

LES ACTUALITÉS CHIMIQUES & BIOLOGIQUES

Publiées sous la direction de M. le Professeur POZZI-ESCOT

N° 8

THÉORIES MODERNES

SUR

LA MATIÈRE

PAR

M.-Emm. POZZI-ESCOT



PARIS

LIBRAIRIE MÉDICALE ET SCIENTIFIQUE

JULES ROUSSET

1, Rue Casimir-Deville et 12, Rue Monsieur-le-Prince

1908

DERNIÈRES PUBLICATIONS DE L'AUTEUR

En vente chez J. ROUSSET

TRAITÉ

DE

Physico-Chimie

Un magnifique volume grand in-8 carré de 800 pages
112 figures. Relié toile. Prix. 20 fr.

Librairie Polytechnique Ch. BÉRANGER, Éditeur, 15,
rue des Saints-Pères. — Paris.

Ce volume, qui est un des premiers traités de chimie physique publiés en France, offre un intérêt considérable pour tous aussi bien physiciens que chimistes, et biologistes que médecins. Chacun y puisera abondamment. Dans un magnifique éloge, le Président du VI^e Congrès International de Chimie, écrivait : « on voit combien est importante l'œuvre entreprise par notre distingué collègue et combien elle peut être utile aux chimistes ».

PRÉCIS DE CHIMIE PHYSIQUE

Un volume in-8° de 250 pages, 38 figures, solidement relié
toile souple (1606). Prix. 6 fr.

En vente chez J. ROUSSET, 1, rue Casimir-Delavigne, Paris

Ce petit Traité a eu un magnifique succès; il est devenu classique. Plusieurs traductions en langue étrangère ont suivi à quelques jours l'édition française! Avec une admirable clarté, l'auteur offre une mise au point élémentaire des données les plus ardues de la chimie physique. Ce livre intéresse tous ceux qui de près ou de loin s'occupent de chimie. Il est principalement écrit pour les étudiants des Facultés des Sciences ou de Médecine; mais les Chimistes, les Professeurs et tous ceux qui s'occupent de Chimie par goût ou par nécessité, y puiseront avec fruit mille choses qu'il n'est plus pe mis d'ignorer.

LES ACTUALITÉS CHIMIQUES & BIOLOGIQUES



N° 8

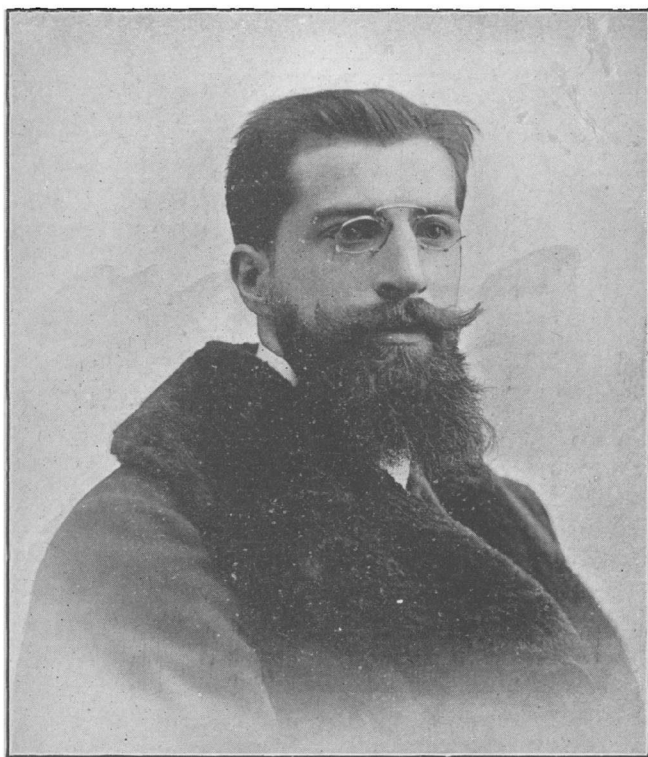


THÉORIES MODERNES
SUR LA MATIÈRE

*Tous droits de traduction et de reproduction
réservés dans tous les pays.*

All rights reserved

Pour la cession des droits de traduction s'adresser à
M. Jules Rousset, éditeur à Paris ou à M. le Professeur
Pozzi-Escot, Ministério de Fomento, Lima (Pérou).



M. le Professeur Pozzi-Escot

PRÉFACE

Les dix dernières années qui viennent de s'écouler peuvent être considérées comme formant l'une des périodes les plus remarquables du domaine de la science ; car elles ont vu les bases fondamentales sur lesquelles on s'était appuyé, pendant de longues années, subir des modifications fort importantes, et, pour tout dire même, révolutionnaires.

La matière, jusqu'alors regardée comme immuable, semble avoir perdu ce caractère fondamental, et devoir obéir à la grande loi de l'évolution Darwinnienne ; l'on croit avoir découvert d'où elle vient, et l'on voit, en tous cas, où elle va. On la voit naître et mourir ; la théorie de l'évolution a non seulement acquis un titre universel, mais elle a vu s'évanouir les difficultés qui, jusqu'ici, avaient empêché son application rationnelle aux sciences géologiques. C'est un progrès sans précédent dans l'histoire des mondes.

L'atome de Dalton a perdu son caractère d'unité pondérable, et il ne nous apparaît plus comme représentant la dernière subdivision de la matière ; on étudie sa structure intime, qui paraît beaucoup plus com-

pliquée qu'on ne l'avait cru, et l'on assiste à sa destruction.

Dans ce bouleversement des idées reçues jusqu'à présent, la physique et la chimie ont eu une part égale : et c'est dans l'étroite communion de ces deux sciences qu'il faut chercher la cause de la rapidité et de la certitude qui ont caractérisé les progrès accomplis dans cette voie. A ce point de vue un enseignement précieux se dégage de ces recherches ; on y apprend de quelle indéniable utilité sont les théories de la physico-chimie et combien sont inséparables la physique et la chimie.

C'est le phénomène de Zeéman d'abord, puis l'action exercée par le magnétisme sur l'émission de la lumière ; les rayons cathodiques de diverses espèces, suivis de près par les rayons de Röntgen ou rayons X : l'ionisation des gaz qui rend ces corps conducteurs de l'électricité ; et, de l'ensemble de ces faits, comme couronnement de ces magistrales études physico-chimiques, on est parvenu non par hasard mais par une suite logique de déductions, à la connaissance des matières radio-actives.

Si rapides qu'aient été ces découvertes, il a suffi de quelques mois pour leur enlever leur caractère simplement descriptif ; et l'hypothèse des ions, émise d'abord par Swante Arrhénius pour expliquer le phénomène qui paraît si peu connexe de l'électrolyse, a permis de relier entre elles ces manifestations si diverses, et a servi d'assise solide à une science nouvelle, indépendante et philosophique, reposant sur des principes

dont la chimie et la physique d'hier contenaient à peine les premiers germes.

Notre ancien atome, inerte et matériel, est devenu une source insoupçonnée d'énergie ; et du même coup il a cessé d'être une unité matérielle indestructible, et il devient divisible à l'infini.

Tel a été en ses grandes lignes le legs que le **xx^e** siècle, tout bouillant de juvénile jeunesse, a reçu du **xix^e** siècle, au seuil du tombeau : le dogme de la matière qui, depuis Lucrèce, s'était transmis toujours plus solide, toujours plus vraisemblable ; que Lavoisier avait vivifié en décrétant « que dans les œuvres de l'art et de la nature, rien ne se perd, et rien ne se crée » ; que l'hypothèse atomique et la mécanique moderne avaient consacré à nouveau, et d'une façon, semblait-il, définitive, ce dogme apparaît aujourd'hui comme une illusion de nos sens insuffisants !

Ce livre a simplement pour objet d'offrir une vue générale et élémentaire de ces doctrines nouvelles. Nous y étudierons sommairement les propriétés de la matière ; la théorie des ions gazeux et des électrons ; les substances radio-actives, et le rôle que jouent les électrons dans ces phénomènes de radio-activité ; et, enfin, nous essayerons de faire concevoir les merveilleuses conséquences que présentent ces découvertes, quant à la connaissance de la matière, de son origine et de sa fin, conquêtes de la science de demain !

*Le Texte de ce petit volume est extrait de Conférences faites à
la Faculté des Sciences de l'Universidad Mayor de San-Marcos.*

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE.....	7
Table	II

CHAPITRE PREMIER

LE CONCEPT DE LA MATIÈRE

Les idées anciennes sur la matière. La matière une et indestructible. La nature originelle de la matière. La conception atomique et moléculaire de la matière. Concept moderne. L'éther. Constitution de l'éther. La force et l'énergie dans le monde. Immortalité de la force et de la matière. Invariabilité de l'énergie dans le monde. Les idées modernes à l'égard de ces conceptions qui sont des illusions de nos sens. Le dogme de la matière et de la force. L'atome matériel est impondérable en réalité. La matière est une forme de l'énergie. Conclusion sur ces idées modernes.....	16
---	----

CHAPITRE II

LES IONS ET LES ÉLECTRONS

Relations de l'électricité et de la matière. La théorie des ions de Swante Arrhénius. Le mécanisme de l'électrolyse.	
--	--

La charge électrique des ions électrolytiques ; l'électron. Nature des électrons ; le courant électrique. La conductibilité des gaz et leur ionisation. Les ions gazeux et leurs électrons. Rôle des électrons dans les gaz. Propriétés des ions gazeux. Moyens d'ionisation. Quantité d'ions dans un gaz. Diffusion et vitesse des ions. La formation des brouillards.....

27

CHAPITRE III

PHÉNOMÈNES DE RADIATION DANS L'ÉTHER

(Radiations ondulatoires et corpusculaires)

Les phénomènes de l'éther. Les radiations. La transmission de la lumière. Hypothèse corpusculaire de Newton. Théorie ondulatoire de Huyghens et de Fresnel. La nature des ondes lumineuses ; théorie de Maxwell. La théorie électro-magnétique. Recherches de Lorenz sur la production de l'onde électro-magnétique. Phénomène de Zeeman. Etat de nos connaissances en 1895. Phénomènes électriques dans les gaz raréfiés. Tube de Crookes. Les électrons dans la lumière noire. Les rayons Canaux. Production des rayons cathodiques. Nature des rayons cathodiques. Etat radiant. Les rayons X ou de Rœntgen. Nature des rayons X.....

37

CHAPITRE IV

LA MATIÈRE RADIO-ACTIVE

La fluorescence dans le tube de Crookes. Recherches de Becquerel sur la fluorescence. Les substances uraniques

émettent spontanément des radiations. Nature de cette radiation. La radio-activité. Radio-activité du thorium. Le radium et ses analogues. Une source continue d'énergie. Complexité de la radiation des substances radio-actives; rayons α , β et γ . Propriétés de ces rayons. La radio-activité induite. Les métaux X.....	48
---	----

CHAPITRE V

LA MATIÈRE RADIO-ACTIVE (suite)

I. — *Les propriétés radio-actives du radium.*

Activité du radium. Puissance de ses actions chimiques
Emanation du radium. Radio-activité induite par le radium. Complexité de la radio-activité du radium.

II. — *Energie mise en jeu dans les phénomènes radio-actifs.*

Recherches de Mc. Clung et de Curie et Laborde. Recherches de Rutherford et Soddy. Durée de l'atome de radium. 59

CHAPITRE VI

NATURE GÉNÉRALE DE LA RADIO-ACTIVITÉ

I. — *Théorie de la désintégration atomique*

Généralité du phénomène de radio-activité. Nature matérielle des rayons α et β . La radio-activité est une réaction mono-moléculaire. Les atomes se désagrègent. Loi de cette désintégration. L'énergie dans l'atome.

II. — *L'énergie intra-atomique*

La radio-activité est entretenue par l'énergie contenue dans les atomes eux-mêmes. Nature de l'atome. Accumulation de l'énergie dans un atome.

III. — *Considérations générales déduites des propriétés des matières radio-actives*

Les éléments radio-actifs sont des éléments en voie de transformation. Le radium et le polonium sont des formes de passage. Loi d'évolution mono-moléculaire. Cause de la destruction de l'atome. 65

CHAPITRE VII

LA DISSOCIATION DE LA MATIÈRE EST UN PHÉNOMÈNE GÉNÉRAL

Recherches de G. Le Bon. Les réactions chimiques ordinaires donnent des radiations. Autres causes qui activent la radio-activité de la matière. Les métaux renferment une émanation. La nouveauté du phénomène. 79

CHAPITRE VIII

NATURE DE L'ÉLECTRICITÉ

Structure atomique de l'électricité. Les électrons. Mesure de la masse de l'électron. Inertie des électrons. L'atome d'électricité est une condensation d'éther. L'électricité est engendrée par la dissociation de la matière. Nature des corps électrisés. Le fluide électrique. 84

CHAPITRE IX

CONCLUSIONS

LA CONSTITUTION DE LA MATIÈRE SUIVANT LES IDÉES
MODERNES

Rappel des idées anciennes sur la matière. La période actuelle est une période de chaos anarchique. La tendance actuelle à considérer la matière comme une condensation d'impondérable. La production des radiations. La grandeur des électrons.
La matière est mortelle..... 89

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE..... 94

CHAPITRE PREMIER

LE CONCEPT DE LA MATIÈRE

La matière, première des choses accessibles à nos sens, a formé, de toute antiquité, le fondement des théories sur la genèse des mondes.

A l'aurore du xx^e siècle, après les prodigieux efforts faits au cours de la dernière période centenaire, il semblait que les savants du siècle disparaissant allaient léguer à leurs successeurs du siècle nouveau l'héritage qu'ils avaient eux-mêmes reçu des brillants alchimistes et physiciens du $xviii^e$ siècle ; héritage que de siècle en siècle, depuis plusieurs milliers d'années, on se transmettait de générations en générations et sur lequel la Genèse reposait ses plus solides assises : le dogme de la matière et de la force indestructibles.

Il était dit, néanmoins, que le génie de la science devait auparavant franchir les bornes du connaissable ; que l'élément fondamental de la philosophie de LUCRÈCE, la clef de voûte, le dogme sacré du système de

LAVOISIER formant encore les assises les plus incontestables de la mécanique et de la physique, devait s'évanouir à l'aurore du siècle de la science, comme ces brouillards légers qui, devant le soleil naissant, disparaissent avec la rosée.

La conception de la matière une et indestructible a joué un rôle fondamental dans l'établissement de la science. La mécanique, la physique et la chimie tout entières, sont fondées sur les lois de son inertie. On a, de tout temps, enseigné qu'elle est ce qui se pèse, se voit, se touche ; et la croyance en son indestructibilité s'était si profondément ancrée dans l'esprit humain, qu'HERBERT SPENCER en a fait une des colonnes de son système, et qu'il déclare dans un chapitre des *Premiers principes* intitulé **L'Indestructibilité de la matière** que « *si l'on pouvait supposer que la matière peut devenir inexistante, il serait nécessaire de confesser que la science et la philosophie sont impossibles.* »

Mais, est-il quelque chose qui soit impossible à la science avec l'aide du temps et du génie de l'homme, et la philosophie n'a-t-elle pas toujours su se plier avec une infinie souplesse, aux découvertes de tous les temps !

Cette matière que nos sens découvrent sous des formes diverses et multiples et qui nous environne de toutes parts, quelle est donc sa nature ? Est-elle le résultat d'un élément unique et primordial se présentant à nous sous des états de condensation divers ?

On le crut à diverses époques ; et le rêve d'or des

alchimistes était de découvrir les moyens de cette transmutation qui, des terres viles devait faire sortir le métal précieux. Mais les siècles ont passé sans amener le résultat désiré !

