieure. Un second cylindre C, également en aluminium, recouvre le premier. Il forme cage de Faraday, et on ne le met en place que quand l'électroscope a été chargé. Cette cage est la seule partie du système qui ne doit pas être isolée, et on évite qu'elle le soit en

la reliant à la terre par une chaîne F. Elle est d'ailleurs posée sur la partie métallique de l'électroscope, condition qui empêcherait à elle seule son isolement électrique.

Il est nécessaire de fabriquer soi-même ces cylindres d'aluminium, ce qui est très facile. On se procure de l'aluminium mince en feuilles dans le commerce. Après l'avoir découpé à la hauteur et à la largeur

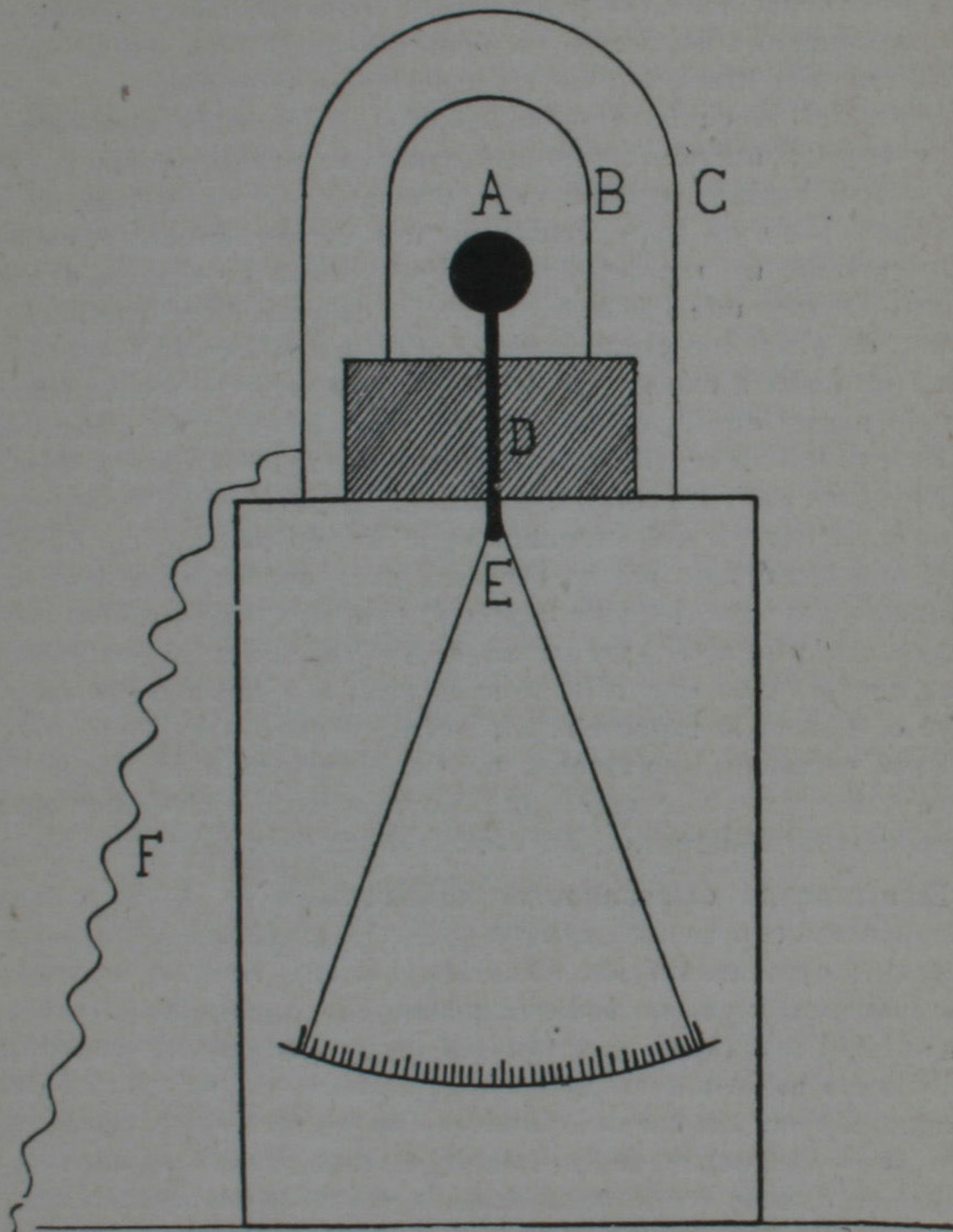


FIG. 38.

*Électroscope condensateur différentiel de l'auteur*

nécessaire, on l'enroule sur un mandrin et on maintient ses parties latérales en les enduisant de colle forte et fixant sur toute la longueur du cylindre une bande de papier. La partie supérieure du cylindre est fermée avec une mince lame d'étain qu'on replie et qu'on colle autour.

Le cylindre C constitue, comme on le voit, une cage de Faraday, c'est-

à-dire un écran complètement à l'abri de toutes les influences électriques extérieures. Les feuilles étant chargées et le grand cylindre C posé, il est impossible de décharger l'électroscope, alors même qu'on ferait tomber en C une pluie d'étincelles comme nous l'avons constaté.

Pour charger l'instrument on opère de la façon suivante :

Le cylindre extérieur C étant retiré et le petit cylindre B entourant le bouton laissé en place, on charge l'instrument par influence en approchant un bâton de verre frotté et touchant le cylindre B avec le doigt. On voit aisément que dans ces conditions le cylindre B est chargé négativement, la boule A positivement et les feuilles d'or négativement. On met alors en place le cylindre extérieur C, qu'on relie par une chaîne à la terre, excès de précaution qui n'est nullement indispensable, et on expose le système aux influences qu'on veut faire agir sur lui. Si le cylindre C est traversé ou émet quelque chose, les feuilles d'or se rapprochent plus ou moins rapidement.

