

LES
RAYONS CATHODIQUES
ET LES
RAYONS RÖNTGEN;

NOTICE DE M. H. POINCARÉ.

I. — CONSIDÉRATIONS PRÉLIMINAIRES.

La découverte inattendue du professeur Röntgen, ses applications réalisées ou entrevues, ont excité autant de curiosité dans le public que dans le monde savant; mais, quand les gens du monde, désireux de connaître la véritable nature de cette lumière nouvelle, s'informent auprès des physiciens, ceux-ci sont obligés de confesser leur ignorance.

Malgré l'ardeur déployée dans tous les laboratoires, malgré les observations accumulées depuis quelques mois, on n'est guère plus avancé qu'au premier jour. Et, en effet, pour arracher à ces rayons mystérieux leur secret, il faudrait pouvoir agir sur eux, les modifier;

D.2

mais. de même que l'argon résiste à l'action des chimistes, les rayons X sont rebelles à tous les efforts des physiciens ; ils poursuivent leur course rectiligne sans se laisser dévier par aucun des agents dont nous disposons.

Encore nous résignerions-nous à ignorer les causes ; nous ne sommes pas si pressés d'édifier une théorie, sachant bien que les meilleures ne sont qu'éphémères. Mais sur le détail même des faits, les observateurs ne sont pas encore tous d'accord et quelques divergences sont bien difficiles à expliquer.

Cette Notice pourra donc sembler prématurée, mais l'importance du sujet m'a fait penser que certains lecteurs pourraient être curieux de connaître l'état actuel de la question, bien qu'il puisse être bouleversé d'un moment à l'autre par quelque découverte nouvelle.

Avant d'aborder mon sujet, je veux rappeler quelques faits, bien connus de tout le monde depuis longtemps, mais qui auraient pu, non certes faire prévoir les phénomènes extraordinaires récemment découverts, mais en atténuer le caractère paradoxal.

Diverses sortes de radiations. — Les radiations lumineuses connues et étudiées jusqu'ici, et qui sont dues, comme l'on sait, aux vibrations transversales de l'éther, peuvent se ranger sur une sorte d'échelle, dans l'ordre des longueurs d'onde décroissantes, c'est-à-dire des nombres croissants de vibrations.

Au bas de cette échelle se trouvent les

D.3

oscillations *hertziennes*, dont l'analogie avec la lumière est maintenant bien établie, et que l'on a réalisées avec des longueurs d'onde variant de 6 mètres à 2 centimètres.

Viennent ensuite les rayons invisibles infrarouges, ou calorifiques, puis les rayons visibles rouges, jaunes, verts, bleus, violets; puis, enfin, les rayons invisibles ultraviolets qui nous sont révélés par leur action photographique. (*Voir le Tableau des longueurs d'onde à la page 656 de l'Annuaire.*)

On ne devrait pas s'étonner de voir à cette échelle s'ajouter quelques échelons nouveaux.

Mais ce n'est pas tout; rien ne prouve que l'éther ne soit pas susceptible d'*oscillations longitudinales*, analogues aux ondes sonores de l'air. En vain invoquerait-on les équations de Maxwell qui sont incompatibles avec de pareilles ondulations. On a mis dans ces équations ce qu'on a voulu, et, si on les a écrites sous leur forme actuelle, c'est justement parce que, n'ayant jamais observé de vibrations longitudinales, on a voulu écrire qu'il n'y en a pas. Si l'expérience nous apprenait le contraire, il suffirait de changer les équations d'un trait de plume.

Longtemps on a cru que la propagation de l'induction électromagnétique était instantanée; peut-être montrera-t-on un jour que l'induction électrostatique se propage avec une vitesse finie, ce qui entraînerait l'existence d'ondulations longitudinales. Lord Kelvin a proposé, pour

D.4

trancher la question, des expériences ingénieuses qui n'ont pas été réalisées.

Transparence. — C'est un fait d'observation vulgaire qu'un même corps ne présente pas la même transparence pour les diverses radiations. Un verre rouge laisse passer les rayons rouges et arrête les rayons verts, et c'est justement pour cela qu'il est rouge ; pour un verre vert, c'est le contraire.

Mais même un verre parfaitement incolore, qui est traversé par *tous* les rayons visibles, sera souvent opaque pour les rayons calorifiques ou infra-rouges et pour les rayons ultraviolets.

Au contraire, l'argent, qui est opaque pour les rayons visibles, est assez transparent pour certaines lumières ultraviolettes, de sorte qu'on a pu photographier des objets contenus dans une boîte de verre argenté où ils étaient absolument cachés pour notre œil. C'était déjà là la *photographie de l'invisible*.

Si donc on découvre des rayons nouveaux, on devra s'attendre à ce qu'ils traversent certains corps que nous sommes habitués à regarder comme opaques.

Fluorescence. — J'ai maintenant à rappeler certains phénomènes connus depuis longtemps, mais auxquels les récentes découvertes donnent une importance inattendue.

Certaines substances, dites *phosphorescentes* ou *fluorescentes*, donnent naissance, lorsqu'elles ont été exposées à la lumière, à des radiations

D.5

qu'elles n'auraient pu émettre d'elles-mêmes sans emprunter d'énergie à l'extérieur.

Tels sont le sulfure de zinc, le sulfure de calcium, les sels d'urane.

Ce phénomène aurait pu se confondre avec une sorte de réflexion irrégulière de la lumière excitatrice sans les deux circonstances suivantes :

L'éclat phosphorescent persiste une fraction de seconde après l'extinction de la lumière excitatrice, et de plus il n'est généralement pas de la même couleur.

On verra plus loin le rôle de la fluorescence dans les phénomènes nouveaux dont je vais enfin aborder l'étude.

