

## *L'énergie intra-atomique*

Gustave Le Bon, La Revue Scientifique 1903

Cet article est paru en plusieurs parties dans les numéros des :

- 17 octobre 1903
- 24 octobre 1903
- 31 octobre 1903

comme eux de traverser les substances matérielles et d'engendrer des rayons X, est universelle. La lumière frappant une substance quelconque, une lampe qui brûle, des réactions chimiques fort diverses, une décharge électrique, etc., provoquent l'apparition de ces effluves. Les corps dits radioactifs, comme le radium, ne font que présenter à un haut degré un phénomène que toute matière possède à un degré quelconque.

### But de ce travail

Notre précédent mémoire sur la dissociation de la matière<sup>1</sup> était purement expérimental. Continuant à développer des recherches poursuivies depuis plusieurs années, nous y avons résumé les expériences qui nous ont servi à prouver que le phénomène de la radio-activité, c'est-à-dire de la dissociation des atomes, d'abord supposé spécial à quelques corps exceptionnels tels que l'uranium et le radium, était, au contraire, une propriété générale de la matière et par conséquent un des phénomènes les plus répandus de la nature.

L'aptitude des corps à se désagréger en émettant des effluves analogues aux rayons cathodiques, capables

Lorsque je formulai pour la première fois cette généralisation en l'appuyant d'expériences pourtant fort précises, elle ne frappa à peu près personne et il ne se rencontra dans le monde entier qu'un seul physicien, M. de Heen, qui en saisit la portée et prit la peine de la vérifier par de nombreuses expériences reproduites dans d'importants mémoires. Aujourd'hui cette doctrine est universellement admise, et tout récemment M. Lodge disait, au Congrès de Belfast, que le difficile n'était pas de rencontrer des corps radioactifs, mais bien des corps qui ne le soient pas à quelque degré.

Ce fut très progressivement et à la suite d'expériences réalisées de tous côtés que la lumière a fini par se faire et que l'importance des faits que j'avais signalés a été bien comprise. Cette importance n'est plus contestée aujourd'hui.

<sup>1</sup> Voir Revue Scientifique des 8, 15 et 22 novembre 1902.

d'hui, puisque la principale conséquence de toutes les recherches faites dans cette voie a été d'ébranler entièrement ce principe fondamental de la chimie : que les atomes, et par conséquent la matière, sont indestructibles. C'était un dogme qui, depuis 2 000 ans, n'avait jamais été contesté.

Mais nos expériences et toutes celles qui en ont été la suite comportent bien d'autres conséquences, indiquées sommairement dans mon dernier mémoire, et qui vont être développées dans ce nouveau travail. En voici brièvement l'énoncé :

Dans les effluves, toujours identiques, que tous les corps dégagent sous des influences diverses ou spontanément, nous constaterons des propriétés intermédiaires entre la matière et l'éther et par conséquent la transition entre les mondes du pondérable et de l'impondérable que la science avait profondément séparés jusqu'ici.

Cette conséquence des faits révélés par l'expérience, ne sera pas la plus importante de celles que nous aurons à mettre en évidence. En remontant aux causes de ces émissions d'effluves pouvant se dégager de tous les corps avec une vertigineuse vitesse, nous constaterons l'existence d'une énergie intra-atomique, méconnue jusqu'ici et qui dépasse cependant toutes les forces connues par sa colossale grandeur. Nous ne savons la libérer encore qu'en quantité assez faible, mais du calcul de cette quantité on peut déduire que, s'il était possible de dégager entièrement toute l'énergie contenue dans 1 g d'une matière quelconque, une pièce de cuivre de 1 centime par exemple, elle pourrait produire un travail égal à celui obtenu par la combustion de plusieurs millions de tonnes de charbon. L'inerte

matière que l'on croyait capable seulement de restituer, sous une forme quelconque, l'énergie qui lui a d'abord été fournie, nous apparaîtra au contraire comme un réservoir énorme d'énergie.

La constatation de l'existence de cette force nouvelle restée ignorée pendant si longtemps, malgré sa formidable grandeur, nous révélera immédiatement la source si mystérieuse encore de l'énergie manifestée par les corps pendant leur radio-activité.

Hantés par le fantôme rigide des principes de la thermodynamique et persuadés qu'un système matériel isolé ne peut émettre d'autre énergie que celle qui lui a d'abord été fournie, les physiciens persistent à rechercher au-dehors les sources de l'énergie manifestée pendant la radio-activité. Naturellement ils ne la trouvent pas, puisqu'elle est dans la matière elle-même et non en dehors d'elle.

La réalité de la forme nouvelle d'énergie dont nous n'avons cessé d'affirmer l'existence depuis l'origine de nos recherches, ne s'appuie nullement sur la théorie, mais sur des faits d'expérience, et c'est pourquoi nous avons la certitude que son existence ne pourra être niée pendant bien longtemps.

Ces faits d'expérience nous ont conduit ensuite à une hypothèse, discutable évidemment, mais d'une probabilité très grande. Cette hypothèse est la suivante :

Puisque la matière, loin d'être quelque chose d'inerte, est un réservoir considérable d'énergie, on est amené à se demander si elle ne serait pas uniquement composée d'énergie condensée sous une forme particulière d'où résulte le poids, la forme et la fixité. La matière

représenterait simplement une condensation d'énergie immense sous un très faible volume.

Mais c'est là, je le répète, une simple hypothèse sur laquelle je n'insiste pas. Le but de ce mémoire est de mettre en évidence les trois points fondamentaux suivants, conséquences de nos expériences :

*1° La matière supposée jadis indestructible s'évanouit lentement par la dissociation continue des atomes qui la composent.*

*2° Les produits de la dissociation des atomes constituent une substance intermédiaire par ses propriétés entre les corps pondérables et l'éther impondérable, c'est-à-dire entre deux mondes profondément séparés Jusqu'ici.*

*3° La matière jadis considérée comme inerte et ne pouvant que restituer l'énergie qui lui a d'abord été fournie est au contraire un colossal réservoir de forces qu'elle peut dépenser sans rien emprunter au-dehors.*

Que le lecteur ne se laisse pas effrayer par la hardiesse de quelques-unes des vues qu'il trouvera exposées ici. Des faits d'expériences les appuieront toujours. C'est en les prenant pour guides que nous avons essayé de pénétrer dans des régions inexplorées où il faut tâcher de s'orienter dans de profondes ténèbres. Ces ténèbres ne se dissipent pas en un jour et c'est pourquoi celui qui essaie de jalonner une route nouvelle au prix de rudes efforts, est bien rarement appelé à contempler les horizons où elle peut conduire.

« Lorsque Volta, Ampère ou Faraday, écrit M. A. Cornu, étudiaient la production ou la transformation de l'élec-

tricité sur des phénomènes minuscules, qui donc, à l'exception de quelque rare génie pouvait imaginer que leurs découvertes arriveraient à changer la face du monde ? L'histoire des grandes découvertes du siècle, fruit d'études longues et désintéressées, montre que la source des progrès réels est moins dans l'exploitation des résultats acquis que dans la recherche libre, abstraite, fantaisiste même, en un mot, dans la science pure et indépendante<sup>2</sup>».

## 1. La radio-activité comme propriété générale de la matière. Historique de cette découverte.

La doctrine de la généralité de la radio-activité de la matière, c'est à-dire de sa dissociation que Je défends depuis si longtemps, est à peu près universellement admise aujourd'hui et commence déjà à pénétrer dans les ouvrages de physique élémentaire classiques. Il n'y a pas beaucoup de théories d'une telle importance qui se soit répandue en un aussi petit nombre d'années.

Les idées fondamentales que je n'ai cessé de défendre depuis sept ans peuvent se formuler en quelques lignes. Je les emprunte au résumé récemment par M Lucien Poincaré.

« M. Gustave Le Bon, à qui l'on doit de nombreuses publications relatives aux phénomènes d'émission de divers rayonnements par la matière et qui fut certainement l'un des premiers à penser que la radio-activité est un phénomène général de la nature, admet que, sous des influences très diverses, lumière, actions chimiques, actions électriques, et souvent même

<sup>2</sup> *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Séance annuelle du 21 novembre 1896.*

spontanément, les atomes des corps simples peuvent se dissocier et émettre des effluves qui sont de la famille des rayons cathodiques et des rayons X ; mais toutes ces manifestations seraient des aspects particuliers d'une forme d'énergie entièrement nouvelle, entièrement distincte de l'énergie électrique et aussi répandue dans la nature que la chaleur. M. de Heen adopte des idées analogues<sup>3</sup>. »

Je n'ai qu'un fragment de phrase à rectifier dans les lignes qui précèdent, C'est celui où l'éminent savant dit que je fus « un des premiers » à montrer que la radio-activité est un phénomène universel. C'est « le premier » qu'il faut lire. Il suffit de se reporter aux *Comptes rendus de l'Académie des sciences* pour en avoir la preuve catégorique.

C'est au commencement de l'année 1897, en effet, que j'énonçai, en donnant des expériences, que tous les corps frappés par la lumière émettent des radiations capables de rendre l'air conducteur de l'électricité et de traverser les métaux, ce qui constitue encore aujourd'hui deux des caractères les plus fondamentaux de la radio-activité. Voici, d'ailleurs, les textes :

« Les radiations obscures engendrées par la lumière à la surface des corps déchargent l'électroscope. Elles traversent les écrans électriques (constitués uniquement, comme on le sait, par des lames métalliques). Elles impressionnent les plaques photographiques à travers les corps opaques... Tous les corps, métaux ou substances organisées frappés par la lumière donnent naissance à ces radiations. Ces radiations ne sauraient être confondues avec de l'électricité. Elles se rapprocheraient plutôt, par quelques-unes de leurs propriétés,

des rayons X. » (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 5 avril 1897, p. 755.)

Quelques semaines plus tard je donnais, dans les mêmes *Comptes rendus* (page 892) le détail des expériences de mesure destinées à confirmer ce qui précède ; j'indiquais l'analogie de ces radiations émises par tous les corps sous l'action de la lumière avec les rayons uraniques et concluais ma note en disant : « Les propriétés de l'uranium ne seraient donc qu'un cas particulier d'une loi très générale. »

Depuis, je ne cessai d'étendre mes expériences et je montrai (C. R. 1900, p. 892 et *Revue Scientifique*, 1900 1<sup>er</sup> sem., p. 452) que beaucoup de réactions chimiques produisaient des phénomènes de radio-activité. Continuant dans la même voie, je réussis finalement à prouver que toute matière est spontanément radioactive et que les excitants extérieurs, lumière, chaleur, etc, ne font que rendre sa radio-activité plus rapide.

Il y avait, à l'époque de la publication de mes premières notes, c'est-à-dire au commencement de 1897, une excellente raison pour que les assertions que j'émettais et qui sont universellement acceptées aujourd'hui, fussent tenues pour tout à fait invraisemblables et, par conséquent, pour que personne ne songeât à considérer la radio-activité comme un phénomène général. J'étais seul alors à nier la polarisation des rayons uraniques acceptée par tous les physiciens sans exception. Puisque les rayons uraniques se polarisaient, ils appartenaient nécessairement au chapitre de la lumière et étaient, par conséquent, une sorte de phosphorescence invisible. Il pouvait donc sembler absurde de chercher à

3 *Revue des Sciences*. Janvier 1903.

établir une analogie quelconque entre les rayons uraniques et des effluves de l'ordre des rayons cathodiques. Ce n'est qu'au bout de deux ans que les physiciens renoncèrent à admettre la polarisation des rayons uraniques et virent, par conséquent, qu'ils se trouvaient en présence de phénomènes entièrement nouveaux.

En résumant succinctement, la série des recherches entreprises sur ces phénomènes, il sera facile de montrer comment est née dans l'esprit des physiciens, puis s'est développée, l'idée fondamentale que la radio-activité de la matière c'est-à-dire sa dissociation est un phénomène universel.

C'est le jour même où parut en France le résumé du mémoire de M. Roentgen, que je fis insérer dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, et simplement pour prendre date, une courte note résumant les recherches que je faisais depuis deux ans et desquelles il résultait que la lumière tombant sur les corps produit des radiations capables de traverser les substances matérielles. N'ayant pu identifier ces radiations avec rien de connu, j'indiquais, toujours dans cette première note, qu'elles devaient probablement constituer une force inconnue – assertion sur laquelle je suis revenu bien des fois – et pour lui donner un nom, je choisis celui de *lumière noire*.

À peu près à la même époque, M. Becquerel, reprenant les expériences un peu oubliées de Niepce de Saint-Victor<sup>4</sup> et se servant comme lui de sels

4 C'est à ces expériences évidemment que faisait allusion M. J. J. Thomson lorsqu'il disait, dans une conférence résumée par le journal *The Electrician* du 17 novembre 1902, que « les phénomènes essentiels de la radio-activité étaient connus des physiciens depuis au moins cinquante ans. » Le silence tout à fait

d'urane, montra, toujours comme ce dernier, que ces sels émettaient dans l'obscurité certaines radiations capables d'impressionner les plaques photographiques. Poursuivant plus longtemps que son prédécesseur l'expérience, il vit que l'émission persistait indéfiniment. Encore sous l'influence des idées de Niepce de Saint-Victor, il crut d'abord, qu'il s'agissait de lumière emmagasinée, c'est-à-dire d'une sorte de phosphorescence invisible et, pour le prouver, il institua des expériences longuement développées dans les *Comptes rendus* de l'Académie des sciences et qui lui firent croire que les radiations émises par l'uranium se réfractent, se réfléchissent et se polarisent.

Plusieurs raisons, et notamment la propriété de rendre l'air conducteur de l'électricité, me faisaient supposer que les radiations émises par l'uranium étaient identiques à celles que j'avais constatées dans tous les corps, les métaux notamment. Mais comme ces radiations ne se polarisaient pas, je fus conduit à reprendre les expériences de M. Becquerel sur l'uranium et à constater, soit au moyen d'appareils identiques à ceux employés par ce savant, soit au moyen d'appareils nouveaux<sup>5</sup>, que les radiations émises par l'uranium n'étaient nullement susceptibles de polarisation. Il ne pouvait s'agir, par conséquent, de phosphorescence, mais de radiations analogues à celle que j'obtenais avec un métal quelconque. Les rayons uraniques constituaient donc bien, comme je l'écrivis dans le passage d'une note de 1897 rappelée plus haut, « un cas particulier d'une loi très géné-

complet gardé à l'égard de Niepce de Saint-Victor par les savants qui lui ont emprunté le point de départ de leurs recherches semblera un peu surprenant, je pense, aux historiens de L'avenir.

5 Voir notamment le dessin d'un de ces instruments dans la *Nature* du 2 juin 1900. p. 1.

rable. »

Je fus seul à soutenir cette opinion pendant deux ans. Tous les physiciens avaient admis les conclusions de M. Becquerel<sup>6</sup>. Ce ne fut qu'à la suite des expériences de M. Rutherford<sup>7</sup>, dont les conclusions étaient identiques aux miennes qu'ils commencèrent à changer d'opinion. Mais ce fut seulement quand les physiciens allemands, MM. Giesel, Meyer et Schweider découvrirent, en 1899, que les émissions des corps radio-actifs étaient, comme les rayons cathodiques, déviables par un aimant, que l'idée d'une analogie probable entre les deux phénomènes commença à se répandre. M. de Heen fut le premier à accepter entièrement la généralisation que j'avais essayé d'établir. Il l'étendit même considérablement et employa, pour mettre les phénomènes en évidence, une méthode entièrement nouvelle et extrêmement ingénieuse qui matérialise en quelque sorte les radiations émises par les corps pendant leur dissociation. Le mouvement était donné, et il fallut bien le suivre. On se mit de tous côtés à rechercher la radio-activité et on la trouva partout. MM. Strutt, Mc Clennan et Burton trouvèrent de la radio-activité dans les corps ordinaires soustraits à toute action étrangère. MM. Elster et Geitel en trouvèrent dans l'air des caves et la terre végétale, R. Wilson dans la pluie, la neige, etc. Tous les corps essayés, en un mot, donnèrent des effluves radio-actifs. L'émission spontanée est le plus souvent très faible, mais devient considé-

6 « M. Becquerel établit que les radiations uraniques pouvaient être réfléchies, polarisées, et réfractées de telle sorte qu'elles constituent évidemment une des formes de la lumière. » (Décharges électriques dans les gaz, par J. J. Thomson, p. 43 de la traduction française. Paris, 1900.)

7 Publiées dans Philosophical Magazine de janvier 1899.

rable si on soumet les corps à l'influence de divers excitants : lumière, chaleur, électricité, etc.

J'ai donc eu la satisfaction de voir reconnaître de mon vivant l'exactitude des faits sur lesquels j'ai basé les théories qui seront exposées bientôt, et je puis espérer qu'il en sera de même un jour pour ces théories. Pendant longtemps j'avais renoncé à pareille espérance et songé plus d'une fois à abandonner entièrement mes recherches. Elles avaient en effet été accueillies aussi mal que possible en France et, sans l'esprit libéral du Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences de cette époque. M. Bertrand, que pourtant je ne connaissais nullement, mes notes n'auraient jamais été insérées. Chacune d'elles provoquait de véritables tempêtes. La plupart des membres de la section de physique MM. Lippmann, Becquerel, Mascart, etc. protestaient avec énergie et les journaux scientifiques faisaient chorus. Nous sommes tellement hiérarchisés en France, tellement hypnotisés et domestiqués par tout ce qui sort d'une source officielle, que l'expression d'idées indépendantes semble intolérable. Un journal d'électricité bien connu alla même jusqu'à imprimer en tête de ses colonnes que la publication de mes expériences constituait « un véritable scandale ».

Les difficultés que je rencontrais étaient très grandes à cette époque, car je me trouvais en présence de deux éléments fort différents qu'il fallut péniblement dissocier. Ces deux éléments se composaient :

1° De radiations infra-rouges de grande longueur d'onde qui, contrairement à tout ce qu'on enseignait alors, traversent le papier noir, l'ébonite, le bois, la pierre, en un mot la plupart des

corps non conducteurs. Elles sont naturellement susceptibles de réfraction et de polarisation<sup>8</sup>.

2° De radiations de la famille des rayons cathodiques qui se forment à la surface de tous les corps, les métaux notamment. Elles ne se réfractent pas, ne se polarisent pas et n'ont aucune parenté avec la lumière. Ce sont ces dernières radiations que les corps dits radioactifs tels que l'uranium émettent constamment.

Il me fallut de longues recherches pour séparer, ou plutôt pour différencier ces deux catégories de radiations, car dans la pratique il n'est pas toujours possible de les séparer entièrement.

Je n'étais pas cependant resté complètement seul sur la brèche pendant cette période difficile. Un physicien éminent, M. de Heen, professeur de physique à l'Université de Liège et directeur du célèbre Institut de physique de la même ville, avait repris mes expériences et déclarait, dans un de ses mé-

moires, qu'il les assimilait pour l'importance à celles de Roentgen. Elles furent pour lui l'origine de nombreuses recherches et le conduisirent finalement à une nouvelle théorie de l'électricité destinée à prendre une place importante dans la science. Ce furent certainement ses publications qui déterminèrent d'autres physiciens à reprendre, eux aussi, mes expériences et à vérifier par diverses méthodes l'exactitude des faits que j'avais énoncés. C'est ainsi qu'ils arrivèrent à modifier toutes leurs idées antérieures et à reconnaître avec moi que la radio-activité, c'est-à-dire la dissociation de la matière, est un des phénomènes les plus répandus de la nature.

Il est assez naturel qu'on ne soit pas prophète dans son propre pays. Il suffit qu'on le soit un peu ailleurs. L'importance des résultats mis en lumière par mes recherches a été comprise assez vite à l'étranger. Des diverses études qu'elles ont provoquées, je me bornerai à reproduire trois fragments.

Le premier est une partie du préambule dont M. Pio a fait précéder les quatre articles qu'il a consacrés, à mes expériences dans la revue anglaise *English mechanic and World of science*<sup>9</sup> :

« Depuis six ans, Gustave Le Bon poursuit ses recherches sur certaines radiations qu'il appela d'abord Lumière noire. Il scandalisa les physiciens orthodoxes par son audacieuse assertion qu'il existe quelque chose qui avait été entièrement ignoré : Cependant ses expériences décidèrent d'autres expérimentateurs à vérifier ses assertions et beaucoup de faits imprévus ont été découverts. Rutherford en Amérique, Noddon en France, de Heen en Belgique,

<sup>8</sup> Avec ces radiations infra-rouges obscures, j'arrivais à photographier à la chambre noire des maisons à travers des corps opaques en une ou deux minutes en remplaçant la plaque au gélatino-bromure par un écran de sulfure de zinc, mais les ondes que je pus mesurer ne dépassaient pas une longueur de 2  $\mu\text{m}$ . En raison de la très grande diffraction observée dans diverses expériences, j'étais persuadé, comme je l'écrivis alors, qu'il devait se trouver parmi elles des radiations de bien plus grande longueur situées entre les ondes hertziennes et la lumière. C'était la seule de mes premières assertions qui fût restée sans vérification, lorsque, tout récemment, M. Blondlot annonça, dans des notes insérées dans les *Comptes rendus* (mai 1903), que toutes les flammes et le soleil émettent des radiations de très grande longueur d'onde capables de traverser tous les corps opaques, y compris les métaux. Il leur a donné le nom de l'ayons N.

