

LES RAYONS CATHODIQUES

537.53 /
770)

ET LES RAYONS RÖNTGEN

I. — EXPÉRIENCES DE RÖNTGEN.

N'étant ni physicien, ni médecin, c'est grâce au hasard que j'ai été chargé de présenter à l'Académie des Sciences la communication de MM. les docteurs Oudin et Barthélemy. J'ai donc peu de chose à ajouter à ce que tout le monde sait.

Les lecteurs de la *Revue* sont déjà au courant des propriétés principales des rayons cathodiques par deux études de M.

W. Crookes qui ont paru dans le tome II et par un article de M. Lucien Poincaré (t. V, p. 701) qui résumait les découvertes plus récentes de Hertz et de Lenard. Ils savent donc qu'un tube de Crookes où le vide est assez parfait devient fluorescent, quand il est le

siège d'une décharge électrique et que cette fluorescence est attribuée à des radiations spéciales émanées de la *cathode* ou électrode négative.

Le Professeur Röntgen, ayant enveloppé d'un carton noir un tube de Crookes où se produisaient des rayons cathodiques, plaça ce tube dans une pièce obscure et en approcha un écran en papier recouvert de platino-cyanure de baryum. Cet écran devint fluorescent, malgré l'interposition du carton noir, et cette fluorescence persistait à une distance de deux mètres.

Il aperçut immédiatement la portée extraordi-

naire de cette découverte; il fallait admettre, en effet, l'existence d'un agent nouveau, susceptible de traverser un carton noir assez épais, différent par conséquent de la lumière visible ou ultraviolette, mais produisant comme elle la fluorescence.

M. Röntgen ne tarda pas à découvrir que les radiations nouvelles impressionnent la plaque photographique, soit qu'elles aient une action chimique directe, soit que, sous leur influence, la matière de la plaque elle-même devienne fluorescente. Bien que ces radiations n'aient aucune action sur la rétine, il y a donc deux moyens d'en constater la présence et, par conséquent, de les étudier. Elles peuvent nous être révélées, soit par la photographie, soit par

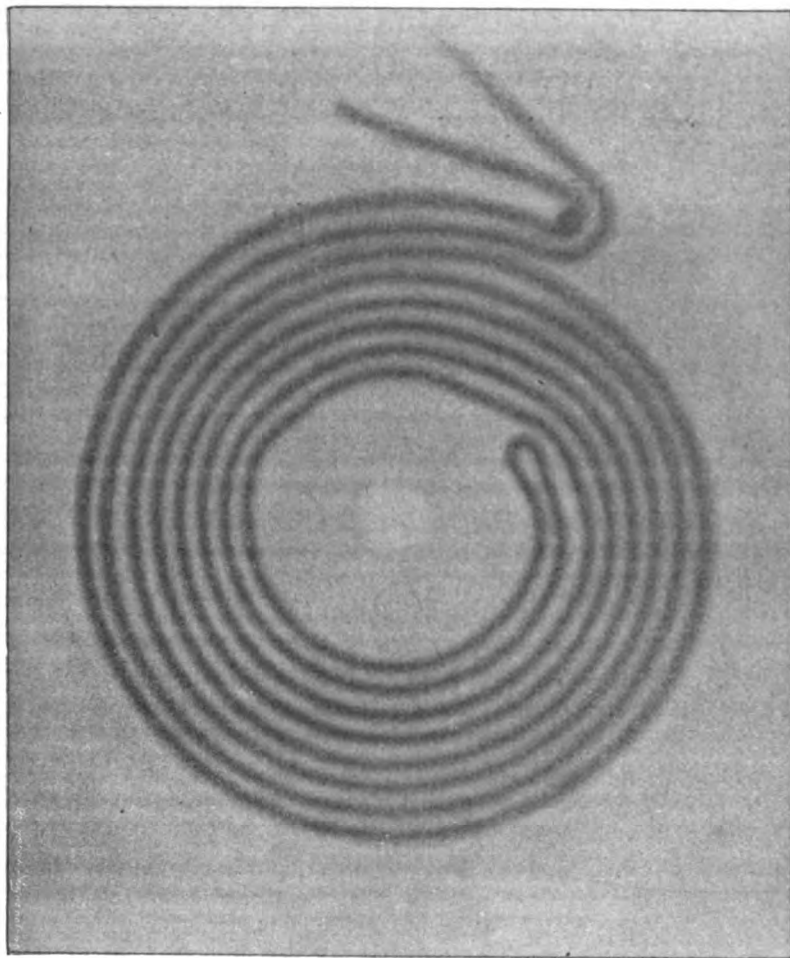


Fig. 1. — Fil de fer enroulé, photographié à travers une épaisse planche de bois.

la fluorescence qu'elles communiquent à certains corps.