II. — LES RAYONS CATHODIQUES.

Supposons un tube de verre contenant de l'air raréfié et à l'intérieur duquel pénètrent deux fils conducteurs terminés chacun par un disque métallique formant électrode.

Si l'on met ces deux fils en communication avec les deux pôles d'une bobine de Ruhmkorff, les phénomènes observés seront très différents, suivant la pression de l'air contenu dans le tube. Aux pressions ordinaires, le courant ne passe pas, l'air étant mauvais conducteur.

Si le vide est poussé jusqu'à $\frac{1}{1000}$ environ, on a le *tube de Gessler*; le courant passe et l'intervalle compris entre les deux électrodes

D.6

est occupé par une colonne lumineuse d'un rose violacé, souvent stratifiée; l'électrode négative ou *cathode* est entourée d'un petit espace obscur.

Si le vide est plus parfait, la colonne lumineuse diminue de longueur et l'espace obscur s'agrandit. Quand la pression est suffisamment faible, par exemple $\frac{1}{100000}$ ou $\frac{1}{1000000}$ l'espace obscur remplit presque tout le tube, et on a ce qu'on appelle le *tube de Crookes*. A ce moment les parois du tube s'illuminent d'une belle lueur verdâtre.

Enfin, si le vide est poussé plus loin encore, le courant ne passe plus et tous les phénomènes disparaissent.

On peut donc distinguer trois degrés de vide, le vide de Gessler, le vide de Crookes et le vide isolant.

Quel est donc l'agent qui, dans le tube de Crookes, provoque la fluorescence verte des parois? Ce ne peut être le courant électrique lui-même qui va d'une électrode à l'autre sans toucher la paroi. Ce qui est certain, c'est que cet agent se propage *en ligne droite* de la cathode à la paroi de verre; et, en effet, si l'on interpose sur son trajet un objet solide, cet obstacle l'arrête, et l'objet projette sur la paroi illuminée une ombre noire, tout à fait pareille à celle qui se produirait si la cathode était une source lumineuse.

La propagation de cet agent inconnu ne ressemble donc pas à celle d'un courant liquide

D.7

ou d'un courant électrique qui **contournerait** les obstacles, ni à celle de la chaleur à travers les corps conducteurs; elle est rectiligne **comme** celle d'un rayon de lumière; c'est ce qui a fait donner au phénomène découvert par Hittorf et Crookes le nom de *rayons cathodiques*.

On peut, à l'aide des ombres portées, étudier la marche de ces rayons, et quelquefois même une faible lueur bleue dont brille sur leur trajet l'air raréfié permet d'observer ce trajet directement.

On voit ainsi que ces rayons émanent de la surface de la cathode *perpendiculairement à cette surface*. Ils ne dépendent donc que de la forme et de la position de cette cathode; la position de l'électrode positive ou anode semble n'avoir sur eux aucune influence.

Ils accompagnent la décharge électrique et ne peuvent se produire sans elle; mais ils sont parfaitement distincts de cette décharge, qui suit un chemin tout différent, généralement courbe, entre la cathode et l'anode.

Déviation magnétique. — Les phénomènes sont modifiés quand le tube est soumis à l'action d'un aimant; les rayons cathodiques sont déviés comme le serait un courant électrique.

Ils cessent donc d'être rectilignes pour se courber plus ou moins.

D'autre part, d'après les observations de Goldstein, s'il y a dans un même tube deux cathodes et que les rayons émanés de l'une

D.8

aillent passer près de l'autre, ils sont déviés comme s'ils étaient repoussés par cette cathode.

D'autres causes, souvent difficiles à discerner, viennent aussi quelquefois troubler les lois si simples que j'avais d'abord énoncées et qui ne doivent être regardées que comme une première approximation.

Phénomènes fluorescents. — Nous avons vu que le verre devient phosphorescent aux points où il est frappé par les rayons cathodiques; l'air lui-même brille sous leur action et c'est ce qui produit cette faible lueur bleue que l'on observe le long du trajet de ces rayons et qu'il ne faut pas confondre avec les rayons cathodiques eux-mêmes.

Ces phénomènes sont tout à fait analogues à la fluorescence de certaines substances exposées à la lumière.

Ainsi, et cela est important pour ce qui va suivre, *les rayons cathodiques possèdent, comme les rayons lumineux, la propriété de provoquer la phosphorescence; j'ajoute qu'ils la possèdent à un degré bien plus éminent.*

Bien des substances brillent sous leur influence qui ne seraient pas excitées sensiblement par la lumière. L'éclat des autres est plus vif et notablement plus durable. Un simple morceau de craie, enfermé dans un tube de Crookes, émet une lueur intense; avec certaines pierres précieuses, certaines terres rares, le spectacle devient presque éblouissant.

D.9

C'est, d'ailleurs, grâce à cette propriété que l'existence des rayons cathodiques nous a été révélée.

Les rayons Lenard. — La question entra dans une phase nouvelle quand Hertz eut reconnu que les rayons cathodiques peuvent traverser une feuille d'aluminium très mince, quoique assez épaisse pour arrêter la lumière. Lenard eut l'idée de pratiquer une petite fenêtre dans la paroi du tube et de la fermer par une feuille d'aluminium. Je ne décrirai pas la façon d'assembler au verre l'aluminium avec la carcasse métallique qui le supporte, et d'assurer au joint assez d'étanchéité pour maintenir le vide de Crookes.

Grâce à cet artifice, les rayons cathodiques produits dans le vide de Crookes passent à travers la fenêtre d'aluminium et *peuvent sortir du tube*. On peut alors étudier leur propagation dans d'autres milieux que le vide de Crookes, par exemple dans l'air à la pression ordinaire ou dans le vide, plus parfait que celui de Crookes, que j'ai appelé plus haut le *vide isolant*.

