

LES NOUVELLES SUBSTANCES RADIOACTIVES*¹

Les recherches sur les substances radioactives ont pour point de départ la découverte des rayons uraniques faite par M. Becquerel en 1896. L'uranium et ses composés émettent spontanément des radiations qui impressionnent les plaques photographiques, et se propagent rectilignement. Mais ces radiations ne sont pas des rayons lumineux. Les rayons uraniques impressionnent les plaques photographiques au travers du papier noir opaque à la lumière ou d'une feuille mince de métal; ils traversent, en général, toutes les substances, mais seulement sous une faible épaisseur, car ils sont fortement absorbés par tous les écrans et même par l'air dans lequel ils ne se propagent pas au delà de quelques centimètres. Les rayons uraniques ne se réfléchissent pas, ne se réfractent pas et ne se polarisent pas; ces rayons rendent l'air qu'ils traversent conducteur de l'électricité, et c'est là une de leurs propriétés les plus importantes.

Quand on se trouve en présence d'un phénomène nouveau, il est naturel de chercher à le classer en essayant de faire des rapprochements avec des phénomènes déjà connus et étudiés. On s'aperçoit alors que les propriétés des rayons uraniques, dont je viens de parler, sont des propriétés communes aux rayons cathodiques et aux rayons Röntgen, les deux espèces de rayons émis dans un tube de Crookes. Il convient donc de rapprocher les rayons uraniques des rayons cathodiques et des rayons Röntgen; mais il est un autre côté de l'émission uranique, et ce côté se refuse à toute analogie, — je veux parler de la spontanéité et de la constance de l'émission uranique.

L'émission des rayons uraniques est spontanée, c'est-à-dire qu'elle n'est produite par aucune cause excitatrice connue. Pendant longtemps M. Becquerel avait pensé que la lumière était la cause du phénomène; que l'uranium emmagasinait en quelque sorte de la lumière et qu'il restituait ensuite l'énergie ainsi emprisonnée sous forme de rayons uraniques. Dans cette manière de voir les rayons uraniques ne seraient qu'une phosphorescence très particulière et de très

* [Mme Curie, *Rev. Sc. (Revue Rose)*, 4^{me} série 14, 65 (1900) — ed.].

¹ Conférence faite à la Séance publique annuelle de la Société de Secours des Amis des Sciences, le 14 juin 1900, dans l'Amphithéâtre Richelieu, à la Sorbonne.

longue durée. Mais l'expérience n'est pas favorable à cette interprétation du phénomène. M. Becquerel a pu, en effet, conserver de l'uranium pendant des années dans l'obscurité complète sans lui faire perdre son activité. De plus, s'il n'est pas possible de priver l'uranium de ses propriétés par un séjour dans l'obscurité, il n'est pas davantage possible d'augmenter son émission par un éclairage intense ni par aucun autre procédé. L'émission des rayons uraniques est très constante, elle ne varie sensiblement ni avec le temps, ni avec l'éclairage, ni avec la température.

C'est là le côté le plus troublant du phénomène. Quand nous observons la production de rayons cathodiques ou de rayons Röntgen, nous fournissons nous-mêmes au tube producteur l'énergie électrique; cette énergie est fournie par des piles qu'il faut renouveler ou des machines que l'on fait marcher en dépensant du travail. Mais lors de l'émission uranique aucune modification ne se produit dans cette matière qui rayonne de l'énergie, très faiblement à la vérité, mais d'une façon continue. L'uranium n'éprouve aucun changement d'état appréciable, aucune transformation chimique visible, il demeure, en apparence tout au moins, identique à lui-même, la source de l'énergie qu'il dégage reste introuvable, — et c'est là l'intérêt profond du phénomène, — c'est là peut-être un désaccord avec des lois fondamentales de la science considérées jusqu'ici comme générales.