Mais la propriété la plus curieuse de ces rayons, que le savant professeur de Würzburg appelle les rayons X, c'est la facilité avec laquelle ils traversent les corps opaques.

Un livre de mille pages, une planche de deux ou trois centimètres d'épaisseur, les laissent passer assez facilement. Les métaux sont moins transparents, surtout les métaux lourds comme le plomb et le platine.

En général, on peut dire que l'opacité d'un corps

croît avec sa densité, mais notablement plus vite que cette densité.

On conçoit alors qu'un objet métallique, par exemple, enfermé dans une boîte en bois, puisse être reproduit par la photographie. La boîte, en effet, est transparente, tandis que l'objet est opaque; tout se passera donc comme si cet objet était placé dans une boîte en verre, et si, éclairé par une source de lumière ordinaire, il projetait son ombre sur une plaque photographique. Cette

ombre viendrait évidemment en noir sur le positif. Un des résultats les plus surprenants obtenus dans cette voie est la photographie parfaitement nette (fig. 2) d'une aiguille aimantée, enfermée dans une boîte métallique probablement en aluminium?

Les chairs sont transparentes; les os relativement opaques; aussi, dans la photographie d'une main, les os apparaîtront comme une ombre assez forte, tandis que les chairs ne don-

neront qu'une pénombre très légère; une bague donnera une image d'un noir intense (fig. 3).

La photographie d'une plaque de zinc laminé (p. 63) montre l'hétérogénéité du métal. M. Röntgen a bien voulu me faire l'honneur de m'envoyer un certain nombre de photographies dont quelques-unes sont reproduites ici (fig. 1 et 2).

Ces expériences excitèrent à un haut degré la curiosité du monde savant et furent aussitôt reproduites un peu partout. A Paris elles le furent d'abord par MM. les docteurs Oudin et Barthélemy et, d'autre part, par M. Ségué.

MM. Oudin et Barthélemy ont opéré avec un tube de Crookes fourni par M. Ségué. Ce tube avait la forme d'une sphère de 7 centimètres de diamètre environ. La cathode se réduisait à un simple fil dont l'extrémité envoyait des radiations dans tous les sens, de sorte que toute la surface du verre était illuminée d'une lueur fluorescente causée par les rayons cathodiques.

On enveloppa ensuite une plaque Lumière bleue dans plusieurs doubles de papier noir; on la plaça

à 40 centimètres environ du tube, et on posa la main dessus, la durée de pose fut de 20 minutes. L'image du squelette, reproduite dans la fig. 3, est d'une netteté parfaite.

On peut donc espérer qu'on réussira à photographier à travers toute l'épaisseur du corps. On pouvait craindre que les rayons Röntgen ne fussent non seulement absorbés, mais diffusés dans les milieux relativement opaques. C'eût été un obstacle qui eût empêché de traverser les corps un

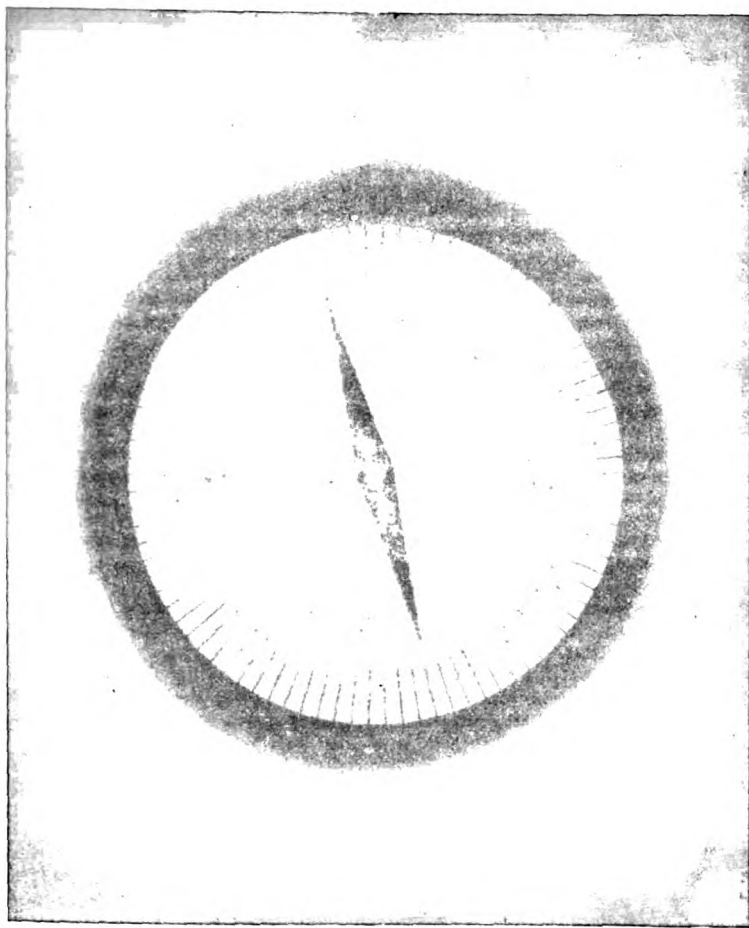


Fig. 2. — Cadran d'une boussole photographié à travers la boîte qui la contenait.

peu épais. Cette diffusion ne paraît pas exister d'une façon notable. On n'a donc à vaincre que l'absorption, ce qui n'est qu'une affaire d'intensité et de durée de pose.