Dans de semblables milieux, qui sont isolants et qui s'opposent à la décharge électrique nécessaire à la production de ces rayons, ils ne pourraient pas prendre naissance, mais ils peuvent se propager.

Dans le vide, leur propagation est rectiligne, souvent sur de grandes longueurs et ils sont déviés par l'aimant.

Dans l'air, à la pression ordinaire, ils se diffusent dans tous les sens, comme la lumière dans un milieu translucide, tel que le lait par exemple; aussi à quelques centimètres de la fenêtre de Lenard, on cesse de pouvoir les mettre en évidence. Cette diffusion n'a pas permis non plus d'étudier l'action de l'aimant.

Hétérogénéité des rayons cathodiques. — De même qu'il y a des rayons lumineux de différentes couleurs, il y a plusieurs sortes de rayons cathodiques, inégalement déviables par l'aimant. Les travaux de Lenard, et surtout une expérience toute récente de Birkeland, ne laissent aucun doute à cet égard.

Théories diverses des rayons cathodiques. — On est loin d'être d'accord sur l'explication de ces phénomènes.

Les Anglais ont adopté une théorie qui rappelle ce qu'était celle de l'émission en Optique. Le tube est plein d'air raréfié; les molécules gazeuses se chargeraient négativement au contact de la cathode et seraient ensuite repoussées violemment par cette cathode. Elles subiraient une répulsion assez forte pour acquérir une grande vitesse et continueraient leur course rectiligne sans que le milieu très raréfié puisse leur opposer d'obstacle. Ces molécules électrisées bombarderaient la paroi du tube et en provoqueraient l'illumination.

Ce courant matériel serait en même temps un véritable courant électrique, puisque les molécules sont chargées et transportent avec

D.11

elles de l'électricité. Il devrait donc, comme tous les courants électriques, être dévié par l'aimant.

La déviation magnétique s'explique ainsi d'elle-même. Ce qui se comprend moins, c'est la faiblesse des déviations électrostatiques observées.

Les Allemands préfèrent voir dans les rayons cathodiques des phénomènes ondulatoires.

Pour les uns, ces rayons seraient de la lumière *ultra-ultraviolette*, c'est-à-dire de très courte longueur d'onde. Et cependant, la déviation magnétique et la faible vitesse de propagation (200^{km} par seconde), mesurée par J.-J. Thomson, semblent les distinguer nettement de la lumière.

Les autres font intervenir des vibrations longitudinales de l'éther ou de quelque milieu inconnu.

La théorie anglaise, longtemps en faveur, avait été presque abandonnée à la suite des travaux de Lenard. On ne pouvait comprendre que les molécules gazeuses traversassent l'aluminium, et la propagation des rayons dans un vide presque absolu semblait une objection sans réplique.

Et pourtant cette théorie a depuis regagné du terrain, grâce à une série d'expériences nouvelles, en contradiction avec celles de Hertz, et d'où Perrin a conclu que les rayons cathodiques sont toujours accompagnés d'un transport d'électricité négative.

III. — LES RAYONS RÖNTGEN.

Le professeur Röntgen, ayant enfermé un tube de Crookes dans une boîte en carton noir, et opérant dans l'obscurité, remarqua qu'un écran fluorescent au platinocyanure de baryum s'illuminait dès que le tube entraînait en activité.

Cette fluorescence ne pouvait être excitée par la lumière verte dont brillait la paroi du tube; cette lumière, en effet, ne pouvait traverser la boîte de carton; le savant physicien conclut donc à l'existence d'un agent nouveau, émanant du tube, capable de traverser le carton et susceptible de provoquer la fluorescence de certains corps.

Il avait découvert les rayons X.

Il avait été servi par un hasard heureux, mais par un de ces hasards comme chacun de nous en rencontre peut-être de temps en temps sans même s'en douter et dont les plus clairvoyants savent seuls tirer parti.

Röntgen ne tarda pas à reconnaître que les rayons nouveaux traversent tous les corps beaucoup mieux que la lumière. Toutes les substances sont pour eux transparentes, mais *elles le sont inégalement*. Le bois, le diamant, la plupart des substances organiques sont très transparentes.

La chair des animaux se laisse traverser

D. 13

plus facilement que les os et c'est cette différence qui a permis les importantes applications dont nous parlerons plus loin.

Le verre de Bohême est beaucoup plus transparent que le cristal.

Enfin, parmi les métaux, l'aluminium est assez transparent, le plomb et surtout le platine sont presque opaques.

Les corps relativement opaques, placés sur le trajet des rayons X, projettent sur l'écran fluorescent des ombres qui permettent d'étudier la marche de ces radiations, ainsi que je l'ai expliqué plus haut pour les rayons cathodiques.

On reconnaît ainsi que *cette marche est rectiligne* comme celle des rayons lumineux et c'est ce qui justifie le nom de *rayons* donné à l'agent nouveau.

Action photographique. — Les rayons Röntgen impressionnent une plaque photographique soustraite à la lumière ordinaire par une enveloppe de papier noir. C'est là l'origine des plus précieuses applications de ces radiations, et c'est en même temps un nouveau moyen, plus commode, de les étudier.

Maintenant une question se pose. Les rayons X agissent-ils directement sur la plaque, ou bien, puisqu'ils sont capables de provoquer la fluorescence, est-ce la faible lueur dont ils illuminent le verre ou la gélatine qui produit l'action chimique ?

On ne saurait trop le dire, bien que la première hypothèse paraisse plus probable.