Néanmoins cette étude ardue de l'infinie variété d'aspects de la matière, et qui aujourd'hui constitue la chimie tout entière a montré, au siècle dernier, que la matière est composée d'un nombre limité de corps différents, s'unissant en proportions définies. Pour expliquer la constance de propriété des combinaisons, on a été conduit à admettre qu'à la base des combinaisons variées de ces éléments types, se trouve une quantité fondamentale de matière supposée, *a priori* indivisible par les moyens de la mécanique, et même par la pensée, sans perdre son individualité.

Cette quantité insécable de matière, qui se retrouve dans la multitude des produits divers de l'univers, et qui se serait transmise d'âge en d'âge, et de siècle en siècle, immuable, malgré le temps et l'espace, est l'*atome*, personnification de la matière et des éléments.

DALTON, à l'époque où la chimie cherchait encore sa voie et où l'on commençait néanmoins, déjà, à entrevoir la fructueuse moisson que devait donner cette science nouvelle, eut ce trait de génie de considérer les corps simples comme une agglomération d'atomes spécifiques, caractéristiques des corps, participant des propriétés fondamentales de la matière, et s'adaptant parfaitement à la loi de LAVOISIER ; avec lui, on admit universellement que c'est de la condensation de ces

atomes, sous l'effet d'une force d'adhésion inconnue en son essence, que sont nées les différentes espèces chimiques.

Telle est, tout au moins, l'idée qu'on se faisait hier encore de la constitution des corps ; mais une hypothèse nouvelle, que l'expérience vérifie dans ses traits généraux, comme elle a vérifié aussi l'hypothèse de DALTON , et qui sera sans doute la vérité de demain, admet que ces atomes sont eux-mêmes constitués par la condensation de particules de grandeur infiniment petite, que l'on désigne sous le nom d'électrons ; chaque électron lui-même, n'étant que de l'éther électrisé, qu'une condensation du substratum impondérable de NEWTON entraîné dans un champ de force tout-puissant, avec une colossale vitesse.

Pour expliquer la transmission des actions à distance, et notamment à travers les espaces cosmiques, on a depuis longtemps admis que le vide véritable n'existe pas ; et que ce que nous croyons vide, est plein d'un substratum impondérable échappant à nos sens, incompressible, et infiniment élastique, auquel on a donné le nom d'*éther*.

L'*éther* ne saurait être assimilé à un gaz, car il est supposé incompressible. MAXWELL le suppose constitué de petites sphères animées de mouvements de rotation rapides et se transmettant de proche en proche. THOMSON lui confère une inertie particulière ; et LORD KELVIN déclare que l'éther est entièrement constitué par une substance soustraite aux lois de la gravitation. L'éther est immatériel.

L'éther, substance répandue partout, aussi bien dans les espaces interplanétaires et interstellaires, que dans les espaces interatomiques, et dont l'existence n'est plus contestée aujourd'hui, et s'impose même d'une manière irrésistible, joue un rôle fondamental dans l'étude de la matière ; et bien que sa nature intime ait été insoupçonnée jusqu'à ces temps derniers, son existence ne s'en est pas moins imposée immédiatement. Aujourd'hui, toutes les recherches théoriques sur la constitution des atomes conduisent à admettre que l'éther forme leur trame. Sur la constitution de l'éther, on en est réduit, depuis FRESNEL, à formuler des hypothèses. Nous verrons plus loin qu'on en fait aujourd'hui un quatrième état de la matière, comme la source première et le terme ultime des choses, le substratum des mondes !

A côté de la matière brute qui tombe sous les sens, et que l'on voit, et de la matière éthérée née sous la puissance du génie de NEWTON, une troisième quantité semblait jusqu'ici inséparable des deux autres : nous avons nommé la FORCE.

Force et Matière écrivait en titre d'un de ses ouvrages les plus remarquables LOUIS BÜCHNER. « Un être sans propriétés est une absurdité que la raison refuse, et que l'expérience cherche vainement dans la vie » disait DROSSBACH. HELMHOLTZ écrivait également de son côté : « Il est évident que les idées de matière et de force ne sauraient être séparées ; le concept d'une matière pure est aussi faux que celui d'une force pure. L'un et l'autre sont des abstractions. Nous ne pou-

vons saisir la matière que par l'intermédiaire de ses forces, jamais par elle-même » et LEWES surenchérisant ajoute : « La force constitue l'aspect dynamique de la matière, et la matière l'aspect statique de la force. »

Tous ceux qui se sont occupés de ces questions sont unanimes à admettre que l'attribut essentiel de la matière est de manifester son existence par une absorption ou par une émission d'énergie ; et dans le système présent, on ne conçoit pas la matière et l'énergie séparément ; mais, tout en réunissant ces deux quantités, le système en vue n'a jamais cessé de les considérer comme deux entités séparées.

C'est qu'en effet, jamais, jusqu'ici la matière n'a paru manifester d'autre énergie que celle qui lui a été d'abord fournie ; incapable de la créer, elle ne semblait pouvoir que la restituer, et les principes fondamentaux de la thermo-dynamique enseignent, en conformité de cette manière de voir, qu'un système matériel isolé de toute action extérieure ne peut engendrer spontanément de l'énergie. Pour les deux, la science d'hier admet l'indestructibilité et la possibilité de transformation.

La matière est indestructible ; telle est en effet la base la plus solide sur laquelle est édifiée toute la science moderne. SHAKESPEARE dans *Hamlet*, reflète cette manière de voir, en ces termes :

Imperious Cœsar, dead and turn'd to clay
Might stop a hole to keep the wind away ;

O, that that earth which kept the world in awe
Should patch a wall to expell the winter's flow !

Avec le grand tragédien les artisans de la science du XIX^e siècle déclarent à l'unanimité que la matière est immortelle, indestructible ; nul grain de poussière ne se peut perdre dans l'univers, ni s'y ajouter. « Le carbone qui se trouve dans le bois, a dit CARL VOGT, est impérissable ; il est éternel, et aussi indestructible que l'hydrogène et l'oxygène avec lesquels il était en combinaison dans ce même bois. Cette combinaison et la forme qu'elle revêt est périssable ; la matière ne l'est jamais. »

Cette croyance n'est pas un effet de l'expérience. C'est un de ces dogmes dont on s'étonne à notre époque, de retrouver la trace dans la science, et qui sont nés de l'ignorance et de la superstition. La loi qui a fait de LAVOISIER un des fondateurs de la chimie, emprunte simplement le texte même d'ANAXAGORAS, qui enseignait déjà, cinq cents ans avant notre ère : « Ce qui existe dans l'espace ne peut ni augmenter ni diminuer » ; et l'on retrouve encore dans le *De natura rerum* de LUCRÈCE ces vers célèbres :

Rien ne vient du néant, rien, non plus n'y retourne ;
La matière, en un cercle éternellement tourne
Sans diminuer jamais, produisant terre et cieux
De l'Univers enfin, le tout harmonieux.

Le quantum de force existant dans le monde est supposé invariable ; la force, comme la matière est

dite immortelle et indestructible ; on ne saurait concevoir, d'autre part, une création de force. « Inhérente, en quantité infinie à la masse infinie de la substance, dit LOUIS BÜCHNER, elle parcourt avec elle, et dans l'union la plus intime, un cercle sans interruption et sans fin, et se dégage d'une combinaison quelconque dans la même proportion qu'elle y était entrée. »

La matière, dans les idées modernes, ne fait que restituer l'énergie qu'on lui a d'abord donnée sous une forme quelconque ; elle ne peut rien créer, rien sortir d'elle-même. L'énergie, dans l'univers, se conserve sans perte, quoi qu'on puisse faire pour l'annuler, mais elle peut subir des transformations équivalentes. Du travail mécanique peut se changer en force électrique, et un coefficient numérique bien défini règle cette transformation.

Telles étaient au moins, hier encore, les idées reçues sur la Matière et sur la Force. Mais un vent de révolution a passé à travers la science : la matière ne nous semble plus indestructible ; et dans le monde, le quantum de force nous paraît illimité. A l'adage dogmatique et philosophique de LAVOISIER : « Rien ne se perd ni ne se crée », on montre qu'il convient de substituer celui de LE BON : « Rien ne se crée, tout se perd. » — Ce provisoire nouveau, combien de temps durera-t-il ? On l'ignore. La science est un perpétuel mouvement en avant, et l'on doit se borner, sans préjuger de l'avenir, à enregistrer ses progrès.

Nous ne prétendons pas éclairer définitivement les

ténèbres profondes qui enveloppent le passé, et qui voilent l'avenir. Nous ne prétendons pas non plus imaginer un système philosophique plus ou moins nouveau qui ait la prétention de satisfaire notre besoin actuel de connaître. C'est là besogne stérile à laquelle la science n'a rien à voir. Ces créations de nos rêves, si séduisantes qu'elles soient, ne sauraient satisfaire notre besoin ardent de réalité.

Que ceux qui veulent être artisans de l'avenir n'oublent jamais qu'un esprit véritablement éclairé doit être indépendant, et qu'une explication, quelque séduisante qu'elle soit, ne saurait être autre chose qu'une explication transitoire.

Tel a bien été ce dogme de la matière et de la force, une et intangible; tel pourrait bien être aussi le système nouveau que les progrès de la science nous imposent aujourd'hui.

L'atome matériel et immuable de *Dalton* semble aujourd'hui constitué par un système d'éléments impondérables dont les propriétés matérielles sont dues à un état d'équilibre des parties constituantes. Cela revient à dire que la matière est une forme de l'énergie : l'énergie intra-atomique.

Déjà depuis longtemps on admettait que les atomes pourraient bien être constitués comme des tourbillons analogues aux couronnes de fumée de l'hydrogène phosphoré, ou à des sortes de tores. Cette hypothèse vient de passer dans le domaine de l'expérimentation et de la réalité. La matière est un tourbillon formé au sein de l'éther immatériel. Ces tourbillons n'ont une

individualité que par suite de leur état d'équilibre ; mais cette individualité, supposée jadis indestructible et éternelle, n'est qu'éphémère.

La matière retourne au néant de l'éther, dès que les forces qui maintiennent son existence cessent d'agir. Elle est donc une variété de l'énergie caractérisée par une colossale grandeur et une accumulation considérable, sous un très faible volume.

« Sans prétendre donner la définition si vainement cherchée de l'énergie, nous nous bornerons dit GUSTAVE LE BON, à faire remarquer que toute phénoménalité n'est qu'une transformation d'équilibre. Lorsque les transformations d'équilibre sont rapides, nous les nommons électricité, chaleur, lumière, etc. ; lorsque les changements d'équilibre sont plus lents, nous leur donnons le nom de matière. »

Les diverses formes de l'énergie résultent de la dissociation des éléments matériels. Comme l'énergie, condensée dans l'atome, est en quantité colossale, il en résulte qu'une quantité énorme d'énergie correspond à une perte insignifiante de matière. L'énergie n'est, à ce point de vue, que la dernière forme que revêt la matière avant de s'évanouir dans l'espace éthéré.

L'esprit le moins enclin aux hypothèses hardies ne manquera point toutefois de chercher dans un phénomène inverse du précédent l'origine du *Cosmos*. Il ne faudrait point s'imaginer cependant que cette conception nouvelle du monde matériel puisse conduire à nier l'existence de la matière ! Celle-ci est une

conception de nos sens, et elle demeure ; mais disparaît, à la lumière des faits nouveaux, la dualité classique entre elle et l'énergie, dont elle paraît être une forme stable.

Disparu à jamais, semble-t-il, le dogme infailible de l'immortalité de la matière, et de la fixité du quantum d'énergie ; une science nouvelle s'édifie, brillante déjà de conquêtes superbes, sur la transformation de la matière en énergie.

Les conséquences de ces faits nouveaux sont aussi imprévues que merveilleuses ; et la science a devant elle un monde nouveau, et extraordinairement fertile à explorer.

CHAPITRE II

LES IONS ET LES ÉLECTRONS

L'expérience a montré que pour pénétrer dans l'intimité de la matière, il n'est pas de meilleur moyen que d'aborder immédiatement l'étude des phénomènes généraux de l'électricité.

C'est, en effet, aux étonnants progrès de la science électrique qu'on doit d'avoir pu percer le mystère de la nature si jalousement conservé depuis que le monde est monde.

Devançant ici les conclusions qui se dégageront de l'ensemble des faits exposés dans ce petit volume, nous dirons que, dans les idées modernes, on considère l'électricité comme une forme de matière, ou, plus exactement, la matière comme constituée électriquement. Voilà le trait fondamental qui domine l'ensemble des idées modernes.

On connaît la théorie des ions due au savant suédois SWANTE ARRHÉNIUS, et dont l'application à l'étude des solutions, et, en particulier aux phénomènes d'é-

lectrolyse, a permis de trouver une explication raisonnée de ceux-ci.

ARRHÉNIUS admet que dans la solution aqueuse d'un électrolyte, les molécules électrolytes ne sont pas dans leur état normal, mais se trouvent décomposées en certains de leurs constituants qui sont des ions. Par exemple, une solution de chlorure de sodium NaCl renfermerait des ions sodium Na , et des ions chlore Cl ; de même une molécule de nitrate de potassium se scinderait en un ion K et en un ion NO^3 ; dans chaque cas, la molécule se scinde en deux groupes mono-atomiques ou pluri-atomiques. Les ions sont ici les anciens radicaux qui, dans la théorie de BERZÉLIUS, se précipitent vers les électrodes, au cours d'une électrolyse. L'agent dissociant paraît être le dissolvant, et il agirait en neutralisant la force de cohésion moléculaire, en scindant les molécules en leurs constituants qui apparaissent dans le solvant, *pourvues de charges électriques*, et ne diffèrent des atomes proprement dits que par suite de l'existence de cette charge électrique ; une molécule de chlorure de potassium KCl serait décomposée ou dissociée, suivant l'expression consacrée, en un ion K chargé positivement ($\text{K}+$) ; et en un ion Cl chargé négativement ($\text{Cl}-$). L'existence de cette charge électrique est précisément ce qui fait de l'ion quelque chose de si différent de l'atome libre, une individualité spécifique à part.

Dans une solution, la conductibilité appartient aux ions. Les corps purs dissous ne sont jamais des con-

ducteurs, parce qu'ils ne sont pas dissociés ; mais la conductibilité apparaît dès que la pureté cesse, et elle croît en sens inverse ; elle est maxima dès qu'il y a eu création du maximum d'ions possible pas dilution dans un solvant convenable. Ce phénomène est une véritable dissociation, qui obéit aux lois d'équilibre connues.

Dans une solution ionisée soumise à l'électrolyse, les ions positifs sont attirés par la charge négative de la cathode, et les ions négatifs sont attirés par la charge positive de l'anode. De là les termes d'anion et de cathion qui servent à désigner les ions positifs et les ions négatifs.

Il est bien nécessaire de saisir toute la différence que l'école d'ARRHÉNUS, qui comprend aujourd'hui la majorité du monde savant, fait entre l'ion et l'atome.

L'ion est un atome enveloppé d'une atmosphère d'énergie, d'une charge d'électricité qui lui est propre, et qui en fait une chose différant totalement de l'atome ; atome que l'on ne connaît pas à l'état libre, puisque la matière nous le livre sous forme de combinaison moléculaire. Il faut insister ici sur l'extraordinaire facilité avec laquelle les solvants effectuent cet écartellement des molécules, qu'on ne saurait obtenir par une autre voie sans une mise en jeu considérable d'énergie.

En l'absence d'un courant traversant la solution électrolyte, les ions errent dans le liquide sans aucune direction déterminée, comme des molécules dans un

gaz. Un champ électrique seul est susceptible de les orienter, en raison des charges qu'ils portent.