<sup>9</sup> Numéros de janvier à avril 1903.

Lenard en Autriche, Elster et Geitel en Suisse sont entrés avec succès dans le sillage de Gustave Le Bon. Résumant aujourd'hui les expériences faites par lui depuis six ans, Gustave Le Bon montre qu'il a découvert une force nouvelle de la nature se manifestant dans tous les corps. Ses expériences jettent une vive lumière sur des sujets aussi mystérieux que les rayons X, la radio-activité, la dispersion électrique, l'action de la lumière ultra-violette, etc. Les livres classiques sont muets sur toutes ces choses et les plus éminents électriciens ne savent comment expliquer tous ces phénomènes. »

Le second des articles, auxquels je viens de faire allusion est celui publié par M. Legge dans la revue *The Academy* du 6 décembre 1902 sous ce titre : *A New form of Energy* :

« Rien n'est plus remarquable que la révolution profonde effectuée depuis dix ans dans les idées des savants en ce qui concerne la force et la matière... La théorie atomique d'après laquelle chaque portion de matière composait. d'atomes indivisibles ne pouvant se combiner qu'en proportions définies, était un article de foi scientifique. Il conduisait à des déclarations comme celle d'un des derniers Présidents de la *Chemical Society* qui assurait à ses auditeurs, dans une allocution annuelle, que l'âge des découvertes en chimie était clos, et que, par conséquent, il fallait se consacrer exclusivement à une sérieuse classification des phénomènes chimiques connus. Mais cette prédiction était à peine formulée que sa fausseté devenait évidente. Crookes découvrait la matière radiante, Röntgen révélait les rayons qui portent son nom, Becquerel la radio-activité de certains corps et maintenant Gustave Le Bon, dans une série de mémoires, va plus loin encore. Il nous montre que ces nouvelles idées ne sont pas plusieurs

choses mais une seule chose, que les phénomènes observés sont la conséquence de la production d'une forme de matière toute spéciale ressemblant plus à la force qu'à la matière... Les conséquences des recherches de Gustave Le Bon seraient en réalité immenses. Tout l'édifice chimique serait démolé en bloc et on pourrait écrire un système entièrement nouveau dans lequel on verrait la matière passer à travers la matière et les éléments constituer des formes diverses de la même substance. Mais ceci ne serait rien encore, comparé aux résultats qui suivraient l'établissement d'un pont dans l'espace entre le pondérable et l'impondérable que Gustave Le Bon nous annonce déjà comme un des résultats de ses découvertes et que sir William Crookes semblait avoir pressenti dans un de ses discours à la Royal Society. »

Je terminerai ces citations par un passage des divers articles que M. de Heen a bien voulu consacrer à mes recherches :

« On connaît le retentissement que produisit dans le monde la découverte des rayons X, découverte qui fut immédiatement suivie d'une autre plus modeste en apparence, aussi importante peut-être en réalité, celle de la lumière noire, résultat des recherches de Gustave Le Bon. Ce dernier prouva que les corps frappés par la lumière, les métaux notamment, acquièrent la faculté de produire des rayons analogues aux rayons X. Becquerel découvrit ensuite que l'uranium possède également la faculté d'émettre ces rayons d'une manière continue. Gustave Le Bon reconnut bientôt qu'il ne s'agissait pas là d'un phénomène exceptionnel, mais au contraire d'un ordre de phénomènes aussi répandu dans la nature que les manifestations calorifiques, électriques ou lumineuses ; thèse que nous avons toujours défendue également depuis cette



époque ».

Le lecteur excusera, je l'espère, le petit plaidoyer qui précède. Les oublis répétés de certains physiciens m'ont obligé à le faire. Les phénomènes nouveaux que j'ai constatés ont été découverts au prix de trop d'efforts, de dépenses et d'ennuis pour que Je ne tienne pas à conserver un bien si difficilement acquis.

Ce n'est pas, bien entendu, pour revenir sur mes expériences antérieures, que je publie le mémoire qui va suivre ; mais pour exposer les conséquences nouvelles que je crois pouvoir déduire de mes recherches. Quand je serai obligé de rappeler des faits déjà exposés, ce sera uniquement pour montrer la solidité des bases sur lesquelles mes conclusions reposent.

## 2. Les faits observés pendant la dissociation de la matière.

La radioactivité de la matière, c'est-à-dire sa dissociation, se manifeste toujours par l'émission dans l'espace d'effluves ayant une vitesse de l'ordre de celle de la lumière et possédant des propriétés analogues à celles des rayons cathodiques, notamment celle de produire des rayons X dès qu'elles rencontrent un obstacle.

De nombreuses expériences ont définitivement prouvé la parenté des diverses émissions radioactives. Qu'elles proviennent de la cathode de l'ampoule de Crookes, du rayonnement d'un métal sous l'action de la lumière, du rayonnement de corps spontanément très actifs, tels que l'uranium, le thorium et le radium, etc., les effluves sont de même nature. Ils subissent, en effet,

la même déviation magnétique, le rapport  $\frac{e}{m}$  de leur charge à leur masse est le même. Leur vitesse seule varie, mais elle est toujours immense.

On peut donc, quand on veut étudier la radio-activité, choisir les corps pour lesquels le phénomène se manifeste de la façon la plus intense, soit, par exemple, l'ampoule de Crookes ou un métal formant cathode est excité par le courant électrique d'une bobine d'induction, soit plus simplement des corps très radio-actifs tels que les sels de thorium op. de radium. Ces derniers produisent des phénomènes de phosphorescence d'une intensité très grande<sup>10</sup>.

C'est avec les tubes de Crookes que les phénomènes de radio-activité furent, comme on le sait, étudiés tout d'abord. On connaît trop les rayons cathodiques qui prennent alors naissance pour qu'il soit utile de leur consacrer plus de quelques lignes.

Si dans un tube muni d'électrodes dans lequel on a, poussé le vide très loin, on envoie un courant électrique à une tension suffisante – qu'il soit fourni par des piles, une machine électrique

<sup>10</sup> Je possède des matières radio-actives de fabrication allemande enfermées dans des tubes de verre scellés maintenus dans l'obscurité et dont la phosphorescence n'a pas diminué depuis deux ans. Une des plus curieuses expériences qu'on puisse faire avec ces matières est de rendre phosphorescents des diamants à travers une mince lame d'aluminium. L'expérience ne réussit qu'avec les diamants capables de devenir phosphorescents à la lumière du jour ou à celle du magnésium. Ces diamants sont d'ailleurs assez rares. J'ai choisi les cinq que je possède sur plusieurs centaines d'échantillons qui m'avaient été obligeamment prêtés par deux grands importateurs de diamants M. Pelletier et M. Louis Ochs que je remercie vivement de leur obligeance.

ou une bobine d'induction – la cathode émet des rayons qui se propagent en ligne droite échauffent les corps qu'ils viennent frapper et sont déviés par un champ magnétique. La cathode métallique ne sert d'ailleurs qu'à rendre les rayons plus abondants, puisque j'ai montré dans un précédent travail qu'avec un tube de Crookes sans cathode ni trace de matière métallique quelconque, on observait absolument les mêmes phénomènes.

Les rayons cathodiques sont chargés d'électricité et peuvent traverser des lames métalliques minces et reliées à la terre en conservant leur charge. Toutes les fois qu'ils frappent un obstacle, ils donnent immédiatement naissance à ces rayons particuliers dits rayons X, qui diffèrent des rayons cathodiques. en ce qu'ils ne sont pas déviés par un aimant et traversent des lames métalliques épaisses capables d'arrêter entièrement les derniers.

Rayons cathodiques et rayons X produisent de l'électricité sur tous les corps, gaz ou matières solides, qu'ils rencontrent. Ils rendent donc l'air conducteur de l'électricité.

En mesurant la déviation des rayons cathodiques par un champ électrique et par un champ magnétique, on est arrivé à mesurer la vitesse des particules qui les composent et le rapport

$$\frac{e}{m}$$

de leur charge  $e$  à leur masse  $m$ . La vitesse trouvée est égale au tiers de celle de la lumière. Si l'on exprime la charge électrique en coulombs, on obtient  $10^8$  pour le rapport  $\frac{e}{m}$ <sup>11</sup>.

<sup>11</sup> Ce rapport a varié, suivant les observateurs entre  $1,55 \cdot 10^7$  et  $1,84 \cdot 10^7$  (en unités électromagnétiques). Si on adopte ce dernier chiffre, on voit qu'il représente la charge énorme de 184 millions de coulombs pour 1 g de matière

Dans l'électrolyse ce rapport est  $10^5$  pour l'hydrogène, soit mille fois plus petit. La charge  $e$  étant la même, la masse de la particule cathodique serait le  $1/1000^e$  de celle de l'atome d'hydrogène, le plus petit des atomes connus. L'atome ordinaire serait donc dissocié en 1000 parties dans la particule cathodique.

En quoi consistent ces particules ? Sont-elles réellement formées de matière ? Nous le verrons dans un prochain paragraphe.

Au lieu de l'ampoule de Crookes, servons-nous maintenant d'une matière très radio-active, le thorium ou le radium par exemple. Nous retrouverons la plupart des phénomènes précédents avec de simples variations quantitatives. Nous trouverons par exemple plus de rayons chargés d'électricité négative dans les tubes de Crookes que dans les émanations du radium qui sont surtout chargées d'électricité positive ; mais la nature des phénomènes observés dans les deux cas sera identique.

C'est, avec le thorium, produit assez abondant et peu coûteux<sup>12</sup> et le radium, qui est beaucoup plus rare, qu'a été faite par le professeur Rutherford l'étude la plus complète publiée jusqu'ici sur les propriétés des substances radio-actives<sup>13</sup>. C'est à elle que j'em-

*cathodique. Dans l'électrolyse, la charge de 1 g d'hydrogène ne correspond qu'à 95.000 coulombs.*

<sup>12</sup> Le thorium avec lequel j'ai fait les expériences dont j'ai parlé dans un précédent travail était à l'état de chlorure et venait de la fabrique de List (Hanovre). Il est vendu 100 francs le kilogramme soit 10 centimes le gramme. Le chlorure de radium se vend au contraire 500 francs le gramme à Paris. A la fabrique de List la même quantité ne coûte que 12 francs.

<sup>13</sup> Chemical News du 19 juin 1903 et Philoso-

prunte une partie du résumé qui va suivre.

Les corps radio-actifs émettent trois espèces diverses de radiations qu'on peut désigner par les lettres  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$ .

Les radiations  $\alpha$ , très peu pénétrantes, sont chargées d'électricité positive, et forment la plus grande partie des rayons émis. C'est sous leur influence que l'air deviendrait conducteur de l'électricité. Elles seraient constituées par des projections de particules ayant à peu près la dimension de l'atome d'hydrogène, c'est-à-dire 1 000 fois plus grosses que les particules des radiations  $\beta$  ; leur vitesse est à peu près égale au 1/10 de celle de la lumière. On ne peut les dévier que par un champ magnétique très intense.

Les radiations  $\beta$  seraient tout à fait semblables aux rayons cathodiques d'un tube de Crookes. Elles sont chargées comme eux d'électricité négative, et sont également déviées par l'aimant, mais en sens inverse des radiations  $\alpha$ . Ce sont elles qui produisent les effets photographiques. Elles seraient très pénétrantes<sup>14</sup>. Leur vitesse, d'après Kaufmann, serait voisine de celle de la lumière.

Les radiations  $\gamma$ , qui forment la troisième espèce des radiations émises par les corps radio-actifs, ne sont pas déviables par un champ magnétique et

seraient tout à fait analogues aux rayons X et comme eux très pénétrantes. Leur vitesse, selon Blondlot, serait exactement celle de la lumière, c'est-à-dire 300 000 km/s.

En dehors de ces diverses espèces de radiations qui n'ont, comme nous le verrons dans un autre paragraphe, aucun des caractères de la matière, les corps radio-actifs émettent en quantité infiniment petite une émanation, ayant les caractères d'un gaz, pouvant être condensé au moyen de l'air liquide à la température d'environ  $-150^\circ$  et constituée d'après Ramsay par de l'hélium. Elle donne aux corps avec lesquels elle est en contact une radio-activité temporaire. Le produit de la condensation, dont on constate les propriétés par l'action sur l'électromètre, est invisible et impondérable, mais on peut le dissoudre dans certains acides et en évaporant la solution la radio-activité se retrouve sans changement dans le résidu de l'évaporation.

Les effluves des corps radio-actifs ont des propriétés physiologiques très actives déjà étudiées par de nombreux observateurs. Le radium concentré brûle la peau à travers l'enveloppe métallique le contenant. Il paralyse les bactéries. Il ne me paraît pas improbable que les coups de soleil observés aux hautes altitudes, où le spectre solaire devient riche en rayons ultra-violetts qui produisent une radioactivité intense sur tous les corps, soient dus à la production d'émanations analogues.

Il est vraisemblable aussi que c'est à la substance matérielle fort ténue qui accompagne les effluves radio-actifs, que sont dues quelques-unes des propriétés observées, notamment la radio-activité dite induite et la condensation de la vapeur d'eau.

*phical Magazine de mai 1903.*

<sup>14</sup> Dans ce cas elles ne seraient pas semblables, comme le dit Rutherford, aux rayons cathodiques, puisque ces derniers ne traversent guère, comme l'a montré Lenard, que des lames métalliques de 1 centième de millimètre d'épaisseur. Il est plutôt probable que la pénétration à travers les métaux est due aux rayons X qui accompagnent toujours ces radiations ou du moins sont toujours engendrés par elles.

La radio-activité induite, découverte par Rutherford, est ce phénomène en vertu duquel des corps radio-actifs, surtout en solution, communiquent pour quelque temps leur radio-activité à l'enceinte – isolante ou conductrice – dans laquelle ils sont renfermés. Et il semble bien évident qu'il s'agit alors de substances matérielles, puisque la radio-activité induite ne se produit pas à travers le verre et le mica et peut être transportée à distance des corps radio-actifs. En insufflant les particules qui se dégagent à travers un serpentin et les projetant sur un corps quelconque ce dernier, acquiert aussitôt une radio-activité temporaire.

C'est par radio-activité induite que se produit la phosphorescence du sulfure de zinc enfermé dans un ballon communiquant par un large tube avec un autre ballon contenant une solution de radium. Du bismuth plongé quelques jours dans une solution de nitrate de radium finit, pour la même raison, par devenir phosphorescent. Tous les corps radio-actifs sont d'ailleurs plus actifs en solution qu'à l'état solide, mais alors ils perdent leur phosphorescence et peuvent seulement la provoquer par leurs émanations.

Je crois également probable que la propriété de condenser la vapeur d'eau possédée par les émanations des corps radio-actifs est due aux particules matérielles entraînées par leur rayonnement, surtout si, on considère que ces particules sont électrisées. C'est une propriété commune d'ailleurs à toutes les poussières et qu'on met facilement en évidence par l'expérience suivante connue depuis longtemps. Un ballon plein d'eau en ébullition est mis en communication par des tubes de verre avec deux autres ballons, l'un plein d'air ordinaire pris dans un apparte-

ment, l'autre plein du même air dépouillé de ses poussières par simple filtration, à travers de l'ouate. On constate que la vapeur arrivant dans le ballon contenant de l'air non dépouillé de ses poussières se condense immédiatement en un épais brouillard, alors que la vapeur arrivant dans le ballon contenant de l'air privé de poussières ne se condense pas, ce qui fait que ce dernier reste transparent.

Ce rôle des particules qui accompagnent les effluves des corps spontanément radio-actifs ou rendus fortement radio-actifs par un excitant quelconque, la lumière, par exemple, permet de pressentir l'action qu'elles peuvent jouer en météorologie. Nous avons montré par les expériences de notre précédent mémoire qu'à mesure que le spectre se prolongeait dans l'ultra-violet, la dissociation de la matière devenait de plus en plus intense. Cet ultra-violet extrême, étant absorbé par de très minces couches d'air, son action s'exerce faiblement au niveau du sol. Dans notre spectre solaire, l'ultra-violet ne dépasse guère la raie U, soit  $0,294 \mu\text{m}$ . Quand on emploie un spectre d'étincelles qui s'étend jusqu'à  $0,100 \mu\text{m}$ , les effets sont extraordinairement plus intenses. Si, comme tout porte à le supposer, le soleil contient des radiations de cette faible longueur d'onde avant d'avoir traversé l'atmosphère, la dissociation des gaz à la limite de notre atmosphère doit être très grande et, dans la suite des âges, elle a dû certainement intervenir pour priver certains corps célestes de leur atmosphère.

Les propriétés que nous venons de constater dans certains corps radio-actifs sont – nous le répétons encore – identiques à celles des corps ordinaires, surtout quand la radio-activité Sponta-

née de ces derniers est accrue par certaines influences extérieures, comme la lumière, la chaleur, les réactions chimiques, etc. Nous pouvons donc conclure ce qui précède, en disant que les atomes de toute matière se désagrègent lentement et que cette dissociation, est un des phénomènes les plus universels. Il semble cependant que la nature ait voulu les protéger contre cette désagrégation, puisque nous avons vu, dans les expériences exposées dans notre précédent mémoire, que, s'il était très facile de rendre certains métaux extrêmement radio-actifs en les nettoyant avec soin, cette radio-activité intense se perdait en quelques minutes et ne reparait que par un nouveau nettoyage. Pour la lumière ultra-violette extrême, l'action du nettoyage se fait beaucoup moins sentir, mais cette lumière ultra-violette extrême (0,294 à 0,100  $\mu\text{m}$ ) n'existe pas, comme je l'ai rappelé plus haut, dans notre spectre solaire, en raison de son absorption par l'atmosphère. Sans cette protection, l'action de la lumière suffirait à elle seule, à produire l'évanouissement de la matière dans la suite des âges.

### 3. Les forces intra-atomiques comme forme particulière de l'énergie.

Quelle est la cause des phénomènes radio-actifs ? Sous quelles influences la matière peut-elle se dissocier en émettant des effluves formés de particules animées d'une vitesse de l'ordre de celle de la lumière et possédant les propriétés que nous avons énumérées ?

Quand les corps radio-actifs furent découverts, les physiciens n'eurent pas de peine à mesurer la grandeur de

l'énergie libérée pendant leur dissociation, mais ils cherchèrent vainement et continuent à chercher encore à quelle source extérieure ces corps puisent cette énergie. On admettait, en effet, comme un principe absolument fondamental que la matière ne peut que restituer sous une forme quelconque l'énergie qui lui a été d'abord fournie.

Lorsque je prouvai que la radio-activité était un phénomène universel et non particulier à un petit nombre de corps exceptionnels, la question devint plus embarrassante encore. Mais comme cette radioactivité apparaissait surtout sous l'influence d'un agent extérieur : lumière, chaleur, forces chimiques, etc., on pouvait, à la rigueur, rechercher dans ces causes extérieures l'origine de l'énergie constatée, bien qu'il n'y eût aucun rapport entre la grandeur des effets produits et leur cause supposée. Pour les corps spontanément radio-actifs, aucune explication du même ordre n'était possible et c'est pourquoi la question posée plus haut reste toujours sans réponse et semble constituer un inexplicable mystère.

La solution du problème est, cependant, en réalité très simple. Pour découvrir l'origine des forces qui produisent les phénomènes de radio-activité, il suffit, comme nous allons le voir, de laisser de côté quelques dogmes classiques.

Remarquons, tout d'abord, qu'il est prouvé par l'expérience que les effluves engendrés pendant la radio-activité possèdent des caractères identiques, quel que soit le corps employé et quelles que soient les méthodes usitées pour les produire. Qu'il s'agisse de l'émission spontanée du radium, des effluves produits par un métal recevant l'action de la lumière ou encore de ceux

provenant de l'ampoule de Crookes, les particules émises ont les mêmes propriétés. L'origine de l'énergie qui produit les effets observés semble donc être toujours la même.