D. 14

La question est plus complexe encore en ce qui concerne les rayons cathodiques qui, comme Lenard l'a montré, agissent également sur le gélatinobromure. Les rayons cathodiques, non seulement provoquent la fluorescence, mais ils donnent naissance aux rayons X qui eux-mêmes peuvent engendrer la fluorescence. Sont-ce les rayons cathodiques qui impressionnent directement les plaques sensibles; sont-ce les rayons X ou les rayons lumineux qu'ils excitent?

Émission des rayons X. — Tout le monde connaît l'expérience de la chambre noire. Une boîte, opaque pour la lumière, a sa paroi antérieure percée d'un trou très petit. Tout objet extérieur qui émet ou qui réfléchit de la lumière vient alors former son image au fond de la boîte.

Opérons de même avec les rayons X; au fond d'une boîte opaque pour ces rayons et percée d'un trou, plaçons une plaque sensible enveloppée de papier noir. Tout point extérieur qui émet des radiations Röntgen viendra peindre son image sur cette plaque. Nous obtiendrons ainsi l'image de la source. Nous saurons *d'où partent ces rayons*.

On voit ainsi que les rayons X émanent de la région de la paroi du tube qui est frappée par les rayons cathodiques. C'est cette même région qui s'illumine d'une lueur verdâtre. Sous le choc des rayons cathodiques, elle émet à la fois des rayons lumineux verts et des

rayons Röntgen invisibles. Les deux phénomènes sont du même ordre.

L'émission des rayons X est une véritable fluorescence et si les rayons cathodiques la produisent si facilement, c'est qu'ils ont, comme je l'ai dit, un pouvoir excitateur exceptionnellement intense.

Il importe toutefois de faire une remarque : *tous les corps solides frappés par les rayons cathodiques émettent des rayons X* ; tous ne deviennent pas fluorescents ; le platine, par exemple, ne donne pas du tout de lumière visible, il produit facilement des rayons Röntgen.

Réflexion. — Les rayons lumineux peuvent être déviés de leur marche par la réflexion et la réfraction ; les rayons cathodiques peuvent l'être par l'aimant ; il n'en est pas de même des rayons Röntgen : rien ne peut les détourner de leur trajet rectiligne.

Ils ne se réfléchissent pas. On a vu, il est vrai, des traces de réflexion, mais il ne s'agit pas d'une réflexion régulière, avec un angle de réflexion égal à l'angle d'incidence. Une surface frappée par les rayons X en renvoie également dans toutes les directions, en très petite quantité. Encore je ne crois pas que les choses se passent tout à fait ainsi. Ce n'est pas seulement à la surface de séparation de deux milieux que se produit cette réflexion irrégulière ; les molécules intérieures d'un corps transparent renvoient également des rayons réfléchis dans tous les sens. Et la preuve, c'est

D. 16

que le verre pilé n'est pas plus opaque que le verre homogène. Il ne s'agit donc pas d'une *réflexion*, mais d'une sorte de *fluorescence*.

Les rayons X ne se réfractent pas. Perrin a bien cru observer avec un prisme d'aluminium une très faible déviation (avec un indice plus petit que 1), mais cette observation est contredite par Gouy, et il faut attendre de nouvelles expériences.

Enfin les rayons X ne sont pas déviés par l'aimant. *Ce ne sont donc pas des rayons cathodiques*. Ils sont *engendrés* par les rayons cathodiques, mais ils en diffèrent autant que la lumière verte que ces mêmes rayons cathodiques engendrent également en frappant le verre.

Diffraction. — Les ombres produites par la lumière ordinaire ne présentent pas des bords nettement tranchés; on peut voir sur ces bords des lignes alternativement brillantes et obscures : ce sont les *franges de diffraction*.

On les voit très facilement si l'on projette l'ombre d'un fil très fin ou si l'on fait passer la lumière à travers une fente très étroite.

Les franges sont d'autant plus fines et, par conséquent, d'autant plus difficiles à observer, que la longueur d'onde est plus petite et que le fil ou la fente sont plus *larges*.

On a cherché vainement des phénomènes analogues avec les rayons X, soit qu'ils n'aient aucun caractère vibratoire, soit que leur longueur d'onde soit trop petite.

D. 17

Kümmell en Allemagne, Calmette en France, ont obtenu des apparences de diffraction, d'où ils ont conclu à des longueurs d'onde de $0^{\text{mm}},003$, c'est-à-dire beaucoup plus grandes que celles de la lumière. Mais comme ils ont opéré avec des fentes beaucoup plus larges que les observateurs qui n'ont rien vu, on peut se demander s'il ne faut pas chercher une autre explication de leurs résultats.

Polarisation. — On n'a pu réussir à polariser les rayons X. Comme ils ne se réfléchissent ni ne se réfractent, on ne pouvait essayer qu'un seul moyen : la tourmaline.

On sait qu'un rayon de lumière naturelle peut être considéré comme la superposition de deux rayons polarisés à angle droit.

Une tourmaline placée d'une certaine manière arrêtera la première composante et laissera passer la seconde ; ce sera le contraire si l'on fait tourner cette tourmaline de 90° .

Deux tourmalines croisées arrêteront donc les deux composantes et sembleront opaques ; placées parallèlement, elles n'en arrêteront qu'une et sembleront transparentes.

L'expérience échoue avec les rayons Röntgen, soit qu'ils ne puissent se polariser, soit que la tourmaline n'agisse pas sur eux comme sur la lumière, ce qui n'aurait rien d'étonnant puisqu'ils paraissent différer entièrement des rayons lumineux en ce qui concerne la transparence.

Seul, le prince Galitzine a cru observer des

différences légères; de nouvelles expériences seraient nécessaires pour trancher définitivement la question.