A l'exemple des molécules dont la théorie cinétique des gaz nous entretient, ces ions se rencontrent l'un l'autre incessamment ; et leurs chocs réciproques, ou leurs chocs avec les molécules non dissociées, donnent naissance soit à la recombinaison de deux ions distincts, soit à une séparation ou dislocation de la molécule frappée, en ions. Ces chocs incessants limitent un état d'équilibre caractéristique de la substance envisagée, de la même façon que la pression d'un gaz résulte de la théorie cinétique.

Sans avoir à reproduire ici les lois de l'électrolyse que nous supposons connues du lecteur, nous rappellerons que dans un électrolyte, le mouvement des ions vers les électrodes où ils vont se décharger, constitue la cause elle-même du courant. On apprend que chaque ion transporte aux électrodes une même quantité d'électricité.

HELMHOLTZ a montré, en 1881, que des lois de l'électrolyse se dégagent la notion de quantité d'électricité à existence individuelle ; cette quantité étant celle transportée par un ion monovalent ; c'est l'équivalent électrochimique dont la définition est connue.

Si l'on considère ces propriétés de l'atome de DALTON, portion fixe et déterminée de matière qui, à l'état d'ion, transporte une charge électrique fixe et indivisible, et qui, par suite, constitue une sorte d'atome électrique, on peut donner à cette charge électrique,

dégagée par l'esprit de toute matérialité, un nom ; et JOHNSTONE STONEY a proposé celui d'*électron*.

Il est nécessaire de bien saisir la définition réelle de cette quantité nouvelle qu'est l'électron ; car elle joue un rôle extrêmement important dans l'exposé des faits qui aura lieu dans la suite.

L'électron n'est pas la charge électrique portée par l'ion considérée simultanément à cet ion ; mais c'est la charge de cet ion supposée susceptible d'exister seule, ou tout au moins d'être conçue, pour un instant, indépendamment de toute quantité matérielle.

Dans le cas d'un électrolyte, on dit que le courant passe, quand les ions cheminent dans le liquide vers les électrodes, où ils viennent perdre les électrons qu'ils transportent. Nous savons que dans le même intervalle de temps il se décharge le même nombre d'ions sur les deux électrodes. Que deviennent les électrons ainsi libérés ? S'élancent-ils simultanément, en raison de leur affinité, dans le circuit extérieur ? L'expérience montre qu'il n'en est pas ainsi ; que seul, l'électron de l'ion négatif abandonne celui-ci à l'anode, l'électron de l'ion positif, étant neutralisé à la cathode. Ce sont les électrons négatifs qui parcourent le circuit extérieur sous forme de courant, et viennent neutraliser les électrons positifs à la cathode. Donc, pendant qu'un ion négatif, se précipitant sur l'anode cède à celle-ci un électron négatif, l'ion positif arrivant à la cathode *ne cède pas d'électron positif à cette dernière, mais lui prend, au contraire un électron négatif.*

Quant à la cause elle-même de la charge des ions,

à l'origine elle est due au travail de dissociation qui précède l'électrolyse ; et elle s'alimente par les phénomènes chimiques qui entretiennent celle-ci.

Ainsi donc, et pour résumer les faits qui précèdent, les ions électrolytiques sont des particules matérielles du même ordre de grandeur que les atomes ; et qui diffèrent des atomes eux-mêmes en ce qu'ils transportent une charge électrique à laquelle on donne le nom d'électron. Les électrons négatifs passent de l'électrolyte dans le circuit extérieur, et ils viennent à la cathode neutraliser les électrons positifs. Les électrons peuvent donc avoir une existence indépendamment de toute question de matérialité. Ce sont alors des centres tourbillonnaires dans l'éther ; ils sont, d'autre part, le courant électrique lui-même.

A l'exemple des liquides purs et secs, les gaz purs et secs ne sont pas conducteurs du courant ; et l'on sait qu'un électromètre peut rester chargé des mois entiers dans ces circonstances. Mais les gaz, comme les liquides, renferment des particules qui, à un moment donné, et dans des circonstances déterminées, peuvent servir à convoier le courant. On dit, dans ces conditions, lorsqu'un gaz devient conducteur, qu'il s'est ionisé, et qu'il s'est formé dans son sein des ions en tous points comparables aux ions électrolytiques, et qui, comme eux, obéissent à l'action du courant ou d'un champ électrique.

Dans les conditions ordinaires, les gaz sont infiniment peu ionisés, et par suite, très peu conducteurs, comme l'on sait ; mais on peut, dans certaines cir-

constances, faire croître considérablement l'ionisation de façon à rendre le gaz très conducteur. Les ions gazeux, comme les ions dans un électrolyte liquide, sont des particules de matière gazéifiée, transportant des charges électriques, des électrons.

Cette conception toute récente de la nature des gaz concorde avec toutes les expériences faites, et explique tous les faits jusqu'ici inexplicables. Nous signalerons simplement la décharge d'un gaz électrisé quand on le filtre sur du coton qui retient toutes les particules, ou bien quand on le fait circuler entre deux conducteurs électrisés. Comme en électrolyse, on trouve du reste une preuve de cette ionisation dans l'existence d'un *courant de saturation* indiquant la limite de l'équilibre d'ionisation, quand on cherche à faire croître indéfiniment la valeur du courant traversant un espace gazeux ; et enfin, l'intensité croissante d'un courant qu'on fait passer dans une masse d'air ionisé entre deux disques, lorsqu'on augmente la distance des deux disques ; ce qui indique bien qu'en augmentant l'espace libre, on a augmenté le nombre d'ions convoyeurs.

Les ions gazeux communiquent aux gaz, comme nous l'avons vu, une conductibilité analogue à celle que donnent les ions électrolytiques aux solutions. Cette conductibilité n'est pas durable. Les électrons contenus dans les ions positifs et les électrons des ions négatifs en se combinant, amènent cette conductibilité à disparaître au bout d'un temps assez court, mais mesurable. Nous trouvons là une nouvelle différence entre

les ions gazeux et les ions électrolytiques. Ce phénomène de combinaison des ions obéit à la loi de GULDBERG et WAAGE.

Enfin, il est nécessaire de dire que de nombreuses expériences ont montré que la nature du gaz ne joue qu'un rôle tout à fait secondaire dans l'ionisation.

Il existe de très nombreux moyens pour provoquer l'ionisation des gaz, et nous en examinerons quelques-uns au prochain chapitre. Lorsque des rayons ultra-violetts tombent sur un corps solide, ils provoquent, notamment, la formation d'électrons qui se diffusent à l'extérieur et peuvent, s'ils ont une vitesse suffisante, provoquer une ionisation des atomes neutres de l'air. Du reste les radiations ultra-violettes les plus réfringibles peuvent aussi provoquer directement l'ionisation des gaz qu'elles traversent, imprimant aux électrons des atomes gazeux une impulsion électrique instantanée. La chaleur, enfin, qui équivaut à une augmentation de vitesse des atomes et de la vitesse de leurs vibrations, provoque aussi l'ionisation des gaz.

Le nombre d'ions gazeux contenus dans un gaz au plus haut degré d'ionisation auquel on puisse parvenir, est très petit, si on le compare au nombre total de molécules existant dans le gaz : il y a moins d'un ion pour un billion de molécules gazeuses, suivant LANGEVIN.

Dès lors, les ions gazeux, comme les ions électrolytes dans une solution excessivement diluée, doivent avoir une mobilité indépendante de leur concentration. Des calculs de ZÉLÉNY il résulte qu'un ion gazeux dans

de l'air sec a une vitesse quatre cents fois plus grande que celle de l'ion électrolytique hydrogène, le plus mobile d'entre tous les ions. Et d'autre part, comme la résistance de l'air est incomparablement plus faible que celle d'un électrolyte, même en tenant compte des différences de masse, on constate que dans l'air, un ion d'hydrogène positif a une vitesse deux mille fois plus grande que ce même ion électrolyte. Bien des causes peuvent du reste modifier cette mobilité et cette vitesse des ions gazeux, et nous signalerons notamment l'humidité qui exerce une action retardatrice. On montre, dans l'étude des solutions et de l'électricité que les ions électrolytes se diffusent ; le même fait a lieu pour les ions gazeux, et l'on a établi les lois de cette diffusion ; comme dans le cas des ions électrolytes, cette diffusion donne naissance, ainsi que l'a montré ZÉLÉNY, à des différences de potentiel analogues à celles qu'on étudie dans le cas des ions électrolytes.

Les ions gazeux ont une autre propriété intéressante et qui a attiré l'attention d'un grand nombre de physiciens ; c'est leur propriété *condensante*. Introduits dans un gaz saturé de vapeurs, ils condensent cette vapeur en gouttelettes perceptibles, et il semble qu'ils forment le noyau des gouttelettes des brouillards. THOMSON a effectivement montré que si l'on dirige dans deux ballons renfermant l'un, de l'air filtré, c'est-à-dire privé d'électrons, et l'autre, de l'air ionisé, de la vapeur d'eau émise dans les mêmes con-

ditions par un même générateur, la vapeur se condense immédiatement en un épais brouillard dans le ballon renfermant les ions gazeux, et n'en donne pas dans le ballon qui est exempt des mêmes ions gazeux.

CHAPITRE III

PHÉNOMÈNES DE RADIATION DANS L'ÉTHÉR

(Radiations ondulatoires et corpusculaires)

Les phénomènes qui se passent dans l'éther immatériel ont acquis, sous l'effort incessant de la science, une importance fondamentale. Sans l'éther, la plupart des phénomènes physiques seraient inexplicables ; il n'y aurait ni pesanteur, ni lumière, ni électricité, ni chaleur, rien, en un mot, de tout ce que nous connaissons.

Le terme de radiation s'emploie pour indiquer une influence transmise d'une source aux objets qui l'environnent, sans qu'il soit besoin pour cela d'un temps perceptible dans les conditions ordinaires ; et la transmission effectuée de la sorte est dite radiante. C'est ainsi qu'avant de connaître la nature de la lumière qui nous est transmise des astres, on expliquait le méca-

nisme de cette transmission, en disant du phénomène qu'il était radiant.

Mais, à ce point de vue particulier, on saisit immédiatement l'objection qui vient à l'esprit, et qui fut nettement formulée par NEWTON, d'abord. Pour qu'une action, même radiante, se transmette à travers l'espace, d'un corps à un autre, il est nécessaire qu'entre ces deux corps il existe des connexions. C'est de là qu'est née la théorie corpusculaire ou de l'émission de la lumière, formulée d'abord par NEWTON. Suivant cette théorie, élevée à l'état de doctrine, la propagation de la lumière s'effectue grâce à des matériaux, particules ou corpuscules, qui, émises par l'astre radiant, se trouveraient projetées en ligne droite dans l'espace, à une vitesse pratiquement infinie. Un rayon lumineux, dans cette idée, était représenté par un courant de molécules isolées, lancées comme des projectiles par la source lumineuse, rebondissant sur les surfaces réfléchissantes, détournées de leur route par la réfraction, et se suivant les unes les autres à des distances très grandes et variables. Les particules qui donnaient des sensations de couleurs différentes, étaient de dimensions et de nature différentes.

FRESNEL a démontré toute la fausseté de cette conception ; et il a établi qu'à côté de la matière, il y a quelque chose d'autre servant de médium à la transmission de la lumière, c'est l'éther que nous avons vu.

Dans une série de travaux qui ont immortalisé son nom, FRESNEL a mis en évidence que la lumière est engendrée par un mouvement vibratoire de l'éther.

Suivant cette admirable théorie, chaque radiation colorée du spectre, chaque région de ce spectre, de l'infrarouge le plus éloigné à l'ultra-violet sensible seulement à la plaque photographique, correspond à une période de vibration particulière, dont l'amplitude va en diminuant régulièrement du rouge au violet. On apprend, en optique physique, à mesurer les longueurs d'onde de ces vibrations qui sont extrêmement courtes. On ignorait absolument la nature de ce mouvement ondulatoire quand MAXWELL, s'appuyant sur la découverte de l'induction électro-magnétique de FARADAY, mit en évidence *que les ondes lumineuses sont un phénomène électro-magnétique, développé dans l'éther par l'oscillation d'une charge électrique.* Cette **découverte fondamentale** fut faite en considérant que le rapport v d'une même quantité d'électricité évalué, d'une part dans le système électrostatique et, d'autre part, dans le système électro-magnétique, rapport qui détermine la vitesse de ce que nous allons bientôt définir une onde électro-magnétique, a une valeur très sensiblement égale à celle de la vitesse de la lumière. Pour bien comprendre ce fait fondamental, il est nécessaire de considérer le phénomène de décharge d'un condensateur. Prenons donc un condensateur de capacité C , ayant des charges électriques égales, et de signe contraire à chacune de ses armatures. THOMSON a établi que si on fait communiquer entre elles ces armatures, à l'aide d'un conducteur tel qu'entre sa résistance R , sa self-induction L , et la capacité C , il y ait la relation

$$R = 2 \sqrt{\frac{L}{C}}$$

la décharge n'est pas immédiate et totale, mais n'est obtenue qu'après un phénomène oscillatoire, dont voici le mécanisme. Au moment où l'on établit la communication, les deux charges se précipitent dans le fil pour s'y recombinaer ; mais, dans les conditions admises elles dépassent leurs positions d'équilibre, chacune d'elles remontant à l'armature opposée, qu'elle charge électrostatiquement pendant un temps très court ; puis les deux charges se précipitent de nouveau l'une sur l'autre, et effectuent ainsi un certain nombre de balancements, d'intensité progressivement décroissante, jusqu'à épuisement de l'énergie potentielle du début. Cette succession de courants alternatifs, développe dans l'espace environnant un champ magnétique de même période. En outre, les armatures possèdent elles-mêmes les charges électriques pendant un temps très court, et développent un champ électrostatique qui se superpose au premier ; les deux champs oscillants et décalés l'un par rapport à l'autre, d'une demi-période engendrent dans l'espace un champ électro magnétique.

Le chiffre v obtenu par MAXWELL exprime la vitesse de cette onde électro-magnétique. Les ondes obtenues par HERTZ, à l'aide de son résonnateur bien connu, étaient plus d'un million de fois plus grandes que les ondulations de la lumière visible ; mais grâce à une vitesse identique, obéissaient aux mêmes lois de réflexion, de réfraction et de polarisation.

Les recherches de LORENZ, poussées beaucoup plus loin encore dans cette voie, ont montré que les atomes

matériels et leur charge électrique, interviennent dans la production de l'onde électro-magnétique lumineuse.

Mais nous avons vu que les atomes sont les uns positifs et les autres négatifs ; il était permis de se demander de quel signe serait la particule engendrant l'onde électro-magnétique lumineuse. Grâce à la découverte du phénomène de ZEEMAN, on a pu mettre en évidence que seules les particules négatives entrent en jeu. On a même pu arriver à évaluer approximativement le rapport de la charge électrique de la particule vibrante, à sa masse matérielle, et montrer de la sorte que la particule vibrante possède la même charge que les ions électrolytiques ; mais que leur masse est environ, au minimum, mille fois plus faible que celle d'un atome d'hydrogène. On les a considérées comme étant des électrons négatifs libres.

Ces électrons possèdent une très faible masse ; et disons immédiatement que cette masse semble, elle-même, toute fictive, comme nous l'avons déjà vu.

Pour produire expérimentalement des vibrations électro-magnétiques de même longueur d'onde que celles de la lumière visible, il suffirait de donner à l'appareil qui les engendre une masse matérielle de l'ordre de grandeur d'un atome, et une période vibratoire infiniment courte, ayant pour numérateur l'unité, et pour dénominateur, un nombre de quinze chiffres.