Et puisque tous les physiciens sont unanimes à constater aujourd'hui que les produits de la radioactivité sont semblables ; puisque d'autre part, l'énergie nécessaire pour émettre dans l'espace des effluves animés de la vitesse que les particules radio-actives possèdent, est immensément supérieure à celle que nous pourrions produire par les forces diverses dont nous disposons, n'est-il pas évident qu'il ne faut pas rechercher hors de la matière, mais bien dans la matière elle-même, la source de l'énergie dépensée ? Cette énergie libérée est la conséquence de réactions intra-atomiques que nous étudierons bientôt et qui diffèrent essentiellement des réactions extra-atomiques que la chimie sait produire, ne fût-ce que par la prodigieuse grandeur des effets produits.

S'il en est ainsi – et il n'est pas possible de concevoir qu'il en soit autrement – on est immédiatement conduit à envisager les atomes qui forment la matière comme d'immenses réservoirs d'énergie. Cette énergie, ils peuvent la manifester, sans rien emprunter au-dehors, puisqu'elle est en eux-mêmes, où elle se trouve accumulée depuis l'époque de leur formation.

Essayons maintenant de mettre en évidence les caractères fondamentaux de l'énergie que nous qualifions de nouvelle, c'est-à-dire ignorée jusqu'ici. Et comme il faut bien lui donner un nom, celui de Lumière noire<sup>15</sup> par lequel je

<sup>15</sup> Ce nom sera réservé dans nos publications ultérieures aux radiations invisibles du spectre de grande longueur d'onde. Leurs

l'ai désignée jadis ayant réuni peu d'adhérents ; désignons-la simplement sous le nom d'*énergie intra-atomique*.

Cette énergie diffère d'abord de toutes celles que nous connaissons par sa prodigieuse puissance. Si au lieu de réussir à dissocier seulement des millièmes de milligramme de matière, comme nous le faisons maintenant, nous pouvions en dissocier quelques kilogrammes, nous aurions, comme nous le verrons bientôt, une source d'énergie auprès de laquelle celle engendrée par tous les moteurs que la houille anime représenterait un insignifiant total. C'est en raison de la grandeur de cette énergie que les phénomènes radio-actifs se manifestent avec l'intensité que nous connaissons. C'est elle qui produit l'émission de particules douées d'une immense vitesse, la phosphorescence et la production d'une quantité énorme d'électricité, hors de proportion avec celle que nous pouvons maintenir sur des corps isolés.

Son universalité dans la nature est un de ses caractères le plus facile à constater. On reconnaît son existence partout, puisqu'on trouve maintenant de la radio-activité partout.

Une des manifestations de l'énergie intra-atomique – celle qui a le plus frappé les physiciens et qui se trouve à l'origine de toutes les théories actuelles – est de produire de l'électricité sur les corps soumis à son action. Mais cette électricité revêt d'abord une forme toute

*propriétés diffèrent considérablement de celles de la lumière ordinaire, non pas seulement par leur invisibilité, caractère sans importance qui ne tient qu'à la structure de notre œil, mais par des propriétés absolument spéciales, telle, par exemple, que celle de traverser un grand nombre de corps opaques et d'agir en sens exactement inverse des autres radiations du spectre.*

spéciale qui lui permet, non seulement d'engendrer des rayons X, mais encore de traverser des corps métalliques reliés à la terre, contrairement à une des propriétés les plus fondamentales de l'électricité ordinaire. Chacun sait, en effet, qu'une feuille de métal, reliée à la terre, si mince qu'on la suppose, constitue un obstacle absolu au passage de l'électricité. On a même fondé sur cette propriété classique la confection de vêtements en gaze métallique légère qui permettent de préserver absolument des plus violentes décharges les ouvriers travaillant dans des usines fabriquant de l'électricité à haut potentiel.

Sans doute, les physiciens remarquent que l'électricité, engendrée par les phénomènes radio-actifs, revêtant une forme spéciale, celle d'atomes électriques, doit posséder sous cette forme des propriétés différentes de l'électricité ordinaire. Mais alors si les propriétés de l'atome dit électrique sont absolument différentes de celles de l'électricité, par quoi peut bien être justifié le qualificatif d'électrique ? Pour nous, *l'atome dit électrique est simplement un des premiers stades de transformation de l'énergie intra-atomique*. De même que la chaleur, le frottement, etc., les particules radio-actives peuvent produire de l'électricité : mais ne sont pas encore de l'électricité. Si une balle de fusil ou un jet de vapeur, – comme dans une ancienne machine décrite dans tous les livres de physique – engendrent de l'électricité par leur choc, nous ne dirons pas, j'imagine, que cette balle de fusil ou ce jet de vapeur, sont de l'électricité, ni même qu'ils sont chargés d'électricité. Il ne viendrait alors à personne l'idée de confondre l'effet avec la cause, comme on persiste à le faire pour les phénomènes radio-actifs.

La vitesse immense des particules émises dans l'espace sous l'influence de l'énergie libérée dans l'atome serait, à elle seule, la preuve que nous nous trouvons en présence d'une force entièrement nouvelle. C'est dans les vibrations de l'éther seulement que l'on avait observé jusqu'ici des vitesses d'un tel ordre, et on les expliquait facilement par son élasticité presque parfaite. Aucune explication analogue ne pourrait être invoquée pour des projections de particules.

*Les rayons X sont, eux aussi, une des manifestations indirectes de l'énergie intra-atomique, un nouveau stade de sa transformation*. On sait que ces rayons produisent également de l'électricité en frappant l'air ou les corps solides, mais comme un champ magnétique est sans action sur eux – et pas pour d'autres raisons – personne ne propose de les classer dans le chapitre de l'électricité.

Une forme d'énergie peut être déclarée nouvelle, quand elle se différencie par ses caractères fondamentaux de toutes celles connues. Les propriétés que j'ai énumérées permettent-elles de différencier l'énergie intra-atomique des autres modes d'énergie ? Cette différenciation me semble d'une absolue évidence.

Nous ne connaissons pas encore toutes les transformations possibles de cette énergie nouvelle, mais nous sommes déjà fixés sur son origine. Nous savons qu'elle provient de la matière, puisque nous ne pouvons pas la produire sans matière ; nous savons aussi qu'une fois formée, ce n'est plus de la matière, puisqu'elle a perdu tous les caractères de cette dernière et ne peut redevenir matière par aucun procédé.

Devant un ensemble de faits aussi concluants et aussi clairs, il semble impossible d'admettre aucune hypothèse autre que celle qui vient d'être formulée, c'est-à-dire que *nous sommes en présence d'un mode d'énergie entièrement nouveau et sans parenté avec aucun de ceux observés jusqu'ici.*

L'origine de l'énergie intra-atomique n'est pas entièrement inexplicable, si on admet avec les astronomes que la condensation de notre nébuleuse suffisait à elle seule pour produire la température considérable que le soleil possède : On conçoit qu'une condensation analogue de l'éther ait pu engendrer les énergies que l'atome contient. On pourrait comparer grossièrement ce dernier à une sphère dans laquelle un gaz non liquéfiable aurait été comprimé à des milliards d'atmosphère à l'origine du monde.

Si cette force nouvelle – la plus répandue et la plus puissante de toutes celles de la nature – est restée entièrement ignorée jusqu'alors, c'est, d'une part, parce que les réactifs nous manquaient pour la constater et, d'autre part, que l'édifice atomique constitué à l'origine des âges est si stable, si solidement agrégé, que sa dissociation – au moins par les moyens actuels – est toujours extrêmement faible. S'il en était autrement, le monde se serait évanoui depuis longtemps.

Mais comment une constatation aussi simple que l'existence de l'énergie que je viens de décrire n'a-t-elle pas été faite depuis la découverte de la radioactivité et surtout depuis que j'ai démontré la généralité de ce phénomène ? On peut l'expliquer par des raisons d'ordre physique et aussi par une raison d'origine psychologique.

Les raisons d'ordre physique, nous les avons dites. Admettre que la matière peut produire de l'énergie par elle-même est contraire à tous les principes reçus. Or les dogmes scientifiques inspirent aujourd'hui la même crainte superstitieuse que les divinités des vieux âges, bien qu'ils en aient parfois toute la fragilité.

La raison d'ordre psychologique est la suivante : nous ne pouvons connaître les formes diverses de l'énergie que par leurs effets, et nous ne les classons que par ces mêmes effets. Nous différencions, par exemple, la chaleur de l'électricité, parce que leurs actions sont dissemblables.

Les phénomènes de radio-activité, tels que l'émission de particules ayant une vitesse de l'ordre de celle de la lumière, et la propriété d'engendrer des rayons X sont évidemment des caractères que ne possède aucun des modes d'énergie connus, et ils auraient dû conduire les physiciens à admettre qu'ils étaient la conséquence d'une force nouvelle. Mais l'impérieux besoin mental de chercher des analogies, de rapprocher l'inconnu du connu, a fait rattacher ces phénomènes à l'électricité sous le prétexte que parmi les effets observés, un des plus constants était la production d'électricité, bien que l'électricité alors produite possédât d'abord une forme et des propriétés absolument différentes de celles de l'électricité ordinaire, ne fût-ce que celle de traverser les corps métalliques comme nous l'avons montré plus haut.

Le raisonnement actuel des physiciens est identique à celui qu'on ferait sûrement si la chaleur, étant un phénomène inconnu, on la découvrait brusquement.



L'auteur de la découverte ne serait pas embarrassé pour classer la chaleur parmi les phénomènes électriques. Ses arguments seraient tout à fait analogues à ceux invoqués maintenant pour expliquer les phénomènes radio-actifs, Il constaterait qu'elle se propage le long d'un fil métallique et que si ce fil n'est pas tout à fait homogène, il y a aussitôt production d'électricité, c'est-à-dire ce que l'on appelle un courant thermo-électrique. Il mesurerait la quantité d'électricité ainsi produite, tout comme on mesure celle engendrée par le choc des émanations radio-actives. Sans doute, ce physicien finirait bien par découvrir qu'il y a quelques différences entre la chaleur et l'électricité, ne fût-ce que la vitesse de propagation, mais – toujours, comme pour les émissions radio-actives – il laisserait de côté les différences ne correspondant à rien de classable et ne s'occuperait que des analogies faciles à incruster, dans l'esprit.

La chaleur étant connue depuis longtemps, on voit très bien à quel point seraient erronés les arguments que je viens de supposer. Il est probable que les raisonnements faits sur les émissions radio-actives sembleront aussi peu fondés dans un avenir assez prochain.

Laissant de côté les insuffisantes analogies dont on se contente actuellement, nous résumerons ce qui précède en disant que tous les phénomènes de radio-activité, c'est-à-dire les effluves que manifeste la matière dans tant de circonstances diverses, sont produits par l'énergie intra-atomique des atomes et que *cette énergie constitue une force nouvelle entièrement différente de toutes celles étudiées jusqu'ici.*

L'existence de cette énergie nou-

velle, la plus importante de toutes celles de l'univers, apparaîtra avec une évidence éclatante le jour où les physiciens, s'étant débarrassés de l'héritage des idées qui dirigent inconsciemment leurs pensées, renonceront à vouloir l'attacher à des phénomènes connus des choses qui en diffèrent entièrement. Je crois qu'il ne s'écoulera pas bien longtemps avant que l'existence de l'énergie intra-atomique soit reconnue par quelques physiciens possédant une dose suffisante de prestige pour imposer une doctrine. Ce sont les expériences nouvelles qui font naître les idées nouvelles, mais c'est uniquement par le prestige de celui qui les formule que ces idées s'imposent<sup>16</sup>.

*16 L'histoire des sciences montre facilement que cette assertion n'est, en aucune façon, un paradoxe. Les expériences les plus claires, les plus convaincantes en apparence, n'ont jamais constitué un élément immédiat de démonstration quand elles heurtaient des idées admises depuis longtemps. Galilée l'apprit à ses dépens lorsqu'ayant réuni tous les professeurs de l'Université de Pise, il s'imagina leur prouver par l'expérience que, contrairement aux idées alors reçues, les corps de poids différents tombent avec la même vitesse, sauf une petite différence produite par la résistance de l'air. On se figurait à cette époque qu'un corps dix fois plus lourd qu'un autre tombe dix fois plus rapidement. L'expérience de Galilée pouvait sembler absolument concluante, puisque faisant tomber en même temps du haut de la Tour de Pise une petite balle de plomb et un lourd boulet de même métal, il montra que les deux corps arrivaient en même temps sur le sol. Les professeurs se bornèrent à hausser les épaules et ne modifièrent nullement leur opinion. Bien des années se sont écoulées depuis cette époque, mais le degré de réceptivité des esprits pour les choses nouvelles ne s'est pas sensiblement accru. Quand Ohm découvrit la loi qui immortalisera son nom et sur laquelle toute l'électricité repose, il la publia dans un livre rempli d'expériences tellement simples, tellement concluantes, qu'elles pouvaient être comprises par un élève des écoles primaires. Non seulement il ne convainquit personne, mais un des plus influents savants de*

#### 4. Grandeur des forces intra-atomiques. La matière considérée comme une condensation énorme d'énergie.

##### **Grandeur de l'énergie intra-atomique.**

En essayant de justifier notre théorie de l'existence d'une énergie intra-atomique ignorée jusqu'ici, nous avons parlé de sa colossale grandeur. Nous al-

*l'époque accabla Ohm de son mépris dans une grande revue scientifique, et traita ses expériences de fantaisies parfaitement ridicules, démenties par l'observation la plus superficielle des faits connus. La réputation scientifique du grand homme en fut tellement atteinte qu'il perdit la place qui le faisait vivre et fut fort heureux de trouver, pour ne pas mourir de faim, une situation de 1 200 francs par an dans un collège, situation qu'il occupa pendant six ans. Ce ne fut qu'à la fin de sa vie qu'on lui rendit justice et qu'on le nomma alors professeur dans une faculté. Robert Mayer fut moins heureux et n'obtint pas cette tardive satisfaction. Quand il découvrit la plus importante des grandes lois scientifiques modernes, celle de la conservation de l'énergie, il trouva à grand'peine une revue qui consentit à insérer son mémoire, mais aucun savant n'y apporta la moindre attention, pas plus d'ailleurs qu'à toutes ses publications successives, y compris celle sur l'équivalent mécanique de la chaleur qui parut en 1850. Après avoir tenté de se suicider, Mayer perdit la raison et resta pendant longtemps ignoré à ce point que, quand Helmholtz refit de son côté la même découverte, il ne savait pas avoir eu un prédécesseur. Helmholtz ne fut pas plus encouragé, d'ailleurs, à ses débuts, et le plus important des journaux scientifiques de l'époque, les Annales de Poggendorff, refusa l'insertion de son célèbre mémoire : La conservation de l'énergie, le considérant évidemment comme une spéculation fantaisiste tout à fait indigne de lecteurs sérieux. C'est, comme on le sait, sur cette spéculation que toute la physique et la mécanique modernes sont bâties.*

lons essayer maintenant de la mesurer.

La grandeur de l'énergie manifestée dans les phénomènes radio-actifs a frappé tous les physiciens qui, depuis longtemps, en cherchent l'origine. Un d'eux faisait récemment observer que la dissociation complète de 1 g de radium produirait assez d'énergie pour transporter toute la flotte anglaise au sommet du Mont Blanc.

Ce n'est là évidemment qu'une image, mais nous allons la remplacer par des chiffres. Nous rappelons, tout d'abord que ces chiffres seront exactement les mêmes, qu'on se serve du radium ou d'un corps quelconque, puisque toute matière devient très facilement radio-active. Le radium dissipera plus vite son énergie qu'un autre corps, mais il n'y a entre eux que cette différence.

Les chiffres qui vont suivre ont simplement d'ailleurs pour but de montrer que, quelle que soit la méthode employée, on arrive dans la mesure de l'énergie libérée par un poids déterminé de matière dissociée, à des chiffres immensément supérieurs à tous ceux, que nous pourrions produire par les réactions chimiques ordinaires, la combustion de la houille par exemple. C'est parce qu'il en est ainsi que, malgré leur dissociation si faible, les corps, peuvent produire pendant cette dissociation les effets que nous avons énumérés.

Cherchons donc à préciser un peu la grandeur des forces condensées dans une petite quantité d'une matière quelconque. Les diverses méthodes employées pour mesurer la vitesse des particules radio-actives ont toujours donné des chiffres voisins. Cette vitesse approche de celle de la lumière pour certaines émissions radio-actives. Elle

est de un tiers de cette vitesse pour les particules de l'ampoule de Crookes. Acceptons le moins élevé de ces chiffres celui de 100 000 km/s et essayons d'après cette base, de calculer l'énergie que produirait la dissociation complète de 1 g d'une matière quelconque.

Prenons, par exemple, une pièce de cuivre de 1 centime, pesant, comme on le sait, 1 g, et supposons qu'en exagérant la rapidité de sa radioactivité, nous puissions arriver à la dissocier entièrement.

Le travail engendré par un corps en mouvement étant égal à la moitié du produit de sa masse par le carré de sa vitesse, un calcul élémentaire donne de suite la puissance que représenteraient les particules de ce gramme de matière animée de la vitesse que nous avons dite. Elle serait égale à environ 6 milliards 800 millions de chevaux-vapeur. Cette quantité d'énergie serait suffisante pour faire circuler un train de marchandises sur une route horizontale d'une longueur égale à un peu plus de quatre fois et un quart la circonférence de la terre<sup>17</sup>.

Pour faire effectuer avec du charbon ce trajet au même train, il faudrait employer 2 830 000 kg de charbon qui, au prix de 24 francs la tonne, représenteraient une dépense d'environ 68 000 francs.

Ce qui détermine la grandeur des

*17 J'ai supposé dans ce calcul un train de marchandise ; normal, comprenant 40 voitures de 12,5 tonnes, soit un poids de 500 tonnes roulant à une vitesse de 36 km/h en terrain horizontal et nécessitant un effort de traction de 6 kilogrammes à la tonne par seconde, soit 3 000 kilogrammes pour les 500 tonnes. Le travail de la machine transportant ce train à la vitesse de 36 km/h, serait de 400 chevaux-vapeur par seconde.*

chiffres précédents et les rend au premier abord invraisemblables, c'est l'énorme vitesse des masses mises en jeu, vitesse dont nous ne pouvons approcher par aucun des moyens mécaniques connus. Dans le facteur  $mV^2$ , la masse de 1 g est assurément fort petite, mais la vitesse étant immense, les effets produits deviennent également immenses. Une balle de fusil tombant de quelques centimètres de hauteur sur la peau ne produit aucun effet appréciable en raison de sa faible vitesse. Dès que cette vitesse grandit, les effets deviennent de plus en plus meurtriers, et avec les vitesses de 1 000 m/s environ que nous pouvons atteindre avec les poudres actuelles, la balle peut traverser de très résistants obstacles. Réduire la masse d'un projectile est sans grande importance, si on réussit à augmenter suffisamment sa vitesse. Telle est justement la tendance de l'artillerie moderne qui réduit de plus en plus le calibre des balles de fusil, mais tâche d'augmenter leur vitesse.

Or toutes les vitesses que nous pouvons produire ne sont absolument rien auprès de celles des particules de matière dissociée. Nous ne pouvons guère dépasser un kilomètre par seconde par les moyens dont nous disposons, alors que la vitesse des particules radio-actives est 100 000 fois plus forte. De là l'énormité des effets produits.

En ne tenant compte que d'une partie de l'énergie libérée dans la radioactivité, Rutherford est arrivé par une méthode différente, à des chiffres très inférieurs aux précédents, mais encore énormes. Suivant lui, 1 g de radium émettrait pendant son existence  $10^9$  calories-grammes, chiffre qu'il est facile de ramener à l'unité précédente, celle du cheval-vapeur. On a en effet :

$10^9$  calories g =  $10^6$  grandes calories =  $10^6 * 425$  kgm = 425 000 000 kilogrammètres = 5 666 666 chevaux vapeur.

Ce chiffré de moins de 6 millions de chevaux-vapeur doit être beaucoup trop faible. Rutherford admet, en effet, que l'énergie de radiation de 1 g de radium n'est que de 15 000 calories g par an, alors que les mesures récentes de Curie ont prouvé que 1 g de radium émet 100 calories g par heure, ce qui ferait 876 000 calories par an, au lieu de 15 000. Nécessairement, ces calories, malgré leur nombre élevé, ne représentent qu'une infime partie de l'énergie intra-atomique, puisque cette dernière est dépensée en divers rayonnements.