On peut obtenir, au contraire, que l'électroscope se charge sous les mêmes influences. On opère alors de la façon suivante :

L'instrument étant chargé comme précédemment, on entr'ouvre la boîte de l'électroscope, et avec une pointe de métal on touche la tige E à laquelle sont fixées les feuilles d'or. Elles retombent aussitôt. Lorsque ensuite on expose l'instrument à une influence radioactive, la lumière solaire, par exemple, les feuilles s'écartent lentement de plusieurs degrés.

Le mécanisme de cette charge est facile à comprendre. Supposons, pour l'expliquer, que l'instrument ait été chargé avec un bâton d'ébonite frotté.

Ce n'est pas naturellement la lumière qui produit l'électricité capable de charger l'instrument. Son action est indirecte. En touchant les feuilles d'or, on les a dépouillées de leur charge positive et c'est pourquoi elles sont retombées, mais on n'a pu annuler la charge négative de la boule, retenue par l'électricité positive du petit cylindre. Lorsque ce petit cylindre commence à se décharger, sous l'influence des effluves qui traversent le grand cylindre ou qu'il émet, il ne pourra plus maintenir la même quantité d'électricité négative sur la boule. Une partie de l'électricité de cette dernière s'écoulera alors dans les feuilles qui, se trouvant chargées d'électricité de même nom, divergeront.

Plus le petit cylindre se déchargera, plus les feuilles d'or s'écarteront. La boule et le cylindre forment, en quelque sorte, les deux plateaux d'une balance fort sensible. L'écartement des feuilles d'or traduit les plus faibles différences de poids de ces deux plateaux. C'est en raison de cette analogie que j'ai donné à l'instrument le nom d'*électroscope condensateur différentiel*.

Tels sont d'une façon générale les instruments fondamentaux utilisés dans nos recherches. Nous en emploierons plusieurs autres mais ils seront décrits dans les chapitres consacrés aux diverses expériences où ils l'ont déjà été dans le corps de cet ouvrage.

## CHAPITRE II

### Méthodes d'observation employées pour étudier la dissociation des corps par la lumière.

---

Les corps à étudier sont disposés en lames inclinées à  $45^\circ$  au-dessus du plateau d'un électroscope (fig. 39 et 45) chargé d'électricité positive et sans aucune relation directe avec lui. Lorsque les corps en expérience sont frappés par la lumière solaire, ils émettent des effluves qui déchargent l'électroscope à la condition que ce dernier ait reçu une charge *positive*. Ces effluves sont presque sans action si la charge de l'électroscope est négative.

Pour les expériences de démonstration, on peut se borner à l'emploi d'une simple lame d'aluminium ou de zinc, d'abord frottée avec du papier à l'émeri, tenue par un moyen quelconque au-dessus d'un électroscope à plateau chargé *positivement*.

Pour les expériences de mesure j'ai eu recours au dispositif représenté fig. 39, mais il faut éviter autant que possible l'emploi de l'héliostat et envoyer directement la lumière sur le métal à expérimenter. Avec un héliostat, la décharge est réduite notablement par suite de l'absorption de l'ultra-violet par la surface du miroir. Le verre en effet ne réfléchit guère que 5 % de l'ultra-violet. Quant aux métaux, leur pouvoir réflecteur très grand dans l'infra-rouge diminue considérablement avec la longueur d'onde. L'argent poli, par exemple, réfléchit à peine 10 à 15 % des radiations ultra-violettes incidentes de l'extrémité du spectre solaire. Au commencement de l'ultra-violet ( $0\mu,400$ ) il réfléchit au contraire près de 80 % des radiations.

L'électroscope peut être chargé avec une pile sèche ou par influence avec un bâton d'ébonite frotté. On a soin que les feuilles d'or soient toujours portées au même potentiel et par conséquent écartées du même nombre de degrés de la verticale (20 degrés dans nos expériences). La tranche des feuilles est projetée sur une lame en verre dépoli divisée en degrés qu'on voit sur nos figures. On éclaire l'instrument