Voilà donc l'épanouissement complet de la doctrine de FRESNEL, relative aux vibrations de l'éther ; et, en 1895, il semblait que la doctrine de l'unisson de NEWTON devait à jamais disparaître de la science. Elle

devait au contraire renaître en cette même année, sous une forme nouvelle, et acquérir une importance égale à celle de la doctrine de FRESNEL, à tel point qu'il serait aujourd'hui impossible d'expliquer sans elle l'ensemble des découvertes faites dans le champ des phénomènes de CROOKES, de ROENTGEN et des *corps radio-actifs*.

En 1895, en effet, ROENTGEN découvrait les rayons X dus à l'explosion radiante de particules de matière infiniment ténues, projetées à travers l'espace avec une rapidité excessive. Il est nécessaire de nous arrêter un instant sur cette découverte.

On connaît généralement le phénomène que présente un tube de GEISSLER, constitué par un tube de verre muni de deux électrodes en platine, et dans lequel on a fait un vide relatif jusqu'à 1 centimètre de mercure environ. Quand on y fait passer un courant à très haute tension, tel que celui fourni par une bobine de RUMKORFF, le tube s'illumine brillamment, sauf autour du fil relié au pôle négatif, qui porte le nom de cathode, et qui est entouré d'une gaine obscure.

CROOKES a montré qu'à mesure qu'on accroît le vide dans le tube, l'espace obscur qui environne la cathode seulement, pour un vide ordinaire, augmente à mesure que le vide croît, de façon à remplir tout le tube, qui cesse d'être lumineux pour un vide déterminé; mais, en même temps, la cathode émet normalement des rayons qui se dirigent en ligne droite, et provoquent une vraie phosphorescence du verre for-

mant les parois du tube aux endroits où ils frappent, c'est-à-dire du côté opposé à la cathode. On donne le nom de *rayons cathodiques* à cette lumière noire.

Ces rayons cathodiques jouissent de propriétés particulièrement intéressantes ; si l'on dispose sur leur chemin un obstacle, celui-ci est vivement échauffé et peut même être porté à l'incandescence, si la décharge est suffisamment puissante. Si l'obstacle est mobile, il est repoussé comme s'il recevait un certain nombre de chocs. Ces rayons sont déviés par un champ magnétique, ce qui indique nettement qu'ils sont pourvus de charges électriques.

Il est nécessaire d'insister un peu sur la formation des couches de lumière noire, aux alentours de la cathode, dans le cas des tubes de CROOKES, et dans celui de tous les tubes, où la conductibilité prend naissance grâce à une raréfaction et à l'ionisation d'un gaz. Au début, le phénomène est amorcé par le petit nombre d'ions existant naturellement dans le gaz.

Les électrons qui prennent ainsi naissance, acquièrent rapidement une vitesse telle que, par leurs chocs, ils deviennent aptes à ioniser les molécules gazeuses environnantes. Cela se produit effectivement, et cette région d'ionisation est la région des deuxièmes strates lumineuses qui entourent la cathode ; les ions positifs formés en cette région sont attirés vers la cathode avec une vitesse croissante, et dès que cette vitesse est devenue suffisante, ils engendrent une nouvelle zone d'ionisation qui constitue, à partir de la cathode, la pre-

mière zone lumineuse, ou première zone de strates ; et la région obscure qui environne la cathode est simplement la région d'élan, si l'on peut s'exprimer ainsi, région où électrons et ions voient leur vitesse s'accroître jusqu'au point nécessaire pour provoquer l'ionisation.

Les ions positifs qui se dirigent de la deuxième zone de strates lumineuses vers la cathode, sont en partie absorbés par celle-ci ; mais, si, par un dispositif convenable — cathode formée par une toile métallique, notamment — on leur permet de dépasser ce point dangereux, et de poursuivre leur chemin, on obtient ainsi les rayons positifs, rayons anodiques ou, enfin, *rayons canaux*.

Connaissant les rayons négatifs et leurs caractères, nous pouvons prévoir ce que seront les propriétés de ces rayons canaux, infiniment moins déviables par un champ magnétique notamment, que les électrons négatifs, par suite de leur masse beaucoup plus élevée et très voisine de celle des ions eux-mêmes, et enfin, déviés en sens inverse.

Les rayons cathodiques peuvent être produits sans passer par l'intermédiaire d'une décharge électrique, et ce point a une grande importance. On montre notamment que tous les corps soumis à l'action des rayons lumineux, et particulièrement des *rayons violets et ultra-violets*, émettent des électrons.

La nature électrique et négative de ces rayons cathodiques explique très bien la déviation qu'on remarque quand on les soumet à l'action d'un champ magné-

tique ; ils se conduisent alors absolument comme un élément de courant.

Suivant CROOKES, les rayons cathodiques représentent un quatrième état de la matière ; état extrêmement dilué auquel on donne le nom d'état *radiant*.

Cette théorie a été reconnue exacte. Conformément à cette hypothèse, ces rayons seraient engendrés par un départ de particules ou d'atomes de la matière cathodique, pourvus d'une charge électrique et acquérant sous l'influence du champ électrique, une rapidité et une énergie cinétique extrêmes. Ces particules ne sont autres que les électrons négatifs dont la masse est, nous l'avons vu, mille fois inférieure à celle d'un atome d'hydrogène. La nature de ces rayons est donc conforme à celle de la conception newtonnienne de la lumière.

En 1895, RÖENTGEN remarqua, qu'en plus des rayons cathodiques, un tube de Crookes émet des radiations nouvelles dont la plus remarquable propriété est leur aptitude à traverser tous les corps même ceux opaques à la lumière. On leur a donné le nom de *rayons X* ou de *rayons de Röntgen*.

Ces nouveaux rayons, qui peuvent être mis en évidence hors du tube générateur, grâce à la fluorescence intense qu'ils communiquent à diverses substances, et notamment au platino-cyanure de baryum, impressionnent les plaques photographiques sensibles absolument comme la lumière solaire et possèdent, en outre, la propriété de rendre conducteurs pour l'électricité les gaz qu'ils traversent et qui sont pratiquement

des isolants parfaits ; nous avons vu que ce fait est dû à une ionisation des gaz.

Il a été démontré que ces nouveaux rayons émanent toujours des obstacles qui reçoivent le bombardement des rayons cathodiques ; et l'intensité de ces rayons X ne dépend que du poids atomique de la matière constituant l'obstacle bombardé, lorsque celui-ci est constitué par un corps simple.

Quand le tube de Crookes ne renferme pas d'obstacles, les nouvelles radiations se forment au contact des parois du verre, mais il y a toujours avantage à adjoindre un obstacle, qui est généralement fait en platine ou en iridium. Cet obstacle prend le nom de *d'anticathode*, et par un dispositif de la cathode, on concentre sur cette anticathode les rayons cathodiques. Les rayons X ne sont pas déviés par un champ magnétique.

La nature de ces nouvelles radiations a été déduite avec facilité de la conception électro-magnétique de la lumière, que nous avons vue.

Quand les rayons cathodiques qui transportent des charges électriques, et qui représentent des radiations matérielles newtonniennes, sont brusquement arrêtés dans leur course par la rencontre d'un obstacle, l'obstacle produit une vibration de nature électro-magnétique, et c'est cette vibration qui constitue les rayons X.

Ainsi les rayons X, comme les rayons lumineux, sont le fait d'une ondulation de l'éther ; et la seule différence qui existe entre les deux semble résider en ce fait que, dans les premiers, les vibrations produc-

trices cessent rapidement, tandis que dans le cas de la lumière, il y a une succession régulière de vibrations de même nature. Ceci, joint à une longueur d'onde probablement très courte, permet de concevoir pourquoi les rayons X n'ont pas encore été réfléchis, réfractés ou polarisés, quoiqu'ils soient très voisins des rayons lumineux.

La différence de pouvoir pénétrant existant entre les rayons X et les rayons cathodiques n'est qu'une différence de degré et non d'espèce ou de nature ; car les rayons cathodiques jouissent, dans une certaine limite, des mêmes propriétés que les rayons X en ce qui touche leur pouvoir de pénétrer la matière opaque aux rayons lumineux ordinaires.

On ne saurait assez attirer l'attention sur les analogies surprenantes de certaines propriétés de ces deux sortes de radiations, cependant si différentes, par leur nature même ; les unes représentant de la matière irradiante, et les autres étant simplement un mode vibratoire de l'éther, de simples vibrations électriques.

CHAPITRE IV

LA MATIÈRE RADIO-ACTIVE

La découverte de ce nouveau type de matière, qui menace de bouleverser tout le domaine de la science, est une conséquence directe de la découverte des rayons X.

Nous avons vu que dans un tube dépourvu d'obstacle, ces rayons naissent sur la paroi même du tube, et que cette paroi devient fluorescente.

Dans les premiers temps, on crut que cette fluorescence était la cause productrice des rayons X ; et POINCARÉ émit l'hypothèse que la production des rayons X pourrait bien être un effet général de la fluorescence. Les expériences ultérieures démontrèrent que cette hypothèse n'était pas soutenable ; mais c'est en s'appuyant néanmoins sur cette idée, et en voulant voir si les corps rendus phosphorescents par la lumière du jour et non plus par les rayons cathodiques, émettaient aussi des rayons X, que BECQUEREL se mit à examiner divers composés fluorescents, et notamment le nitrate d'urane.

Son premier dispositif expérimental consistait à

placer le sel considéré au-dessus d'une plaque photographique enveloppée dans des matériaux opaques, de façon à la protéger complètement de l'action directe de la lumière, et à exposer le tout au soleil de manière à rendre le sel fluorescent. L'expérience fut concluante, et il semblait que le phénomène cherché avait réellement lieu ; mais une circonstance fortuite vint renverser toute la théorie. En opérant avec des matériaux n'ayant jamais vu le jour, BECQUEREL constata qu'ils influençaient la plaque sensible avec une intensité égale. Bien plus, l'expérience apprit que quel que soit le composé uranique utilisé ; qu'il soit ou non fluorescent ; il émet continuellement et spontanément des rayons capables de traverser les corps opaques, et d'agir sur la couche sensible d'une plaque photographique, même s'il n'a jamais vu le jour ; cette propriété étant absolument indépendante des conditions de milieu dans lesquelles s'est trouvé placé le sel, l'intensité de l'action étant uniquement fonction de la quantité d'uranium entrant dans la constitution moléculaire du sel considéré.

Une conclusion bien nette découlait de ces faits : l'extraordinaire propriété des sels d'urane était une propriété atomique.

Les recherches effectuées sur les radiations émises par les sels d'urane, démontrèrent dans la suite qu'elles se rapprochent d'une façon très remarquable des rayons X. Non seulement ces radiations pénètrent les corps opaques, leur pénétrabilité étant approximativement fonction de la densité de la matière comme pour

les rayons X, mais ils ionisent les gaz, et rendent fluorescents une foule de corps.

Pour les étudier, on a mis à contribution leur propriété d'ioniser les gaz ; ce qui permet d'employer à leur recherche un électromètre quelconque, et plus particulièrement l'électroscope à feuille d'or, l'un des instruments les plus vieux de la physique expérimentale, et auquel ces expériences nouvelles ont donné une grande importance. Nous ne décrivons pas ici l'électroscope ni son mode d'emploi pour cet usage particulier ; on trouve cette description dans tous les traités spéciaux sur ce sujet, et spécialement dans le très intéressant travail de E. RUTHERFORD, *Radio-activity*, qu'il faut lire.

Il est tout à fait nécessaire d'ajouter ici, simplement, que l'électroscope qui se montre si sensible conserverait sa charge indéfiniment dans le vide absolu même en présence de sels d'urane, ou quand bien même on le soumettrait à l'action des rayons X, car ce sont les gaz présents qui jouent le rôle de conducteurs dans le départ de la charge électrique après avoir été ionisés. Les feuilles d'or de l'électroscope communiquent leur charges aux ions gazeux qui les déchargent. Dès qu'on a eu en mains les réactifs nécessaires à ces recherches, c'est-à-dire l'électroscope et la plaque photographique, les découvertes dans ce domaine nouveau se sont multipliées avec une incroyable rapidité ; et l'on s'acharna à découvrir les substances jouissant de *radio-activité*, à l'exemple de l'uranium.

Ce fut d'abord le thorium auquel, en 1898, SCHMIDT

et M^{me} CURIE découvrirent des propriétés très voisines en intensité de celles de l'uranium, quoique un peu plus intenses et plus complexes.

Puis la même année, le savant français CURIE, qu'une mort prématurée et brutale a enlevé récemment à la science, aidé de sa femme, découvrit qu'un minerai uranifère de Joachimsthal, la pitchblende, possède une activité plusieurs centaines de fois plus forte que ne le voudrait sa teneur en uranium, activité évaluée en tenant compte du poids atomique de l'uranium. En étudiant ce minerai de plus près, M. et M^{me} CURIE finirent par en isoler un corps nouveau auquel ils donnèrent le nom de *radium*. Bientôt après, DEBIERNE isolait du même minerai un autre élément auquel on donnait le nom d'*actinium*.

Il nous paraît inutile d'insister longuement sur les efforts qu'il fallut faire pour arriver à isoler ces corps, ni sur l'ingéniosité des méthodes mises en œuvre. On trouvera toutes ces questions admirablement exposées dans l'ouvrage de RUTHERFORD déjà cité, ou dans celui de SODDY : *Radio-activity on the standpoint of the Desintegration theory*. Il nous suffira d'ajouter qu'après la découverte du radium, et de l'actinium dans la pitchblende de Joachimsthal, on a trouvé une infinité de minerais manifestant également des propriétés radio-actives ; et d'autres chercheurs, au nombre desquels il faut citer GETTEL et GEISEL, ont signalé du plomb actif auquel on a donné le nom de radio-plomb ; du tellure actif, qui a donné le radio-tellure ; mais on ne possède jusqu'ici que de faibles indices sur l'individualité de ces

nouveaux éléments, et seuls jusqu'à présent le radium et l'actinium méritent de prendre rang dans les tables.

La chimie des corps radio-actifs n'en est qu'à son début ; et l'on peut déjà se faire une idée de l'ample moisson de faits nouveaux qu'on devra y cueillir.

Le fait le plus important pour nous dans l'étude de ces corps radio-actifs, après avoir constaté leur existence et mis en évidence leurs propriétés, est de déterminer la nature des radiations qu'ils émettent. Qui dit radiation dit énergie ; et nous voilà en face d'un merveilleux problème qui a suscité des recherches et des théories sans fin. En effet, dans ces conditions nouvelles, que devient l'ancienne dualité de la matière et de l'énergie ? Nous allons trouver ici une des plus solides confirmations des doctrines révolutionnaires dont nous sommes déjà fait l'écho.

Nous avons appris à distinguer, aux chapitres précédents, deux catégories distinctes de radiations : les unes engendrées par une vibration de l'éther, et sur lesquelles un champ magnétique, quelque intense qu'il soit, n'exerce aucune action ; les autres qui sont dues à une véritable émission de corpuscules solides électrisés, et sur lesquelles le champ magnétique exerce une action manifeste dont le sens est donné par le sens lui-même de leur charge.

L'expérience a montré que les corps radio-actifs et en particulier le radium, qui paraît jusqu'ici le plus complexe d'entre eux, et, en tous les cas, le plus énergétique, émettent à la fois des rayons déviables par un champ électrique ou magnétique, et des rayons non

déviées par ces derniers : c'est-à-dire des radiations à la fois ondulatoires et corpusculaires.

Parmi ces radiations, on en a distingué avec certitude trois types qu'on a désignés en leur attribuant les premières lettres de l'alphabet grec. On a ainsi les rayons α , les rayons β et les rayons γ .

L'étude de ces radiations offre une très grande importance ; voici ce que l'on sait sur elles.