Les chiffres qui précèdent varient, comme on le voit, dans de grandes limites, mais ils sont toujours énormes, et, comme le fait observer Rutherford, l'énergie manifestée dans les phénomènes radioactifs est « peut-être un million de fois plus grande que celle produite par les diverses réactions moléculaires connues. »

Rutherford fait aussi remarquer – et c'est le premier physicien à ma connaissance qui se soit décidé à faire cette constatation – que « les éléments radioactifs ne différant des autres éléments par aucun de leurs caractères chimiques, il n'y a aucune raison de croire que l'énorme réservoir d'énergie qu'ils possèdent n'existe que chez eux. Il semble donc probable que l'énergie atomique est générale et du même ordre de grandeur chez tous les corps<sup>18</sup>. » C'est la thèse que je ne cesse de défendre et sur laquelle je m'appuie depuis longtemps pour soutenir l'existence d'un mode d'énergie nouveau dé-

<sup>18</sup> *Philosophical Magazine*, mai 19)3, p. 590.

passant en grandeur tous ceux que nous connaissons.

Arriverons-nous un jour à libérer facilement cette colossale puissance que les atomes contiennent dans leur sein. Nul ne pourrait le dire. On n'eût pu dire non plus au temps de Galvani que l'énergie électrique qui réussissait péniblement à agiter des pattes de grenouille et attirer de petits fragments de papier, véhiculerait un jour d'énormes trains de chemin de fer.

Dissocier complètement l'atome sera peut-être toujours au-dessus de nos forces, parce que la difficulté doit croître à mesure qu'avance la dissociation, mais il suffirait de pouvoir en dissocier facilement une faible partie. Que le gramme de matière dissociée supposé plus haut soit emprunté à une tonne de matière ou même à beaucoup plus, il n'importe. Le résultat serait toujours le même au point de vue de l'énergie produite<sup>19</sup>.

<sup>19</sup> *En se basant sur le nombre de calories dégagé spontanément par le radium, d'après les expériences relatées plus haut, E. Wilson a fait remarquer qu'il suffirait que le soleil contint une petite quantité de ce corps par mètre cube pour que les calories émises puissent entretenir sa chaleur. Mais il n'est nullement besoin d'y supposer l'existence de ce métal ou plutôt de ce composé exceptionnel. Les atomes de tous les corps étant un réservoir énorme d'énergie et tous ces corps devenant très radio-actifs sous l'influence d'une faible chaleur, comme je l'ai montré, il suffirait d'admettre que sous l'action de l'énorme température du soleil qu'on évalue à un minimum de 6 000 °C, les éléments qui le composent éprouvent une dissociation spontanée assez rapide. Dans cette voie des hypothèses un peu fantaisistes, on pourrait aller plus loin encore. D'après les idées actuelles sur la structure des atomes, on doit supposer que leur dissociation devient d'autant plus difficile qu'elle est plus avancée. Il serait dès lors possible qu'un astre qui se refroidit fût simplement un astre dont les éléments ont fini*

Si, comme les physiciens l'admettent encore, la matière, au lieu d'être un réservoir immense d'énergie, ne faisait que restituer l'énergie qu'on lui communique par un moyen quelconque, la chaleur par exemple, il est évident que les calculs précédents seraient sans intérêt, puisque dans ce cas il faudrait pour produire la dissociation de la matière, une dépense de travail précisément égale à celui que produirait cette dissociation, conformément à un des principes fondamentaux de la thermodynamique.

Mais il n'est plus guère contestable que l'énergie produite par l'atome dissocié ne vient pas du dehors et est empruntée au réservoir énorme qu'il possède. Fût-il même d'ailleurs un simple agent de transformation d'énergie, l'importance de la dissociation subsisterait toujours, puisque nous pouvons la produire par des agents absolument gratuits et inutilisés aujourd'hui, tels que la lumière<sup>20</sup>.

Nous possédons donc dans la matière un réservoir prodigieux d'énergie, et peut-être n'est-elle pas autre chose que de l'énergie condensée. La recherche des moyens de libérer facilement cette énergie constituera sûrement un des plus importants problèmes de l'avenir.

On ne pourrait citer cependant qu'un seul savant, l'illustre Crookes,

*par se dissocier de plus en plus lentement.*  
20 Dans un travail récent (On ether and gravitational matter through infinite space) Lord Kelvin s'exprime ainsi : « La valeur mécanique de un kilomètre cube de lumière solaire est égal à 412 kilogrammètres équivalant au travail de un cheval-vapeur pendant 5,5 secondes. Ce résultat peut donner quelque idée de la somme actuelle d'énergie mécanique du mouvement lumineux et des forces contenues dans notre atmosphère. »

qui ait cherché à attirer l'attention des physiciens sur l'importance de ce problème ou du moins de problèmes analogues, car en écrivant les lignes qui vont suivre, il pensait, lui aussi, conformément à l'opinion courante que c'est au-dehors que les corps radio-actifs puisent leur énergie. En se basant, je pense, sur la théorie cinétique des gaz il s'exprime ainsi :

« L'énergie totale des deux mouvements de translation et de mouvement intérieur des molécules emprisonnées dans l'air au repos à la pression et à la température ordinaire est d'environ 25 000 kilogrammètres par molécules d'air. L'air contenu dans une chambre de capacité moyenne renfermerait assez d'énergie pour faire mouvoir une machine de la puissance d'un cheval-vapeur pendant plus de douze heures Le stock auquel puisent naturellement l'uranium et autres atomes pesants n'attend que la baguette magique de la science pour permettre au XX<sup>e</sup> siècle d'éclipser les merveilles du XIX<sup>e</sup>. »

Bien avant la découverte des rayons cathodiques ; Lord Kelvin avait fait remarquer que si nous pouvions donner aux molécules matérielles des vibrations dont le degré de fréquence fût de l'ordre de celles des vibrations lumineuses, les forces produites s'élèveraient à des milliards de tonnes par centimètre carré.

Or, contrairement à toute prévision et même à toute vraisemblance, ce sont précisément des vitesses de cet ordre que réalisent les particules cathodiques, qu'elles soient produites dans l'ampoule de Crookes, ou par les corps qui les émettent spontanément comme le thorium et l'uranium par exemple, ou encore par ceux qui les émettent sous l'action de la lumière, ce qui est le cas de la plupart des corps.

Sur un terrain aussi neuf, devant le monde nouveau qui s'ouvre à nous aucune de nos vieilles théories ne doit arrêter les chercheurs. « Le secret de tous ceux qui font des découvertes, dit Liebig, est qu'ils ne regardent rien comme impossible. » Les résultats à obtenir dans cet ordre de recherches seraient en vérité immenses. Dissocier facilement la matière serait mettre à notre disposition une source indéfinie d'énergie et rendre inutile l'extraction de la houille dont la provision s'épuise rapidement.

### ***La matière considérée comme une condensation énorme d'énergie.***

Les chiffres que nous avons donnés montrent que la matière est un immense réservoir d'énergie. Ils prouvent que le principe de la thermodynamique d'après lequel la matière se bornerait à restituer l'énergie qui lui a été fournie n'est plus défendable, puisqu'aucune des énergies dont nous pouvons disposer ne pourrait produire des effets voisins de ceux dont nous avons constaté la grandeur.

Le fait Indiscutable que l'atome est un réservoir d'énergie, conduit immédiatement, suivant nous, à cette hypothèse : que la matière serait uniquement composée d'énergie condensée<sup>21</sup> sous une forme particulière d'où résulte

*21 Ce terme d'énergie condensée, qui peut choquer au premier abord, a déjà été employé par M. Boussinesq, dans son ouvrage : Théorie analytique de la chaleur. Dans le but de rapprocher la théorie de la chaleur de celle des ondes lumineuses, je considère, dit-il, « la chaleur des corps comme de la chaleur rayonnante condensée, dont les équations sont, il est vrai, à raison même de cette condensation, autrement particularisées que celles du mouvement par ondes ».*

le poids, la forme et la fixité. C'est l'énergie ainsi condensée que nous nommons matière.

Et, à vrai dire, des faits anciens, bien antérieurs à la découverte des rayons cathodiques, auraient déjà dû conduire à cette idée que l'atome n'est qu'une condensation d'énergie. Ces faits montraient clairement, en effet, dans la matière, des phénomènes évidents de condensation d'énergie. Prenons, par exemple, la quantité d'électricité qu'on extrait des corps par l'électrolyse, Un gramme d'une substance telle que l'hydrogène contient une charge de 96 000 C. Il faut que l'électricité y soit dans un état de condensation bien considérable, puisque par tous les moyens dont nous disposons, nous ne ferions, tenir sur un corps isolé, si volumineux qu'on le suppose, qu'une bien minime fraction de cette charge. Joubert fait observer que la quantité d'électricité contenue dans un centimètre cube d'hydrogène suffirait à charger une sphère grande comme la terre au potentiel de 6 000 V.

L'électricité n'est pour nous, comme nous l'avons dit, qu'une des manifestations de l'énergie particulière contenue dans les atomes. C'est le prodigieux état de condensation de cette énergie qui lui permet d'engendrer la quantité énorme d'électricité que l'atome peut produire et dont très probablement, une partie seulement apparaît dans l'électrolyse ordinaire. Ce n'est pas là d'ailleurs une simple hypothèse, puisque dans la radio-activité manifestée par les corps simples, la quantité d'électricité libérée pour un poids donné de matière est considérablement plus élevée que dans l'électrolyse.

Dans toutes les opérations

usuelles, que nous faisons subir à la matière, fusion, vaporisation, etc., et dans toutes les opérations chimiques, nous lui communiquons un supplément d'énergie, qui augmente vraisemblablement les mouvements de rotation ou de vibration des atomes, mais nous ne touchons pas à leur structure, et c'est pour quoi la matière reprend si aisément son état primitif comme nous le voyons, par exemple, quand nous laissons se refroidir un corps liquéfié.

Mais quoi qu'il en soit de toutes les hypothèses que l'on peut former, un fait indéniable subsiste et il peut servir de conclusion à ce paragraphe : *La matière est un réservoir énorme d'énergie dont une partie au moins peut être utilisée.*

## 5. La transition entre le pondérable et l'impondérable.

### ***Idées actuelles sur la distinction du pondérable et de l'impondérable.***

La science classait autrefois les divers phénomènes de la nature dans des cases nettement séparées, entre lesquelles n'apparaissait aucun lien. Ces distinctions existaient dans toutes les branches de nos connaissances en biologie comme en physique.

La découverte des lois de l'évolution a fait disparaître des sciences naturelles des divisions qui semblaient constituer jadis d'infranchissables abîmes et, du protoplasma des êtres primitifs jusqu'à l'homme, la chaîne est aujourd'hui presque ininterrompue. Les chaînons absents se reconstituent chaque jour et nous entrevoyons maintenant comment, des êtres les plus

simples aux plus compliqués ; les changements se sont faits à travers le temps.

La Physique a suivi une route analogue, mais tous les fossés qui séparent ses diverses branches ne sont pas encore comblés. Elle s'est lentement débarrassée des fluides qui l'encombraient jadis. Elle a découvert les relations existant entre les diverses forces et admet maintenant qu'elles ne sont que des manifestations variées de quelque chose d'indestructible : l'énergie. Elle a ainsi établi la permanence dans la série des phénomènes, montré l'existence du continu là où n'apparaissait jadis que le discontinu. La loi de la conservation de l'énergie n'est en réalité que la simple constatation de cette continuité.

Il reste encore à la Physique un pas énorme à franchir pour établir la continuité partout. Elle maintient toujours une séparation profonde entre le pondérable et l'impondérable. Ils constituent toujours deux mondes très distincts, L'énergie et la matière sont nettement séparées, la matière et l'éther le sont également.

En ce qui concerne la séparation de la matière et de l'énergie, les idées classiques se trouvent très bien résumées dans le passage suivant d'un ouvrage récent de M. Janet :

« Le monde où nous vivons est, en réalité, un monde double, ou plutôt il est composé de deux mondes distincts : l'un qui est le monde de la matière, l'autre le monde de l'énergie. Le cuivre, le fer, le charbon, voilà des formes de la matière. Le travail mécanique, la chaleur, voilà des formes de l'énergie. Ces deux mondes, sont dominés chacun par une loi identique. On ne peut ni créer, ni détruire de la

matière, on ne peut ni créer, ni détruire de l'énergie.

Matière ou énergie peuvent revêtir un grand nombre de formes diverses, sans que jamais la matière puisse se transformer en énergie, ou l'énergie en matière.

... Nous ne pouvons pas plus concevoir de l'énergie sans matière, que de la matière sans énergie<sup>22</sup>».

Jamais, en effet, comme le dit M. Janet, on n'avait pu jusqu'ici transformer de la matière en énergie, ou, pour être plus précis, la matière n'avait jamais semblé manifester d'autre énergie, que celle qui lui avait d'abord été fournie. Incapable de la créer, elle ne pouvait que la restituer.

En ce qui concerne la matière et l'éther, c'est-à-dire le pondérable et l'impondérable, les idées ne sont pas moins arrêtées. Toutes les découvertes de la science n'avaient fait que confirmer les différences qui les séparent. Les plus illustres savants de nos jours en sont même arrivés à considérer la démonstration de cette séparation comme une des plus grandes découvertes de tous les âges. Voici comment s'exprimait tout récemment, à l'inauguration du monument de Lavoisier, M. Berthelot.

« Lavoisier établit, par les expériences les plus précises, une distinction capitale et méconnue avant lui entre les corps pondérables et les agents impondérables, chaleur, lumière, électricité. Cette distinction fondamentale entre la matière pondérable et les agents impondérables est une des plus grandes découvertes qui aient été faites ; c'est l'une des bases des sciences, physiques, chimiques et mécaniques actuelles ».

Base très fondamentale, en effet, et qui semblait établie pour toujours. Les phénomènes dus à des transformations de l'impondérable éther, tels que la chaleur rayonnante, ne présentent aucune analogie apparente avec ceux dont la matière est le siège. La matière peut changer de forme, mais, sous tous les changements elle conserve un poids invariable. Quelles que soient les modifications que les agents impondérables lui fassent subir, ils ne s'ajoutent pas à elle et ne font jamais varier son poids.

Dans les citations que nous avons reproduites, pour bien préciser la pensée scientifique actuelle, il y a deux idées différentes qu'il faut nettement séparer : 1° La matière ne peut pas elle-même créer de l'énergie ; 2° L'éther impondérable est entièrement distinct de la matière pondérable, c'est-à-dire sans analogie avec elle.

La solidité de ces deux idées semblait pouvoir défier le temps. Nous allons essayer de montrer, au contraire, que les faits nouveaux tendent à les renverser entièrement.

### ***Transformation de la matière en énergie.***

Un système matériel isolé de toute action extérieure ne peut engendrer spontanément de l'énergie. Si on le suppose doué d'une énergie interne, chimique ou autre, sa quantité d'énergie restera invariable tant que le système ne sera soumis qu'à des actions intérieures. C'est là un des grands principes de la thermodynamique.

Toutes les observations scientifiques antérieures semblaient bien confirmer cette notion qu'aucune substance ne peut produire de l'énergie sans l'avoir d'abord empruntée au-de-

22 Janet. *Leçons d'électricité*, p. 2 et 5.



hors. La matière peut servir de support à l'énergie comme dans le cas d'un : condensateur électrique : elle peut rayonner de la chaleur comme dans le cas d'une masse de métal d'abord chauffée, mais il a fallu lui fournir ces diverses formes d'énergie. La matière peut également produire de l'énergie par de simples changements d'équilibres moléculaires, comme dans le cas de la transformation, de certains composés chimiques ; mais ici, encore l'énergie dégagée n'est que la restitution en quantité, exactement égale de celle qu'il avait fallu employer pour engendrer la combinaison. Toute la thermo-chimie est basée sur ce principe que « la chaleur dégagée ou absorbée dans la décomposition d'un corps est exactement égale et de signe contraire à celle qu'il a fallu employer pour sa transformation ».

Dans tous les cas que je viens d'énumérer et dans tous ceux du même ordre, la matière ne fait donc, que restituer l'énergie qu'on lui a d'abord donnée sous une forme, quelconque, Elle n'a rien créé rien sorti d'elle-même.

L'impossibilité de transformer de la matière en énergie paraissait donc évidente, et c'est avec raison que cette impossibilité était invoquée dans les ouvrages classiques pour établir une séparation très nette entre le monde de la matière et le monde de l'énergie.

Pour que la séparation si nette que nous venons de marquer disparaisse, il faut réussir à transformer de la matière en énergie sans rien lui fournir du dehors.

Or c'est justement cette transformation spontanée de la matière en énergie que nous montrent toutes les expériences de radio-activité de la ma-

tière que nous avons exposées. La production spontanée de l'énergie alors constatée, production si contraire aux idées scientifiques actuelles, a tout à fait embarrassé les physiciens préoccupés de trouver au-dehors l'origine de l'énergie manifestée et ne la trouvant pas. Nous avons vu que l'explication devient très simple dès que l'on consent à admettre, conformément à la plus claire évidence, que la matière contient un réservoir d'énergie qu'elle peut perdre partiellement ; soit spontanément, soit sous des influences légères. Sans doute, on peut dire que ce n'est pas alors de la matière qui se transforme en énergie, mais simplement une énergie intra-atomique qui se dépense. Mais, comme cette énergie d'origine intra-atomique ne peut être engendrée sans que de la matière s'évanouisse sans retour, nous sommes fondés à dire que les choses se passent exactement comme si de la matière s'était transformée en énergie. Pour préciser davantage, il faudrait d'abord connaître la nature intime de la matière et de l'énergie. Or nul n'en a jamais rien su.

### ***La transition entre le pondérable et l'impondérable. Propriétés de la substance intermédiaire entre la matière et l'éther.***

Nous voici arrivés à la seconde des propositions énoncées plus haut comme un des grands dogmes scientifiques de la science actuelle, à savoir que le pondérable et l'impondérable, c'est-à-dire la matière et l'éther sont absolument séparés et qu'aucun lien ne les rattache.

Pour prouver qu'il n'en est pas ainsi, il faut montrer que les effluves engendrés par tous les corps, pendant leur dissociation, sont constitués par

une substance ayant des caractères intermédiaires entre ceux de l'éther et ceux de la matière.

En quoi consistent donc ces effluves ? Ont-ils gardé la propriété des substances matérielles ?

Pendant plusieurs années les physiciens ont été d'accord pour répondre affirmativement à cette question, Ne pouvant se débarrasser du concept du support matériel, ils admettaient que les particules émises dans les phénomènes de radio-activité étaient simplement des fragments d'atomes, chargés d'électricité sans doute, mais toujours cependant constitués par de la matière.

Cette opinion pouvait sembler confirmée par ce fait que les émissions radio-actives s'accompagnent le plus souvent d'une projection de particules matérielles. Dans l'ampoule de Crookes, l'émission de particules solides parties de la cathode est tellement considérable qu'on a pu métalliser des lames de métal exposées à leur projection.

Cet entraînement de matière s'observe d'ailleurs dans la plupart des phénomènes électriques et notamment lorsque l'électricité amenée à un potentiel suffisant passe entre deux électrodes. Le spectroscope révèle toujours en effet dans la lumière des étincelles les raies caractéristiques des métaux dont sont formées ces électrodes. Après des décharges répétées entre une boule d'or et une boule d'argent, on trouve de l'argent sur la boule d'or et de l'or sur la boule d'argent. Avec des courants de haute fréquence, M. Oudin a constaté que des électrodes d'or amalgamé placées dans l'air à la pression ordinaire perdent près de  $1/10^e$  de milligramme de leur poids après une heure de fonc-

tionnement. Dans ces divers cas la matière est sans doute entraînée par la vitesse des molécules électriques, comme l'est le sable de la mer sous l'influence de la violence des vagues.

Une autre raison encore semblait bien prouver la matérialité des émissions cathodiques. Elles sont déviables par un champ magnétique, donc elles sont chargées d'électricité et comme on n'avait jamais vu de transport d'électricité sans support matériel, il fallait bien supposer l'existence de ce support. Sans doute, dans la théorie des électrons on admet que l'atome électrique en mouvement et dégagé de toute matière se conduit exactement comme un courant et est déviable par un aimant, mais il y a quelques années cette théorie, non vérifiée encore par la découverte de Zeemann, n'avait pas reçu l'extension considérable qu'elle a prise aujourd'hui.

Cette sorte de poussière de matière qu'on supposait constituer les émissions cathodiques et celles des corps radio-actifs présentait de bien singuliers caractères pour une substance matérielle. D'après les expériences de J.-J. Thomson, les produits de cette émission étaient identiques, quel que fût le corps dissocié. La charge électrique et la masse étaient toujours les mêmes, ce qui conduisait à admettre que dans des corps différents se trouvent des éléments identiques.