En présence de ce phénomène si bizarre de l'émission de rayons uraniques, il était naturel de se demander si les composés d'urane sont les seuls corps

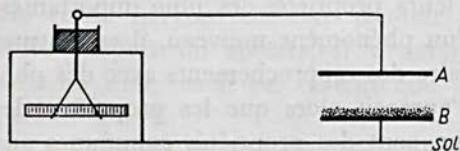


Fig. 1

émettant ces rayons que l'on appelle généralement rayons de Becquerel. Les recherches sur cette question ont montré que le thorium et ses composés jouissent de propriétés analogues. Ces recherches étaient faites par la méthode électrique, c'est-à-dire la méthode qui consiste à

mesurer la conductibilité acquise par l'air sous l'influence de la substance active. Voici un dispositif simple pour des mesures de ce genre.

Un condensateur AB est formé de deux plateaux A et B (fig. 1). Le plateau B est relié au sol par un fil métallique. Le plateau A est relié métalliquement au bouton d'un électroscope à feuilles d'or dont la cage est reliée au sol. Chargeons le bouton de l'électroscope, les feuilles d'or divergent, et si l'électroscope est bien isolé, elles se fixent dans une certaine position. Cela est possible parce que l'air qui baigne les feuilles, le bouton et le plateau A qui en fait partie est isolant. Mais plaçons sur le plateau B une couche de substance active formée par un composé d'urane préalablement pulvérisé; les rayons émis rendent l'air légèrement conducteur: l'air n'oppose donc plus une résistance absolue au passage de l'électricité; la charge électrique de l'électroscope s'écoule

lentement à terre par l'intermédiaire de l'air situé entre les deux plateaux, — et les feuilles d'or se rapprochent lentement. Plus la substance est active, et plus ce courant électrique de décharge est fort, plus les feuilles tombent vite. On peut mesurer le courant en disposant, par exemple, derrière les feuilles d'or une échelle graduée et comptant le nombre de divisions dont se déplace l'une des feuilles pendant un temps donné. On saura ainsi que telle substance décharge l'électroscope plus vite que telle autre; on saura aussi combien de fois plus vite, et on pourra mesurer l'activité relative des substances.

Pour faire des mesures très précises, j'ai employé un dispositif électrométrique plus compliqué et plus sensible, mais toujours basé sur le même principe.

L'air qui est rendu conducteur par l'action des rayons cathodiques, des rayons de Röntgen ou des rayons de Becquerel n'est pas à l'état ordinaire; ses propriétés sont modifiées. D'après la théorie de J.-J. Thomson, les molécules de l'air sont en partie dissociées comme dans l'électrolyse; une molécule se décompose en deux sous-molécules ou ions qui ont des charges électriques égales et de signe contraire. Les ions sont libres de se mouvoir dans l'air; sous l'influence du champ électrique qui s'exerce entre les deux plateaux A et B ils se mettent en mouvement; les ions positifs sont attirés par le plateau chargé négativement, et détruisent sa charge; de même, la charge positive du second plateau est détruite par les ions négatifs; c'est ainsi que l'électroscope se décharge progressivement.

Pour abréger, j'appellerai radioactives les substances qui émettent des rayons de Becquerel.

J'ai étudié par la méthode électrique la radioactivité d'un très grand nombre des substances parmi lesquelles se trouvaient les composés de presque tous les corps simples actuellement connus. Tous les corps renfermant de l'uranium ou du thorium sont radioactifs, et cela, en général, d'autant plus qu'ils contiennent une plus forte proportion de ces métaux. La radioactivité est donc une propriété qui accompagne l'uranium et le thorium à tous les états, — c'est une propriété atomique de ces éléments, et elle est toujours diminuée par l'addition de matières étrangères inactives.

Certains autres corps émettent des rayons analogues aux rayons de Becquerel, mais l'émission n'a pas le caractère atomique. Ainsi le phosphore humide blanc est actif, mais le phosphore rouge et les combinaisons du phosphore ne le sont pas. Le phosphore n'est donc pas un corps radioactif à la façon qui nous occupe ici.