Les rayons α ont un pouvoir pénétrant très faible, et ils sont arrêtés par une simple feuille de papier, ou même par quelques centimètres d'air.

STRUTT les a considérés le premier comme étant des ions positifs lancés dans toutes les directions par le corps radio-actif. Leur masse est donc loin d'être négligeable, car elle est de l'ordre de grandeur d'un atome d'hydrogène ; ils sont chassés de la matière radio-active avec la colossale vitesse de 30.000 kilomètres par seconde, soit le dixième de la vitesse de la lumière.

RUTHERFORD a montré qu'ils sont déviés par un champ magnétique en sens inverse des rayons cathodiques, d'où l'on déduit leur nature matérielle et le sens de leur charge ; ce sont des ions positifs.

C'est à ces rayons que semblent dues l'ionisation des gaz et la luminescence des corps phosphorescents. Le phénomène reste circonscrit si le corps radio-actif est plongé au sein d'une masse gazeuse à la pression ordinaire, par suite de la faible pénétrabilité de ces rayons.

Les rayons β sont considérés comme formés d'élec-

trons identiques à ceux qui constituent les rayons cathodiques ; leur masse serait donc la millième partie de celle de l'atome d'hydrogène. Leur puissance de pénétration est considérable, et ils traversent avec facilité des feuilles métalliques minces. Ils sont lancés dans toutes les directions, et leur vitesse, qui est essentiellement variable, est considérable, et peut devenir très voisine de celle de la lumière. Ces particules semblent aussi très complexes, et non homogènes, ce qui explique les vitesses différentes dont elles sont animées.

Les rayons γ sont en tous points analogues aux rayons X, mais ils ont une plus grande pénétration ; ils traversent des lames métalliques épaisses ; comme les rayons β précédents, ils ne sont pas homogènes, et un même faisceau comprend des rayons plus ou moins pénétrants. Ils ne sont pas déviés par un champ magnétique ou par un champ électrique, ce qui explique bien leur nature.

De ces trois types de rayons, les rayons α sont les plus nombreux, car ils forment plus de 98 p. 100 de la masse totale des radiations, et les rayons γ sont les moins importants. Les rayons γ donnés par un kilogramme d'un sel d'urane peuvent tout juste être mis en évidence à l'aide des essais les plus subtils.

Il existe entre les rayons β et les rayons γ une relation de même ordre que celle qui existe entre les rayons cathodiques et les rayons X. Leur production provient de ce fait que les particules électriquement chargées qui constituent les rayons β voient leur vitesse croître au moment de leur expulsion du corps

radio-actif, d'où résulte la vibration électro-magnétique qui engendre les rayons γ .

Qui dit radiation dit mise en jeu d'énergie ; or, si la mesure de l'ensemble des radiations des substances radio-actives nous montre que leur radiation équivaut à une mise en jeu d'énergie importante, nous n'apercevons aucune autre origine à cette énergie, que la matière elle-même. Ce fait a semblé d'autant plus extraordinaire qu'on croyait, au moment de la découverte de ces substances, à l'existence d'une quantité d'énergie une et indivisible dans le monde : nous l'avons vu.

Non seulement les radiations sont capables d'engendrer des réactions chimiques importantes, mais leur énergie est telle qu'elle se manifeste par une production continuelle de chaleur, qui a été évaluée avec exactitude dans le cas du radium.

On constata d'abord qu'une parcelle de radium est toujours à une température notablement plus élevée que le milieu ambiant ; et, suivant CURIE, la quantité de chaleur dégagée, par un poids donné de radium, en une heure, suffirait à porter à 80°, environ, un poids d'eau égal au sien.

Nous avons vu que la puissance radio-active du radium est considérablement plus grande que celle de l'uranium ou du thorium.

Dans ce même ordre d'idées, il faut noter que du moment que les rayons α et β sont des électrons, chaque fois qu'ils seront arrêtés dans leur course, ils produiront des charges électriques ; les corps radio-

actifs donnant ainsi une source continue d'électricité en même temps que de chaleur.

Les radiations des corps radio-actifs jouissent, d'autre part, de la propriété de conférer aux corps inactifs qu'ils frappent une sorte de radio-activité temporaire; et le corps ainsi activé émet des rayons secondaires d'une façon temporaire, et contemporaine à l'action des rayons.

Une des plus curieuses propriétés des corps radio-actifs, outre l'émission de radiations connues, est de laisser dégager simultanément une partie de leur substance sous une autre forme. Il s'agit d'une sorte d'*émanation* qu'on a distinguée des radiations par sa diffusion à la manière d'un gaz, dont elle a du reste les propriétés générales.

Cette émanation non électrisée a une radio-activité temporaire; elle se condense à 150 degrés au-dessous de zéro. Cette émanation est susceptible de rendre temporairement radio-actifs les corps sur lesquels elle se dépose; et l'on donne à cette radio-activité temporaire le nom de radio-activité induite.

Cette radio-activité induite semble collée sur les corps; et sur un métal, par exemple, on peut l'enlever et la faire passer en solution en traitant le métal par un réactif susceptible de dissoudre les couches superficielles.

Si l'on dissout dans cette solution, qui a enlevé au métal toute sa radio-activité, un élément qu'on puisse précipiter ultérieurement, par exemple un sel de baryum qu'on peut précipiter à l'état de sulfate, en se

formant, le précipité entraîne généralement toute la radio-activité. En général, les corps rendus radio-actifs par l'émanation perdent graduellement avec le temps leur activité; tandis que la radio-activité d'un métal tel que le radium est une quantité constante. Cette émanation jouit, du reste, au point de vue radio-actif, des propriétés de l'élément radio-actif lui-même.

Très voisine sans doute de ce phénomène se trouve être la formation des métaux X.

RUTHERFORD a montré qu'on peut séparer un sel de thorium radio-actif en deux parties; l'une, à laquelle il donne le nom de thorium X, qui conserve toute la radio-activité primitive, mais la perd graduellement avec le temps; et une autre partie constituée de thorium absolument inactif, mais qui recouvre graduellement sa radio-activité primitive avec le temps, tandis que le thorium X perd graduellement, et dans le même temps, toute son activité.

Pour l'uranium, CROOKES et BECQUEREL en ont aussi isolé une partie active et une partie non active. La partie active à laquelle ils ont donné le nom d'uranium X, perd avec le temps, comme le thorium X, son activité; tandis que la partie inactive recouvre, dans le même temps, son activité perdue, la fraction active jouissant de toutes les propriétés du véritable uranium actif.

Mais en même temps que l'uranium ordinaire se transforme en uranium X, transformation accompagnée de radiations, l'uranium X, se transforme lui-même en quelque chose jusqu'ici inconnu.

Le même phénomène se poursuit avec le thorium ; et nous savons qu'en outre le thorium X se transforme en émanations.

Pour le radium, il semble que le mécanisme soit absolument analogue au précédent, sauf qu'on n'est pas arrivé à mettre en évidence le radium X ; mais on a pu déterminer que l'émanation du radium se transforme en un produit ultérieur qui est un gaz nouvellement découvert, l'hélium ; et les expériences récentes de CURIE et DEWAR mettent hors de doute cette transformation qui est un fait infiniment curieux.

Que sont ces modifications X ? Très vraisemblablement la fraction atomique du corps radio-actif en voie d'évolution ; la fraction d'atome qu'une cause encore inconnue entraîne dans un cataclysme insondable. Les éléments X sont des substances radio-actives, extrêmement actives et à vie très limitée. Si on pouvait en isoler une masse suffisante pour être déterminée, la balance permettrait de suivre à chaque instant son effondrement et son évanouissement dans l'éternité ; mais en raison même de leur extrême activité ces atomes en voie d'évolution ne s'accumulent pas en quantités pondérables.

CHAPITRE V

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES CORPS RADIO-ACTIFS

I. — *Propriétés physiques et chimiques des radiations*

Les radiations des substances radio-actives sont particulièrement intéressantes quand on envisage leurs propriétés physiques et chimiques.

Elles présentent un trait caractéristique et dominant : tous les phénomènes qu'elles engendrent sont des phénomènes de nature énergétique, dans lesquels les radiations interviennent comme source d'énergie.

Les principaux de ces phénomènes sont naturellement dus aux rayons α , les plus nombreux parmi ces radiations ; un petit nombre est dû aux rayons β ; et enfin les rayons γ n'ont, à ce point de vue, que des effets insignifiants dans la majorité des cas.

L'action phosphorescente est l'une de ces premières manifestations énergétiques. Quelque théorie qu'on ait proposée à l'égard de ces phénomènes de phosphorescence, il nous paraît indubitable qu'ils sont dus aux

chocs des rayons radio-actifs sur la substance phosphorescente. On en trouve une preuve dans le spintariscope de CROOKES.

Les substances qui deviennent lumineuses, c'est-à-dire phosphorescentes, sont nombreuses ; parmi elles, il faut citer les sulfures de strontium et de calcium ; les sulfates doubles d'urane ; le sulfure de zinc cristallisé ; les platino-cyanures doubles alcalins et alcalino-terreux, et un très grand nombre de minéraux naturels. Ces phénomènes de phosphorescence sont quelquefois absolument merveilleux, offrant des teintes et des nuances remarquables. Généralement les conditions physiques extérieures n'ont pas d'action sensible sur ces phénomènes. Cependant, dans quelques cas, le phénomène disparaît à basse température. Ces phénomènes durent généralement aussi longtemps que dure l'action des rayons radio-actifs. Cependant le sulfure de zinc, et le platino-cyanure de baryum diminuent d'intensité au bout d'un certain temps ; mais on peut les régénérer.

Les corps radio-actifs sont eux-mêmes lumineux ; ce phénomène est à peine visible pour les substances telles que l'uranium et le thorium qui ont une très faible radio-activité, mais il devient au contraire très intense et manifeste dans le cas des composés du radium et ne se trouve altéré par aucune variation de milieu.

On a examiné au spectroscopie cette lumière émise par les composés du radium et aussi par l'actinium.

SIR WILLIAM CROOKES et LADY HUGGINS (1) ont signalé dans le spectre de cette lumière l'existence d'un certain nombre de raies brillantes. GIESEL (2) a examiné de la même façon l'actinium, et déclare que son spectre renferme trois lignes brillantes (3).

Les conditions physiques ou chimiques extérieures sont sans action sensible sur le rayonnement des substances radio-actives ; c'est ainsi que CURIE (4) a trouvé que la luminosité du radium est la même à la température ordinaire et dans l'air liquide. La chaleur n'a également aucune influence.

Au point de vue chimique, les radiations issues des corps radio-actifs ont des actions puissantes ; elles transforment l'oxygène en ozone, colorent le verre, le spath-fluor et le sulfate de potassium ; transforment le phosphore blanc en phosphore rouge (5), décomposent le chloroforme et l'iodoforme (6), coagulent les albumines solubles, décomposent l'eau en ses éléments. Au point de vue physiologique, les radiations du radium provoquent des brûlures profondes et douloureuses sur les tissus vivants.

Ce sont là des preuves manifestes et qu'on a beaucoup multipliées de l'activité et de la grandeur de

1. *Proc. Roy. Soc.*, 72, p. 192 et 409, 1903.

2. *Ber. d. D. chim. ges.*, 37, p. 1696, 1904.

3. *Soc. franc. de phys.*, 2 mars 1900.

4. *CURIE. C. R.*, 129, p. 823, 1899.

5. *BEQUEREL. C. R.*, 123, p. 909, 1901.

6. *HARDY. Proc. Roy. Soc.*, 72, p. 200, 1903.

l'énergie mises en jeu dans les phénomènes radio-actifs, énergie et grandeur que nous allons examiner maintenant d'un peu plus près.

II. — *Energie des radiations des corps radio-actifs*

La première détermination quantitative de l'énergie représentée par les radiations des substances radio-actives est due à RUTHERFORD et MC. CLUNG (1), qui déterminaient le nombre total d'ions produits par l'absorption complète des radiations α , l'énergie nécessaire à la formation d'un ion ayant été préalablement déterminée et fixée à $1,9 \times 10^{10}$ ergs. Par cette méthode, ces auteurs ont montré qu'une gramme d'oxyde d'urane, en couche mince, donne environ 0,032 cal.-gr. par an, ce qui est très faible ; pour le radium, on arrive à un chiffre près de deux millions de fois plus grand, soit 69.000 gr.-cal.

CURIE et LABORDE montrèrent ensuite que le radium est toujours à une température de 2 ou 3 degrés plus élevée que le milieu ambiant : le radium dégage de l'énergie sous forme de chaleur. Des mesures effectuées au calorimètre BUNZEN ont montré que 0 gr. 170 de chlorure de radium dégageant 14 gr.-cal par heure (2) D'où 1 gramme de radium pur dégagerait presque 100 cal.-

1. *Phil. Trans.*, A., p. 25, 1901.

2. *C. R.*, t. CXXXVI, p. 673, 1903.

gr. par heure, et environ 876 grandes calories par an ; ces résultats ont été confirmés par RUNGE et PRECHT (1).

Dans ces phénomènes thermiques ce sont surtout les rayons α qui interviennent par leur bombardement ; l'effet dû aux rayons β est par lui-même très faible, il en est de même des rayons γ . RUTHERFORD et BARNES (2) n'ont pu arriver dans leurs recherches à déterminer d'une façon exacte le taux de cette participation.

L'énergie étant due en majorité et presque exclusivement aux particules α , il devient très important, pour la suite de cette étude, d'insister sur ce sujet ; car nous pourrons en déduire le nombre de particules α émises par un produit radio-actif donné, et en même temps le nombre de radiations α dégagées d'un poids donné de substance.

L'énergie d'une particule α a été évaluée et trouvée voisine de $5,9 \times 10^6$ ergs ; sachant qu'un centimètre cube d'hydrogène renferme $3,6 \times 10^{24}$ molécules, on calcule facilement qu'il doit y avoir, $3,6 \times 10^{24}$ atomes, dans un gramme d'une substance radio-active de poids atomique voisin de 200. Si chaque atome émet une particule α , l'énergie renfermée dans un gramme de matière sera de 2×10^{46} ergs ou $8,10^8$ gram.-cal.

Nous supposons ici que chaque atome donne une particule α ; nous verrons plus loin le sens plus précis qu'il faut donner à cette hypothèse.

1. Sitz. AK. Wiss. Berlin 4038, 1903.

2. Phil. Mag., mai 1905.

On a déterminé expérimentalement, et par le calcul, le nombre d'ions produits par une particule α . Le nombre moyen est de 86.000. Comme l'expérience montre que ces particules sont arrêtées après avoir parcouru 3 centimètres dans un gaz, on peut admettre que l'action ionisante est uniforme, et qu'une particule α donne 29.000 ions par centimètre de chemin parcouru.

WIEN, enfin, a déterminé le nombre de particules β émises par un gramme de radium ; il a d'abord montré que la charge de ces particules est de $1,13 \times 10^{10}$ coulombs, et le nombre moyen de particules a été évalué, à $7,3 \times 10^{10}$ par seconde. On en déduit que, dans le radium, il y a production d'une radiation β pour chaque quatre radiations α de produites, fait conforme à la théorie que nous allons maintenant examiner

CHAPITRE VI

THÉORIE GÉNÉRALE DES PHÉNOMÈNES DE RADIO-ACTIVITÉ

I. — *Théorie de la désintégration atomique.*

Les substances radio-actives que nous venons de voir, et qui se sont révélées à nous par leurs singulières propriétés ne sont pas comme on l'a cru tout d'abord, les représentants uniques de corps à propriétés exceptionnelles.

GUSTAVE LE BON a montré qu'il s'agit là d'une propriété générale de la matière, possédée à divers degrés par tous les corps.