Ces éléments supposés matériels avaient d'ailleurs perdu toutes les propriétés de la matière qui leur avait donné naissance. Lenard l'avait montré clairement lorsqu'il chercha à vérifier une de ses anciennes hypothèses d'après laquelle les effluves engendrés par la lumière ultra-violette qui frappe la surface des métaux seraient compo-

sés de poussières arrachées à la surface de ces métaux, Prenant un corps, le sodium, très dissociable par la lumière et dont en même temps il est possible, au moyen du spectroscope, de constater des traces infinitésimales dans l'air, il reconnut que les produits de la dissociation ne contenaient aucune trace de sodium. Si donc, les effluves des corps radio-actifs étaient de la matière, ce serait une matière ne possédant aucune des propriétés des corps dont elle provient.

Ces faits divers auraient dû conduire depuis longtemps à penser, que dans la radio-activité, la matière se transforme en quelque chose qui ne peut plus être de la matière ordinaire, puisqu'aucune de ses propriétés n'est conservée ; mais pour faire admettre une telle idée, il fallait une démonstration.

Cette démonstration a été faite d'une façon presque complète par Max Abraham et Kaufmann. Ces physiciens ont, en effet, prouvé que les atomes dissociés dans les phénomènes radio-actifs se transforment en quelque chose d'extrêmement différent de la matière et qu'ils considèrent comme exclusivement composé d'atomes d'électricité, c'est-à-dire ce qu'on appelle aujourd'hui des électrons, corps sans pesanteur qui diffèrent essentiellement de la matière ordinaire et n'ont de caractère commun avec elle qu'une certaine quantité d'inertie.

Ne pouvant exposer ici le détail de leurs expériences qu'on trouvera résumées, dans les Comptes rendus de l'Académie des sciences, je me bornerai à en donner les résultats.

En étudiant photographiquement la déviation du rayonnement des matières

radio-actives par un champ électrique et un champ magnétique superposés, ils ont constaté que le rapport de la charge électrique transportée par une particule radio-actif à la masse  $m$  de cette particule varie avec sa vitesse. Comme il n'est pas supposable que, dans ce rapport  $\frac{e}{m}$ , ce soit la charge qui varie, il faut bien admettre que c'est la masse'. Ils en déduisent que cette masse ne serait composée que d'électrons immatériels. Voici d'ailleurs la conclusion de Kaufmann.

« On doit regarder comme prouvé que la masse de l'électron est entièrement électromagnétique. Cela veut dire que l'électron n'est autre chose qu'une charge électrique distribuée sous un volume ou une surface de dimension très petite<sup>23</sup>».

Ces particules immatérielles que constituent les effluves émis par la matière pendant sa radio-activité, c'est-à-dire pendant sa dissociation, jouissent, d'après les équations d'Abraham, de propriétés extraordinairement singulières. La variation de leur masse avec leur vitesse est d'accord avec la théorie électromagnétique de la lumière et avait déjà été signalée par divers auteurs, Larmor notamment<sup>24</sup>, mais la façon dont cette masse varie avec la vitesse était un peu imprévue. Le fait seul de la variation de la masse avec la vitesse est contraire à toutes les idées que l'on se faisait de la masse matérielle. Sa constance était, en effet, un des dogmes les plus fondamentaux de la chimie et de la mécanique. À la substance intermédiaire immatérielle qui compose les effluves radio-actifs l'équation fondamentale de la dynamique  $f = m\gamma$  ne s'applique plus. Devant elle toutes les

23 *Comptes rendus* 13 octobre 1902, p. 579

24 *Aether and Matter*, p. 228.

lois de la mécanique s'évanouissent.

C'est en mettant sous forme de courbe l'équation d'Abraham qu'on voit le plus facilement de quelle façon la masse varie avec la vitesse. D'abord constante même pour des vitesses très grandes, elle augmente brusquement et devient rapidement infinie dès qu'elle atteint la vitesse de la lumière.

Max Abraham a donné pour exprimer les variations de la masse en fonction de la vitesse l'équation suivante :

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

ou  $\mu_0$  représente la valeur de la masse électrique pour de petites vitesses,  $\beta = \frac{q}{c}$ , c'est-à-dire le rapport de la vitesse de cette masse à celle de la lumière et :

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

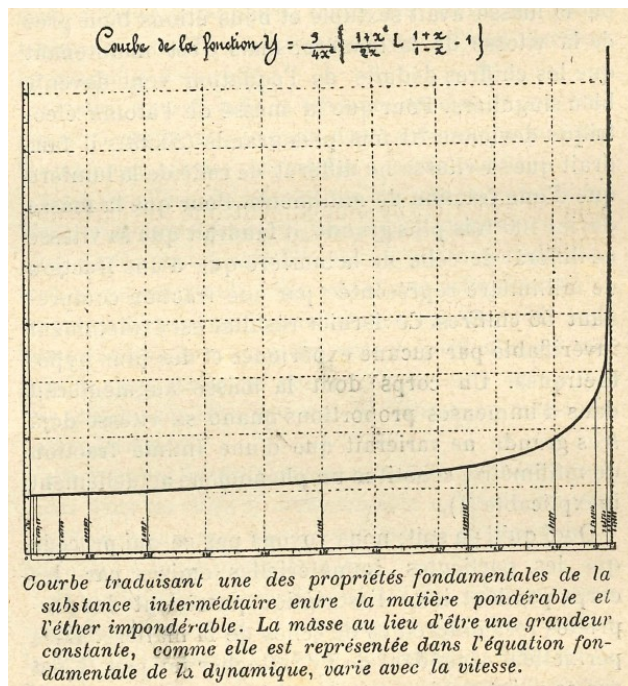
Dans le but d'obtenir une représentation graphique de la variation de la masse en fonction de sa vitesse, nous avons mis l'équation précédente sous une forme où le rapport  $\frac{\mu}{\mu_0}$  apparaît comme une fonction logarithmique du rapport  $\beta = \frac{q}{c}$ . Nous avons pris alors pour abscisses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

L'équation de la courbe devient alors :

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

L'horizontale  $y = 1$  dont l'ordonnée

constante est toujours égale à 1 correspond à  $\frac{\mu}{\mu_0} = 1$  et représente la grandeur constante de la masse mécanique<sup>25</sup>.



Tant que la masse n'a pas atteint une vitesse égale à 20 % de celle de la lumière, c'est-à-dire ne dépasse pas 60 000 km/s, sa grandeur représentée par 1 à l'origine, reste à peu près constante (1,012). Quand la vitesse est égale à la moitié de celle de la lumière, soit 150 000 km/s, la masse n'est encore accrue que de 1/10 (1,119). Quand la vitesse est égale aux 3/10 de celle de la lumière, l'augmentation de la masse est encore très faible (1,369). Lorsque la vitesse est égale aux 9/10 de celle de la lumière, la masse n'a pas encore tout à fait doublé (1,81) ; mais dès que la vitesse atteint les 0,999 de celle de la lumière, la masse est sextuplée

25 Pour détacher plus vite la courbe, j'ai adopté une échelle des ordonnées égale à 10 fois celle des abscisses. La réduction trop grande de la courbe nécessitée par la dimension des colonnes de cette Revue a rendu les chiffres illisibles. J'avais calculé les nombres exprimant les variations de la masse en fonction de la vitesse avec 8 décimales. Les plus importants de ces nombres sont donnés dans le texte.

(6,678).

On pourrait peut-être rapprocher ce résultat de celui déduit des équations de Larmor, qui montrent qu'une charge électrique en mouvement accéléré rayonne une partie de son énergie, mais que le rayonnement ne devient très grand que quand la vitesse du corps électrisé en mouvement est elle-même devenue très grande.

Nous nous sommes arrêté plus haut au moment où la masse avait sextuplé et nous étions bien près de la vitesse de la lumière, mais c'est maintenant que les chiffres déduits de l'équation vont devenir bien singuliers. Pour que la masse de l'atome électrique devienne 20 fois plus grande (20,49), il faudrait que sa vitesse ne différât de celle de la lumière que d'une fraction de millimètre. Pour que la masse devint 100 fois plus grande, il faudrait que sa vitesse ne différât de celle de la lumière que d'une fraction de millimètre représentée par une fraction comprenant 58 chiffres. Ce dernier résultat est évidemment invérifiable par aucune expérience et des plus hypothétiques. Un corps dont la masse augmenterait dans d'immenses proportions quand sa vitesse déjà très grande ne varierait que d'une infime fraction de millimètre, constitue un phénomène actuellement inexplicable<sup>26</sup>.

Quoi qu'il en soit, nous voyons par ce qui précède que les particules immatérielles émises par les corps pendant leur dissociation possèdent des propriétés

très différentes de celles de la matière. Elles permettent cependant de l'y rattacher un peu. C'est sur ce point fondamental qu'il importe d'insister.

Bien que les atomes supposés électriques que produit la dissociation de la matière diffèrent essentiellement de cette dernière, ne fût-ce que par leur faculté de traverser les obstacles, ils possèdent cependant une propriété – une seule – l'inertie, qui permet de les rattacher à la matière ordinaire. L'inertie est, comme on le sait, la résistance, de cause inconnue, que les corps opposent au mouvement ou au changement de mouvement. Elle est susceptible de mesure et c'est cette mesure qu'on définit par le terme de masse. La masse est donc la mesure de l'inertie de la matière, son coefficient de résistance au mouvement. C'est une grandeur invariable pour chaque corps matériel et qui reste invariable à travers toutes les transformations qu'il peut subir. La constance de la masse est, comme je le rappelais plus haut, un des principes fondamentaux de la mécanique et de la chimie.

Or cette propriété que l'atome matériel possède, l'atome électrique la possède également à un certain degré. Il y a déjà quelques années qu'on admet que l'électricité est douée d'inertie. C'est même au moyen de cette propriété qu'on explique les phénomènes d'induction et les décharges oscillantes. On ignore si cette inertie a la même mesure que celle de la matière. Quelques physiciens supposent bien, sans pouvoir d'ailleurs en fournir aucune preuve, que l'inertie de la matière est due à ses électrons et serait entièrement d'origine électromagnétique<sup>27</sup>.

*26 Cet accroissement considérable d'un effet sous l'influence d'une variation très petite d'une cause n'est pas cependant un phénomène exceptionnel. Lorsque, par exemple, un objet est très près du foyer principal d'une lentille, des variations extrêmement petites de sa position produisent des variations extrêmement grandes de son image.*

*27 Si l'exactitude de cette assertion pouvait être jamais prouvée, elle conduirait nécessairement à ce résultat que la masse des corps va-*

Mais il ne semble pas, que l'on puisse identifier l'inertie de la matière et celle de l'atome électrique. La masse de ce dernier n'est, en réalité, qu'une masse apparente résultant simplement de son état de corps électrisé en mouvement. La corpuscule électrique paraît d'ailleurs avoir une masse longitudinale (celle qui mesure l'opposition à l'accélération dans la direction du mouvement), différente de sa masse transversale (celle perpendiculaire à la direction du mouvement). Mais de toutes façons, il est évident que les propriétés d'un atome électrique diffèrent considérablement de celles d'un atome matériel.

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

La réponse à cette question va précisément nous fournir le lien cherché entre le pondérable et l'impondérable.

Il est évidemment impossible, dans l'état actuel de la science, de pouvoir définir un atome électrique, mais au moins nous pouvons dire ceci :

Une substance qui n'est ni un solide, ni un liquide, ni un gaz, qui ne pèse pas, qui traverse sans difficulté les obstacles et qui n'a de propriété commune avec la matière qu'une certaine inertie et encore une inertie variable avec la vitesse, se rapproche plus de l'éther que de la matière et forme une transition entre les deux.

Cette transition évidente ne pouvait être naturellement soupçonnée à l'époque fort récente où le phénomène de la dissociation de la matière était entièrement ignoré et c'est pourquoi la

*rie constamment dans l'électrolyse, puisque dans cette opération ils gagnent ou perdent des atomes électriques.*

science pouvait se croire fondée à considérer comme deux mondes fort distincts, le monde du pondérable et celui de l'impondérable. Une telle distinction s'évanouit aujourd'hui.

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

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

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

## 6. La conception actuelle des atomes.

### ***Origines des idées actuelles sur la structure des atomes.***

Les savants qui suivent dans les revues étrangères les expériences et les discussions auxquelles sont attachés les noms des plus éminents physiciens actuels : lord Kelvin, J. J. Thomson, Crookes, Larmor, Lorentz et bien d'autres, assistent à un curieux spectacle. Ils voient fondre jour après jour des conceptions scientifiques fondamentales qui semblaient assez solidement établies pour rester éternelles.

C'est une véritable révolution qui s'accomplit. Les interprétations qui découlent des faits récemment découverts bouleversent entièrement les bases même de la physique et de la chimie et semblent appelées à renouveler toutes nos conceptions de l'univers. Notre enseignement supérieur officiel est trop exclusivement occupé en France à faire réciter les manuels destinés à préparer aux examens et trop hostile aux idées générales pour se préoccuper de ce prodigieux mouvement. La philosophie nouvelle des sciences que nous voyons naître ne l'intéresse pas.

La révolution scientifique qui s'accomplit a été rapide, mais cette rapidité est plus apparente que réelle. Les idées scientifiques ne changent qu'avec une extrême lenteur. Lorsqu'elles paraissent se transformer brusquement, on constate toujours que cette transformation est la conséquence d'une évolution souterraine qui a demandé de longues années pour se réaliser.

La transformation des idées sur la constitution de la matière et la nature de l'électricité, qui semble avoir été effectuée en très peu d'années, a été préparée, en réalité, par un siècle de recherches. Sans qu'on y eût songé, toutes ces recherches devaient conduire aux mêmes doctrines. Les idées actuelles représentent simplement leur synthèse.

Ne pouvant exposer en détail comment cette évolution s'est faite, je me bornerai à rappeler sommairement les recherches dont les théories présentes sont la conséquence nécessaire.

Cinq découvertes fondamentales furent l'origine de la transformation des idées sur la matière et l'électricité. Ce sont : 1° les faits révélés par l'étude de

la dissociation électrolytique ; 2° la découverte des rayons cathodiques ; 3° celle des rayons X ; 4° celle des corps dits radio-actifs comme l'uranium et le radium ; 5° la démonstration que la radio-activité n'appartient pas uniquement à certains corps, mais constitue une propriété générale de la matière.

La plus ancienne de ces découvertes, puisque, en réalité, elle remonte à Davy, c'est-à-dire au commencement du dernier siècle, est celle de la dissociation des composés chimiques par un courant électrique. Son étude fut complétée plus tard par divers physiciens, Faraday notamment, et, de nos jours, par Arrhenius. Elle a conduit progressivement à la théorie de l'électricité atomique et à l'influence prépondérante que jouent les atomes électriques ou électrons dans les réactions chimiques et les propriétés des corps. Les atomes électriques seraient superposés aux atomes matériels. Quand ils sont de signes contraires, ils se neutralisent, mais on peut les séparer par un courant électrique. L'atome matériel constitue alors un ion positif ou un ion négatif suivant le sens de la charge électrique dont il est porteur. Toutes les réactions chimiques seraient dues au déplacement des atomes électriques.

La dissociation électrolytique semblait autrefois ne pouvoir être obtenue qu'avec des corps composés et jamais avec des corps simples. Mais dès que les rayons cathodiques et la radio-activité furent découverts, la théorie de la dissociation électrolytique parut les expliquer très bien, à la simple condition d'admettre que les atomes d'un corps simple contiennent comme ceux des corps composés des atomes électriques de signes contraires et susceptibles, eux aussi, de se séparer.

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

La découverte de la radio-activité de l'uranium suivit de très près celle des rayons X et eut les conséquences que j'ai exposées. Elle conduisait notamment à admettre que les atomes de certains corps supposés d'abord exceptionnels possèdent l'extraordinaire propriété de se dissocier, mais comme je montrai que cette propriété appartient à tous les corps, il fallut bien reconnaître qu'il existait dans la matière une propriété spéciale et universelle totalement ignorée jusqu'alors et de laquelle il résultait que la structure de l'atome était nécessairement très différente de ce que l'on avait cru pendant longtemps.

Avant d'exposer les idées actuelles relatives à la structure des atomes, nous rappellerons brièvement celles dont la science a vécu jusqu'ici.

Les idées anciennes sur la nature des atomes. Suivant les idées encore classiques, la matière serait composée de petits éléments indivisibles nommés atomes. Comme ils semblent persister à travers toutes les transformations des

corps, on admet pour cette raison qu'ils sont indestructibles. Les molécules des corps, dernières particules pouvant subsister avec les propriétés de ces corps, se composeraient d'un petit nombre d'atomes. Ces atomes ne se touchent jamais, autrement la matière ne pourrait ni se contracter, ni se dilater sous l'influence de la température.

La notion fondamentale qui précède a plus de 2 000 ans d'existence. Le grand poète romain Lucrèce l'avait exposée dans les termes suivants qu'on ne fait guère que reproduire dans les livres modernes.

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

Jusqu'à ces dernières années on n'avait ajouté à ce qui précède que quelques hypothèses sur la structure des atomes. Newton les considérait comme des corps durs incapables d'être déformés. W. Thomson, revenant aux idées de Descartes, les supposait constitués par des tourbillons analogues à ceux que l'on peut former en frappant à son extrémité postérieure une boîte rectangulaire pleine de fumée et dont la face antérieure est percée d'un trou. Il en sort des tourbillons ayant la forme d'un tore composé de filets gazeux tournant autour des méridiens de ce tore. L'ensemble se déplace



tout d'une pièce et n'est pas détruit par le contact d'autres tores Tous ces tourbillons présenteraient des oscillations et des vibrations permanentes dont l'intensité et la fréquence seraient modifiables par diverses influences, telles que la chaleur.

C'est en grande partie sur l'ancienne hypothèse des atomes qu'a été fondée pendant la seconde moitié du dernier siècle la théorie dite atomique. D'après elle, tous les corps amenés à l'état gazeux contiendraient le même nombre de molécules sous le même volume. Leur poids à volume égal étant supposé proportionnel à celui des atomes on peut, par une simple pesée du corps en vapeur, connaître ce que l'on appelle son poids moléculaire d'où l'on déduit, par un procédé d'analyse que je n'ai pas à exposer ici, ce que l'on désigne par convention sous le nom de poids atomique, rapporté à celui de l'hydrogène pris pour unité.

La théorie atomique constitue un des meilleurs exemples qu'on puisse citer de ces hypothèses, que chacun défend sans y croire. Berthelot la qualifie de « roman ingénieux et subtil<sup>28</sup> », mais comme on n'en possède pas d'autres et qu'elle facilite considérablement les calculs, on la conserve avec soin, de même que l'on conservait jadis la théorie de l'émission en optique. D'ailleurs, il ne faut pas examiner longtemps, les bases des sciences les plus précises en apparence, celles de la mécanique par exemple, pour découvrir qu'elles sont formées le plus souvent d'hypothèses d'une fragilité évidente, mais d'une utilité certaine. En fait on ne savait absolument rien de la nature des atomes.

28 Berthelot. La synthèse chimique, 1876. p. 164.

## **Les idées actuelles sur la structure des atomes.**

La première origine des idées actuelles sur la structure des atomes est la conséquence des découvertes de Faraday sur l'électrolyse. Il prouva que les molécules des corps composés portent une charge d'électricité neutre de grandeur définie et constante qui se dissocie en ions positifs et en ions négatifs, quand les solutions des sels métalliques sont traversées par un courant électrique.

L'atome fut bientôt considéré comme se composant de deux éléments, une particule matérielle, puis une charge électrique qui lui serait combinée ou superposée.

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

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

Dans cette phase d'évolution des

idées, l'électron positif et l'électron négatif étaient simplement deux substances à ajouter à la liste des corps simples et capables de se combiner avec eux. L'idée de l'atome matériel persiste toujours.

Dans la période d'évolution où nous sommes actuellement, on tend, à aller beaucoup, plus loin. Après s'être demandé si ce support matériel de l'électron était bien nécessaire, plusieurs physiciens sont arrivés à la conclusion qu'il ne l'était pas du tout. Ils le rejettent entièrement et considèrent l'atome comme constitué uniquement par un agrégat de corpuscules électriques et sans aucun support matériel. La structure de la matière serait donc exclusivement électrique.

C'était évidemment un pas, considérable, à franchir, et à s'en faut de beaucoup que tous les physiciens l'aient encore franchi. Les idées classiques pèsent d'un poids trop lourd sur la pensée pour qu'on puisse s'en débarrasser facilement ; mais d'après la direction des idées actuelles, il semble bien probable que cette notion est appelée à devenir classique à son tour. Dès que l'atome matériel sera généralement considéré comme un simple agrégat de corpuscules électriques, on arrivera très vite à admettre avec nous qu'il n'est qu'une condensation d'énergie.