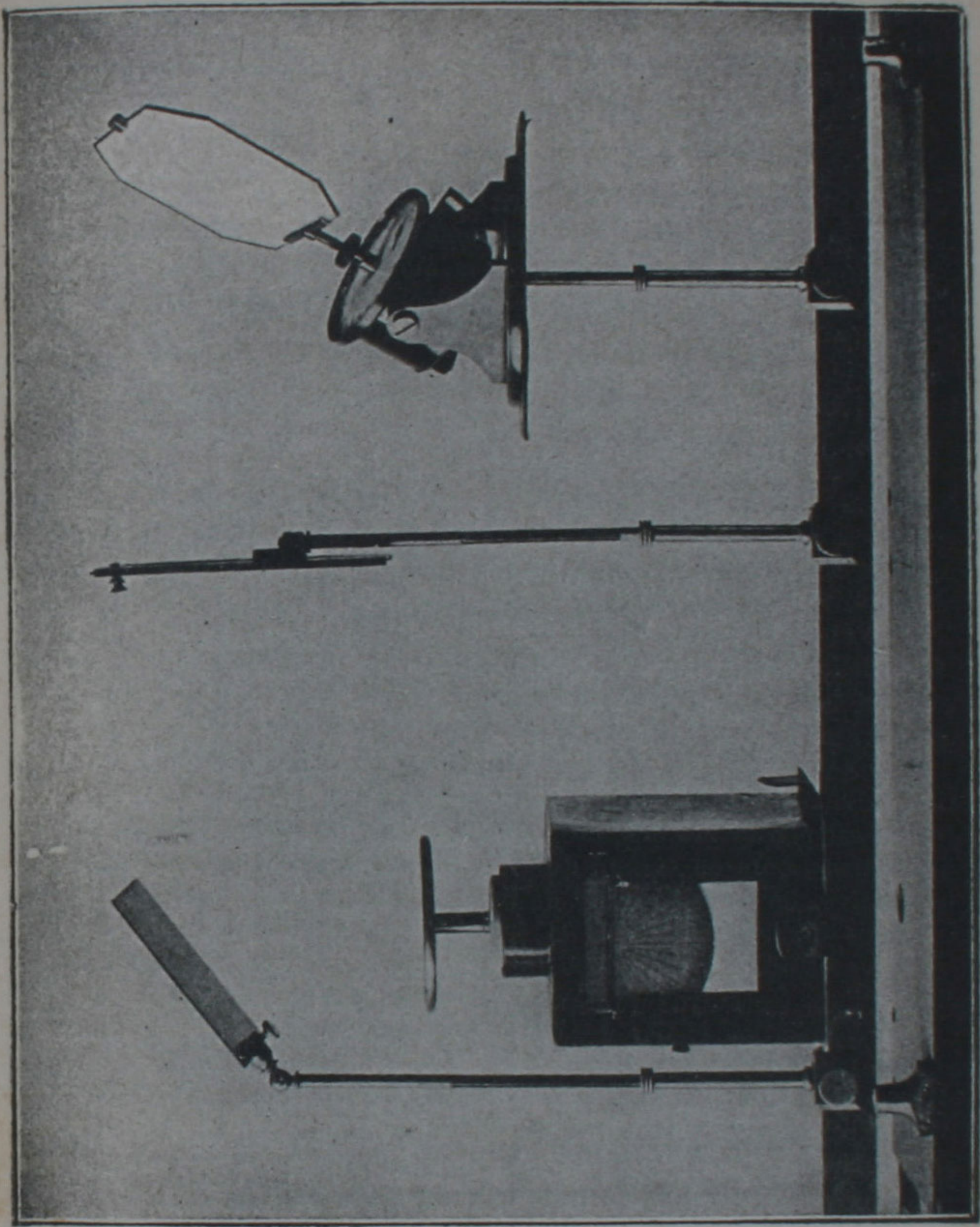


FIG. 39. — Appareil employé pour démontrer la dissociation de la matière sous l'action de la lumière solaire. — A gauche est une lame de métal placée au-dessus d'un électroscope chargé positivement et sans relation avec lui. Au milieu de la figure est un support sur lequel se placent les écrans destinés à éliminer diverses parties du spectre. A droite est un héliostat envoyant le soleil sur la lame de métal. Il faut éviter autant que possible l'emploi de ce dernier, à cause de la grande absorption de l'ultra-violet par la surface du miroir.

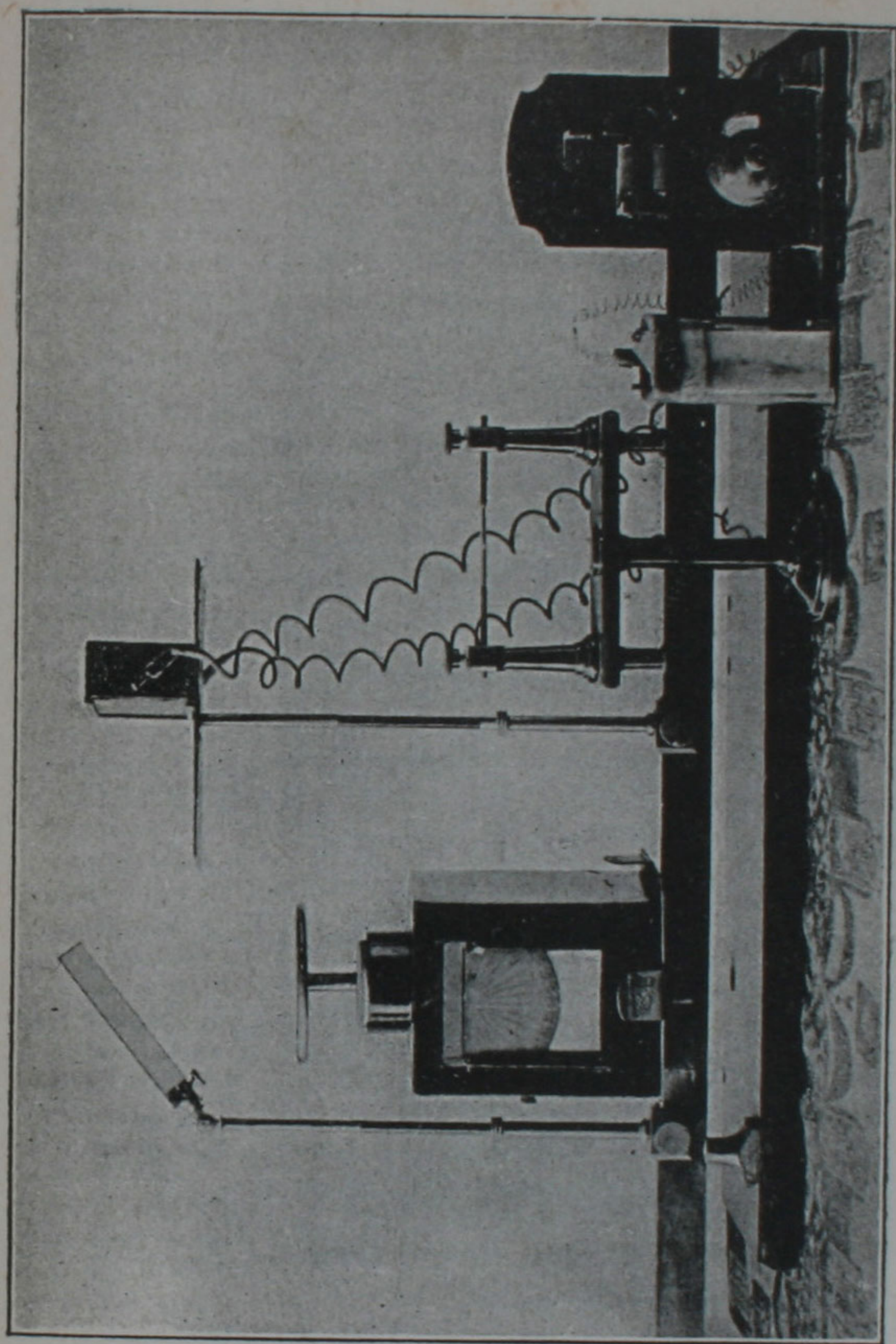
avec une lampe placée à 4 ou 5 mètres dans un endroit obscur au fond de la pièce où se font les expériences.