Nous reviendrons, dans un des chapitres suivants, sur ce sujet qui bouleverse toutes nos connaissances traditionnelles sur la conservation de l'énergie et l'indestructibilité de la matière.

Mais il est, auparavant, nécessaire d'exposer la théorie générale qui, après avoir expliqué l'origine de la colossale somme d'énergie emmagasinée dans les substances radio-actives, a permis de concevoir, dans une

même vue générale, la matière, et l'énergie qu'elle détient.

Cette théorie, développée d'abord par RUTHERFORD et SODDY, a reçu le nom de théorie de la désintégration atomique ou, comme le dit GUSTAVE LE BON, de la dématérialisation de la matière.

Le point le plus caractéristique de l'histoire des matières radio-actives, c'est que les radiations qu'elles émettent, les rayons α et β , sont constituées de particules matérielles qui se trouvent expulsées de la masse radio-active elle-même. A tout prendre, par conséquent, ces matières radio-actives doivent avoir une existence limitée, et se trouvent appelées à une disparition plus ou moins prochaine. *A priori* on peut conclure qu'un atome radio-actif est un atome en voie d'évolution.

MARKWALD, en étudiant le pollonium, a pu confirmer cette déduction *a priori*, en montrant que les modifications radio-actives s'effectuent suivant les lois des réactions mono-moléculaires ; ce qui prouve immédiatement qu'il ne peut s'agir que de décomposition, c'est-à-dire de désintégration atomique.

L'expérience montre que cette désintégration est lente, et n'intéresse qu'un petit nombre d'atomes ; de telle sorte qu'au bout d'un grand nombre d'années on ne perçoit pas une décroissance sensible de la masse de ceux-ci.

Les atomes qui interviennent dans le processus radio-actif sont en voie de désintégration, c'est-à-dire de destruction par explosion. Au moment de leur rupture, ils lancent dans l'espace, sous forme de par-

ticules radiantés, des fragments de leur propre substance : les ions et les électrons.

La radio-activité se trouve être, dès lors, la propriété d'une quantité déterminée de matière active à chaque instant, et se comporte généralement comme une propriété atomique, à laquelle contribuent également tous les atomes. La grande majorité de ceux-ci sont, cependant, actuellement inactifs, avec une nature matérielle spécifique et caractéristique, qui n'est pas affectée ou n'exerce aucune influence sur le caractère particulier appartenant aux groupes d'atomes en voie de désintégration.

La dislocation des atomes individuels est un processus instantané et explosif ; mais il diffère du processus explosif ordinaire par ce fait, que l'explosion d'un atome n'exerce aucune influence sur la vitesse d'explosion des voisins ; on sait que le contraire a lieu avec les explosifs. Dans le cas des atomes en voie de désintégration, on ignore, jusqu'ici, la cause de la désintégration elle-même. Elle s'effectue à une vitesse définie. Une fraction constante de la masse totale d'atomes se désintègre dans l'unité de temps sans qu'aucun agent connu puisse accélérer ou retarder ce phénomène.

La radio-activité et le processus qui lui donne naissance, semblent se trouver en dehors de la sphère des forces moléculaires connues. On ne peut observer aucune variation dans les propriétés physiques ou chimiques de l'atome, au moment où il est sur le point de perdre son existence, et son entité d'espèce

définie ; soudainement, et sans aucune indication préalable, il vole en éclats sous l'influence d'un cataclysme intime, sur les causes duquel nous ne pouvons jusqu'ici émettre que des conjectures.

L'énorme somme d'énergie accumulée dans l'atome se manifeste au moment de sa désintégration. On comprendra facilement que l'énergie associée à la matière dans les radio-éléments soit d'un ordre autre que celle que nous connaissons, si l'on veut bien se souvenir que jusqu'ici on n'a jamais connu aucun autre processus dans lequel l'atome se soit modifié.

La radio-activité emprunte donc son énergie à un phénomène auquel on n'a encore jamais eu recours : à l'énergie latente associée à la structure atomique ; et n'est-il pas merveilleux que les propriétés des substances radio-actives, l'émanation qu'elles dégagent, les ions, les électrons, les rayons X, et l'électricité elle-même, puissent être créées de toutes pièces par la destruction de cette infinitésimale parcelle de matière ?

II. — *La transmutation des substances radio-actives*

Lorsque, dans le processus de la désintégration, un atome d'une substance radio-active se désintègre soudain avec émission de radiations, il ne le fait pas en se détruisant du premier coup ; mais il passe par une série, parfois longue, d'états intermédiaires, de termes de passage au bout desquels se trouve, soit

l'effondrement soudain et irrémédiable dans le néant, soit une forme stable et au contraire quasiment éternelle, dans l'état actuel de nos connaissances.

Chaque passage d'une forme intermédiaire à une autre, constitue un processus de désintégration, c'est-à-dire de simplification atomique ; phénomène généralement accompagné d'une émission de particules α , et quelquefois de radiations β et γ . Les atomes en voie de désintégration sont des métabolons ; mais il peut y avoir des transformations de substances radio-actives, sans que ce phénomène s'accompagne d'une émission de radiations.

Étudions rapidement d'un peu plus près ces transformations. Nous avons déjà vu la transformation de l'uranium en uranium X ; du thorium en thorium-X ; de l'actinium en actinium-X, etc. Le terme Me-X est le premier processus de transformation de ces substances radio-actives et la transformation en métal-X s'accompagne d'une première émission de radiations.

L'émanation que nous avons déjà également vue, serait le produit de la désintégration ultérieure du terme intermédiaire élément-X, désintégration généralement accompagnée d'une nouvelle émission de radiations actives.

Puis, l'émanation elle-même serait susceptible d'une nouvelle transmutation de produits ultérieurs plus simples encore au point de vue atomique, qui se transformeraient à leur tour jusqu'en un point où se trouve le néant, ou une forme stable.

Chaque corps radio-actif a, à ce point de vue, son

allure propre et tout à fait caractéristique. On trouvera dans un autre volume de cette collection consacré à l'étude des substances radio-actives plusieurs figures qui représentent quelles seraient les transformations successives admises par l'atome des différents corps radio-actifs que nous connaissons ; avec la suite des produits intermédiaires on a représenté en même temps la nature des radiations émises.

Si l'on considère qu'il est à peu près prouvé que la particule radiante α est constituée par un atome d'hélium, on est conduit à des conclusions d'un grand intérêt ; et notamment à un moyen de déterminer le poids atomique des différents termes intermédiaires qui résultent de la désintégration radio-active. Considérons le radium : son atome se désintègre en donnant d'abord un atome d'émanation qui diffère de l'atome de radium par une particule α en moins, soit par un atome d'hélium, soit de 4 ; son poids atomique est donc de $225,5 - 4 = 221,5$. De même le produit final de cette désintégration de l'atome de radium diffère de l'atome primitif de radium par cinq particules α , soit donc de 20 ; on est donc conduit à un poids atomique voisin de celui du plomb, et Rutherford ne paraît pas éloigné de croire que le terme ultime de la désintégration du radium soit le plomb !

III. — *L'énergie intra-atomique*

Nous venons de voir que les phénomènes de radio-

activité empruntent, suivant la théorie de la désintégration atomique, l'énergie qu'ils rayonnent, à une destruction de l'atome, destruction explosive qui s'effectuerait avec libération d'énergie. Nous nous trouvons donc conduits à admettre, qu'il existe dans l'atome une certaine somme d'énergie intra-atomique, énergie constitutive, quelque chose d'analogue, mais de très loin, à l'énergie contenue dans une substance endothermique.

Il est intéressant d'étudier cette énergie intra-atomique, de déterminer sa grandeur et sa force de libération.

Il faut bien le dire d'abord, son existence est toute objective et déduite de l'ensemble des faits que nous connaissons déjà ; qu'il s'agisse, en effet, d'émission spontanée des éléments radio-actifs, ou de ceux de l'ampoule de CROOKES, l'expérience nous a montré que les particules émises sont semblables. Il s'agit d'une intervention énergétique, produisant des effets partout les mêmes et qui, n'étant pas extérieure à la matière, ne peut exister que dans cette dernière. C'est l'énergie intra-atomique.

Celle-ci diffère de toutes les formes connues de l'énergie par son extrême concentration, par sa prodigieuse puissance, et par l'extraordinaire stabilité des équilibres auxquels elle donne naissance ; équilibres tellement stables que la destruction de la matière, dans les conditions ordinaires, est si faible qu'elle a pu passer pour indestructible jusqu'à nos jours.

L'origine de cette énergie paraît résider dans une

condensation de l'éther ; et, à ce point de vue on a comparé notre monde à une masse gazeuse comprimée à des milliards d'atmosphères.

On peut calculer approximativement toute l'extraordinaire énergie que représente, dans cette manière de voir, un poids infinitésimal de matière.

Nous avons vu que les radiations des éléments radio-actifs sont chassées avec une vitesse qui peut être égale à celle de la lumière, mais qui n'est, généralement, en moyenne, que le tiers de cette vitesse. Si l'on considère que l'énergie cinétique d'un corps est égale au produit de sa masse par le carré de sa vitesse, on voit qu'un poids de matière d'un gramme, pourrait représenter plus de 500 milliards de kilogrammètres, chiffre qui échappe à notre intelligence. RUTHERFORD a calculé qu'un gramme de radium émettrait pendant son existence un total de 425 millions de kilogrammètres, chiffre bien inférieur au précédent, mais qui ne tient compte que d'une partie de l'énergie libérée dans la radio-activité.

Beaucoup d'esprits chagrins seront tentés de considérer ces faits comme en dehors des réalités, et choquants. Et cependant, si l'on veut bien jeter les yeux un instant sur les charges électriques extraordinaires que l'électrolyse révèle sur chaque atome, on se plaît à considérer les faits précédents comme du même ordre. Ne savons-nous pas, que dans une électrolyse un atome transporte une charge de 96.000 coulombs, alors que la même charge suffirait à porter un globe grand comme notre terre au potentiel de 6.000 volts !

Et, d'autre part, deux sphères ayant une charge contraire d'un coulomb, et placées à un centimètre l'une de l'autre, se repoussent avec une force égale à 9 trillions de kilogrammes ! Que ne peut-il pas se passer dans l'atome, dans ces conditions !

A ce point de vue, THOMSON a calculé que si l'atome matériel est uniquement constitué de particules électriques, l'énergie accumulée dans un gramme de matière peut représenter 100 milliards de kilogrammètres.

Il est vrai qu'à première vue l'accumulation de forces aussi colossales dans une particule de matière aussi infinitésimale paraît extraordinaire. Mais cela seul provient de ce que nous ne sommes pas habitués à opérer avec des organes animés d'une vitesse comparable à celle que possèdent les particules radiantes des matières radio-actives.

L'atome, suivant cette manière de voir, serait un centre d'éther animé de mouvements d'une excessive rapidité ; et la rotation des éléments de l'atome serait une des conditions de leur stabilité, comme elle l'est pour un gyroscope. La désintégration de l'atome commencerait quand, pour une cause quelconque, la vitesse des éléments de l'atome s'abaissant, l'énergie cinétique croissante des particules leur permet de vaincre les forces les retenant, et d'être expulsées au dehors.

IV. — *Considérations générales déduites des propriétés des matières radio-actives*

La détermination de la durée ou vie d'un atome de radium, que nous avons vue, a montré que déjà au bout d'un millier d'années à peine, la quantité de radium existant dans un minerai quelconque serait réduite de moitié. Ce processus marcherait moins vite pour le thorium, mais demanderait à peine une centaine d'années dans le cas du pollonium. Ceci nous montre que les éléments radio-actifs sont des éléments en voie de transformation ; et, d'autre part, qu'ils proviennent à coup sûr d'une autre forme de matière, par une transformation ou transmutation encore inconnue. Effectivement, s'il n'en était pas ainsi, il y a longtemps qu'il n'existerait plus de ces substances sur notre terre.

De considérations théoriques sur lesquelles nous ne saurions insister ici, on a déduit que le radium et le pollonium sont des formes de passage d'éléments en voie de désintégration appartenant à la série de l'uranium. La vitesse de transformation du pollonium est environ mille fois celle du radium ; dès lors la quantité du pollonium doit être la millième de celle du radium, 10- fois celle de l'uranium.

Le pollonium serait donc un dérivé du radium ; et cette hypothèse trouve une confirmation de valeur

dans des expériences de GIESEL, qui aurait obtenu cette transformation du radium en pollonium. Néanmoins, on a constaté que la radiation de ce pollonium est formée uniquement de rayons α , tandis que dans l'émanation du radium qui donnerait naissance au pollonium, suivant GIESEL, SODDY a mis en évidence des rayons β . Mais il est possible que ces rayons β aient leur origine dans des produits intermédiaires.

SODDY a également recherché quelle pouvait être la quantité de radium que pourrait produire, en un temps donné, une masse donnée de sel d'uranium. Il a ainsi trouvé qu'en une année, un kilogramme de nitrate d'urane ne donne pas la cent millième partie de la quantité de radium qui serait formée d'après l'hypothèse admise. Il ne semble pas, dès lors, que l'uranium soit, à lui seul, la source première du radium. Il est probable qu'il se trouve, entre les deux, une forme de matière intermédiaire.

Nous avons vu que la loi d'évolution de l'atome des substances radio-actives s'effectue suivant la loi des phénomènes monomoléculaires. Il est difficile de trouver dans le domaine de la chimie ordinaire des phénomènes obéissant exactement, comme les substances radio-actives, aux lois des réactions monomoléculaires. On sait, en effet, que l'inversion ou hydrolyse du sucre, réaction monomoléculaire-type, qui a servi à WILHELMY à établir la loi de ces réactions, est loin d'avoir toute la simplicité désirable, puisque, à côté de la molécule de saccharose qui s'invertit, on a d'au-

tres molécules qui jouent aussi leur rôle : l'eau, notamment.

Toutes les réactions monomoléculaires véritables qui ont été étudiées, étaient des réactions endothermiques, telle par exemple que la dissociation de l'iode entre 1.250° et 1.500° . On ne peut étudier une réaction monomoléculaire s'effectuant avec dégagement de chaleur, car la chaleur dégagée conduit rapidement à un processus explosif. Il est donc très difficile d'obtenir, dans l'état actuel de nos ressources dans le domaine chimique, des données certaines sur les réactions monomoléculaires qui donnent lieu au processus de radio-activité. Du moment que les conditions extérieures n'exercent aucune influence sur la vitesse de la modification, et que la modification s'effectue avec dégagement de chaleur, la question se pose de déterminer les conditions qui régularisent la vitesse de la réaction, et assurent que seulement une certaine fraction du nombre total de systèmes, se modifie dans l'unité de temps.

En un mot, pourquoi est-ce que tous les atomes d'une substance radio-active ne s'effondrent pas en même temps, puisque chacun d'eux est destiné à disparaître? Vraisemblablement il doit exister des différences individuelles entre les atomes; et d'un moment que la température et d'autres influences sont sans effet, ces différences sont probablement de nature intra-atomique.

On voit combien cette notion est nouvelle et en contradiction avec les idées anciennes sur ce sujet.

Dans l'hypothèse originale de DALTON, tous les atomes d'un même corps sont semblables ; mais les considérations auxquelles conduit la connaissance des substances radio-actives montrent que, pour ces corps, en tous les cas, ces conclusions ne sauraient être conservées intactes, et qu'il faut les modifier. De toutes les considérations qu'on peut déduire de nos connaissances actuelles sur l'atome des substances radio-actives, il semble à quelques uns que cet atome pourrait être considéré comme un système solaire isolé, dont le cycle évolutif ne serait pas influencé par des causes extérieures ; mais une telle hypothèse ne saurait se soutenir aujourd'hui que la somme de nos connaissances s'est accrue.