Parmi les substances dont j'ai mesuré la radioactivité se trouvaient des minéraux. Certains d'entre eux se sont montrés radioactifs. Cela n'avait rien d'étonnant, puisque ces minéraux actifs contenaient tous de l'uranium ou du thorium, ainsi par exemple la pechblende, la chalcélite et d'autres. Mais ce qui était étonnant, c'était le degré de l'activité de certains minéraux. Ainsi j'ai eu

des pechblendes, minerais contenant de l'oxyde d'urane, qui étaient quatre fois plus actives que l'uranium métallique; la chalcopite, phosphate cristallisé d'urane et de cuivre, était deux fois plus active que l'uranium; c'était contradictoire avec les résultats de mon étude d'après laquelle aucune substance n'aurait dû se montrer plus active que l'uranium ou le thorium. Pour éclaircir ce point, j'ai préparé de la chalcopite artificielle par le procédé de Debray, en partant de produits purs; cette chalcopite artificielle avait une activité toute normale, étant donnée sa composition; elle était deux fois et demie moins active que l'uranium.

Il semblait donc probable que si la pechblende et la chalcopite naturelle ont une activité si grande, c'est que ces minéraux contiennent en petite quantité une matière fortement radioactive qui n'est ni l'uranium ni le thorium ni aucun élément actuellement connu.

M. Curie et moi, nous nous sommes proposés d'extraire cette substance de la pechblende, et nous sommes en effet arrivés à montrer que l'on peut par des procédés purement chimiques retirer de la pechblende des substances qui ont une activité 100 000 fois plus grande que celle de l'uranium.

Notre unique guide dans cette recherche était la radioactivité et voici comment nous nous en servions. On mesurait l'activité d'un certain produit; on effectuait sur ce produit une séparation chimique, on mesurait l'activité de tous les produits obtenus, et on se rendait compte si la substance active cherchée était restée intégralement avec l'un d'eux ou bien si elle s'était séparée entre eux et dans quelle proportion. On avait ainsi une indication qui était comparable jusqu'à un certain degré à celle que pourrait fournir l'analyse spectrale.

En procédant ainsi, nous avons trouvé tout d'abord que le bismuth que l'on retire de la pechblende contient en très petite quantité une substance fortement radioactive qui est voisine du bismuth par ses propriétés et l'accompagne dans ses réactions. Nous avons appelé cette substance polonium. Nous n'avons pas pu encore la séparer du bismuth, mais nous obtenons du bismuth de plus en plus riche en polonium par l'un des procédés suivants:

1° En précipitant une solution de chlorures très acide par l'hydrogène sulfuré, les sulfures précipités sont considérablement plus actifs que ceux qui restent dissous;

2° En précipitant par l'eau une solution acide d'azotates, le sel précipité est beaucoup plus actif que le sel resté dissous.

En continuant nos recherches, nous avons, en collaboration avec M. Bémont, trouvé une deuxième substance très fortement radio-active qui accompagne le baryum dans la pechblende et en a les propriétés. Nous avons donné à cette substance le nom de radium. Pour concentrer le radium nous soumettons le chlorure de baryum radifère à une cristallisation fractionnée; les cristaux qui se déposent sont beaucoup plus actifs que le sel qui reste dissous. Enfin

une troisième substance fortement radioactive a été trouvée dans la pechblende par M. Debierne qui lui a donné le nom d'actinium. Cette substance est voisine du thorium qu'elle suit dans ses réactions.

Toutes les trois substances radioactives nouvelles se trouvent dans la pechblende en quantité absolument infinitésimale. Pour arriver à les obtenir à l'état de concentration actuel, nous avons été obligés d'entreprendre le traitement de plusieurs tonnes de résidus de minerai d'urane. Le gros traitement se fait dans l'usine de la Société centrale des produits chimiques, après quoi vient tout un travail de purification et de concentration. Nous arrivons ainsi à extraire de ces milliers de kilogrammes de matière première quelques décigrammes de matières qui sont prodigieusement actives par rapport au minerai dont elles proviennent. Il est bien évident que l'ensemble de ce travail est long, pénible et coûteux.