Les sources lumineuses employées ont été : 1° le soleil pour les radiations dont le spectre s'étend jusqu'à  $0\mu,295$ ; 2° pour les radiations allant plus loin dans l'ultra-violet et que le spectre solaire ne contient pas, on a pris, comme source de lumière, les étincelles d'un condensateur éclatant entre des tiges d'aluminium placées dans une boîte fermée par une lame de quartz recouverte d'une gaze métallique encadrée elle-même par une feuille de métal reliée à la terre de façon à se mettre à l'abri de toute influence électrique (fig. 40).

Dans le but de rendre les expériences comparables les corps sur lesquels doit agir la lumière sont tous taillés en lames carrées de  $0^m,10$  de côté placées à 15 centimètres de l'électroscope. Le bouton de ce dernier est remplacé par un large plateau de cuivre condition indispensable pour obtenir une décharge rapide. Le cuivre est un métal très peu sensible à la lumière solaire mais très sensible à la lumière électrique. Il n'est donc pas nécessaire — bien que nous l'ayons fait — de soustraire ce plateau à l'action de la lumière quand on opère au soleil. Il est au contraire indispensable de le soustraire à l'action de la source lumineuse quand on emploie la lumière électrique. On y arrive par le dispositif très simple indiqué par la figure 40.

Pour séparer les diverses régions du spectre et déterminer l'action de chacune d'elles, on a interposé entre la lumière et le corps frappé par elle divers écrans (cuve de quartz contenant une solution transparente de sulfate de quinine, verre épais de 3 millimètres, verre de  $0^{mm},1$ , mica de  $0^{mm},01$ , sel gemme, quartz, etc.). On avait déterminé d'abord la transparence de ces écrans, pour les diverses radiations, en les plaçant devant un spectrographe et recherchant au moyen des raies spectrales photographiées la longueur d'onde des radiations que chaque corps transparent laisse passer. Les spectres représentés (fig. 41 et 42) montrent les résultats de quelques-unes de ces photographies. Les verres de couleur, sauf le rouge et le vert, n'ont pu être utilisés, car ils retiennent en réalité fort peu de chose et ne sont que des réducteurs d'intensité.

A propos de l'absorption, je ferai remarquer que les corps absorbants semblent pouvoir être divisés en deux classes, les absorbants spécifiques et les absorbants d'intensité. Les premiers arrêtent net le spectre dans une région déterminée, toujours la même quelle que soit la pose. Les seconds, tout en étant des absorbants spécifiques pour certaines régions, n'agissent dans une limite assez étendue qu'en réduisant l'intensité; l'absorption dépendra donc de la durée de la pose. Des solutions de bichromate de potasse ou de sulfate de quinine sont des absorbants spécifiques. Ils ne laissent passer qu'une région déterminée du spectre, et cette région ne se



**FIG. 40.** — Appareil employé pour démontrer la dissociation de la matière sous l'influence de la lumière ultra-violette produite par des étincelles électriques. — On n'a pas représenté la bobine d'induction, les bouteilles de Leyde et la toile métallique qui protège la boîte où éclatent les étincelles. On voit sur la figure l'appareil destiné à révéler au moyen d'un tube à limailles de Branly et d'une sonnerie, l'existence d'ondes hertziennes qui troublent parfois les expériences comme il est expliqué dans le texte.

prolonge pas quelle que soit la pose. Le verre incolore exerce bien une absorption spécifique pour certaines régions, mais dans une