Il est très probable que les parties internes de l'atome sont dans un état de mouvement extrêmement rapide ; ce qui s'accorde beaucoup mieux avec nos conceptions électrotoniques sur la matière.

Mais, si l'on étudie de près la loi de la radio-activité, il semble que ce mouvement intra-atomique soit essentiellement irrégulier, et l'on ne perçoit aucune raison plausible entraînant la désintégration. Sir OLIVIER LODGE a bien admis que la réaction entre la fraction de l'atome en révolution et l'éther environnant, pouvait faire naître une onde électro-magnétique susceptible de diminuer l'énergie interne totale de l'atome, jusqu'à une limite telle que la désintégration devienne possible ; mais cette hypothèse paraît inacceptable ; la cause de la désintégration semble toute fortuite.

On peut trouver une analogie dans ce sens dans la théorie cinétique des gaz. On sait que suivant celle-ci, toutes les molécules gazeuses sont animées de mouvements, mais qu'il n'y a aucune régularité dans ces mouvements ; et que certaines molécules sont regardées comme ayant momentanément une énergie cinétique beaucoup plus grande que d'autres. Mais ici, comme pour les substances radio-actives, si les méthodes de mesure et d'analyse dont on dispose permettent de connaître la résultante totale énergétique, on ne sait rien, ou presque rien, de l'énergie individuelle.

La désintégration atomique est un phénomène tellement nouveau, qu'aucune des lois anciennes, applicables aux atomes et aux molécules, ne trouve à intervenir ici ; la loi elle-même de la conservation de la masse est en défaut absolu ; et KAUFMANN a montré qu'un électron immatériel voit sa masse croître en apparence, au fur et à mesure que sa vitesse augmente, et qu'elle tend à devenir égale à celle de la lumière.

On en peut déduire aisément que la masse atomique est vraisemblablement une fonction de l'énergie interne.

CHAPITRE VII

LA DISSOCIATION DE LA MATIÈRE EST UN PHÉNOMÈNE GÉNÉRAL

Les substances radio-actives que nous avons étudiées ne sont pas les seuls corps susceptibles de donner naissance à une émission de radiations, c'est-à-dire à un départ de particules chargées. C'est là un phénomène d'ordre général : et dans la diversité des espèces chimiques, les substances radio-actives ont simplement droit à une place à part, par suite de l'extrême activité de ce phénomène, chez elles.

La radio-activité est un phénomène universel. Ce fait a été mis en évidence par un certain nombre de chercheurs, au premier rang desquels il faut citer GUSTAVE LE BON.

LE BON a montré que la plupart des corps soumis à l'action des rayons lumineux émettent des radiations analogues aux rayons cathodiques, et susceptibles de provoquer l'ionisation des gaz. Dans le spectre, la région de l'ultra-violet paraît être la plus active ; et dans un rayon de cette lumière, l'or et l'acier émettent as-

sez de radiations pour décharger presque instantanément un électroscope.

Il y a bien là dissociation de la matière, émission de radiations analogues à celles des substances radio-actives, car on peut les diriger sur l'électroscope ; et, d'autre part, la lumière seule ne jouit pas de la propriété de dissocier les molécules des gaz.

GUSTAVE LE BON a montré d'autre part, que les réactions les plus ordinaires de la chimie, réactions que journallement nous réalisons dans nos laboratoires, sont susceptibles de développer des radiations, et la preuve la plus immédiate remonte fort loin.

LAVOISIER ET CAVENDISH ont signalé que l'hydrogène qui se dégage, quand on décompose l'eau par du feu en présence d'un acide, est électrisé. Ce fait n'est-il pas frappant, quand on veut bien réfléchir que l'électrisation d'un gaz est impossible !

Il est donc manifeste que dans la réaction que nous venons de signaler, l'hydrogène s'est électrisé par suite d'un commencement de dissociation des atomes. Il est curieux de constater, dit LE BON, que la première expérience dont on pouvait déduire que la matière est périssable, a eu précisément pour auteur le savant illustre dont le plus grand titre de gloire est d'avoir cherché à prouver que la matière est indestructible.

On a signalé un très grand nombre de phénomènes du même ordre. L'une des plus typiques de ces réactions a été faite par LE BON, puis vérifiée par RUTHERFORD avec le sulfate de quinine. Ce corps, que la chaleur rend phosphorescent, perd cette propriété par un

chauffage prolongé ; redevient vivement lumineux par le refroidissement, et radio-actif pendant un instant. Cette radio-activité se produit pendant la période où le corps deshydraté s'hydrate de nouveau.

L'électricité elle-même peut provoquer l'activité de la matière ; mais le processus le plus général est celui occasionné par la chaleur : un corps qui brûle est une source de rayons cathodiques intense, et l'on sait, depuis fort longtemps, que les flammes déchargent les corps électrisés.

Enfin, G. LE BOY aurait également prouvé que les métaux renferment une sorte d'émanation qui peut être chassée par la chaleur, et qui se reconstitue spontanément.

Si comme l'affirme l'expérience, tous les corps que nous offre la nature sont ainsi susceptibles d'être dissous, et de devenir radio-actifs, il en résulte que la doctrine de l'invariabilité du poids des atomes n'est qu'une vaine apparence : mais, il est vrai que cette dissociation spontanée de la matière est très minime, et qu'elle est limitée par des forces antagonistes.

C'est à elle, sans doute, qu'est due l'électricité atmosphérique ; car il est très vraisemblable que les rayons ultra-violetts extérieurs jouissent à cet égard de propriétés dissociantes particulières, et qu'ils sont arrêtés par les premières couches de l'atmosphère, où dissocient spontanément les molécules gazeuses.

Cependant, malgré les preuves qui ont été données et que nous ne saurions songer à reproduire ici, on peut se demander comment, en dépit de sa stabilité, la

matière peut se dissocier sous des influences aussi légères qu'un simple rayon lumineux.

A vrai dire, on ne possède aucune réponse décisive à cette objection ; mais il faut faire remarquer que si, comme nous l'avons admis, la matière n'est qu'une condensation d'ondes éthérées en état d'équilibre statique, il se peut fort bien qu'une cause infinitésimale suffise à détruire cet équilibre, si elle est appropriée ; alors qu'un effort un million de fois plus puissant, mais non approprié, en serait incapable ; pour la même raison que l'iodure d'azote, insensible aux vibrations les plus intenses, n'explose que sous l'effet d'un mouvement ondulatoire approprié. Il se pourrait qu'ici intervienne un phénomène de résonance de même nature que ceux que nous offrent les diapasons.

Les changements de propriétés physiques de certains corps, si remarquables, sont des causes minimales impliquant nécessairement des changements d'équilibres moléculaires importants. Bref, généralement pour obtenir des transformations profondes d'équilibres moléculaires, ce n'est pas l'intensité de l'effort, qui importe, mais bien sa qualité.

Le mécanisme lui-même de cette dissociation se déduit aisément des faits que nous avons déjà exposés. L'atome étant considéré comme un système solaire, ayant un noyau central autour duquel tournent, avec une infinie vitesse, un millier au moins de particules (électrons) il est évident que si une cause quelconque vient rompre l'équilibre harmonieux de ce tout, la force centrifuge peut parfaitement surmonter les forces

d'attraction, d'où un bombardement donnant naissance à un phénomène radio-actif.

C'est là un phénomène qui nous paraît nouveau ; car il est intra-atomique, au lieu d'être extra-atomique, comme les réactions ordinaires de la chimie ; et il est également évident que le mécanisme ignoré de cette désagrégation atomique, comporte des conditions d'un ordre particulier tout à fait différentes de celles que l'on s'est habitué jusqu'ici à rencontrer en chimie. Suivant les idées modernes, il ne faudrait cependant pas voir autre chose que l'intervention d'un pouvoir chimique très voisin des phénomènes catalytiques, dans le phénomène de la radio-activité. La radio-activité, dit RUTHERFORD, est due à une succession de changements chimiques dans lesquels de nouveaux types de matières radio-actives sont formés continuellement. Elle est un processus d'équilibre où le taux de la production de nouvelle radio-activité est balancé par la perte de la radio-activité déjà produite. La radio-activité est maintenue par la continuelle production de nouvelles quantités de matière possédant de la radio-activité temporaire.

CHAPITRE VIII

NATURE DE L'ÉLECTRICITÉ (1)

Les considérations déduites des phénomènes d'électrolyse ont montré que la quantité d'électricité libre dont les ions sont susceptibles de se charger, est une quantité invariable ; l'explication la plus simple qu'on puisse donner de ce fait est celle proposée par HELMHOLTZ, d'après laquelle l'électricité elle-même aurait une structure atomique ; il faut, dès lors, en déduire qu'il existe des particules d'électricité positives et d'autres négatives.

C'est ce que nous avons appris dans ce qui précède ; nous y avons vu que les atomes de l'électricité, ou plus exactement la charge électrique correspondante, a reçu le nom d'*électron* ; l'électron n'ayant aucun caractère pondérable, et étant de l'électricité dépourvue de toute matérialité.

Nous avons vu également qu'il était possible d'arriver à obtenir des électrons négatifs à l'état libre. S'appuyant sur les recherches de HITTORF, sur les rayons cathodiques, WEICHERT, en 1897, a montré qu'ils étaient constitués d'électrons projetés avec une grande

1. On consultera avec fruit sur ce sujet : A. FLEMMING, *The Electronic Theory of Electricity* dans le *Popular science monthly* de mai 1902.

vitesse, évaluée comme nous l'avons vu, en déterminant l'action exercée sur eux par un champ magnétique et un champ électrostatique. D'autre part, nous avons rencontré encore ces électrons dans l'étude des substances radio-actives ; et leur existence ne saurait être mise en doute si l'on considère enfin la théorie de LORENTZ relative au phénomène de ZEEMANN. On montre facilement que l'électron est bien une quantité dépourvue de toute matérialité ; en effet, si l'on mesure la masse de particules électrisées en mouvement, et nous connaissons de telles particules, masse qui se détermine aisément connaissant leur vitesse, KAUFMANN et ABRAHAM ont constaté que le rapport de la charge e , à la masse m , d'une particule, varie avec la vitesse ; or, cela revient à dire que la masse elle-même varie avec la vitesse.

Cette donnée expérimentale prouve nettement que l'électron n'est autre chose qu'une charge électrique, distribuée sous un volume ou une surface de dimensions très petites. En effet, le calcul montre facilement que la masse d'un atome électrique ayant une vitesse égale à celle de la lumière serait infinie.

Ces particules électrisées possèdent un autre attribut qui les éloigne de la matière ordinaire ; c'est une inertie qui, au lieu d'être une grandeur constante comme pour les atomes matériels, varie avec la vitesse.

Ces atomes d'électricité sortis de la matière, ont donc conservé quelques-unes de ses propriétés ; mais ils seraient une substance ni solide, ni liquide, ni gazeuse ; une substance qui ne pèse pas, qui traverse

les obstacles et qui n'a de propriétés communes avec la matière qu'une certaine inertie et encore une inertie variant avec la vitesse, et par suite se différenciant très nettement de la matière, et aussi de l'éther, dont elle ne possède aucun des attributs.

Qu'est-ce alors ? Il semble très vraisemblable d'admettre qu'il s'agisse ici d'un lien entre la matière et l'éther ; et comme les effluves qui donnent naissance à ces électrons ne peuvent se produire sans perte définitive de matière, nous sommes fondé à dire que la dissociation de la matière réalise d'une incontestable façon la transformation du pondérable en impondérable ; et nous trouvons là une justification des affirmations, qui, au début, avaient pu paraître un peu osées.

En étudiant l'électricité, on constate facilement qu'elle réalise parfaitement ce lien intermédiaire entre le monde du pondérable et le monde de l'impondérable ; et c'est pour cela que son étude acquiert une si grande importance de nos jours, et plus particulièrement en ce qui nous touche ici.

L'électricité résulte d'une dissociation de la matière ; il suffit, pour en avoir mille preuves, de considérer attentivement les faits que nous venons de voir dans le courant de ce volume : l'émission des ions et des électrons, les rayons cathodiques et les rayons X. Le frottement sur lequel les anciennes machines statiques sont basées est aussi un moyen de dissociation de l'atome. On trouve entre les phénomènes radio-actifs et les phénomènes électriques d'étroites analogies, qui ont été signalées par de nombreux auteurs.

Les pôles d'une machine électrique en activité émettent des éléments radiants présentant d'étroites analogies avec l'émission des corps radio-actifs. Le fait a été nettement mis en évidence par G. LE BON.

Comme ceux-ci, ils rendent l'air conducteur par ionisation, et ces radiations obéissent à l'action d'un champ magnétique. Le pôle positif d'une telle machine lance des ions positifs, et ce sont des électrons qui partent du pôle négatif, électrons qui sont des atomes d'électricité pure; et l'on constate dans l'ensemble que ce qui sort d'une pointe électrisée, est identique à ce qui sort d'un corps radio-actif, sauf l'absence des rayons X, qui s'explique aisément.

Cela montre qu'un corps électrisé, de quelque façon qu'il le soit, est un corps dont les atomes ont subi un commencement de dissociation; et à ce point de vue l'électricité nous apparaît comme l'une des plus importantes phases de la dissociation ou dématérialisation de la matière, comme une substance semi-matérielle, intermédiaire entre la matière et l'éther.

Il faut relever encore d'autres analogies et d'autres différences entre l'électricité et la matière, afin de bien mettre en évidence la certitude de nos conclusions sur la nature de cette quantité.

On sait que le fluide électrique, nous l'avons montré, est constitué par un courant d'électrons; mais ce fluide est d'une mobilité qui lui permet de circuler dans un fil métallique avec la rapidité de la lumière, ce que ne pourraient faire les fluides matériels; et il échappe, en outre, à l'action de la gravitation. Telles

sont les différences fondamentales et considérables entre le fluide électrique et les fluides ordinaires ; mais les analogies ne sont pas moins frappantes ; et il nous suffira de signaler à cet égard les lois qui régissent l'écoulement des fluides matériels et du fluide électrique, et dont l'identité est aujourd'hui devenue classique ; il nous suffira de rappeler le mot typique de CORNU : « Une canalisation électrique doit être traitée comme une distribution d'eau ; en chaque point du réseau il faut assurer la pression nécessaire au débit. »

Mais ces analogies disparaissent lorsque au lieu de considérer le fluide en lui-même, on examine les électrons individuellement ; car nous savons que nous admettons que le fluide électrique est constitué par une suite d'électrons. N'est-il pas extraordinaire cet électron qui parcourt le fil télégraphique ; qui, dans la télégraphie hertzienne se transmet dans l'espace avec une infinie vitesse ; qui, sous forme de rayons X, traverse la matière opaque ?

Quoi d'étonnant qu'il soit devenu aujourd'hui, pour beaucoup de physiciens, la cause universelle de tous les phénomènes, l'élément fondamental de la matière, qui ne serait ainsi qu'un agrégat d'électrons ? Quelle est sa structure ? Tourbillon d'éther, de dimensions extraordinairement petites, d'une rigidité infinie, d'une structure peut-être aussi compliquée que celle attribuée aujourd'hui à l'atome ? C'est l'hypothèse qu'on fait, mais la vérité sur ce point reste un troublant mystère.

CHAPITRE IX

CONCLUSIONS

LA CONSTITUTION DE LA MATIÈRE SUIVANT LES IDÉES MODERNES

Nous avons montré dans le premier chapitre de ce volume quelles étaient les idées sur la matière au début de la période nouvelle, dont les faits signalés ici, marquent l'avènement. On affirmait hautement l'inaltérabilité et l'indestructibilité de la matière ; et, adoptant encore les idées de Lucrèce on considérait les éléments du « grand tout » comme solides et éternels.