Aucune des nouvelles substances radioactives n'a encore été isolée. Croire à la possibilité de leur isolement revient à admettre que ce sont des éléments nouveaux. C'est cette opinion qui a guidé notre travail depuis le début; elle était fondée sur le caractère atomique évident de la radioactivité des matières qui faisaient l'objet de notre étude. Cette propriété si tenace, qui ne se laissait point détruire par le très grand nombre des réactions chimiques effectuées, qui dans des réactions comparables suivait toujours le même chemin et se manifestait avec une intensité bien en rapport avec la quantité de matière inactive retirée, cette propriété ne pouvait assurément par être accidentelle; elle devait tenir à la matière qu'elle accompagnait si fidèlement et en être un caractère absolument essentiel. Dans notre opinion, le baryum radioactif était donc assurément autre chose que le baryum ordinaire, de même que le polonium n'était pas du bismuth. D'autres preuves de nature purement chimique sont venues appuyer notre opinion. Nous n'avons pas trouvé, il est vrai, de réactions chimiques permettant de faire une séparation absolue du baryum et du radium, du polonium et du bismuth, et ces réactions, les eussions-nous connues, que nous n'aurions pas pu nous en servir, parce que la quantité de matière que nous voulions séparer était trop faible. Par contre, nous avons mis en évidence des différences de solubilité qui nous ont permis d'établir pour nos substances des méthodes de concentration d'une régularité absolue. On sait combien sont faibles les différences de réaction entre les éléments voisins, et à ce point de vue le radium semble différer autant du baryum que le baryum du strontium. Pour établir chimiquement l'existence d'un élément, on se base aujourd'hui sur l'étude du spectre de cet élément et de son poids atomique.

L'étude complète d'un spectre est un travail qui demande une connaissance très approfondie de la spectroscopie et une grande habitude. M. Demarçay, dont la grande compétence en spectroscopie est connue, a bien voulu s'occuper de l'étude spectrale de nos substances, ce dont nous ne saurions trop le remercier. Il nous a rendu l'immense service de nous apporter une certitude,

basée sur une méthode scientifique qui a fait ses preuves, alors que nous étions encore dans le doute sur la valeur de notre propre méthode de recherches.

M. Demarçay a étudié successivement divers échantillons de nos substances. En photographiant les spectres des chlorures de baryum radifères de plus en plus radioactifs, il a pu suivre la naissance et le développement d'un spectre caractéristique qui accompagnait celui du baryum et qui ne pouvait appartenir qu'à un élément inconnu. Ce spectre, dans les derniers échantillons étudiés, a une importance comparable à celle du spectre du baryum, les deux éléments semblent donc se trouver dans cet échantillon en quantité comparable.

J'ai déterminé le poids atomique du métal dans le chlorure de baryum radifère en le comparant au poids atomique du baryum inactif. En faisant l'expérience exactement dans les mêmes conditions, j'ai trouvé que le baryum radifère avait un poids atomique plus fort que le baryum ordinaire et d'autant plus fort que l'activité est plus grande. Le dernier échantillon étudié m'a donné le nombre 146 pour le poids atomique du baryum radifère, tandis que 138 est celui du baryum ordinaire.

L'existence du radium comme élément nouveau semble donc définitivement établie. Il est à prévoir que l'isolement du radium ne présentera pas de difficultés autres que le prix de revient du traitement de la matière première qui est malheureusement très élevé.

Quant au polonium et à l'actinium, M. Demarçay n'a trouvé aucune raie pouvant les caractériser; il est possible que la concentration ne soit pas encore suffisante pour ces substances ou bien que la méthode spectroscopique dans ce cas ne soit pas sensible.

Voyons maintenant quelles sont les propriétés des nouvelles substances radioactives. Nous savons déjà qu'elles sont jusqu'à cent mille fois plus actives que l'uranium pour rendre l'air conducteur de l'électricité.

Les rayons émis par les nouvelles substances radioactives peuvent comme les rayons uraniques traverser diverses substances solides; mais il y a une différence énorme dans leur pouvoir pénétrant. Les rayons du polonium sont très peu pénétrants, ils ne traversent que des lames très minces et ne se propagent dans l'air qu'à la distance de quelques centimètres. Les rayons du radium sont incomparablement plus pénétrants; leur action dans l'air se fait sentir à plus d'un mètre de distance, et ils traversent quelques centimètres de plomb ou d'autre substance solide.

Les actions photographiques du polonium, du radium et de l'actinium sont très énergiques. Au voisinage de ces substances, une plaque photographique enveloppée de papier noir est impressionnée presque instantanément; à une certaine distance le polonium n'agit pas; mais avec le radium, on peut à la distance d'un mètre obtenir des impressions photographiques et des radiographies.