Action électrique. — L'action électrique des rayons X est une de leurs propriétés les plus importantes; c'est celle qui a été le mieux étudiée. Mais c'est également celle qui a donné lieu aux plus longues controverses; je ne puis songer à les raconter ici par le menu; je me bornerai donc à exposer les faits qui me semblent à peu près définitivement établis.

On sait que la lumière ultraviolette facilite l'explosion de l'étincelle électrique. De même les conducteurs électrisés perdent leur charge rapidement quand ils sont exposés aux rayons Röntgen.

On a supposé que sous l'influence des radiations ultraviolettes, la surface de l'électrode se désagrège et que la poussière des couches superficielles devient le véhicule de l'électricité. Cette explication, vraie ou fausse pour la lumière ultraviolette, n'est certainement pas applicable aux rayons X puisqu'ils peuvent agir, *sans rencontrer la surface du conducteur.*

On peut se demander si certaines substances, ordinairement isolantes, ne deviennent pas conductrices quand elles sont traversées par les radiations Röntgen. C'est ainsi que les rayons lumineux et, d'ailleurs, les rayons X eux-mêmes agissent sur le sélénium.

Mais ce n'est pas encore tout à fait comme cela que les choses se passent. Non seulement

D. 19

l'air cesse d'être isolant aux points où il est traversé par les rayons Röntgen, mais *tout le long de toutes les lignes de force électrique* qui sont croisées par ces rayons. C'est ainsi que Perrin a réussi à décharger un conducteur en faisant passer un faisceau Röntgen à 40 centimètres de sa surface.

L'air modifié par ces radiations conserve quelque temps la propriété nouvelle qu'il vient d'acquérir; il continue à décharger les corps électrisés après que le tube a cessé d'être excité.

Les rayons X n'agissent de cette façon que sur les gaz; ils semblent, d'après la plupart des observations, sans influence sur les diélectriques solides et liquides.

Tout se passe donc comme si, sous l'action des rayons Röntgen, chaque molécule gazeuse se décomposait en deux atomes ou ions, chargés, l'un d'électricité négative, l'autre d'électricité positive. Dans un champ électrique, ces deux ions, attirés, l'un par le conducteur positif, l'autre par le conducteur négatif, chemindraient le long des lignes de force et iraient neutraliser les charges de ces deux conducteurs.

Hétérogénéité des rayons X. — Il est probable qu'il y a plusieurs espèces de rayons X. Nous sommes en présence d'un monde nouveau dont nous ne soupçonnons pas la variété: tel serait, en face de la lumière ordinaire, un homme dont les yeux ne discerneraient pas les couleurs.

D. 20

Avec le prisme ou le réseau, on peut analyser la lumière blanche; ces deux moyens nous font défaut avec les rayons Röntgen, rebelles à la fois à la réfraction et à la diffraction.

Mais s'il y a des rayons X de plusieurs espèces, certaines substances pourront être transparentes pour les uns et relativement opaques pour les autres. C'est le seul procédé qui nous permettra de les distinguer; c'est le seul aussi qui nous permettra de les séparer.

Dans cette voie, presque tout reste à faire; cependant Porter a constaté une différence bien nette. Pour certains rayons, la chair est transparente, pour d'autres, elle est presque aussi opaque que les os. Le tube de Crookes émet les premiers aux températures ordinaires, les secondes au-dessus de 20° à 25° .

Nous citerons dans le même ordre d'idées les observations de Roiti et celles, plus anciennes, de Benoit et Hurmuzescu.

IV. — APPLICATIONS DES RAYONS X.

La lumière nouvelle traverse les corps opaques; c'est cette faculté qui nous la rend si précieuse; de là les applications les plus variées. Il n'est pas jusqu'au directeur du Laboratoire municipal qui ne s'en soit servi pour examiner sans danger les engins anarchistes.

Mais ce sont les applications médicales qui sont de beaucoup les plus importantes. On

D.21

comprend sans peine quel parti le chirurgien peut tirer d'un auxiliaire qui lui fait voir le squelette comme si les chairs n'existaient pas, ou qui lui permet d'apercevoir une balle logée dans le corps.

Cependant beaucoup de médecins, après les premiers moments d'enthousiasme, ont eu des périodes de découragement. La durée de pose était trop longue, vingt minutes pour une main, trois quarts d'heure pour un bras. Il semblait qu'on ne dût jamais songer à traverser toute l'épaisseur du corps. De nouveaux progrès étaient nécessaires, ils ont été accomplis.

On s'est d'abord préoccupé d'augmenter l'intensité pour diminuer la durée de pose. On y est parvenu en choisissant convenablement la force de la bobine, la température. On a cherché quel était la pression la plus favorable, pression qui, d'ailleurs, dépend des dimensions du tube.

On a essayé de mettre sur la plaque photographique un écran fluorescent, qui, rendu lumineux par les rayons X, agit par sa lumière sur le gélatinobromure et permet d'abrégier la pose.

Mais l'intensité des effets ne suffit pas : il faut surtout viser à la netteté du dessin, et, ici, une difficulté se présente. L'objectif photographique concentre sur chaque point de la plaque tous les rayons lumineux émanés du point correspondant de l'objet; on a donc,

D. 22

sur la plaque, une image réelle de cet objet.

Rien de pareil avec les rayons Röntgen *qui ne se réfractent pas*. Il n'y a plus d'image véritable, mais seulement des silhouettes, des *ombres chinoises* qu'on ne peut *mettre au point*.

L'optique géométrique nous apprend que chaque ombre est entourée d'une pénombre. Cette pénombre est d'autant plus étroite et les contours d'autant plus nets, que la source est plus petite, que sa distance à l'objet est plus grande et celle de l'objet à la plaque plus petite.