On conçoit, sans qu'il soit nécessaire d'insister, l'importance de ces résultats au point de vue chirurgical. Des expériences systématiques vont être entreprises dans quelques jours à l'hôpital Trousseau, sous la direction de M. le Professeur Lannelongue (1).

(1) Dans le service de M. Lannelongue ont déjà été obtenues d'importantes épreuves (fig. 4 et 5). (N. de la Dir.)

II. — PROPRIÉTÉS DES RAYONS X.

Quelle est la nature de ces phénomènes merveilleux et mystérieux ?

1° *Ce sont des rayons*, comme le démontrent les

aux manifestations les plus diverses. On trouve successivement, en parcourant toute l'échelle, depuis les plus grandes longueurs d'onde jusqu'aux plus petites, les rayons hertziens, les rayons infra-rouges ou calorifiques, les rayons visibles, les



Fig. 3. — *Squelette d'une main photographié à travers les tissus.* — La main portait une bague qui a, comme les tissus osseux, intercepté les rayons.

ombres portées par les corps relativement opaques, et dont les contours sont suffisamment nets pour permettre la reproduction photographique. Leur propagation est donc rectiligne.

2° *Ce ne sont pas des rayons lumineux*, dus à des vibrations transversales de l'éther. On sait que ces vibrations peuvent donner lieu, selon leur durée,

rayons ultra-violet ou chimiques. Malgré la diversité de ces effets, on sait qu'il n'y a entre eux qu'une différence quantitative ; il n'y a, en réalité, pas plus de différence entre les rayons hertziens et les rayons visibles, qu'entre la lumière rouge et la lumière verte.

Dès lors, semble-t-il, qui empêche, pour expli-

quer un ordre nouveau de manifestation, d'ajouter un échelon de plus à cette échelle? Ne voit-on pas certains rayons ultra-violet traverser l'argent, qui est opaque pour les radiations ordinaires? N'a-t-on

naire, qui les distingue absolument des ondulations transversales; ces dernières, en effet, depuis les ondes hertziennes jusqu'aux ondes ultra-violettes sont réfrangibles, et leur réfrangibilité va