Pour le moment une grande incertitude règne encore dans les idées et le langage des physiciens. Pour la plupart, pour J. J. Thomson par exemple, le support matériel reste nécessaire, et les corpuscules électriques, c'est-à-dire les électrons, sont décrits : comme mêlés ou superposés aux atomes matériels. Ces électrons circuleraient à travers les corps conducteurs, tels que les métaux, avec une vitesse de l'ordre de

celle de la lumière, par un mécanisme particulier, sur lequel, un prudent silence est gardé.

Pour les partisans de la structure exclusivement électrique de la matière, l'atome se composerait uniquement d'un certain nombre de tourbillons électriques. Autour d'un petit nombre d'électrons positifs tourneraient avec une vertigineuse vitesse des électrons négatifs, dont le nombre ne serait pas inférieur à un millier et souvent très supérieur.

Leur ensemble formerait un atome qui serait ainsi une sorte de système solaire en miniature, « L'atome de matière, écrit Larmor, se compose d'électrons et de rien d'autre. »

Les électrons, en se neutralisant, rendent l'atome électriquement neutre. Ce dernier ne deviendrait positif ou négatif que lorsqu'on le dépouillerait d'électrons de noms contraires, comme on le fait dans l'électrolyse. Toutes les réactions chimiques seraient dues à des pertes ou à des gains d'électrons.

On voit que l'ancien atome des chimistes considéré comme si simple est quelque chose d'une singulière complication. C'est un véritable système sidéral comprenant un soleil et des planètes gravitant autour de lui. De l'architecture de ce système, dérivent les propriétés des divers atomes, mais leurs éléments fondamentaux seraient identiques.

## 7. La substance fondamentale des atomes l'éther

Nous avons été souvent amené, dans le cours de ce travail, à parler de l'éther. Les physiciens admettent, de

plus en plus aujourd'hui que c'est des tourbillons formés dans son sein que dérive l'électricité et la matière. Nous sommes donc obligés de dire quelques mots de cet agent encore si mystérieux. Nécessairement nous entrerons ici, avec la totalité des physiciens d'ailleurs, dans la voie des hypothèses.

La plus grande partie des phénomènes étudiés par la physique : lumière, chaleur, électricité rayonnante, etc., sont considérés comme produits par les vibrations de l'éther. La gravitation, d'où dérive la connaissance de la mécanique du monde et de la marche des astres, semble encore une de ses manifestations. Les recherches théoriques formulées sur la constitution des atomes paraissent également montrer qu'il forme leur trame.

La nécessité de l'éther s'est imposée depuis longtemps, parce qu'aucun phénomène ne serait concevable sans l'existence de ce médium. Sans lui il n'y aurait probablement ni pesanteur, ni lumière, ni électricité, ni chaleur, rien en un mot de tout ce que nous connaissons. L'univers serait silencieux et mort, ou se révélerait sous une forme que nous ne pouvons même pas sentir. Si on pouvait construire une chambre de verre de laquelle on aurait retiré entièrement l'éther, la chaleur et la lumière ne pourraient la traverser. Elle serait d'un noir absolu et probablement la gravitation n'agirait plus sur les corps placés dans son intérieur. Ils auraient donc perdu tout leur poids.

Mais dès que l'on cherche à définir les propriétés de l'éther, des difficultés énormes apparaissent. Elles tiennent surtout à ce que, ne pouvant le rattacher à rien de connu, les termes de comparaison et, par conséquent de définition manquent entièrement. Devant

des phénomènes sans analogie avec ceux que nous connaissons, nous sommes comme un sourd de naissance à l'égard de la musique ou un aveugle à l'égard des couleurs. Aucune image ne pourrait leur faire comprendre ce qu'un son ou une couleur peuvent bien être.

Quand les livres de physique disent en quelques lignes que l'éther est un milieu impondérable remplissant l'univers, la première idée qui vient à l'esprit est de se le représenter comme une sorte de gaz assez raréfié pour qu'il soit impondérable par les moyens dont nous disposons. Il n'est pas difficile d'imaginer un tel gaz. A. Muller a calculé que si on diffusait la matière du soleil et des planètes qui l'entourent dans un espace égal à celui qui sépare l'écartement des étoiles les plus rapprochées, le myriamètre cube de cette matière, amenée ainsi à l'état gazeux, pèserait à peine un millième de milligramme et serait par conséquent impondérable pour nos balances. Ce fluide si divisé qui représente peut-être l'état primitif de notre nébuleuse serait un quadrillion<sup>29</sup> de fois moins dense que le vide au millionième d'atmosphère d'un tube de Crookes.

Malheureusement la constitution de l'éther ne peut se rapprocher en aucune façon de celle d'un gaz. Les gaz sont très compressibles et l'éther ne peut pas l'être notablement. S'il l'était, il ne pourrait transmettre presque instantanément les vibrations de la lumière.

Ce n'est guère que dans les fluides théoriquement parfaits ou mieux encore dans les solides, qu'on peut découvrir de lointaines analogies avec l'éther, mais il faut alors imaginer une sub-

<sup>29</sup> Un quadrillion )  $10^{24}$  soit un million de millions de millions

stance ayant des propriétés bien singulières. Elle doit avoir une rigidité supérieure à celle de l'acier, car si elle ne la possédait pas, elle ne pourrait transmettre les vibrations lumineuses avec une vitesse de 300 000 km/s. Le plus illustre des physiciens actuels, Lord Kelvin, considère l'éther comme « un solide élastique remplissant tout l'espace ».

Le corps solide élastique constituant l'éther jouit de propriétés fort étranges pour un solide et que nous ne rencontrons chez aucun d'eux. Son extrême rigidité doit se combiner avec une densité extraordinairement faible, c'est-à-dire assez minime pour qu'il ne puisse ralentir par son frottement la translation des astres dans l'espace. Hirn a calculé que si la densité de l'éther était seulement un million de fois moindre que celle de l'air, pourtant si raréfié, contenu dans un tube de Crookes, il produirait une altération séculaire d'une demi-seconde dans le moyen mouvement de la lune. Un tel milieu, malgré une densité si réduite, arriverait cependant bien vite à expulser l'atmosphère de la terre. On a calculé que s'il avait les propriétés que nous attribuons aux gaz, il acquerrait, par son choc contre la surface d'astres dépouillés d'atmosphère comme la lune, une température de 38 000 °C. Finalement on est acculé à cette idée que l'éther est un solide sans densité ni poids, quelque inintelligible que cela puisse sembler.

Pour expliquer les phénomènes que l'expérience enregistre, on est encore conduit à attribuer au corps solide qui constitue l'éther d'autres propriétés plus singulières encore. Dans cette substance plus rigide que l'acier, les corps se meuvent librement, et on lui imprime sans difficulté des mouve-

ments vibratoires d'une vitesse telle, que si on la compare au mouvement d'un boulet de canon, ce dernier apparaîtrait en repos. Il suffit de brûler une substance quelconque, pour produire ces vibrations si prodigieusement rapides que nous qualifions de lumière. Avec un morceau de verre taillé d'une certaine façon, nous dévions l'éther lumineux de sa route, et nous séparons ses vibrations. C'est un agent que nous entrevoyons partout, que nous faisons vibrer et dévier à volonté, mais que nous ne pouvons jamais saisir.

Ce qui est très étonnant encore, c'est la grandeur des forces que l'éther peut transmettre, Un électroaimant agit à travers le vide, donc par l'intermédiaire de l'éther. Or, comme le fait remarquer lord Kelvin, il exerce à distance sur le fer une force qui peut atteindre 110 kg/cm<sup>2</sup>. « Comment se fait-il, écrit le grand physicien, que ces forces prodigieuses soient développées dans l'éther, solide élastique, et que cependant, les corps pondérables soient libres de se mouvoir à travers ce solide ? » Nous ne le savons pas et nous ne pouvons pas dire si nous le saurons jamais. Nous ne savons même pas les relations réelles existant entre l'électricité et l'éther, bien qu'il semble de plus en plus évident que l'une dérive de l'autre. Il y a deux mille ans que tout le monde sait qu'en frottant un corps résineux il attire les corps légers, et depuis ces deux mille ans aucun physicien n'a réussi à ébaucher une explication de ce phénomène, si simple en apparence et si incompréhensible pourtant<sup>30</sup>. La théorie récente des électrons ne donne

30 « C'est, dit M. Laisant, la première et la plus simple des expériences de l'électricité statique ; elle nous semble bien naturelle, nous y fixons à peine notre attention. Mais si nous y réfléchissons, ce phénomène dépasse de beaucoup en merveilleux ceux qui nous étonnent le plus. »

aucune explication de ces attractions, et on peut répéter encore ce qu'écrivait lord Kelvin, il y a quelques années : « Nous n'avons pas avancé d'un pas vers l'explication des actions mutuelles entre corps électrisés... Les difficultés sont si grandes pour former quelque chose qui ressemble à une théorie compréhensible, que nous ne pouvons même pas apercevoir le moindre écriteau tourné vers la route qui puisse conduire à une explication. »

Nous ne pouvons donc rien dire de la constitution de l'éther. Maxwell le considérait « comme constitué par de petites sphères animées d'un mouvement de rotation très rapide qu'elles transmettraient de proche en proche ». Fresnel regardait son élasticité comme constante, mais sa densité comme variable. D'autres physiciens croient, au contraire, sa densité constante et son élasticité variable. Pour la plupart il n'est pas déplacé par les mouvements des systèmes matériels qui le traversent. Il passerait à travers les interstices de toutes les molécules comme l'eau traverse le sable.

Les physiciens sont, en tout cas, d'accord pour reconnaître que l'éther constitue une substance fort différente de la matière, et qu'il est soustrait aux lois de la pesanteur. C'est une substance sans poids et immatérielle au sens usuel de ce mot. Elle forme le monde de l'impondérable.

Si l'éther n'a pas de pesanteur, il faut cependant qu'il ait une masse, puisqu'il présente de la résistance au mouvement. Cette masse est faible, puisque la vitesse de propagation de la lumière est très rapide. Si elle était nulle, la propagation de la lumière serait instantanée.

La question de l'impondérabilité de l'éther discutée pendant longtemps semble définitivement tranchée aujourd'hui. Elle a été reprise tout récemment par lord Kelvin<sup>31</sup> et, pour des raisons mathématiques que je ne puis exposer ici, il arrive à la conclusion que l'éther est constitué par une substance entièrement soustraite aux lois de la gravitation, c'est-à-dire impondérable. Mais, ajoute-t-il, « nous n'avons aucune raison de le considérer comme absolument incompressible et nous pouvons admettre qu'une pression suffisante peut le condenser ».

C'est probablement de cette condensation effectuée à l'origine des âges, par un mécanisme que nous ignorons entièrement que dérivent les atomes considérés par plusieurs physiciens, Larmor notamment, comme des noyaux de condensation dans l'éther ayant la forme de petits tourbillons animés d'une énorme vitesse de rotation, « La molécule matérielle, écrit ce dernier physicien, est constitué entièrement par de l'éther et par rien d'autre<sup>32</sup> ».

Avec de telles propriétés, il est bien difficile de croire que l'éther soit homogène. S'il l'avait été, les mondes n'auraient pu se former.

Nous pouvons résumer ce qui précède en disant que nous savons très peu de chose encore de l'éther, bien que nous puissions considérer comme à peu près certain que la plupart des phénomènes de la physique et de la chimie sont des conséquences de ses

31 On the Clustering of gravitational matter in any part of the Univers. (Philosophical Magazine, janvier 1902).

32 *Æther and Matter*, in-8° de 400 pages. Londres, 1900. L'ouvrage ne traite d'ailleurs de l'éther et de la matière qu'au point de vue mathématique.

manifestations. Il est sans doute la source première et le terme ultime des choses. On est de plus en plus conduit à le considérer comme le véritable substratum du monde et de tous les êtres qui s'agitent à sa surface, en tâchant – si vainement parfois – de comprendre quelque chose aux mystères qui les entourent.

## 8. Réactions chimiques intra-atomiques produisant la dissociation de la matière.

Nous venons d'étudier la structure des atomes et les éléments dont ils se composent. Recherchons maintenant les réactions susceptibles de produire leur désagrégation.

En examinant les propriétés des corps radio-actifs, nous sommes arrivés à cette conclusion que les radiations qu'ils produisent proviennent uniquement de l'énergie fournie par l'atome où elle se trouve à un état d'énorme condensation. Les particules rayonnées seraient le produit d'une désintégration qui s'effectue au sein même de l'atome.

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

Les variations dont il est alors le siège différent de celles que la chimie connaît par ce point fondamental, qu'elles sont intra-atomiques, alors que les réactions ordinaires ne touchant qu'à l'architecture des groupements d'atomes sont extra-atomiques. La chi-

mie ordinaire ne peut que varier la disposition des pierres qui forment un édifice, en faire, par exemple, une forteresse ou un palais. Dans la dissociation des atomes, les matériaux mêmes avec lesquels l'édifice est bâti sont changés.

Le mécanisme de cette désagrégation atomique, nous l'ignorons, mais il est de toute évidence qu'elle implique des conditions d'un ordre particulier, très différentes nécessairement de celles étudiées par la chimie jusqu'ici. Les quantités de matière mises en jeu sont infiniment petites et les énergies libérées extraordinairement grandes, ce qui est le contraire de ce que nous obtenons dans nos réactions ordinaires.

Contrairement aux opinions émises au début des recherches sur la radio-activité, nous avons toujours soutenu que les phénomènes observés avaient leur source dans certaines réactions chimiques spéciales<sup>33</sup>, analogues à celles qui se produisent dans la phosphorescence. Ces réactions se passeraient entre corps dont l'un, en proportion infinitésimale à l'égard de l'autre, agirait probablement par son commencement de dissociation. Nous n'avons publié ces considérations qu'après avoir découvert des corps devenant radio-actifs dans de telles conditions. Le sulfate de quinine, par exemple, n'est pas radio-actif. En le laissant s'hydrater après dessiccation, il devient radio-actif pendant la durée de l'hydratation. Le mercure et l'étain ne présentent que des traces de radio-activité sous l'influence de la lumière, mais qu'on ajoute au premier de ces corps une parcelle du second et aussitôt sa radio-activité devient très intense, comme je l'ai montré dans mon précédent travail. Ces expé-

<sup>33</sup> Voir notamment *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, avril 1900, p. 892 et *Revue Scientifique*, avril 1900, p. 452.

riences nous ont conduit ensuite à modifier entièrement les propriétés de certains corps simples par addition de quantités très minimes de corps étrangers<sup>34</sup>.

Cette conception que la radio-activité aurait pour origine un processus chimique spécial a fini par rallier l'opinion de plusieurs physiciens. Elle a été notamment adoptée et défendue par Rutherford.

« La radio-activité, dit ce dernier, est due à une succession de changements chimiques dans lesquels de nouveaux types de matière radio-active 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.

Un corps radio-actif est, par ce fait même, un corps qui se transforme. La radio-activité est l'expression de sa

<sup>34</sup> *La variabilité des espèces chimiques, (Revue Scientifique du 22 décembre 1900.) Dans les manchons des lampes à incandescence on constate que l'incandescence ne se produit plus si la proportion de l'oxyde de cérium ajouté à l'oxyde de thorium est inférieure à 1 %. Amstrong et Auer admettent que l'incandescence est due à une oxydation oscillatoire, c'est-à-dire se produisant et se défaisant constamment. Oxydé, le cérium pourrait se combiner avec le cérium, il y aurait aussitôt décomposition, puis réoxydation, et combinaison et ainsi de suite, Ces réactions se répétant plusieurs millions de fois par seconde donneraient naissance à des oscillations lumineuses de l'éther qui produiraient l'incandescence. La théorie est très discutable et je ne la reproduis que pour montrer que l'idée de réactions se faisant et se défaisant des millions de fois par seconde et, par conséquent, fort différentes de toutes celles connues, semble très acceptable à d'éminents chimistes.*

perte incessante. Son changement est nécessairement une désagrégation atomique. Les atomes qui ont perdu quelque chose sont, par ce fait même, de nouveaux atomes<sup>35</sup>. »

Bien que la quantité d'énergie rayonnée par les atomes qui subissent un commencement de désagrégation soit relativement très grande, la perte de substance matérielle qui se produit dans ces réactions est très faible, précisément à cause de l'énorme condensation d'énergie contenue dans l'atome. M. Becquerel avait évalué la perte de 1 g de radium à 1 mg de matière dans un milliard-d'années. M. Curie se contente de 1 million d'années. Plus modeste encore, M. Rutherford parle seulement de quelques milliers d'années et M. Crookes d'une centaine d'années pour la dissociation de 1 g de radium. Ces chiffres, dont les premiers sont tout à fait fantaisistes, se réduisent de plus en plus à mesure que les expériences se précisent. M. Heydweiler<sup>36</sup>, d'après des pesées directes évalue la perte de 5 g de radium à 0,02 mg en vingt-quatre heures. Si la perte se continuait au même taux, ces 5 g de radium auraient perdu 1 g de leur poids en cent trente-six ans. Nous sommes déjà extraordinairement loin du milliard d'années supposé par M. Becquerel. Le chiffre de Heydweiler serait même, d'après certaines de nos expériences, trop élevé encore. Il a mis, en effet, en masse, dans un tube, le corps sur lequel il opérait, alors que nous avons prouvé que la radioactivité d'une même substance augmentait considérablement si le corps était étendu sur une grande surface, ce qu'on obtient simplement en laissant dessécher le papier qui a servi à filtrer une solution de cette substance. Nous arri-

<sup>35</sup> *Philosophical Magazine, février 1903.*

<sup>36</sup> *Physikalische Zeitschrift, 15 octobre 1902.*

verions ainsi à dire que 5 g de radium perdent le 5<sup>e</sup> de leur poids en vingt ans et par conséquent que 1 g durerait cent ans, ce qui est justement le chiffre donné par M. Crookes. En réalité ce seront seulement des expériences répétées qui permettront de trancher la question.

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

De quelle nature sont ces combinaisons ? Nous l'ignorons encore, mais divers exemples que j'ai cités dans mes précédents mémoires<sup>37</sup> prouvent qu'il existe toute une série de réactions (hydratation de diverses substances, décomposition de l'eau, décomposition du carbure de calcium, etc.) capables de dissocier l'atome et qui n'ont échappé aux chimistes que parce que leur réactif le plus fondamental, la balance, est un instrument trop peu sensible pour permettre de les apercevoir.

Que nous ne connaissions pas encore le mécanisme des réactions intra-atomiques qui engendrent la radio-activité, la chose est évidente, mais nous connaissons déjà quelques-unes des

conditions capables de produire à un certain degré ce phénomène. En chimie il n'est pas nécessaire de connaître toutes les conditions de la manifestation d'une réaction, mais souvent seulement un petit nombre d'entre elles pour voir cette réaction apparaître. Un enfant ne connaissant rien au mécanisme d'une machine à vapeur peut la faire fonctionner en tournant simplement le robinet d'arrivée de la vapeur. Dans la plupart des réactions chimiques ordinaires, nous opérons un peu comme cet enfant, sans rien comprendre à l'engrenage qui se déroule et dont nous voyons seulement les résultats extrêmes. C'est ce que le grand chimiste Berthelot a bien montré, dans le passage suivant que j'emprunte à un de ses ouvrages<sup>38</sup>.

« Étant donnés un certain nombre de conditions et un phénomène imparfaitement connu, il suffit souvent de réaliser ces conditions pour que le phénomène se produise aussitôt dans toute son étendue ; le jeu spontané des lois naturelles continue à se développer et complète les effets, pourvu que l'on ait commencé à le mettre en œuvre convenablement. Voilà comment nous avons pu former les substances organiques, sans connaître à fond les lois des actions intermoléculaires. Il est même vrai de dire que, si les forces une fois mises en jeu ne poursuivaient pas elles-mêmes l'œuvre commencée, nous ne pourrions imiter et reproduire par l'art aucun phénomène naturel ; car nous n'en connaissons aucun d'une manière complète, attendu que la connaissance parfaite de chacun d'eux exigerait celle de toutes les lois, de toutes les forces qui concourent à le produire, c'est-à-dire la connaissance parfaite de l'Univers. »

<sup>37</sup> *Revue Scientifique*, avril 1900, p. 892 et 15 novembre 1902, p. 621.

<sup>38</sup> *Synthèse chimique*, p. 274.