On ne peut accroître beaucoup la première de ces distances; on ne peut non plus diminuer à volonté la seconde si l'on veut traverser une épaisseur un peu considérable. Il resté donc à restreindre autant que possible les dimensions de la source.

La source des rayons X est la partie de la paroi du tube qui est frappée par les rayons cathodiques. Il faut donc *concentrer* ces rayons cathodiques sur une région aussi étroite que possible de cette paroi.

Pour cela on donne à la cathode la forme d'une calotte sphérique; les rayons cathodiques suivent un chemin normal à cette surface sphérique et vont concourir au centre de la sphère qu'on place tout près de la paroi.

On a employé aussi l'aimant, qui dévie les rayons cathodiques; si le champ magnétique n'est pas uniforme, certains de ces rayons se-

D.23

ront plus déviés que d'autres, et un faisceau parallèle pourra être transformé en faisceau convergent.

On est promptement arrêté dans cette voie; sous le choc des rayons cathodiques, le verre s'échauffe, il perd sa vertu fluorescente et finit par se ramollir et se percer. On a combattu cet échauffement en plongeant le tube dans un vase en celluloïd rempli d'eau. L'eau et le celluloïd sont en effet tout à fait transparents pour les rayons X.

Tubes focus. — Mais le véritable moyen d'échapper à cet inconvénient est l'emploi du « tube focus ». Dans ce tube, la cathode a la forme d'un miroir sphérique concave; l'anode est une plaque de platine, bien plane, placée au centre de la surface sphérique du miroir.

Le platine émet alors des rayons X, *non parce qu'il sert d'anode*, mais parce qu'il est exposé aux rayons cathodiques.

L'émission est plus intense cependant lorsqu'il joue le rôle d'anode, sans doute parce que le jet cathodique le frappe plus violemment.

Avec le platine on n'a plus à redouter les effets fâcheux de l'échauffement.

Il ne faudrait pas croire non plus que les rayons cathodiques émanés du miroir concave viennent se réfléchir sur l'anode comme sur un miroir plan.

Les rayons X seraient alors renvoyés dans une seule direction, conformément aux lois de

D. 24

la réflexion; ils sont, au contraire, envoyés dans tous les sens. Un corps incandescent émet aussi de la lumière dans tous les sens, mais il en envoie plus dans la direction normale que dans les directions obliques. Gouy a montré que l'anode en platine envoie des rayons X *également* dans toutes les directions.

Si donc on regarde la lame de platine sous une incidence très oblique, cette lame n'émettra qu'un faisceau très délié de rayons Röntgen; comme son intensité *totale* demeure la même que sous l'incidence normale, sa « densité » sera beaucoup plus grande. Avec une lame incandescente émettant de la lumière ordinaire, les choses ne se passeraient pas ainsi. Le faisceau serait d'autant plus étroit que l'incidence serait plus oblique; mais son intensité *totale* irait en diminuant, sa densité restant constante.

On a ainsi une source de rayons X très intense et très étroite.

Le fait découvert par Gouy, en apparence paradoxal, s'explique géométriquement de la façon la plus simple.

Il tient simplement à cette circonstance que *la transparence du platine pour les rayons Röntgen excités, quoique assez faible, est beaucoup plus grande que pour les rayons cathodiques excitateurs.*

Grâce à tous ces perfectionnements, la durée de la pose a pu être réduite à quelques minutes ou même à quelques secondes.

On a construit également des tubes focus

D.25

ayant la forme d'une sphère, non pas en verre, mais en métal, en partie en aluminium mince. L'anode plane est placée au centre; la sphère entière fonctionne comme cathode. Avec ces tubes, on peut, paraît-il, à une distance de dix mètres, illuminer un écran fluorescent à travers une épaisseur d'un mètre de bois.

Cryptoscope. — On a utilisé aussi la vision directe sans photographie, par le moyen d'un écran fluorescent. L'appareil appelé *cryptoscope* n'est que la reproduction de la première expérience de Röntgen. Le nom seul est nouveau. On a cherché toutefois à remplacer le platinocyanure de baryum par d'autres substances. Celle qui donne les meilleurs résultats paraît être le tungstate de calcium préparé d'une certaine façon.

V. — THÉORIES DES RAYONS X.

Théorie ultraviolette. — Toutes les théories proposées ne sont que des hypothèses qui ne s'appuient jusqu'ici d'aucune preuve sérieuse.

Les uns regardent les rayons Röntgen comme de la lumière ultra-ultraviolette. Ils devraient être embarrassés, semble-t-il, pour rendre compte de l'absence de réfraction. Les rayons violets sont plus réfrangibles que les rayons rouges, les rayons ultraviolets le sont plus encore; si la progression continuait, les rayons nouveaux devraient subir une réfraction énorme.

1897.

47

Mais, d'après certaines théories de la dispersion, celle de Helmholtz par exemple, l'indice, après avoir crû avec le nombre des vibrations, décroît ensuite rapidement et finit par devenir très voisin de l'unité. Sans doute cette application des formules de Helmholtz n'est qu'une extrapolation des plus hasardeuses; elle peut prouver, du moins, que l'hypothèse n'est pas absurde.

Nous verrons plus loin l'appui que la découverte des rayons Becquerel est venue apporter à la théorie ultraviolette.

Théorie longitudinale. — On a supposé aussi que les phénomènes nouveaux étaient dus aux vibrations longitudinales de l'éther.

Cette théorie acquerrait quelque probabilité si les expériences de Kümmel, sur la diffraction, venaient à être confirmées; la longueur d'onde serait la même que celle des ondes transversales infrarouges; si donc les rayons Röntgen étaient transversaux, ils devraient être identiques à ces ondes et posséder les mêmes propriétés. Comme cela n'est pas, on serait amené à conclure qu'ils sont longitudinaux.