Les rayons émis par le polonium, le radium et l'actinium peuvent exciter la fluorescence. Voici comment l'expérience peut être disposée. On recouvre la substance radioactive d'un écran d'aluminium très mince et on place pardessus du platino-cyanure de baryum ou un autre sel fluorescent. Dans l'obscurité on verra le platinocyanure s'illuminer en face de la substance active.

Tous les composés radifères sont spontanément lumineux. Cette luminosité est faible pour le sulfate et carbonate; elle est beaucoup plus forte pour le chlorure et le bromure quand ceux-ci sont parfaitement secs. Le radium reste constamment lumineux, même quand il est conservé dans l'obscurité complète pendant plus d'une année. C'est le premier exemple d'un corps qui émet spontanément de la lumière d'une façon permanente.

Les rayons du radium colorent le verre et la porcelaine en brun ou en violet suivant la nature du verre. Cette coloration peut pénétrer profondément dans le verre, elle est permanente, et ne disparaît pas quand on retire le radium. On peut ainsi au moyen du radium et d'écrans opaques faire des espèces de radiographies sur verre. Les rayons du radium agissent chimiquement sur le platinocyanure de baryum et le transforment en la variété brune moins lumineuse. Ils colorent aussi le sel gemme et d'autres sels alcalins. Ils sont donc susceptibles de produire des actions chimiques.

L'air ionisé par les rayons cathodiques ou les rayons de Röntgen possède la propriété de condenser la vapeur d'eau sursaturée, telle qu'elle s'échappe d'une chaudière par un trou étroit. Cette expérience réussit aussi avec le radium. Aussitôt qu'on approche le radium, on voit apparaître un nuage blanc qui indique la formation de gouttelettes d'eau dans le jet de vapeur.

Enfin les rayons du radium diminuent la distance explosive entre deux conducteurs chargés; autrement dit les rayons du radium facilitent le passage de l'étincelle dans l'air.

Toutes les propriétés des rayons émis par les substances radioactives nouvelles, dont il a été question jusqu'à présent, sont des propriétés communes aux rayons X et aux rayons cathodiques. Aussi bien les rayons X que les rayons cathodiques ionisent l'air, impressionnent les plaques photographiques, ne se réfléchissent ni ne se réfractent régulièrement comme la lumière; les uns et les autres provoquent la fluorescence. Mais il existe entre les rayons cathodiques et les rayons X une différence fondamentale: les rayons cathodiques sont déviés de leur trajet rectiligne par l'action d'un aimant, les rayons X ne le sont pas; les rayons cathodiques, d'après l'expérience de M. Perrin, transportent des charges d'électricité négative, les rayons X ne sont pas chargés. On se rend bien compte des propriétés des rayons cathodiques, en les considérant comme des particules matérielles extrêmement petites, chargées d'électricité négative, et lancées par la cathode avec une très grande vitesse; des particules pareilles doivent en effet être déviées de leur trajet par un aimant.

Les rayons des substances radioactives se comportent-ils comme les rayons cathodiques ou comme les rayons X? C'est ce qu'il était important de montrer. M. Giesel, en Allemagne, MM. Meyer et v. Schweidler en Autriche, M. Becquerel en France montrèrent simultanément que les rayons du radium sont déviés dans un champ magnétique comme les rayons cathodiques. Une étude plus complète montra à M. Curie que dans le rayonnement du radium il y a deux parties: les rayons déviés par le champ magnétique et les rayons non déviés par le champ magnétique. Dans la figure 2 le radium contenu dans une profonde auge en plomb épais C, est placé sur une plaque photographique AB. Le champ magnétique est normal au plan du tableau; il peut être réalisé par les deux pôles d'un électro-aimant, dont l'un est en avant, et