## 9. Modifications produites dans la matière par la dissociation partielle de ses atomes.

Nous savons que les produits de la dissociation des atomes ne peuvent se combiner pour reconstituer les corps dont ils sont nés. Nous savons aussi (que cette dissociation) au moins par les moyens dont nous disposons actuellement, ne peut se faire qu'en quantité infinitésimale. Il ne faut donc pas s'attendre à trouver dans la matière, faiblement dissociée une modification très profonde. Cependant elle existe nécessairement. Un corps dont les atomes ont été partiellement dissociés est nécessairement différent de ce même corps avant qu'il ait subi un commencement de dissociation. Quelles sont donc les modifications présentées par les corps après émission d'effluves dont ils ont été le siège ?

Ici nous sommes bien obligés de quitter momentanément le, régions de l'expérience pure et de procéder un peu par voie de conjectures et d'analogies. Nous sommes au seuil d'une chimie nouvelle où les réactifs usuels et les balances ne peuvent nous être d'aucun secours, puisqu'il s'agit de réactions dont les effets physiques peuvent être considérables, bien que des quantités infiniment petites de matière soient en jeu.

Cependant nous pouvons dire déjà que l'existence de cette science future – la chimie intra-atomique – ne nous est pas révélée par de simples hypothèses. Des faits nombreux, disséminés çà et là et restés inexplicables, donnent déjà quelques appuis scientifiques à ces hypothèses et semblent devoir les transformer bientôt en solides réalités.

Ces faits nous montrent, en effet, que certains corps simples peuvent subir des transformations telles que leurs propriétés les plus fondamentales sont changées. Je l'ai montré déjà par mes expériences sur l'aluminium et le magnésium, mais on le constate mieux encore avec les métaux amenés à l'état dit colloïdal. Bien que, sous cette forme, ils soient dilués d'une façon invraisemblable – puisque, suivant Bernek, le platine colloïdal est déjà, très actif à la dose de un trois-centième de milligramme de métal dans un litre d'eau – ils revêtent alors des propriétés tellement intenses et spéciales, tellement différentes de celles qu'ils possèdent à l'état ordinaire, qu'on a dû les rapprocher de certains composés organiques nommés diastases. On constate, en outre, qu'ils n'agissent que par leur présence, c'est-à-dire sans apparaître dans le produit final des réactions. Les chimistes emploient l'expression d'action catalytique pour expliquer les faits analogues. Le corps supposé n'agir que par sa présence est peut-être le siège de désagréments atomiques particulières qui échappent aux réactifs. Nous indiquerons plus loin les expériences relatives à la phosphorescence venant à l'appui de cette considération.

Ces métaux à l'état colloïdal s'obtiennent par divers procédés dont le plus sûr consiste à faire éclater dans de l'eau distillée l'arc électrique entre deux tiges du métal à transformer le platine ou l'or, par exemple<sup>39</sup>. Au bout d'un certain temps l'eau contient, sous une forme totalement ignorée, quelque chose provenant des particules du métal et cela à la dose infinitésimale que j'ai indiquée plus haut. Le liquide est,

<sup>39</sup> Les métaux dits colloïdaux, comme l'argent qu'on trouve actuellement dans le commerce sont en réalité de simples combinaisons chimiques et ont des propriétés fort différentes.

coloré, mais il est impossible d'en rien séparer par filtration ni d'y apercevoir au microscope aucune particule en suspension, ce qui fait supposer que ces particules, si elles existent, sont inférieures, aux langueurs : d'onde de la lumière, c'est-à-dire au millième de millimètre. Il ne semble pas possible d'admettre que le métal ainsi transformé soit à l'état de solution<sup>40</sup>, car l'eau qui le contient ne présente aucun caractère des solutions, tels que les changements de ses points de congélation, d'ébullition, de tension de vapeur, etc. Pour nous, le métal se trouve à l'état de matière ayant subi un commencement de dissociation et c'est justement, pour cette raison que le métal colloïdal préparé par voie électrique ne possède plus aucune des propriétés du corps d'où il dérive. Du platine ou de l'or colloïdal ne sont certainement ni de l'or, ni du platine ordinaires, bien que fabriqués avec ces métaux.

Les propriétés de ces métaux colloïdaux sont, en effet, sans aucune analogie avec celles d'un sel du même métal en solution. Par certaines de leurs actions, ils se rapprochent plus des composés organiques que de la matière brute. C'est pourquoi on a été conduit à les rapprocher des toxines, sortes de diastases de constitution chimique inconnue fabriquées généralement par des bactéries, mais qu'on sépare par filtration de ces bactéries et qui, à des doses impondérables, provoquent des effets prodigieusement actifs. Suivant M. Armand Gautier, deux gouttes de

toxine tétanique contenant 99 % d'eau et 1 % seulement de corps actif suffisent à tuer un cheval. « 1 g de ce corps suffirait, dit-il, à tuer 76 000 hommes. »

C'est précisément comme les toxines ou les ferments organisés qu'agissent les métaux à l'état colloïdal. Le platine colloïdal décompose l'eau oxygénée comme le font certains ferments du sang, il transforme l'alcool par oxydation en acide acétique comme le fait le *mycoderma aceti*. L'iridium colloïdal décompose le formiate de chaux en carbonate de chaux, acide carbonique et hydrogène comme le font certaines bactéries. Chose plus curieuse encore, les corps qui, comme l'acide prussique, l'iode, etc., empoisonnent les ferments organiques<sup>41</sup> paralysent, ou détruisent de la même façon l'action des métaux colloïdaux. Il faut tout le poids des idées classiques sur l'invariabilité des espèces chimiques pour qu'on ne voie pas dans un corps dont les propriétés sont aussi profondément différentes, de celles d'où il provient, une substance entièrement nouvelle.

Il est évident, cependant, que l'opinion des chimistes sur l'invariabilité des atomes possède en apparence une base très solide, puisqu'après toutes les transformations subies par à un corps on peut toujours régénérer ce corps. Du sulfate de cuivre ne ressemble en rien à du cuivre métallique, mais on peut en retirer sans difficulté du cuivre. Cet argument conservera sa valeur tant qu'on

40 Ce qui n'aurait théoriquement rien d'impossible malgré la prétendue insolubilité des métaux, puisqu'une pièce de 20 francs mise pendant peu de temps dans de l'eau distillée y abandonne des traces du cuivre qu'elle contient à l'état d'alliage, en quantité que ne peuvent déceler les réactifs, mais suffisante cependant pour empoisonner certaines algues.

41 L'action du poison varie avec les toxines. Elles résistent à certains réactifs énergiques et sont influencées par des traces de réactifs qui semblent fort peu actifs. M. Armand Gautier a montré que des corps aussi violents que l'acide prussique, le sublimé et le nitrate d'argent étaient sans action sur le venin de cobra, alors que des traces d'une matière alcaline l'empêchent d'agir.

n'aura pas réussi à dissocier des quantités suffisantes de matière ou tout au moins tant qu'on ne possédera pas de moyens physiques capables de révéler les transformations, le plus souvent légères, subies par un corps faiblement dissocié. Quand un métal est modifié par une dissociation partielle, il l'est trop peu pour que nous puissions le constater par les réactions chimiques habituelles.

Ce ne sont que des réactions physiques qui peuvent mettre en évidence de telles modifications. Le radium et les corps phosphorescents en fournissent une excellente preuve. En ce qui concerne le radium, pur exemple, on sait que, par ses réactions chimiques, il est tout à fait identique au baryum. Il en diffère énormément, cependant, par ses propriétés radioactives, c'est-à-dire par la dissociation permanente de ses atomes, que des moyens physiques seuls ont pu révéler.

Quant au phénomène merveilleux de la phosphorescence, il donne également l'exemple de substances chimiquement identiques, mais présentant une propriété physique entièrement nouvelle sous l'influence de traces de substances étrangères agissant probablement en produisant un commencement de dissociation. Des sulfures de calcium ou de baryum purs ne sont jamais phosphorescents. Additionnés de traces de certaines substances étrangères et soumis à l'action d'une température élevée, qui produit de la dissociation de la matière dans tous les corps, comme je l'ai montré dans un précédent travail, ces mêmes sulfures deviennent aptes aussitôt à produire de la phosphorescence. Ces exemples pourraient être multipliés. J'ai prouvé, par exemple, dans mon mémoire sur la

phosphorescence<sup>42</sup>, que certains corps, le sulfate de quinine notamment, produisaient de la phosphorescence en s'hydratant légèrement au contact de l'atmosphère et devenaient radio-actifs pendant tout le temps que durait leur hydratation. C'est là un exemple extrêmement net d'une réaction chimique bien déterminée produisant une dissociation intra-atomique et, comme conséquence, un phénomène physique aussi évident que la phosphorescence.

Ce n'est donc pas à la chimie qu'il faut demander de nous indiquer les transformations subies par la matière lorsqu'elle éprouve un commencement de dissociation. Il faut bien constater, du reste, que cette science ne possède parfois que des moyens extrêmement grossiers pour différencier les corps et souvent même ne réussit pas à les différencier du tout. Près du quart des corps simples connus, c'est-à-dire une quinzaine environ, se ressemblent par leurs caractères chimiques, au point que, sans certaines propriétés physiques (raies spectrales, conductibilité électrique, chaleur spécifique, etc.), on ne les aurait jamais séparés. Ces corps sont les métaux dont les oxydes forment ce qu'on appelle les terres rares. « Ils ne se distinguent, écrivent MM. Wyruboff et Verneuil, à deux ou trois exceptions près, que par leurs propriétés physiques et se trouvent chimiquement identiques. Ils le sont à ce point qu'aucune réaction n'arrive jusqu'ici à les séparer et qu'on est réduit pour les obtenir à l'état plus ou moins pur au procédé empirique et grossier du fractionnement. » Ce n'est pas autrement, d'ailleurs, qu'on obtient le radium.

Devant cette impuissance de la chi-

<sup>42</sup> Voir *Revue Scientifique* des 8 et 15 septembre 1900.

mie, il ne faut pas compter sur elle pour distinguer les corps ayant subi un commencement de dissociation. Mais si on rapproche les faits qui précèdent, il en ressort cette conclusion, incontestable pour le baryum et le radium, incontestable pour certains corps phosphorescents, presque incontestable pour les métaux à l'état colloïdal, que des réactions ayant pour origine probable des commencements de dissociation atomique suffisent à donner aux corps des propriétés absolument nouvelles qu'aucun de nos réactifs chimiques ne permettait de pressentir et qui n'ont été révélées que quand des moyens d'investigation physique nouveaux ont été découverts. La chimie ordinaire n'atteint, je le répète, que l'architecture des atomes et la modifie à son gré. Mais si elle dispose à sa volonté des pierres de l'édifice, elle ne sait pas encore atteindre la structure de ces pierres. La chimie intra-atomique future sera consacrée à l'étude des phénomènes qui se passent au sein des atomes. Dans cette science nouvelle dont on entrevoit à peine l'aurore, le vieux matériel des chimistes, leurs balances et leurs réactifs resteront probablement sans emploi<sup>43</sup>.

*43 Ce ne sont là, sans doute, que des indications, mais le sujet est devenu trop vaste pour que son étude puisse être abordée autrement qu'avec les ressources de laboratoires richement outillés. Le principe des découvertes peut être trouvé avec des moyens très simples par des savants isolés. Il ne peut en être de même pour les détails. C'est ce que M. Lucien Poincaré a très bien marqué dans les lignes suivantes :*

*« Il est certain que, dans l'avenir comme dans le passé, les découvertes les plus profondes, celles qui viendront subitement révéler des régions entièrement inconnues, ouvrir des horizons tout à fait nouveaux, seront faites par quelques chercheurs de génie qui poursuivront dans la méditation solitaire leur labeur obstiné, et qui, pour vérifier leurs conceptions les plus hardies, ne demanderont sans doute*

## 10. Les phases d'existence de la matière. **Genèse et évolution des atomes.**

### ***Naissance et évolution des atomes.***

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

Nous avons exposé les expériences qui ont fini par ruiner cette antique croyance. Nous savons maintenant que la matière s'évanouit lentement et que les atomes qui la constituent ne sont pas destinés à durer toujours.

Mais si les atomes sont condamnés eux aussi à une existence relativement

*que les moyens expérimentaux les plus simples et les moins coûteux ; mais, pour que ces découvertes portent tous leurs fruits, pour que le domaine puisse être rationnellement exploité et fournir le rendement désirable, il faudra de plus en plus l'association des bennes volontés, la solidarité des intelligences ; il faudra aussi que les savants aient à leur disposition les instruments les plus délicats et les plus puissants. »*

éphémère, il est naturel de supposer qu'ils ne furent pas autrefois ce qu'ils sont aujourd'hui et qu'ils ont dû évoluer pendant la suite des âges. Qu'étaient-ils jadis ? Par quelles phases successives ont-ils passé ? Quelles formes graduelles ont-ils revêtues ? Qu'étaient autrefois les diverses matières qui nous entourent : la pierre, le plomb, le fer, tous les corps en un mot ?

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

Ce fut un éminent astronome, M. Norman Lockyer, directeur d'un des grands observatoires de l'Angleterre, qui montra le premier cette évolution de la matière dans les astres et le premier aussi qui osa soutenir que les atomes des corps simples étaient dissociables<sup>44</sup>. Les preuves qu'il fournissait de cette dernière assertion étaient probantes mais les esprits n'étaient pas alors préparés et il fallut la découverte des rayons cathodiques et de la radio-activité de la matière pour que l'antique doctrine de l'indestructibilité des atomes pût être ébranlée.

Le point de départ des recherches de M. Norman Lockyer fut ce fait fondamental, contraire aux idées primitivement admises, que chaque élément chimique donne un spectre fort différent suivant la température à laquelle il est

soumis. Le spectre du sel dans une flamme ordinaire, par exemple, est tout à fait différent du spectre du même métal dans l'arc électrique. Dans la flamme il ne présente qu'un très petit nombre de lignes. Il en présente près de 2 000 dans l'arc électrique. Le spectre du même métal varie également suivant qu'on l'observe dans les parties les plus chaudes ou les moins chaudes du soleil. Dans des tubes contenant des gaz raréfiés et traversés par une décharge électrique, le même gaz l'azote, par exemple, peut, suivant le degré de vide, donner des spectres différents.

Portant alors ses investigations sur les étoiles, le même astronome constata que les plus blanches, qui sont aussi les plus chaudes – comme le prouve la prolongation de leur spectre dans l'ultra-violet – ne se composent que d'un très petit nombre d'éléments chimiques. Sirius et  $\alpha$  de la Lyre, par exemple, se composent presque exclusivement d'hydrogène. Dans les étoiles rouges et jaunes, étoiles moins chaudes qui commencent à se refroidir, et sont par conséquent plus anciennes, on voit successivement apparaître les autres éléments chimiques. D'abord, le magnésium, le calcium, le sodium, le fer, etc., puis les métalloïdes. Ces derniers n'apparaissent que dans les étoiles les plus refroidies. Ce n'est donc qu'à mesure que leur température s'abaisse que les éléments des atomes peuvent s'associer pour former les corps simples. M. Norman Lockyer arrive finalement à la conclusion suivante : « Les éléments chimiques sont, comme les plantes et les animaux, le produit d'une évolution. »

Les observations précédentes semblent bien prouver, conformément d'ailleurs à une des plus anciennes théories de la chimie, que les divers

<sup>44</sup> Les recherches poursuivies par M. Norman Lockyer sur cette question depuis vingt-cinq ans ont été réunies par lui dans un livre récent : *Inorganic Evolution*, Londres, 1900.

corps simples dériveraient d'une matière unique. L'hypothèse commence seulement, quand on suppose que cette matière primitive serait produite par une condensation de l'éther.

Il paraît douteux que la chaleur soit la seule cause de la transformation des atomes. D'autres forces inconnues ont dit probablement agir, mais quelles que soient ces forces, il n'importe. Le fait essentiel est que l'observation des astres nous montre l'évolution des atomes, et la formation des divers corps simples sous l'influence de cette évolution.

### ***Mobilité et sensibilité de la matière***

Nous voici arrivés à cette phase de l'histoire des atomes où, sous l'influence de causes ignorées, et dont nous ne pouvons que constater les effets, ils ont fini par former les divers corps simples constituant notre globe et tous les êtres qui vivent à sa surface. La matière est née et va persister pendant une longue succession d'âges.

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

Les édifices chimiques constitués par les combinaisons que forment les atomes se composent donc de matériaux très stables, mais ces édifices sont parfois d'une fragilité très grande, et toujours d'une mobilité extrême. Les moindres variations de milieu – température, pression, etc. – modifient instantanément les mouvements de rota-

tion et d'oscillation des atomes qui constituent la matière.

Ces modifications sont rendues faciles par l'état granulaire de la matière. On est bien obligé d'admettre, en effet, que les atomes qui la composent ne se touchent jamais, et ne sont maintenus en présence que par une force spéciale, dite cohésion. C'est elle qui permet aux corps de garder leur forme. S'il était possible de l'annuler par une baguette magique, ou plus simplement par une force antagoniste suffisante, nous réduirions instantanément en une poussière d'atomes un bloc de métal, un rocher ou un être vivant. Cette poussière, nous ne pourrions même pas l'apercevoir, car les atomes ne semblent posséder aucune des propriétés qui pourraient les rendre visibles à nos yeux.

Si l'on consent à considérer avec nous les atomes comme une simple condensation d'énergie, on peut dire que la matière la plus rigide en apparence, un bloc d'acier par exemple, représente simplement un état d'équilibre mobile entre l'énergie condensée qui la constitue et les énergies diverses, chaleur, pression, etc., qui l'entourent. La matière cède à leur influence comme un fil élastique obéit aux tractions exercées sur lui mais, reprend sa forme dès que la traction a cessé.

La mobilité de la matière est un de ses caractères les plus faciles à constater, puisqu'il suffit d'approcher la main du réservoir d'un thermomètre pour que la colonne du liquide qui le surmonte se déplace aussitôt. Ses molécules se sont donc écartées sous l'influence d'une légère chaleur. Quand nous approchons la main d'un bloc de métal, les mouvements de rotation et d'oscillation de ses atomes se modifient également, mais ils sont si faibles que

nous ne les percevons pas. Et c'est précisément pourquoi la matière nous apparaît comme très peu mobile.

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

Des méthodes d'investigation suffisamment précis montrent, au contraire, que non seulement la matière est d'une mobilité extrême, mais encore qu'elle possède une sensibilité dont aucun être vivant n'a jamais approché.

Les physiologistes mesurent comme on le sait, la sensibilité d'un être par le degré d'excitation nécessaire pour obtenir de lui une réaction. On le considère comme très sensible lorsqu'il réagit sous des excitants très faibles. En appliquant à la matière brute un procédé d'investigation analogue, on constate que la substance la plus rigide et la moins sensible en apparence, une barre de métal par exemple, est au contraire d'une sensibilité invraisemblable. La matière du bolomètre, constituée en dernière analyse par un mince fil de platine, est tellement sensible qu'elle réagit – par une variation de conductibilité électrique – quand elle est frappée par un rayon de lumière d'une intensité assez faible pour ne produire qu'une élévation de température de un cent-millionième de degré.

Avec les progrès des moyens d'investigation, cette extrême sensibilité de la matière et la mobilité qui l'accompagne nécessairement se manifestent de plus en plus. M. H. Steele constatait récemment qu'il suffit de toucher légèrement un fil de fer avec le doigt pour

qu'il devienne aussitôt le siège d'un courant électrique. On sait qu'à des centaines de kilomètres les ondes hertziennes, dont l'énergie à de telles distances est infiniment faible, modifient profondément la structure des métaux qu'elles atteignent puisqu'elles changent dans d'énormes proportions leur conductibilité électrique. C'est même sur ce phénomène que la télégraphie sans fil est basée. Divers physiiciens admettent, d'après certaines expériences, que sous l'influence de ces ondes, les métaux subiraient instantanément des transformations allotropiques analogues à celles que la lumière produit dans certains corps, le phosphore et le soufre notamment.

Cette sensibilité extraordinaire de la matière, si contraire à ce que l'observation vulgaire semblait indiquer, devient de plus en plus familière aux physiiciens et c'est pourquoi une expression comme celle-ci « la vie de la matière », dénuée de sens, il y a seulement vingt-cinq ans, est devenue d'un usage courant. L'étude de la matière brute révèle de plus en plus chez elle, en effet, des propriétés qui semblaient jadis l'apanage des êtres vivants. M. Bose, en se basant sur ce fait que « le signe le plus général et le plus délicat de la vie est la réponse électrique » a prouvé que cette réponse électrique « considérée généralement comme l'effet d'une force vitale inconnue » existe dans la matière. Et il montre par des expériences ingénieuses<sup>45</sup> « la fatigue » des métaux et sa disparition après le repos, l'action des excitants et des déprimants chimiques, l'action des poisons sur ces mêmes métaux, etc.