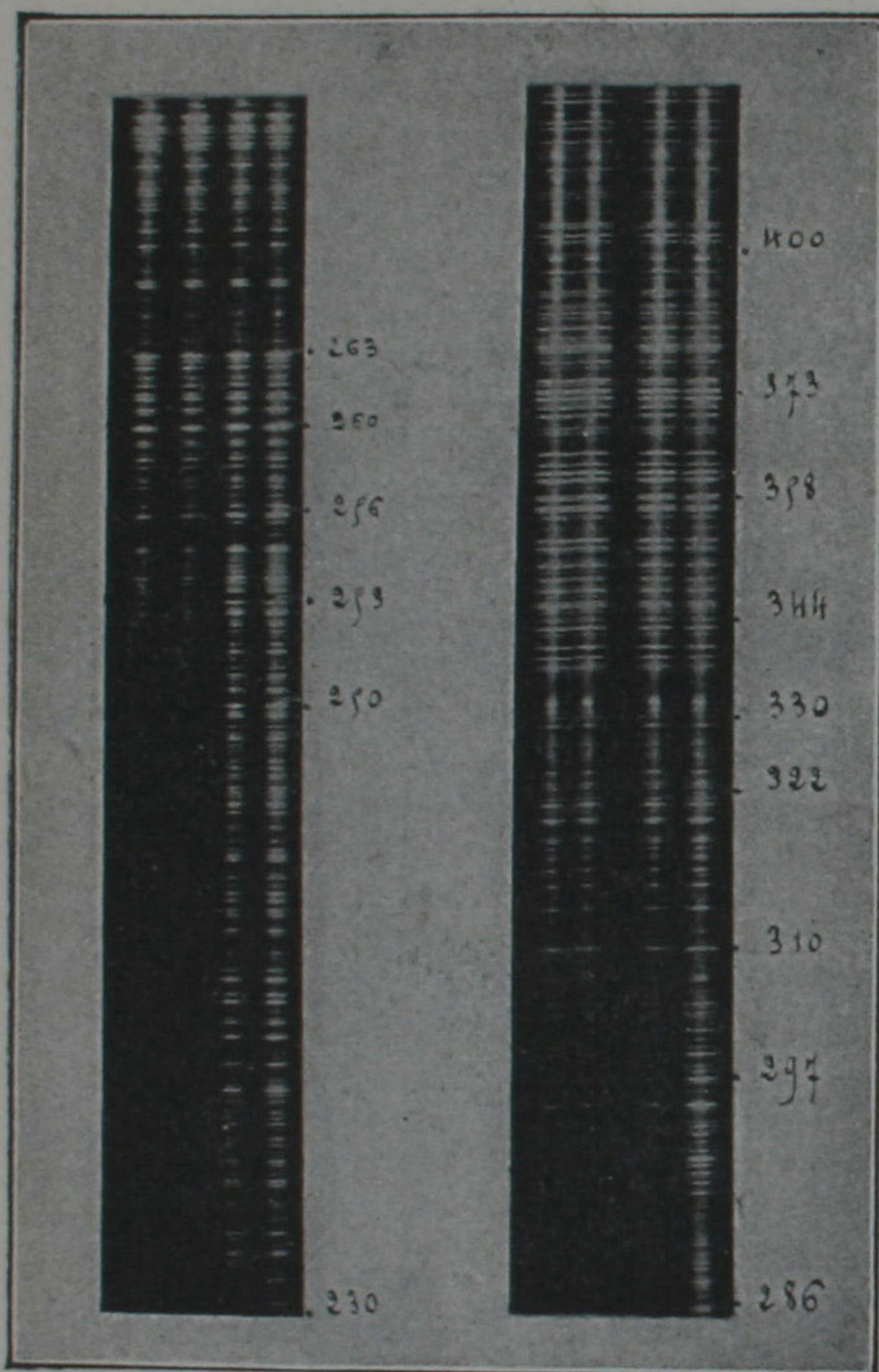


FIG. 41.

FIG. 42.

feuille de papier, est entièrement opaque pour une région assez étendue du spectre. Les chiffres représentent la graduation des spectres en longueur d'onde. Le spectre de la fig. 42 va de  $\lambda = 0\mu,400$  à  $\lambda = 0\mu,286$ . Le spectre de la fig. 41 représente la continuation de la région ultra-violette. Il est gradué de  $\lambda = 0\mu,263$  à  $\lambda = 0\mu,230$ . Le spectre solaire s'étend, comme on le sait, beaucoup moins loin, puisqu'il ne dépasse pas  $\lambda = 0\mu,295$ .

partie relativement étendue il agit surtout en réduisant l'intensité des rayons actifs, c'est-à-dire en les absorbant partiellement, et c'est pourquoi l'impression n'est pas nettement arrêtée dans un

*Détermination au moyen de la photographie de la transparence des corps pour les diverses régions du spectre.*— Le premier spectre à droite de la fig. 42 représente le spectre ultra-violet invisible des étincelles du fer sans interposition d'aucun corps. Les trois autres spectres, à gauche de la même fig. 42, représentent l'absorption produite par un verre incolore de  $0^{\text{mm}},8$  d'épaisseur. Les deux spectres, à droite de la fig. 41, représentent la continuation du spectre ultra-violet du fer sans aucune interposition d'écrans. Les deux spectres, à gauche de la même fig. 41, représentent l'absorption produite par une lame de verre incolore de  $0^{\text{mm}},1$  d'épaisseur. Cette lame, de l'épaisseur d'une



point déterminé. Les absorbants spécifiques sont en nombre restreint, les absorbants d'intensité sont innombrables. Tous les verres de couleur (le rouge et le vert foncé excepté) ne font que réduire l'intensité. On en a la preuve évidente en photographiant un spectre solaire derrière des verres de couleur. En prolongeant légèrement la pose on obtient la totalité du spectre solaire visible, à travers des verres bleu, jaune, violet, etc. Ce point est intéressant à noter pour les physiologistes, parce qu'il montre que les diverses expériences faites sur des animaux et des plantes avec de la lumière solaire filtrée par des verres de couleur ne prouvent absolument rien. Les différences observées sont dues à de tout autres causes que celles invoquées.

Voici le tableau de transparence des écrans ou liquides que nous avons employés pour isoler les diverses régions du spectre. Dans la région de l'extrême ultra-violet du spectre, j'ai eu recours à l'obligeance de mon savant ami Deslandres pour la graduation des longueurs d'onde.

Tableau de la transparence de divers écrans.

NATURE DU CORPS ABSORBANT.	PORTION DU SPECTRE QUE L'ABSORBANT LAISSE PASSER.
<i>Eau distillée sous une épaisseur de 1 centimètre. . .</i>	{ Laisse passer tout le spectre visible et la plus grande partie de l'ultra-violet.
<i>Solution aqueuse de sulfate de quinine à 10 % acidifié à l'acide sulfurique . .</i>	{ Laisse passer le spectre visible jusqu'aux environs de <i>h</i> et retient tout l'ultra-violet.
<i>Esculine en solution alcoolique. . . . .</i>	{ Laisse passer tout le spectre visible sauf une petite portion du violet entre <i>h</i> et <i>H</i> . Retient tout l'ultra-violet.
<i>Sulfate de cuivre ammoniacal . . . . .</i>	{ Laisse passer le spectre visible depuis <i>b</i> et l'ultra-violet jusqu'à <i>N</i> .
<i>Solution aqueuse de bichromate de potasse à 10 %.</i>	{ Absorbe tout l'ultra-violet et le spectre visible jusque entre <i>E</i> et <i>D</i> , c'est-à-dire un peu au delà des limites du vert.
<i>Verre d'urane de 1/2 centimètre d'épaisseur . . .</i>	{ Laisse passer tout le spectre visible et l'ultra-violet jusqu'à <i>N</i> .
<i>Verre vert foncé . . . .</i>	{ Laisse seulement passer la partie du spectre visible comprise entre <i>E</i> . et <i>G</i> .

<i>Verre rouge rubis . . .</i>	{	Laisse passer tout l'infra-rouge depuis $\lambda = 2 \mu$ environ et la partie rouge du spectre visible. Arrête tout le reste du spectre.
<i>Verre à vitre commun de 3<sup>mm</sup>,3 d'épaisseur. . . .</i>	{	Laisse passer tout le spectre visible et l'ultra-violet jusqu'à N et même jusqu'à O si la pose et le temps sont convenables.
<i>Verre incolore de 0<sup>mm</sup>,8 d'épaisseur . . . . .</i>	{	Laisse passer avec tout le spectre visible l'ultra-violet jusqu'aux environs de $\lambda = 0^{\mu},295$ .
<i>Verre mince de 0<sup>mm</sup>,1 d'épaisseur (Lamelle de microscope) . . . . .</i>	{	Laisse passer tout le spectre visible et l'ultra-violet jusqu'aux environs de $\lambda = 0^{\mu},252$ . Entièrement opaque pour la région suivante.