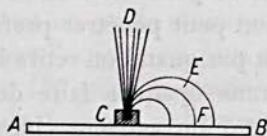


Fig. 2

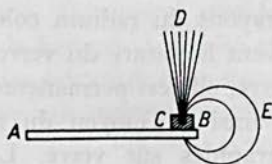


Fig. 3

l'autre en arrière du tableau. Les rayons du radium s'échappent de la cuve en plomb; certains d'entre eux (CD) suivent leur chemin en ligne droite sans être influencés par l'électro-aimant; ce sont les rayons non déviables; d'autres (CEF) s'incurvent comme dans la figure et reviennent impressionner la plaque photographique qui ne peut pas être atteinte par les rayons sortant de l'auge, si ceux-ci cheminent en ligne droite. M. Becquerel a ainsi montré qu'il existe des rayons déviables plus ou moins déviés par l'aimant qui forment un véritable spectre magnétique, que révèle la plaque photographique. Dans une autre expérience (fig. 3), M. Becquerel a placé le radium au bord de la plaque photographique, dans une auge assez profonde et épaisse pour qu'aucune impression ne se produise sur la plaque quand il n'y a pas de champ magnétique. Aussitôt que l'électro-aimant est excité, les rayons contournent le bord de la plaque et viennent impressionner la plaque en dessous de l'auge en plomb, après avoir décrit des chemins (CFB) qui sont des cercles complets. Il est curieux de voir ces rayons revenir ainsi à leur point de départ. Le rayonnement du radium semble donc constitué en partie par des rayons analogues aux rayons cathodiques et en partie par des rayons analogues aux rayons X.

Ce mélange n'a rien qui doive nous étonner. Les rayons cathodiques et les rayons X ont entre eux une liaison très étroite. Dans les tubes à vide, les rayons X naissent à toute paroi frappée par les rayons cathodiques. D'autre part, les travaux de M. Sagnac ont montré que les rayons X, en frappant les corps, sont en partie transformés en des rayons entièrement différents ou rayons secondaires. D'après des recherches toutes récentes, les rayons

secondaires sont au moins en partie des rayons cathodiques. Donc partout où frappent les rayons cathodiques, naissent des rayons X; partout où frappent les rayons X, naissent des rayons cathodiques; au voisinage immédiat d'une paroi solide, on ne peut donc pas avoir les uns ou les autres de ces rayons isolés, mais seulement un mélange des deux.

Nous savons que les rayons cathodiques sont chargés d'électricité négative; ils se comportent comme des petits boulets électrisés négativement qui se meuvent avec une très grande vitesse et qui en venant frapper les corps leur cèdent leur charge électrique. Nous avons montré, M. Curie et moi, que les rayons déviables du radium sont également chargés négativement. Comme l'air dans lequel passent les rayons du radium est fortement conducteur, nous avons recueilli la charge des rayons sur un disque métallique entouré d'une substance isolante solide (fig. 4) afin d'éviter que cette charge ne se



Fig. 4

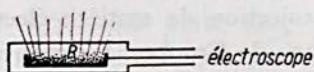


Fig. 5

disperse sans avoir pu être mesurée. Les rayons du radium traversent l'isolant, sont absorbés par le disque D, et ce dernier se charge négativement. D'autre part, si le radium envoie dans l'espace de l'électricité négative, il doit se charger positivement. C'est ce que nous avons constaté en enfermant le radium dans une boîte isolante en paraffine ou en ébonite. L'électricité négative s'échappe avec les rayons en dehors de la boîte, et dans la boîte l'électricité positive s'accumule sur le radium (fig. 5).

Le radium ne peut pas se charger spontanément dans l'air, parce que sa charge est constamment dissipée par la conductibilité de l'air qui l'entoure, mais le radium placé dans un vide très parfait doit se charger spontanément à un potentiel extraordinairement élevé. Nous avons ainsi dans le radium le premier exemple d'un corps qui se charge spontanément d'électricité sans qu'on fasse rien pour cela.

Nous voyons donc qu'avec les substances radioactives nouvelles l'étude des rayons de Becquerel a fait un grand progrès. Nous connaissons maintenant des propriétés de ces rayons qu'il était difficile ou même impossible de découvrir avec les rayons uraniques à cause de leur faiblesse. L'analogie avec les rayons cathodiques et les rayons X a pu être poursuivie très loin. L'étude même des rayons cathodiques pourra sans doute en tirer grand profit, parce que, avec les rayons du radium, on dispose de rayons cathodiques qui se propagent à grande distance dans l'air et peuvent traverser des écrans très épais, ce que ne peuvent pas faire les rayons cathodiques des tubes à vide.