Il ne faut pas trop s'étonner de rencontrer dans la matière des propriétés qui semblaient l'apanage des êtres vi-

*45 Journal de Physique, août 1902*

vants et il serait inutile d'y chercher une explication simpliste du mystère si impénétré encore de la vie. Les analogies constatées tiennent vraisemblablement à ce que la nature ne varie pas beaucoup ses procédés et construit tous les êtres, du minéral jusqu'à l'homme, avec des matériaux semblables et doués, pur conséquent, de propriétés identiques. Elle applique toujours – en biologie comme ailleurs – ce principe fondamental de moindre action qui joue un rôle si considérable dans la théorie énergétique et suffirait à lui seul à établir les équations fondamentales de la mécanique. Il consiste, comme on le sait, dans cet énoncé si simple et d'une portée si profonde que parmi tous les chemins permettant de passer d'une situation à une autre, une molécule matérielle sollicitée par une force ne peut prendre qu'une seule direction, celle pour laquelle l'effort est le plus petit. On s'apercevra probablement un jour que ce principe n'est pas applicable seulement à la mécanique, mais aussi à la biologie. Il est peut-être la cause secrète de ces lois de continuité observées dans tous les phénomènes et qui font que les différenciations entre les êtres vivants se sont faites d'une façon progressive.

Nous résumerons ce paragraphe en disant que l'atome garde à peu près son individualité à travers tous les changements de la matière, mais que les édifices matériels qu'il sert à former sont d'une mobilité et d'une sensibilité excessives. On peut à volonté changer leur forme, mais sans pouvoir toucher aux matériaux qui les constituent. C'est du moins ce qu'on avait toujours cru, et on ne l'avait pas cru sans raison, puisque la dissociation des matériaux des édifices chimiques, c'est-à-dire des atomes, est si lente et, le plus souvent, si faible qu'elle avait échappé jusqu'ici

aux moyens habituels d'investigation.

### ***La dissociation des atomes et l'évanouissement de la matière.***

Jusqu'à une époque toute récente, l'indestructibilité des éléments qui composent la matière était considérée comme le dogme le plus fondamental de la chimie.

Et ce n'était pas l'observation vulgaire seule qui enseignait la permanence de la matière. Toutes les expériences de la chimie n'avaient fait que confirmer ce dogme, puisque, à travers toutes les transformations que la matière peut subir, sa masse mesurée par son poids restait invariable. Cette invariabilité de la masse avait même fini par devenir le seul caractère vraiment irréductible de la matière, c'est-à-dire le seul qui apparût comme indépendant des influences de milieu auxquelles elle est soumise. Les autres propriétés, étant toujours conditionnées par le milieu, apparaissaient comme de simples relations.

Nous avons rappelé dans ce mémoire et examiné en détail dans le précédent, les faits démontrant que la matière peut se dissocier et, par conséquent, que sa masse ne peut plus être considérée comme une quantité invariable. Il serait donc inutile d'y revenir maintenant. Considérons le fait comme établi et tâchons de l'expliquer.

L'explication sera nécessairement une hypothèse alors que le fait sur lequel elle s'appuie n'en est pas une. Dans les idées actuelles sur la constitution des atomes, chacun d'eux peut être considéré comme un véritable système solaire comprenant une partie centrale autour de laquelle tournent, avec une immense vitesse, un millier au moins



de particules et quelquefois beaucoup plus. Ces dernières doivent donc posséder une grande énergie cinétique. Qu'une cause quelconque vienne à troubler leur trajectoire, ou que leur vitesse de rotation arrive à être suffisante pour que la force centrifuge, qui en résulte, dépasse la force d'attraction qui les maintient dans leur orbite et alors les particules périphériques s'échappent dans l'espace en suivant la tangente de la courbe qu'elles parcourent. Par cette émission elles donneront naissance aux phénomènes de radio-activité. Quant à dire pourquoi ces particules tournent les unes autour des autres depuis l'origine des âges, il serait inutile de tenter une simple ébauche d'explication.

Quoi qu'il en soit de la valeur de cette explication, le fait de la dissociation existe. Il est fort singulier, assurément, de voir un système aussi stable que l'atome commencer à se dissocier sous des influences aussi légères qu'un rayon de soleil ou des réactions chimiques très simples ; mais ce sont là des faits d'expérience devant lesquels il faut bien s'incliner.

Quand on admettait que la radioactivité était spéciale à certains corps tels que l'uranium et le radium, on croyait – et beaucoup de physiciens croient encore – que l'instabilité de ces corps était une conséquence de l'élévation de leur poids atomique. Cette explication s'évanouit devant le fait, démontré par nos recherches antérieures, que ce sont justement les métaux dont le poids atomique est le plus faible comme le magnésium et l'aluminium, qui deviennent le plus facilement radio-actifs sous l'influence de la lumière, alors que ce sont, au contraire, les corps possédant un poids atomique élevé, comme l'or, la platine et le plomb, dont la radio-activité

est la plus faible. La radio-activité est donc indépendante du poids atomique et probablement due, comme je l'ai expliqué, à certaines réactions chimiques de nature inconnue. Deux corps qui ne sont pas radio-actifs peuvent le devenir par leur combinaison. Le mercure et l'étain, par exemple, peuvent être rangés parmi les corps dont la radio-activité, sous l'action de la lumière, est la plus faible. J'ai montré cependant que le mercure devenait extraordinairement radio-actif sous l'influence de la lumière dès qu'on lui ajoute des traces d'étain.

Cet exemple et tous ceux du même ordre, montrent bien, comme je le disais plus haut, que les causes qui produisent la dissociation de l'atome sont souvent très faibles. Comment agissent-elles ? Nous l'ignorons complètement. Des métaux devenant très radio-actifs, sous l'influence de radiations lumineuses d'une certaine longueur d'onde, ne le sont presque pas sous l'influence de radiations de longueur d'onde peu différentes. Les choses semblent se passer comme dans le phénomène de la résonance. On peut, comme on le sait, faire vibrer un diapason ou même une lourde cloche en produisant auprès d'eux une note d'une certaine période vibratoire, alors que les bruits les plus violents peuvent les laisser insensibles.

Quelles que soient les causes capables de dissocier un peu l'agrégat d'énergie condensée qui constitue l'atome, ces causes existent et quand nous les connaissons mieux nous arriverons certainement à une dissociation plus complète qu'aujourd'hui. Dans l'état actuel de la science, il suffisait d'en prouver l'existence.

Mais que deviennent les éléments dissociés des atomes ? Ces éléments

ont perdu, comme nous l'avons montré, leur caractère matériel et on suppose qu'ils sont constitués par des particules électriques. Où vont ces particules ?

Nous sommes ici sur les extrêmes limites de nos connaissances et réduits à remplacer les explications par des conjectures et des points d'interrogation. Nous avons vu l'atome matériel se dissocier. La matière considérée comme de l'énergie condensée sous une forme où elle acquiert le poids, la forme et la fixité, s'est transformée en éléments impondérables qui ne sont plus de la matière, mais ne sont pas encore de l'éther. Ce que deviennent finalement ces éléments impondérables, nous l'ignorons encore.

Nous savons, par expérience, qu'ils ne peuvent reconstituer la matière dont ils dérivent. L'atome électrique, que toutes les idées modernes amènent à considérer comme une modification localisée de l'éther, une permanence dans l'éther, garde-t-il indéfiniment son individualité ? Est-il éternel alors que la matière ne l'est pas ?

Qu'il vive isolé ou associé à un atome de signe contraire, cela n'importe guère. Alors même que, par cette association, il constituerait un atome d'électricité neutre – chose inconnue qu'aucune expérience n'a encore montré – il possède une individualité. Mais combien de temps la garde-t-il ? Et s'il ne la garde pas que devient-il ?

Que l'atome électrique, qui a eu nécessairement un commencement, soit destiné à ne pas avoir de fin, cela est peu probable. Il est sur la limite extrême des choses. Si l'existence de ces atomes électriques avait persisté depuis qu'ils se forment sous l'influence de tant de causes diverses, c'est-à-dire de

puis les origines du monde, ils auraient fini par s'accumuler au point de pouvoir former un nouvel univers ou tour au moins une sorte de nébuleuse. Il est donc vraisemblable qu'ils finissent par perdre leur existence individuelle. Mais alors comment peuvent-ils disparaître ? Pouvons-nous supposer que leur destinée est celle de ces blocs de glace qui flottent dans les régions polaires et gardent une existence individuelle tant que la seule cause de destruction qui puisse les atteindre – une élévation de température – ne les atteint pas ? Dès que cette cause de destruction agit sur eux, ils s'évanouissent dans l'océan et disparaissent. Tel est, peut-être, le sort final de l'atome électrique. Quand il a rayonné toute son énergie il s'évanouit dans l'éther et n'est plus rien<sup>46</sup>.

Si les vues exposées dans ce mémoire sont exactes, il existerait quatre stades successifs de la matière. Deux sont révélés par l'expérience, le premier et le dernier ne sont encore qu'une hypothèse.

Le premier stade est constitué par l'éther.

Le second est représenté par la ma-

*46 Cette conception ne s'accorde pas évidemment avec le premier principe de la thermodynamique, mais si le dogme de l'indestructibilité de la matière s'évanouit, celui de la conservation de l'énergie semble également quelque peu menacé. La question est d'ailleurs trop importante pour être discutée maintenant. Nous l'examinerons dans un autre travail. Il semble très probable et nous ne sommes pas les seuls à le penser, que la loi de la conservation de l'énergie dont M. H. Poincaré a si brillamment montré les côtés incertains dans son livre récent : La science et l'hypothèse, est, comme la plupart (les lois physiques, celle de Mariotte, par exemple, vraie seulement dans certaines limites. Elle sera donc toujours utile à conserver pour la commodité des calculs.*

tière ordinaire formée d'atomes qui ne sont, pour nous, que de l'énergie condensée sous un état particulier d'où résulte la forme, le poids et la fixité.

Le troisième stade – et avec lui la dissolution commence – est représenté par l'atome dit électrique, substance intermédiaire entre la matière ordinaire et l'éther c'est-à-dire entre le pondérable et l'impondérable. La matière a perdu son poids, son inertie n'est plus constante et sa fixité semble transitoire.

La dernière phase d'existence de la matière serait celle où l'atome électrique ayant perdu l'individualité, c'est-à-dire la fixité s'évanouirait dans l'éther. Ce serait le terme ultime de la dissociation de la matière, le nirvana final où il semble que toute chose doit retourner après une éphémère existence.

Mais ce sont là des interprétations. Il ne faut pas qu'elles nous écartent des faits que nous avons exposés et qui ont prouvé l'existence de la dissociation des atomes.

Et puisque nous avons prouvé que cette dissociation est un phénomène général, nous sommes fondés à dire que la doctrine de l'invariabilité du poids des atomes sur lequel toute la chimie moderne est fondée n'est qu'une trompeuse apparence résultant uniquement du défaut de sensibilité des balances. Il suffirait qu'elles fussent sensibles au millième de milligramme pour que toutes nos lois chimiques fussent considérées comme de simples approximations. Si les balances possédaient une telle précision, nous constaterions aussitôt que dans une foule de circonstances, et, en particulier pendant les réactions chimiques, l'atome perd une partie de son poids. Nous sommes donc

fondés à dire, contrairement au principe posé comme base de la chimie par Lavoisier, que : *on ne retrouve pas dans une combinaison chimique le poids total des corps employés pour produire cette combinaison*<sup>47</sup>.

L'exactitude de ce fait capital commence à être reconnue par des physiciens éminents, Voici, par exemple, comment s'exprimait récemment, à propos d'expériences de radio-activité, M. Lodge devant la Société de physique de Londres :

« L'évolution ou la transmutation de la matière est expérimentalement démontrée par les expériences sur la radio-activité. Les atomes lourds des corps radio-actifs semblent se désagréger et lancer dans l'espace des atomes de poids atomique plus faible. On pourrait penser que cette hypothèse sur la dégradation et l'instabilité des atomes est une simple spéculation. Elle constitue cependant la plus raisonnable explication des phénomènes observés. D'après la théorie électrique de la matière, c'est-à-dire d'après cette vue qu'un atome contient des électrons doués de rapides mouvements inter-atomiques obéissant à des lois analogues à celles qui régissent le cours des astres, l'in-

<sup>47</sup> On commence déjà à le constater expérimentalement, en faisant usage de balances extrêmement sensibles et en opérant pendant un temps suffisamment long. « À l'aide d'une balance de haute précision, écrit M. Lucien Poincaré, MM. Landolt et Heydweiller ont effectué de nombreuses pesées sur des corps divers avant et après que se sont effectuées les réactions chimiques auxquelles ces corps ont donné naissance ; ces deux physiciens très exercés et très prudents n'ont pas craint d'énoncer ce résultat sensationnel que, dans certaines circonstances, le poids n'est plus le même après qu'avant la réaction. En particulier, le poids d'une dissolution de sulfate de cuivre dans de l'eau ne serait pas la somme exacte des poids du sel et de l'eau. » (Revue des Sciences, janvier 1903, p. 96.)

stabilité de l'atome doit nécessairement exister. Nous ne devons plus admettre que l'atome est permanent et éternel. La matière peut probablement naître et périr. L'histoire d'un atome présente des analogies avec celle d'un système solaire. Dans la théorie électrique de la matière, la combinaison des électrons peut produire l'agrégat électrique appelé un atome et sa dissociation s'accompagne d'un phénomène de radio-activité<sup>48</sup>».

Dans un travail également tout récent, sir William Crookes est arrivé à une conclusion analogue.

« Cette fatale dissociation des atomes, dit-il, semble universelle. Elle se manifeste quand nous frotons un bâton de verre, quand le soleil brille, quand un corps brûle, quand la pluie tombe, quand les vagues de l'océan se brisent. Et bien que la date de l'évanouissement de l'Univers ne puisse être calculée, nous devons constater que le monde retourne lentement au brouillard informe du chaos primitif. Ce jour-là, l'horloge de l'éternité aura terminé un cycle<sup>49</sup>».

Et maintenant résumons-nous.

La longue analyse qui précède nous a permis de suivre l'atome depuis sa naissance jusqu'à son déclin. Nous l'avons vu naître, évoluer, puis commencer à disparaître. Essayant de pénétrer sa nature, nous avons prouvé qu'il constituait un réservoir colossal d'énergie et n'était probablement formé que d'énergie condensée susceptible de se dissocier lentement.

Nous ignorons assurément la nature et le mode d'action des forces ca-

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

Dans le système du monde développé par Laplace, le soleil et les planètes auraient d'abord été une grande nébuleuse au centre de laquelle s'est formé un noyau animé d'un mouvement de rotation et duquel se sont successivement détachés des anneaux qui formèrent plus tard la terre et les autres planètes. D'abord gazeuses, ces masses se sont progressivement refroidies et l'espace primitivement rempli par la nébuleuse n'a plus été occupé que par quelques globes qui continuent à tourner sur eux-mêmes et autour du soleil. Avec les idées nouvelles sur la composition des atomes, il est permis de supposer que chacun de ces derniers ne s'est pas formé autrement et représente malgré sa petitesse un véritable système solaire.

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

Nous ignorons comment a pu se constituer l'atome et pourquoi il finit par lentement s'évanouir ; mais au moins nous savons qu'une évolution

48 *Physical Society, séance du 3 juin 1903. Compte rendu publié dans Chemical News du 19 juin 1913, p. 291.*

49 *Chemical News, 12 juin 1903, p. 281, et Revue Scientifique du 22 août 1903.*

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

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

Notre travail est donc terminé. Il représente la synthèse de laborieuses investigations poursuivies pendant de longues années. Parti de l'observation attentive des effets produits par la lumière sur un fragment de métal, nous avons été successivement conduit par l'enchaînement des phénomènes à explorer des régions très diverses de la physique. L'étude de la dissociation de la matière, celle de l'infra-rouge, de l'ultra-violet, des ondes hertziennes, de la phosphorescence et de la variabilité des espèces chimiques ont été successivement abordées.

Sans doute l'expérience a toujours été notre principal guide, mais pour interpréter les résultats obtenus et en découvrir d'autres, il a fallu édifier plus d'une hypothèse. Dès qu'on pénètre dans des régions inconnues de la science il n'est pas possible de procéder autrement. « Le rôle de l'hypothèse, dit

M. Poincaré, est tel que le mathématicien ne saurait s'en passer et que l'expérimentateur ne s'en passe pas davantage. » Faire des hypothèses et des expériences, puis tâcher de relier, par des généralisations, les faits constatés, représente les trois stades nécessaires de l'édification de toutes nos connaissances.

Il importe peu que les hypothèses soient erronées il suffit qu'elles soient utiles et elles le sont dès qu'elles provoquent des recherches, « Ce qui fait le mérite d'une théorie, écrit très justement M. Duclaux, ce n'est pas d'être vraie ; il n'y a pas de théories vraies ; c'est d'être fécondes. »

Tout récemment encore, ce que l'on croyait savoir de l'atome était déduit d'une théorie dont l'inexactitude devient chaque jour plus évidente. Elle fut précieuse pourtant puisqu'elle a permis de construire les édifices de la mécanique et de la chimie. L'équation fondamentale de la dynamique n'a pu être établie qu'en s'appuyant sur le principe de l'invariabilité de la masse. C'est sur ce même principe que tout l'édifice chimique a été bâti.

Aujourd'hui nous savons que la matière considérée comme si stable ne l'est pas en réalité et que sa masse ne peut être une grandeur rigoureusement invariable. Le principe considéré comme absolu n'était donc qu'une loi approximative, ainsi d'ailleurs que la presque totalité des lois physiques dès qu'on arrive à certaines limites. Il reste très suffisamment exact cependant pour nos méthodes habituelles d'observation.

La science vit de faits, Sans doute, mais ce sont toujours les grandes généralisations qui les font naître. Une théo-

rie fondamentale ne peut être modifiée sans que l'orientation des recherches scientifiques change aussitôt. Les théories de Pasteur peuvent se formuler en quelques lignes ; il faudrait des volumes pour énumérer l'entassement des faits dont elles ont provoqué la découverte et les révolutions qu'elles ont produites en médecine. Qu'on réussisse à prouver un jour – comme on commence à le faire déjà – que les théories pastoriennes ne sont pas très exactes, il n'importe. Les faits découverts resteront acquis.

Il en sera de même sans doute pour l'étude des atomes. Par le fait seul que les idées sur leur constitution se sont transformées, les doctrines qui servaient de base à des parties fondamentales de la physique, de la chimie et de la mécanique sont condamnées à changer et la direction des recherches changera également.

Cette orientation nouvelle des investigations amènera nécessairement une éclosion de faits nouveaux. Les théories atomiques vont envahir toutes les branches de la physique. Dans le domaine de l'électricité, elles règnent déjà sans rivales et leurs conséquences se feront sentir jusque dans les opérations de l'industrie.

Personne ne pouvait songer à étudier le monde des atomes à l'époque si récente encore où on les croyait formés de particules élémentaires très simples, irréductibles, inaccessibles et indestructibles. Aujourd'hui nous savons que la science a quelque prise sur ces particules et que chacune d'elles est un véritable univers d'une structure extraordinairement compliquée, siège de forces dont la grandeur dépasse immensément toutes celles découvertes jusqu'ici. Ce que la chimie et la méca-

nique croyaient le mieux connaître était en réalité ce qu'elles connaissaient le moins.

C'est dans ces univers atomiques que leur extrême petitesse fit ignorer pendant si longtemps, qu'il faudra chercher sans doute l'explication de quelques-uns des mystères qui nous entourent. La petitesse infinie contient peut-être les secrets de l'infinie grandeur.

Et ce n'est pas seulement au point de vue de la théorie pure qu'il est nécessaire d'approfondir l'étude des univers atomiques et des énergies colossales dont ils sont le siège. La science est à la veille, peut-être, de capter ces énergies dont on ne soupçonnait pas l'existence et de rendre ainsi inutile l'extraction de la houille. La provision de combustible que les couches terrestres contiennent s'épuise rapidement et si ce réservoir d'énergie était tari, des industries, éléments essentiels de la civilisation, seraient condamnées à périr. Sans charbon, en effet, les chemins de fer et les paquebots s'arrêteraient, les usines se fermenteraient et l'électricité ne nous illuminerait plus. On est en droit d'espérer que la connaissance approfondie du mécanisme des énergies intra-atomiques rendra inutile l'extraction de la houille. Le savant qui trouvera le moyen de libérer économiquement les forces que la matière contient changera presque instantanément la face du monde. Une source illimitée d'énergie étant gratuitement à la disposition de l'homme, il n'aurait pas à se la procurer par un dur travail. Le pauvre serait alors l'égal du riche et aucune question sociale ne se poserait plus.