Si, au contraire, les résultats du prince Galitzine sur la polarisation étaient confirmés, il faudrait conclure à la transversalité et adopter la théorie ultraviolette.

Théorie tourbillonnaire. — Michelson attribue les rayons Röntgen à des mouvements tourbillonnaires de l'éther. Ils n'auraient ainsi aucun caractère vibratoire ou périodique.

D.27

Théorie de l'émission. — Jusqu'ici, nous avons toujours admis que les rayons X, quoique produits par les rayons cathodiques, en diffèrent aussi profondément que la lumière verte qui en est une autre manifestation. Nous pouvions donc chercher l'explication des radiations Röntgen, sans nous préoccuper de la rattacher à celle des phénomènes qui accompagnent la décharge dans le vide de Crookes.

Mais cette opinion n'est pas partagée par tout le monde. Bien des Anglais, Lodge entre autres, ne seraient pas éloignés de penser que les rayons X ne sont que des rayons cathodiques modifiés.

Dans le vide de Crookes, des molécules gazeuses électrisées chemineraient avec une grande vitesse; elles pourraient traverser le verre et sortir du tube, mais en se dépouillant de leur charge.

Le rayon cathodique, courant de matière électrisée, serait déviable à l'aimant comme un courant électrique; mais il n'en serait pas de même du rayon X, simple courant de matière sans électricité.

L'effet Lafay. — S'il en était ainsi, on pourrait rendre aux rayons Röntgen la sensibilité aux actions magnétiques, en leur rendant leur charge. L'expérience de Lafay, que je vais décrire, semble, au premier abord, confirmer cette manière de voir.

Si l'on fait passer un faisceau Röntgen à travers une plaque d'aluminium très mince,

chargée d'électricité, ce faisceau devient susceptible d'être dévié par un champ magnétique. Mais cela reste vrai, que le faisceau rencontre le champ magnétique après la plaque électrisée, ou qu'au contraire il rencontre le champ *avant* la plaque.

Ce phénomène n'est donc pas une confirmation de la théorie de l'émission. Cette théorie exige, en effet, que les molécules en mouvement soient détournées de leur route par l'aimant, *après* qu'elles ont recouvré leur charge électrique; mais elle n'expliquerait pas que l'aimant agit sur des molécules qui *vont* être électrisées.

Il faut donc chercher une autre explication. Les rayons X rendent l'air conducteur; s'ils rencontrent un corps électrisé, il y aura sur leur passage des courants électriques; quand ces courants seront déviés par l'aimant, ils sembleront entraîner les rayons eux-mêmes par un mécanisme encore inconnu.

L'expérience de Lafay a été contestée par Lodge.

Les rayons Lenard et les rayons Röntgen.
— Jusqu'à nouvel ordre, on doit donc admettre que les rayons Lenard sont des rayons cathodiques sortis du tube et que les rayons X sont autre chose.

Il est certain que Lenard, avec son dispositif, a dû produire des rayons Röntgen qui sont venus troubler ses expériences sans qu'il ait pu en discerner l'influence. Cependant les

apparences qu'il décrit sont très différentes des effets ordinaires de ces radiations et l'on doit supposer qu'il y avait autre chose.

Les rayons X émanent du verre, non seulement suivant le prolongement du rayon cathodique excitateur, mais dans toutes les directions. Les rayons Lenard se comportent de même en traversant la fenêtre d'aluminium qui semble les diffuser dans tous les sens.

A part cela le contraste est complet.

Les rayons Lenard sont déviables par l'aimant, les rayons X ne le sont pas, ni dans le vide, ni à la pression ordinaire.

Presque tous les corps absorbent les premiers, mais *surtout ils les diffusent*; si bien qu'ils sont arrêtés au bout de quelques centimètres, même dans l'air où les rayons Röntgen se propagent sans absorption sensible et *sans diffusion*.

VI. — AUTRES RADIATIONS NOUVELLES.

Les rayons Becquerel. — Un même agent, le rayon cathodique, produit deux manifestations différentes, la fluorescence visible et les rayons X; on peut se demander s'il n'y a pas entre elles quelque connexion, si les conditions qui produisent l'une ne favoriseront pas l'autre; il est donc naturel d'essayer si des corps les plus vivement fluorescents n'émane pas quelque chose d'analogue aux rayons Röntgen.

Après une première expérience de Ch. Henry sur le sulfure de zinc, H. Becquerel essaya les sels d'urane. Un cristal, placé sur une plaque photographique recouverte de papier noir, impressionne cette plaque, même à travers certains corps généralement regardés comme opaques.

Ce même cristal ne produirait de fluorescence visible qu'après avoir été exposé à la lumière et perdrait son éclat en une petite fraction de seconde après l'extinction de la lumière excitatrice.

Au contraire, il émettra les rayons nouveaux dans l'obscurité et l'émission continuera pendant de longues heures, sans affaiblissement sensible. Il n'est même pas certain que la lumière augmente l'intensité du phénomène.

Il semble que ces corps aient accumulé en eux, depuis le moment où ils ont pris naissance, une provision d'énergie qu'ils dépensent sous forme de rayons Becquerel, que la lumière et les agents extérieurs ne peuvent renouveler, mais qui ne s'épuise que lentement. Au contraire, l'énergie qui est dépensée sous forme de lumière visible s'épuise rapidement, mais peut être renouvelée par les agents extérieurs.

Les résultats obtenus avec le sulfure de calcium et le sulfure de zinc ne sont pas moins curieux. M. Troost, avec du sulfure de zinc récemment préparé, a obtenu d'abord d'excellents résultats; au bout de quelques jours, son sulfure avait perdu toutes ses propriétés. Là

D.31

aussi sans doute, la provision d'énergie primitive s'était épuisée et ne pouvait plus se renouveler.