### СПАРИТРЕ III

#### Expériences sur la dissociation de la matière dans les diverses régions du spectre.

**Action des diverses parties du spectre sur la dissociation de la matière.** — En opérant suivant la méthode décrite, c'est-à-dire en interposant divers écrans, dont la transparence a été déterminée par la photographie spectroscopique, entre la lumière et les corps sur lesquels elle doit agir, il a été possible de déterminer, d'après la rapidité de décharge de l'électroscope, la proportion d'effluves émise par chaque corps pendant la dissociation suivant les régions du spectre auxquelles il est soumis, c'est-à-dire l'intensité de la dissociation. On reconnaît ainsi que les corps sont très inégalement dissociés par la lumière et que l'action exercée par les diverses régions du spectre est très différente. Voici les résultats obtenus :

1° *Corps sensibles aux radiations comprises dans le spectre solaire, c'est-à-dire ne dépassant pas 0,295.* — La plupart des corps sont sensibles, mais dans des proportions extrêmement différentes. L'action peut varier en effet depuis 20° de décharge de l'électroscope en 5 secondes jusqu'à 1° seulement en 1 minute. Certains corps sont donc environ 500 fois moins sensibles que d'autres.

Les corps les plus sensibles à la lumière du jour sont, dans l'ordre de leur sensibilité, les suivants : *Étain amalgamé.* — *Cuivre amalgamé.* — *Aluminium récemment nettoyé.* — *Argent amalgamé.* — *Magnésium nettoyé.* — *Zinc nettoyé.* — *Plomb amalgamé.* — *Mercure contenant des traces d'étain.*

Les corps les moins sensibles, c'est-à-dire ne donnant que 1 à 2° de décharge en 2 minutes, sont les suivants : or, argent, platine, cuivre, cobalt, mercure pur, étain, carton, bois, sulfures phosphorescents, substances organisées. Pour les corps à faible dissociation, tels que ceux qui viennent d'être mentionnés en dernier lieu, on n'observe généralement d'effet que quand les rayons solaires contiennent la région du spectre allant de M à U,

région qui disparaît souvent, même quand le temps est très clair, comme je l'expliquerai bientôt.

Si on recherche au moyen des écrans dont il a été parlé plus haut et d'après l'action sur l'électroscope, l'énergie des diverses régions du spectre solaire sur les corps très sensibles, comme l'étain amalgamé ou l'aluminium, on trouve, en représentant par 100 la totalité de l'action produite, les chiffres suivants :

Action de la région du spectre		
solaire allant jusqu'à . . . . .	$\lambda = 0\mu.400$	6 %.
Action de la région allant de . . . . .	$\lambda = 0\mu.400$ à $\lambda = 0\mu.360$	9 %.
Action de la région allant de . . . . .	$\lambda = 0\mu.360$ à $\lambda = 0\mu.295$	85 %.

On peut par divers artifices sensibiliser certains corps pour des régions où ils ne le sont pas. Le mercure et l'étain sont des corps fort peu sensibles. Il suffit cependant d'ajouter au premier 1/6000 de son poids du second pour le rendre très sensible pour la région de l'ultra-violet comprise entre  $\lambda = 0\mu.360$  et  $\lambda = 0\mu.296$ . Le mercure ainsi préparé est un réactif excellent pour étudier les variations de l'ultra-violet suivant l'heure, le jour et la saison. Si la quantité d'étain ajoutée s'élève à 1 % le mercure est sensible pour presque tout le reste du spectre.

2° Corps ne devenant très sensibles qu'aux radiations dont la longueur d'onde est inférieure à  $0\mu.295$ . — Parmi ces corps je citerai surtout les suivants : le cadmium, l'étain, l'argent et le plomb.

3° Corps qui ne sont très sensibles qu'aux radiations dont la longueur d'onde est inférieure à  $\lambda = 0\mu.252$ . — Ces corps sont les plus nombreux. On peut citer parmi eux les suivants : or, platine, cuivre, fer, nickel, substances organisées et composés chimiques divers (sulfates et phosphates de soude, chlorure de sodium, chlorure d'ammonium, etc.). Après les métaux, les corps les plus actifs sont le noir de fumée (20 degrés de décharge par minute) et le papier noir. Les moins actifs sont les corps organisés vivants : feuilles et plantes notamment.

Les divers composés chimiques se dissocient comme les corps simples sous l'influence de la lumière, mais dans des proportions assez différentes. Le phosphate de soude et le sulfate de soude donnent 14° par minute, le chlorure d'ammonium 8°, le chlorure de sodium 4°, etc. Pour observer la décharge, on dissout les corps à saturation dans le dissolvant, on verse la solution sur une lame de verre et on fait évaporer. La lame de verre est ensuite disposée comme à l'ordinaire au-dessus de l'électroscope.

Les variations de décharge que nous avons données n'ont de valeur que pour les régions du spectre déterminées qui ont été indiquées. A mesure qu'on fait agir des régions de plus en plus réfrangibles la sensibilité des divers corps devient de moins en

moins différente et tend à s'égaliser mais sans y arriver cependant. Dans l'ultra-violet solaire, l'or, par exemple, est presque inactif, environ 500 fois moins que l'aluminium. Dans l'ultra-violet extrême donné par la lumière électrique (à partir de  $0\mu,252$ ), il a, au contraire, à peu près la même rapidité de dissociation que ce dernier métal. Dans cette région de l'ultra-violet, la différence d'action entre les corps les moins sensibles (acier, platine et argent), et les plus sensibles (étain amalgamé par exemple), ne varie guère que du simple au double.

Les corps médiocrement conducteurs : noir de fumée, composés chimiques, bois, etc., ont dans cette région avancée du spectre une sensibilité inférieure à celle des métaux. La décharge produite par les effluves du noir de fumée, par exemple, est beaucoup moindre que celle de l'étain.

**Influence du nettoyage.** — L'action du nettoyage est tout à fait capitale pour les métaux soumis aux radiations contenues dans le spectre solaire. Ils doivent être nettoyés vigoureusement toutes les dix minutes, avec de la toile d'émeri bien fine, sous peine de voir la décharge devenir environ deux cents fois moins rapide. Dans l'ultra-violet à partir de  $0\mu,252$ , l'influence du nettoyage est encore manifeste, mais beaucoup moindre que pour la lumière solaire. Il suffit que la surface ne soit pas restée sans être nettoyée plus d'une dizaine de jours. Après ces dix jours, la décharge n'est guère que moitié de ce qu'elle est après un nettoyage récent.