Mais là où nous ne sommes pas plus avancés qu'au moment où les rayons uraniques étaient seuls connus, c'est en ce qui concerne l'origine du rayonnement des corps radioactifs. Nous avons simplement préparé des substances qui ont une énergie de rayonnement incomparablement plus grande que l'uranium; nous avons cherché à démontrer que ces substances contiennent probablement des éléments nouveaux, et c'est ce qui a été prouvé pour le radium; mais la nature bizarre de ces éléments qui rayonnent l'énergie d'une façon continue reste inexpiquée, et nous restons là-dessus dans le domaine des hypothèses.

Diverses manières de voir sont possibles à ce sujet. L'une d'elles est basée sur l'analogie des rayons du radium avec les rayons cathodiques. Jusqu'ici, on a toujours trouvé que, partout où il y a de l'électricité, il y a de la matière; les rayons cathodiques sont chargés d'électricité, cela porte à croire qu'ils sont matériels. Dans la théorie de Crookes, les rayons cathodiques sont une projection de matière électrisée venant de la cathode; c'est la «matière radiante» de Crookes. L'expérience a montré que la vitesse des rayons cathodiques est très grande, elle n'est que trois fois plus faible que celle de la lumière. J.-J. Thomson a montré que si l'on considère les rayons cathodiques comme des particules matérielles électrisées, ces particules transportent à poids égal 1 000 fois plus d'électricité que ne le fait l'hydrogène mis en liberté par électrolyse. J.-J. Thomson en a conclu que chacune des particules a une masse 1 000 fois encore plus faible qu'un atome d'hydrogène. Ce ne seraient donc même plus les atomes libres de la chimie, mais des sous-atomes bien plus petits encore, et animés de vitesses prodigieuses. De même que dans un tube à vide ces particules s'échappent de la cathode, de même le radium en enverrait dans l'espace d'une façon continue. La matière radioactive serait donc de la matière où règne un état de mouvement intérieur violent, de la matière en train de se disloquer. S'il en est ainsi, le radium doit perdre constamment de son poids. Mais la petitesse des particules est telle que bien que la charge électrique envoyée dans l'espace soit facile à constater, la masse correspondante doit être absolument insignifiante; on trouve par le calcul qu'il faudrait des millions d'années pour que le radium perde un équivalent en milligrammes de son poids. La vérification est impossible à faire.

La théorie matérialiste de la radioactivité est très séduisante. Elle explique bien les phénomènes de la radioactivité. Cependant, en adoptant cette théorie, il faut nous résoudre à admettre que la matière radioactive n'est pas à un état chimique ordinaire; les atomes n'y sont pas constitués à l'état stable, puisque des particules plus petites que l'atome sont rayonnées. L'atome, indivisible au point de vue chimique, est divisible ici, et les sous-atomes sont en mouvement. La matière radioactive éprouve donc une transformation chimique qui est la source de l'énergie rayonnée; mais ce n'est point une transformation chimique ordinaire, car les transformations chimiques ordinaires

laissent l'atome invariable. Dans la matière radioactive, s'il y a quelque chose qui se modifie, c'est forcément l'atome, puisque c'est à l'atome qu'est attachée la radioactivité.

La théorie matérialiste de la radioactivité nous conduit donc bien loin. D'ailleurs, si nous nous refusons à la suivre dans ses conséquences, nous n'en sommes pas moins embarrassés. Si la matière radioactive ne se modifie pas, alors nous nous retrouvons en présence de la question: d'où vient l'énergie de la radioactivité? Et si la source d'énergie ne peut être trouvée, nous voilà en contradiction avec le principe de Carnot, principe fondamental de la thermodynamique, d'après lequel un corps à température invariable ne peut pas fournir d'énergie, s'il n'en reçoit pas de l'extérieur. Nous sommes alors forcés à admettre que le principe de Carnot n'est pas absolument général, qu'il ne s'applique plus à certains phénomènes moléculaires et que certaines substances, les substances radioactives, possèdent la faculté de transformer en travail la chaleur du milieu ambiant. Cette hypothèse porte une atteinte aussi grave aux idées admises en physique que l'hypothèse de la transformation des éléments aux principes de la chimie, et on voit que la question n'est pas facile à résoudre.