Les sels d'urane la conservent beaucoup plus longtemps, peut-être indéfiniment. L'uranium métallique est très actif bien qu'il ne produise pas de fluorescence visible.

Propriétés des rayons Becquerel. — Les rayons Becquerel ont certaines propriétés qui les rapprochent des rayons Röntgen; ils traversent les corps opaques, ils agissent sur le gélatinobromure, ils déchargent les conducteurs électrisés.

D'autres les en éloignent; ils se réfléchissent et se réfractent; ils sont polarisés par la tourmaline; cette dernière propriété ne peut appartenir qu'à des ondes transversales.

Les rayons Becquerel sont donc des rayons lumineux.

Si l'on considère alors leurs analogies avec les rayons X, on est tenté de conclure qu'ils forment le trait d'union entre la lumière ordinaire et les rayons Röntgen et que ceux-ci ne doivent leurs singulières propriétés qu'à leur très courte longueur d'onde, comme le supposent les partisans de la théorie ultraviolette.

Effets de l'effluve. — Je ne puis passer sous silence les expériences de Moreau et de Lord Blythwood qui ont obtenu des effets analogues à ceux des rayons Röntgen avec l'effluve ou

l'étincelle électrique, *sans employer le tube de Crookes*.

Les deux hypothèses les plus naturelles sont que l'action photographique est due à la lumière de quelque étincelle secondaire, ou que les sels d'argent sont décomposés non par des radiations proprement dites, mais par des courants électriques traversant la gélatine.

Cependant Lord Blythwood a pu impressionner une plaque enfermée dans une boîte métallique entièrement close, avec une petite fenêtre d'aluminium mince. Ces deux hypothèses se trouveraient alors exclues.

Faudrait-il donc admettre que l'étincelle électrique peut, même à la pression ordinaire, communiquer à l'air une fluorescence invisible analogue à celle qui produit les rayons X? On ne saurait le dire.

Les rayons Le Bon. — M. Le Bon enferme, dans un châssis métallique, un cliché négatif et un papier sensible; il expose le tout à une source quelconque de lumière; après une pose de plusieurs heures, le papier est impressionné et l'on obtient un positif. Cette action serait due à un agent nouveau, la « lumière noire ».

Quelques expérimentateurs ont recommencé avec succès l'expérience de Le Bon; d'autres n'ont pu y parvenir et ont été jusqu'à penser que la lumière noire n'existe pas, que l'inventeur a été dupe de quelque erreur et que la lu-

D.33

mière extérieure pénétrait par une fissure du châssis mal clos.

Quoi qu'il en soit, « le déterminisme de ces expériences, dit M. Le Bon, n'est pas encore bien établi ».

En présence de ces contradictions, je suis forcé de me montrer plus circonspect encore que je ne l'ai été jusqu'ici.

Les *rayons* Le Bon, s'ils existent, ne peuvent être regardés comme des éléments de la lumière blanche, qui chemineraient avec elle pour traverser ensuite les plaques métalliques. Il est plus probable qu'ils sont excités par cette lumière dans la matière même du métal, par une sorte de fluorescence. C'est ainsi que M. d'Arsonval explique les contradictions des auteurs. On comprendrait aussi comment une plaque métallique, exposée au soleil, pourrait conserver quelque temps la propriété d'émettre la lumière noire.

Mais a-t-on bien le droit de parler des *rayons* de la lumière noire? D'après certaines expériences de Le Bon, encore incomplètes, cet agent n'est pas arrêté par les obstacles : il ne les traverse pas, il les *contourne*. Sa marche n'est pas rectiligne et si l'on veut l'assimiler à des ondes, ce ne peut être qu'à des ondes de très grande longueur. Mais il se comporte encore plutôt comme un courant électrique dans la masse d'un conducteur.

Faut-il alors rapprocher ce phénomène des effets de l'effluve dont je viens de parler, ou

D.34

de l'action des vapeurs métalliques sur les plaques photographiques, observée par MM. Pellet et Colson ?

Toute discussion à ce sujet serait oiseuse, tant que la réalité même du phénomène est contestée par quelques auteurs.

Il semble que la lumière noire traverse mieux les métaux que les rayons Röntgen, mais qu'en revanche elle est arrêtée par le papier noir.

Pour clore cette liste, je dois parler aussi de certaines radiations invisibles qui seraient émises par quelques corps organisés, principalement par ceux qui s'éclairent d'une phosphorescence visible.

Résumé. — Jusqu'à présent, le Chapitre consacré à la phosphorescence et à la fluorescence restait isolé et était relégué dans un coin des traités de Physique.

Il semblait que la voie où s'étaient engagés les Becquerel dût aboutir à un cul-de-sac. Loin de là, on peut penser aujourd'hui qu'elle va nous ouvrir l'accès de tout un monde nouveau que nul ne soupçonnait.

A côté de la fluorescence visible, nous avons maintenant la fluorescence invisible.

Certains corps émettent des rayons Becquerel; ces mêmes corps, excités par la lumière, produisent d'autres rayons lumineux.

Les rayons cathodiques excitent les rayons Röntgen; ils excitent aussi la fluorescence lumineuse.

D.35

Les rayons Röntgen à leur tour excitent la fluorescence visible et probablement aussi diverses radiations invisibles.

Tous ces faits seront sans doute un jour reliés entre eux et rattachés à une même cause. Bien d'autres alors viendront sans doute se grouper autour d'eux et compléter un tableau dont nous commençons à entrevoir l'esquisse.

1^{er} octobre 1896.