**Influence de la matière des électrodes.** — Lorsqu'on fait usage, pour obtenir des radiations s'étendant beaucoup plus loin dans l'ultra-violet que celles contenues dans le spectre solaire, des étincelles d'un condensateur (deux bouteilles de Leyde placées en dérivation sur le circuit induit d'une bobine d'induction), l'intensité de la dissociation varie beaucoup avec la nature du métal des électrodes.

Les pointes d'aluminium donnent une lumière produisant une dissociation qui, toutes choses égales d'ailleurs, est près de trois fois supérieure à celle des pointes d'or. Les électrodes de cuivre et d'argent donnent à peu près les chiffres des électrodes d'or.

La première explication venant à l'esprit est que certains métaux possèdent un spectre plus étendu dans l'ultra-violet que d'autres. Mais cette explication est détruite par les mesures récentes d'Eder, qui a montré<sup>1</sup> que les spectres de la plupart des métaux s'étendent

---

1. Eder et Valenta, *Normal Spectrum einiger Elemente* (Kaiserlichen Academie der Wissenschaften, Wien, 1899).

à peu près à la même distance dans l'ultra-violet. C'est ainsi, par exemple, que le spectre des étincelles de l'or, dont les électrodes sont justement les moins actives, s'étend tout aussi loin ( $\lambda = 0\mu,185$ ) que le spectre de l'aluminium, métal dont les électrodes sont les plus actives.

Il ne semble pas non plus que les différences d'effet observées sous l'influence de la lumière que produisent les étincelles des divers métaux soient dues à des différences d'intensité lumineuse. J'en trouve la preuve dans ce fait que du papier photographique au chlorure d'argent, placé pendant 60 secondes devant la fenêtre de quartz qui ferme la boîte où éclatent les étincelles produites avec divers métaux, présente la même intensité d'impression, sauf devant les électrodes d'acier où elle est plus intense que devant les étincelles produites par l'aluminium, ce qui est précisément le contraire de ce que l'on observe pour la puissance de l'action dissociante de leur lumière. Pendant ces courtes poses, ce sont seulement les radiations inférieures à  $0\mu,310$  qui agissent sur le papier, comme le prouve cette observation, que l'interposition d'un verre mince choisi de façon à arrêter les radiations de longueur d'onde plus courtes que  $\lambda = 0\mu,310$ , arrête aussi l'impression.

Les faits qui précèdent, relatifs à la différence très grande d'action des électrodes suivant les métaux qui les composent, sembleraient prouver que le spectre des divers métaux contient, en plus de la lumière, quelque chose que nous ne connaissons pas,

**Influence de la variation de composition de la lumière solaire sur son aptitude à produire la dissociation des corps. Disparition de l'ultra-violet solaire à certains moments.** — Lorsqu'on opère à la lumière solaire, on constate vite que des facteurs nombreux peuvent faire varier la production des effluves résultant de la dissociation de la matière et par conséquent l'intensité de la décharge dans d'énormes proportions. Nous reviendrons sur ce sujet à propos de la déperdition dite négative.

Il est cependant une cause de variation tellement capitale que nous devons la mentionner immédiatement, car si on n'en tenait pas compte, on pourrait observer des résultats fort différents de ceux que nous avons signalés. Je veux parler de la variation de composition de la lumière solaire.

Dès que j'eus organisé une série d'observations régulières consistant à expérimenter avec des corps doués d'action constante, je m'aperçus qu'en opérant plusieurs jours de suite à la même heure par des temps en apparence identiques, j'observais brusquement des différences d'action considérables sur l'électroscope. Après avoir éliminé successivement tous les facteurs pouvant intervenir, je me trouvai en présence d'un seul, les variations de la composi-

tion de la lumière du jour. Ce n'était là qu'une hypothèse et il fallait la vérifier. Comme les variations portaient probablement sur les parties invisibles du spectre, un unique moyen de vérification était à ma disposition, la photographie au spectroscopie de cette région invisible. La seule indication figurant dans les livres était que l'ultra-violet disparaît quand le soleil se rapproche de l'horizon, ce que l'action sur l'électroscope aurait suffi d'ailleurs à indiquer. Mais comme j'observais des variations d'effet à des