Les faits qui ont été exposés ici, à grands traits, et qui nous ont montré que la matière peut passer du monde du pondérable au monde de l'impondérable, conduisent tout esprit impartial à modifier du tout au tout ce dogme jusqu'ici intangible.

Néanmoins, l'heure présente paraît surtout marquer le début d'une période d'anarchie et de chaos, où l'on voit s'évanouir les théories anciennes, et en surgir de

nouvelles qui serviront à édifier la science de demain. Aussi, comme toujours en semblables circonstances, est-il très difficile d'exposer qu'elles seront les idées qui prendront la place de celles actuellement admises, sur la constitution de la matière. Ces idées sont en voie de formation, et nous ne saurions donner autre chose que des approximations, et qu'indiquer les voies qui conduiront très vraisemblablement à la vérité définitive. A la base de ces idées nouvelles se trouvent les faits que nous avons successivement appris à connaître ici-même, et qui sont : 1° Les faits révélés par l'étude de la dissociation électrolytique ; 2° la découverte des rayons cathodiques ; 3° la découverte des rayons X ; 4° la découverte des corps dits radio-actifs, tels que l'uranium et le radium ; 5° la démonstration que la radio-activité n'appartient pas uniquement à certains corps, et qu'elle constitue une propriété générale de la matière. Chacun de ces sujets a été examiné ici-même.

Nous avons appris qu'avec l'électron on tend à substituer à la notion de matière, une notion nouvelle dans laquelle on considère l'atome comme uniquement constitué par un agrégat de particules électriques, elles-mêmes formées d'un tourbillon condensé d'éther.

Dans cette hypothèse, l'atome apparaît uniquement constitué de tourbillons électriques, l'atome étant une sorte de système solaire. « L'atome de matière se compose d'électrons et de rien d'autre » a dit LARMOR. Neutre sous sa forme habituelle, cet atome n'acquerrait une charge, que par la perte d'électrons, et les

réactions chimiques seraient dues à des pertes ou à des gains d'électrons.

Quant à la production des radiations, elle s'explique aisément comme nous l'avons déjà vu, en admettant que dans l'atome il y a équilibre entre les électrons divers et multiples, et que cet équilibre peut être rompu, et permettre le départ d'électrons sous l'effet de causes que nous ne connaissons pas encore. Par exemple, si ces électrons sont retenus, agrégés par leur vitesse de rotation, il se peut que sous l'effet d'une perte d'énergie cinétique, la force centrifuge vienne à l'emporter, et qu'elle permette le départ d'électrons engendrant les phénomènes radio-actifs.

Cette manière de considérer la constitution de la matière soulève de nombreuses questions, telles que la grandeur des éléments constitutants, la nature des forces qui les relient, et la variation des équilibres. Mais une donnée surpasse, en conséquences, toutes les autres : si la matière est bien réellement constituée d'électrons, particules d'éther impondérables, elle n'est plus immortelle et impérissable ; et il nous faut admettre, comme nous l'avons dit au chapitre premier, que si, dans la nature, nous ne sommes point encore arrivés à créer, nous sommes enfin parvenus à détruire. Que d'efforts a-t-il fallu, pour arriver à ce résultat négatif !

La grandeur des électrons est, comme nous l'avons vu, environ le millième de la grandeur d'un atome ; et l'on sait que la petitesse de l'atome lui même est telle que les chiffres qui l'expriment ne sauraient rien

dire à l'esprit. On peut s'en faire une idée en considérant que vraisemblablement, ce sont les électrons issus d'un corps, peut-être aussi les atomes eux-mêmes, qui réveillent dans nos sens olfactifs la sensation de l'odeur. Or, M. BERTHELOT a montré qu'un gramme d'iodoforme, dont l'odeur est si tenace et si pénétrante, perd seulement un centième de milligramme de son poids en une année, c'est-à-dire qu'il lui faudrait plus de cent ans pour diminuer d'un milligramme.

Suivant RUTHERFORD, un millimètre cube d'hydrogène renfermerait au minimum 36 millions de milliards de molécules. Il est tout à fait inutile d'insister sur ce sujet où nous ne saurions écrire que des chiffres trop grands pour satisfaire notre esprit.

De même que dans la théorie atomique, il a fallu admettre que les atomes constituant la matière ont des mouvements de rotation rapides, dont les variations expliquent les absorptions et les dépenses d'énergie, et dans l'ensemble, assurent la structure de la matière elle-même ; de même les forces qui maintiennent les électrons groupés en atomes sont des forces de rotation ; on ignore quelle est la nature des phénomènes d'attraction et de répulsion qui s'établissent de la sorte entre les molécules ; et nous ne possédons à cet égard que de vagues indications sur les lois mystérieuses qui interviennent pour édifier, avec les électrons, les solides atomiques servant de base au monde de la matière.

Et dès lors, la matière qui, jusqu'ici avait semblé une dans ses affinités et ses propriétés, se révèle comme

un être nouveau, d'une extraordinaire sensibilité, et d'une complexité sans égale !

Sa propriété la plus caractéristique est de s'évanouir lentement ; et, par conséquent, nous sommes amenés à entrevoir sa fin pour un jour, fort éloigné sans doute.

Mais cette doctrine nouvelle, en même temps qu'elle nous permet d'entrevoir la fin du monde, nous offre une vue nouvelle et vraisemblable sur la genèse du monde et sur la naissance de la matière.

Il semble très probable que l'éther a constitué le point de départ, a formé le premier noyau des mondes matériels, et que les mondes auraient comme élément fondamental l'éther. « Les mondes y naissent, et ils vont y mourir », dit GUSTAVE LE BON.

C'est l'extension à toutes les choses de cette terre de la merveilleuse théorie darwinnienne : transformation incessante de toutes choses ; la matière brute n'échappant pas elle-même à la loi souveraine qui fait naître, grandir et périr, et les êtres vivants qui peuplent notre planète, et les astres innombrables du cosmos universel.

Sans doute nous n'avons pas trouvé d'autre fin à la matière que l'atome électrique ; et quelques-uns diront que nous n'avons fait que déplacer le problème ; mais de semblables déplacements équivalent à des révolutions.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

Il n'a été fait aucune place aux indications bibliographiques au cours de ce volume, contrairement aux habitudes prises dans cette collection. Cela tient au caractère plus général et plus vulgarisateur de la présente brochure.

Nous indiquerons simplement ici les principales publications auxquelles nous avons puisé, et que le lecteur pourra consulter avec fruit ; il y trouvera la justification des faits dont il a été question ici : nous lui recommandons surtout le volume de GUSTAVE LE BON.

- ABRAHAM ET P. LANGEVIN. — Recueil de Mémoires et d'extraits sur les ions, les électrons et les corpuscules, publiés par la Société française de physique, 2 vol. in-8. Chez Gauthier-Villars, 1905.
- GUSTAVE LE BON. — *La Dématérialisation de la matière* (Bibliothèque de philosophie scientifique), Flammarion, éditeur à Paris, 1905.
- A. COTTON. — *Le phénomène de Zéemann* (Scientia). Gauthier-Villars, éditeur, 1902.
- M^{me} SKLADOWSKA CURIE. — *Recherches sur les substances radio-actives*. Gauthier-Villars, éditeur, Paris, 1904.

- L. DESCOMBE. — *La Célérité des ébranlements de l'éther* (Scientia), Gauthier-Villars, éditeur, 1903.
- A. FINDLAY. — *The Phase rule*. Longman Green, Londres, 1905.
- O. HEAVISIDE. — *Electro magnetic theory*. London, 1902.
- HERTZ. — *The electric Waves*. Chez Macmillan et C^{ie}, Londres.
— *Miscellaneous Papers*. Chez Macmillan et C^{ie}, Londres.
- LANGEVIN. — *Recherches sur les gaz ionisés*. Thèse, Paris, 1902.
- LARMOR. — *Aether and Matter*. Londres, 1895.
- O. LODGE. — *Sur les Electrons*. Gauthier-Villars, Paris, 1906.
— *Electro chemistry*. Longman-Green, Londres.
— *Electron : or the nature and proprieties of negative electricity*. Londres, 1907, un grand volume in-8.
— *Les Théories modernes de l'électricité*, un grand volume in-8. Paris, 1891.
- MAXWELL. — *Traité d'Electricité*. Londres, 1873.
- MELLOR. — *Chemical Dinamics and Reactions*. Longman Green. Londres.
- W. NERNST. — *Theoretical Chemistry*. Macmillan et C^{ie}, London, 1905.
- POINCARÉ. — *La Théorie de Maxwell et les Oscillations hertziennes* (Scientia). Gauthier-Villars, éditeur, Paris, 1899.

- POINCARÉ. — *Théorie mathématique de la lumière*. Carré et Naud, éditeurs, Paris, 1892.
 — *Les Oscillations électriques*. Carré et Naud, éditeurs, Paris, 1894.
- POZZI-ESCOT. — *Traité Élémentaire de physico-chimie*. Ch. Béranger, éditeur, Paris, 1905.
 — *Précis de chimie physique*. J. Rousset, éditeur, Paris, 1906.
 — *Les substances radio-actives*. J. Rousset, éditeur, Paris, 1907.
- PRESTON. — *The Theory of Light*. Macmillan et Cie, Londres.
 — *The Theory of Heat*. Macmillan et Cie, Londres.
- RIGUI. — *La Théorie moderne des phénomènes physiques (l'Éclairage Électrique)*. Paris, 1906.
- E. RUTHERFORD. — *Treatise on Radio-activity*. Cambridge.
- J.-J. THOMSON. — *Conduction of Electricity through gases*. Cambridge, 1904.
- S. THOMSON. — *Light visible and invisible*. Macmillan et Cie, Londres.
- F. SODDY. — *Radio activity and the stand point of the desintegration theory (The Electrician Series)*, London.
- P. VILLARD. — *Les Rayons cathodiques (Scientia)*, Gauthier-Villars, éditeur, 1903.
- VAN T'HOFF. — *Leçons de Chimie Physique*. Hermann, éditeur, Paris.

Principales publications de M. le Prof. Pozzi-Escot

EN VENTE:

à Paris: chez MM. Jules Rousset, Dunod, Gauthier-Villars,
Ch. Béranger et Masson, éditeurs.

à Madrid: chez MM. Bailly-Baillière e Hijos.

à New-York: chez John Wiley and Sons.

- Analyse chimique qualitative. (ENCYCLOPÉDIE DES AIDE-MÉMOIRE SCIENTIFIQUES H. LÉAUTÉ). Gauthier-Villars et Masson, éditeurs, Paris. Prix, broché 2 fr. 50, cartonné 3 fr.
- Analyse microchimique et spectroscopique (ENCYCLOPÉDIE DES AIDE-MÉMOIRE H. LÉAUTÉ). Gauthier-Villars et Masson, éditeurs, Paris. Prix broché, 2 fr. 50, cartonné 3 fr.
- Méthode résumée d'Analyse microchimique qualitative. Grand in-8°, nombreuses figures. Sociétés d'Éditions scientifiques, Editeur. Prix, broché 2 fr.
- Traité théorique et pratique d'Analyse minérale par les méthodes volumétriques et colorimétriques. In-12, Veuve Ch. Dunod, éditeur, Paris. Prix, broché 4 fr. 50
- Analyse des gaz (ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE H. LÉAUTÉ). Gauthier-Villars et Masson, éditeurs, Paris, 1900. Prix, broché 2 fr. 50, cartonné 3 fr.
- Les Diastases et leurs applications (ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE H. LÉAUTÉ). Gauthier-Villars et Masson, éd. Prix, broché 2 fr. 50, cartonné 3 fr.
- Etat actuel de nos connaissances sur les Oxydases et les Réductases. Un volume in-16. Préface du Dr J. de Rey Pailhade, ingénieur des mines. Dunod, éditeur, Paris, 1902. Prix 4 fr.
- Introduction à l'Étude de la Chimie agricole et végétale en collaboration avec M. le Dr K. Aso, de Tokio (Japon). In-16. F. de Rudeval, éditeur, Paris. Prix, broché 4 fr.
- Nature des Diastases. Petit in-12. J. Rousset, éd., Prix, broché. 3 fr.
- Travaux récents sur le rôle et la formation synthétique de l'Arginine chez les végétaux. Brochure grand in-8° de 30 pages broché. Paris, 1903. Prix 1 fr.
- The Reducing Enzymes. Grand in-8. Ira Remsen Editor Baltimore. Édition en anglais, broché, 1903. Prix. 3 fr.
- L'Énergie chimique primaire de la matière vivante, en collaboration avec M. le Professeur Oscar Loew, de Tokio (Japon). In-16, Jules Rousset, éditeur, 1904. Prix, broché 4 fr.
- Recherches sur la possibilité de détruire l'acide sulfureux dans les mélasses. Grand in-8° (médaillon d'or de l'Association des chimistes, broché 0 fr. 50
- Précis récents dans les Industries de fermentation. Grand in-8°. nombreuses figures (BIBLIOTHÈQUE DU MOIS SCIENTIFIQUE ET INDUSTRIEL) Veuve Ch. Dunod, éditeur, Paris, 1905. Prix 2 fr. 50
- Précis de Chimie Physique. Un grand vol. in-8° relié toile. Études résumées des connaissances les plus nouvelles de la chimie. 37 fig. Rousset, éditeur, 1906. Prix. 6 fr.
- Mécanisme de l'éduction dans les organismes. Broché 1 fr. 50
- Mécanisme chimique: Broché. In-18. Prix 1 fr. 50
- Les Toxines, les Virus et leurs anti-corps, broché. Prix 1 fr. 50
- Les Sérums Immunisants, in-8 broché. Prix 1 fr. 50
- Recherches sur le Mécanisme d'Acclimatation des levures à l'acide sulfureux in-8° broché. 2 fr.
- Compendio de Química-Física, un volume grand in-8°. Bailly-Baillière, éditeurs à Madrid.
- Toxines, Poisons, and antibodies, un volume petit in-18, relié toile (Dr A. I. Cohen) John Wiley and Sons, éditeurs, New-York.

Les Actualités Chimiques et Biologiques

Collection nouvelle à 1 fr. 50 le volume

Cette nouvelle collection se distingue par son caractère nettement utilitaire; nous avons voulu mettre à la disposition des hommes d'étude des résumés clairs et précis, tout à fait au courant des dernières acquisitions de la Science, leur permettant de suivre sans peine, et à peu de frais, les idées générales directrices, les variations de l'évolution scientifique et industrielle de ces deux branches les plus importantes du savoir humain, la chimie et la biologie, si étroitement unies l'une à l'autre.

Les **Actualités Chimiques et Biologiques** ne font double emploi avec aucun autre livre; mais à elles seules constitueront une bibliothèque complète des questions d'actualité à ordre du jour. Elles permettront à l'homme d'étude, à l'étudiant, aux chercheurs de toute sorte, aux médecins, aux ingénieurs, d'avoir à portée de la main sous une forme concise et précise, les données les plus récentes de la science sur les questions qui les intéressent.

La direction technique de cette collection a été confiée à M. le Professeur Pozzi-Escot, dont le nom est suffisamment connu pour nous dispenser d'insister sur ce choix.

L'ÉDITEUR

N. B. — Telle a été la notice qui a figuré il y a un an à peine sur le premier volume de cette collection. Depuis lors, le succès de celle-ci a dépassé toutes nos prévisions. Les premiers volumes déjà épuisés ont été réimprimés. Beaucoup d'entre eux ont été traduits en plusieurs langues. C'est un succès dont nous sommes légitimement fiers qui atteste de l'utilité de notre œuvre !

Imp. BONVALOT-JOUVE, 15, rue Racine, Paris.