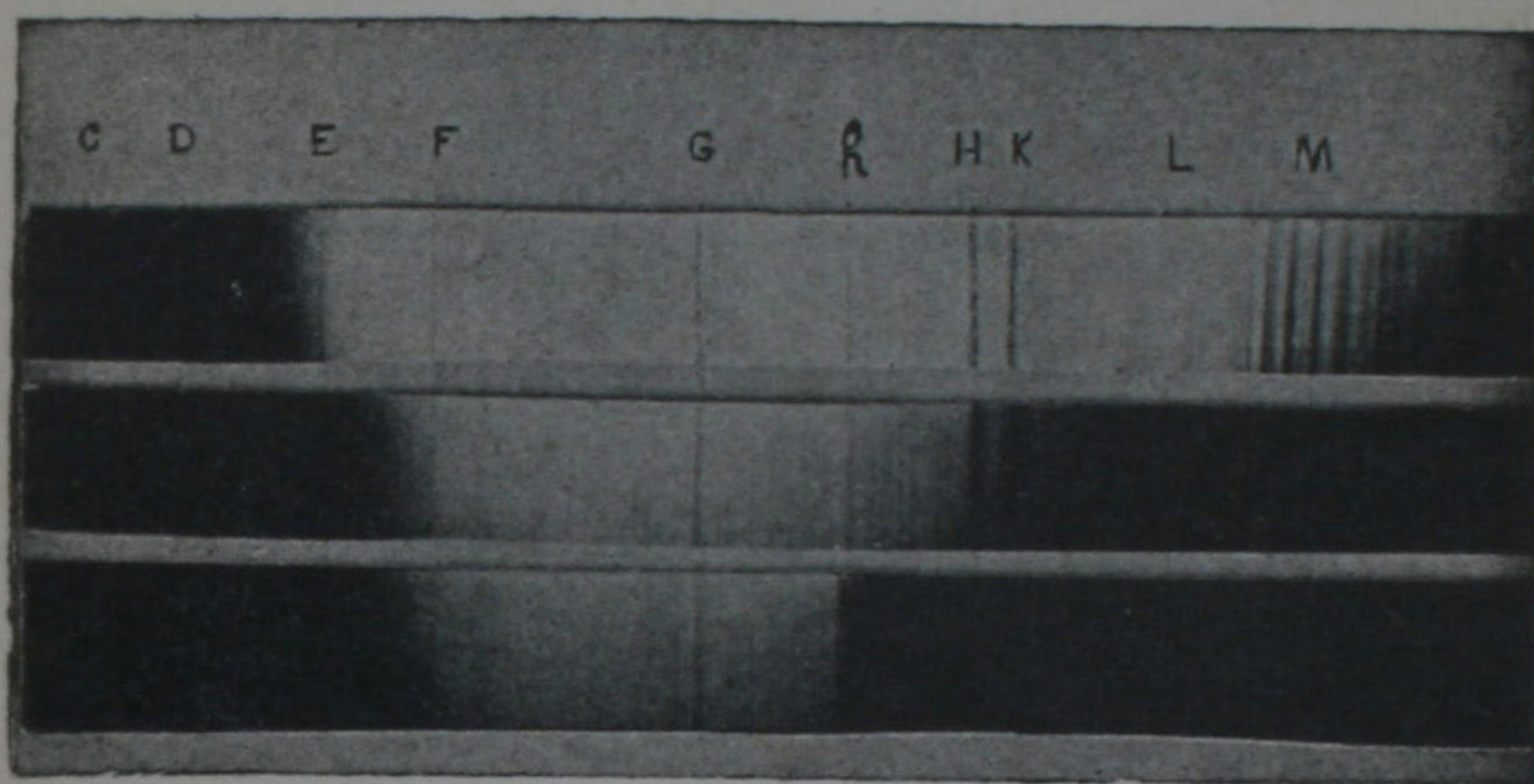


FIG. 43.

*Photographies montrant la disparition de l'ultra-violet solaire à certains jours sous des influences inconnues.* — La bande supérieure représente un spectre solaire ordinaire allant jusqu'aux environs de la raie N. La bande placée au-dessous montre la disparition de l'ultra-violet solaire à partir de la raie L malgré la prolongation de la pose. La bande inférieure représente la suppression totale de l'ultra-violet quand on photographie le spectre à travers une solution transparente de sulfate de quinine.

heures identiques de la journée, et alors que le soleil était très élevé, l'indication précédente ne pouvait rien expliquer.

Des photographies du spectre répétées pendant plusieurs mois me montrèrent, conformément à mes prévisions, que d'un jour à l'autre, et souvent le même jour, sans que le phénomène pût se rattacher à aucune cause apparente, la plus grande partie de l'ultra-violet solaire, depuis les raies L ou M, disparaissait parfois brusquement (fig. 43). Ce phénomène coïncidait toujours avec la lenteur de la décharge de l'électroscope. L'état apparent du ciel n'était pour rien dans cette disparition de l'ultra-violet, car elle se manifestait parfois par des temps très clairs, alors que j'observais au contraire le maintien de l'ultra-violet avec un ciel très nuageux. Voici d'ailleurs quelques-uns des résultats obtenus.

23 août 1901, 3 h. 50. Très beau temps, disparition de l'ultra-violet à partir de la raie M;

30 août 1901, 11 heures du matin, très beau temps, disparition de l'ultra-violet à partir de L;

31 août 1901, 3 heures du soir, temps très brumeux, ciel entièrement couvert de nuages. Pas de disparition de l'ultra-violet;

26 octobre et 12 novembre 1901, 2 heures, beau temps. Disparition de l'ultra-violet à partir de M.

On voit par ce qui précède que si l'œil, au lieu d'être sensible aux radiations qui vont des raies A à H, était sensible seulement aux radiations allant de H à U, nous nous trouverions de temps à autre, en plein soleil, brusquement plongés dans l'obscurité.

L'ultra violet possède, d'après mes expériences, une action si spéciale et si énergique qu'il n'est pas supposable qu'il ne joue pas un rôle actif dans les phénomènes de la nature. Il serait à souhaiter que l'on organisât dans les observatoires des recherches régulières sur sa présence et sur sa disparition dans la lumière. Par la même occasion, on pourrait étudier les variations de l'infra-rouge, pour lequel j'ai montré qu'on possédait un réactif, — le sulfure de zinc à phosphorescence verte, — aussi sensible que l'est le gélatino-bromure pour la lumière visible. Le spectre invisible a, comme on le sait, une étendue beaucoup plus grande que celle du spectre visible. Il est probable que son étude, en vérité bien facile, sortirait la météorologie de l'état tout à fait rudimentaire où elle se trouve encore aujourd'hui.

**Identité des produits de la dissociation des corps par la lumière avec ceux provenant des substances radio-actives.** — Nous avons toujours soutenu l'analogie des effluves de matière dissociée dans les expériences précédentes avec celles émises par les corps spontanément radio-actifs. Lénard et Thomson ont, depuis mes recherches, rendu cette identité indiscutable en constatant leur déviation par un champ magnétique et en mesurant le rapport  $\frac{e}{m}$  de la charge des particules à leur masse. Le rapport a été trouvé identique à celui observé pour les rayons cathodiques et les particules des corps radio-actifs. La condensation de la vapeur d'eau par les particules de matière dissociée sous l'influence de la lumière — que produisent, comme on le sait, les rayons cathodiques, — a été également obtenue par Lénard.

**Actions photographiques des particules des corps dissociés par la lumière.** — L'étude de ces actions photographiques me fit jadis perdre beaucoup de temps; j'y ai renoncé, parce que, en raison de leur irrégularité, elles ne constituent pas un procédé de mesure, alors que l'électroscope en constitue un précis. Je dirai