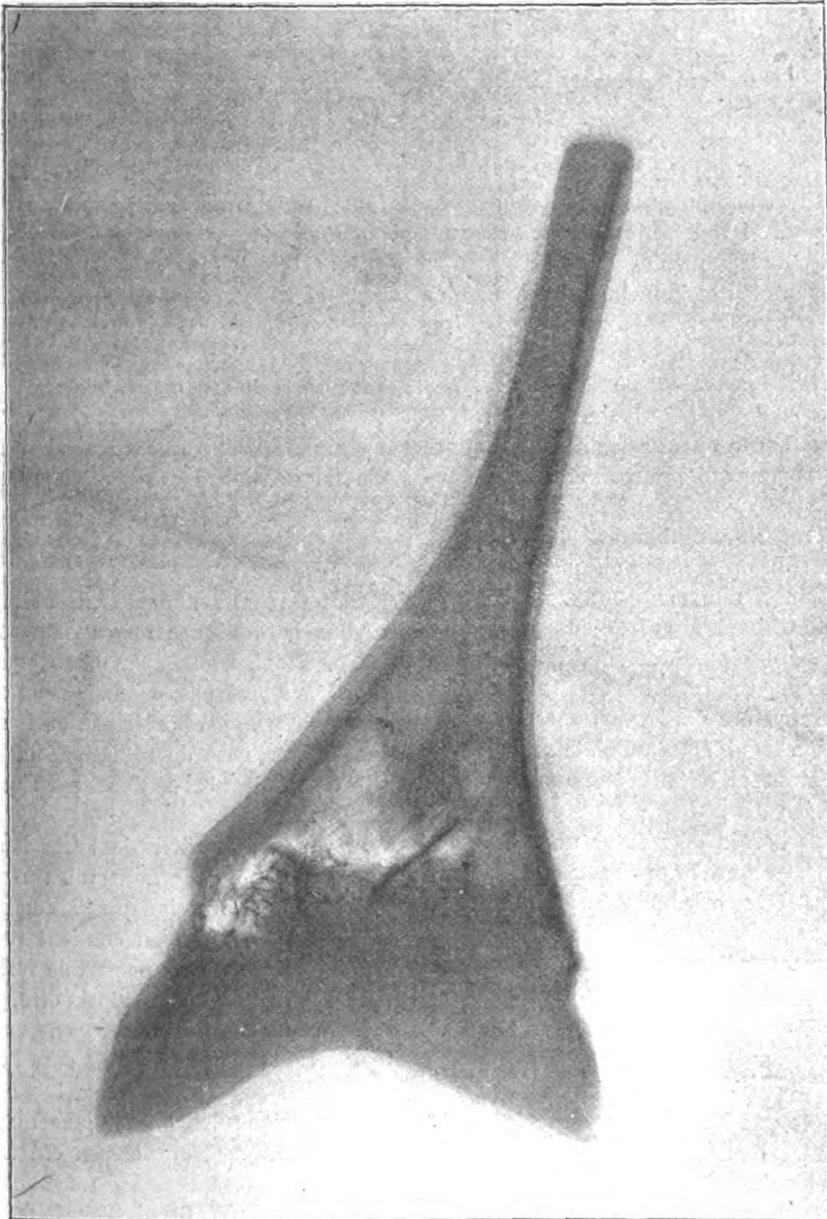


Fig. 4. — Fémur atteint d'ostéomyélite photographié au travers des tissus de la cuisse. (Service du professeur Lannelongue à l'hôpital Trousseau). — Les régions où le tissu osseux est demeuré intact ont arrêté les rayons; ceux-ci ont, au contraire, traversé la partie où le tissu osseux a été détruit. Cette épreuve montre que la destruction de la matière osseuse se fait du centre à la périphérie.

pas même réalisé de la sorte, il y a quelques années, ce qu'on a déjà appelé la photographie de l'invisible?

Cette hypothèse paraît devoir être rejetée. En effet, les rayons Röntgen ne se réfractent pas; ils ne se réfléchissent pas non plus, du moins régulièrement. C'est là leur propriété la plus extraordi-

en croissant d'une façon régulière quand la longueur d'onde diminue.

3° *Ce ne sont pas non plus des rayons cathodiques.* On sait, il est vrai, depuis Lenard, que les rayons cathodiques, produits dans le vide de Crookes, peuvent traverser une petite plaque d'aluminium, sortir du tube, et se propager ensuite soit dans

l'atmosphère ordinaire, soit même dans le vide absolu.

Mais dans l'atmosphère ordinaire ils subissent une diffusion considérable et ne peuvent se propager qu'à quelques centimètres.

Les rayons X, au contraire, vont sans dévier jusqu'à deux mètres de distance. D'autre part, les rayons cathodiques ordinaires seraient incapables de traverser la plupart des corps opaques, même sous une faible épaisseur.

Voilà donc deux différences entre les rayons cathodiques et les rayons Röntgen. Mais il y en a une autre, beaucoup plus importante encore : *les rayons Röntgen ne sont pas déviés par l'aimant.*

4^e M. Röntgen a été ainsi amené à se demander si ces phénomènes ne sont pas dus aux *vibrations longitudinales de l'éther*. Il n'a pu qu'émettre une hypothèse ; il était hors d'état de la vérifier. Les expériences d'interférence, qui seules pourraient nous renseigner, sont, en effet, presque impossibles avec des rayons qui poursuivent leur chemin rectiligne, sans que rien puisse les en faire dévier, ni la réfraction, ni l'aimant.

Quoi qu'il en soit, on est bien en présence d'un agent nouveau, aussi nouveau que l'était l'électricité du temps de Gilbert, le galvanisme du temps de Volta. Toutes les fois qu'une semblable révélation vient nous surprendre, elle réveille en nous le sentiment du mystère dont nous sommes environnés, sensation troublante qui s'était dissipée à mesure que s'émoussait l'admiration pour les merveilles d'autrefois.

Il est à peine besoin de réfuter une foule de théories fantaisistes que la presse quotidienne a reproduites, peut-être en les dénaturant. On a dit, par exemple, que les rayons X n'étaient que les lignes de force magnétique ; il serait étrange, alors, que ces lignes de force ne soient pas déviées par l'aimant.

III. — ORIGINE DES RAYONS X.

En revanche, ce que M. Röntgen a pu déterminer, c'est le centre d'émission des rayons X. On pouvait, en effet, faire plusieurs hypothèses.

On pouvait supposer que la cathode émet, outre les rayons cathodiques ordinaires, d'autres radiations qui, jouissant de propriétés différentes, traverseraient le verre du tube et se propageraient ensuite dans l'atmosphère.

Ce n'est pas ainsi que les choses se passent ; le rayon cathodique ordinaire, émané de la cathode, vient frapper la paroi du tube, qui devient fluorescente. Cette paroi devient alors, à son tour, un centre de radiation ; elle émet d'abord des ondulations transversales, qui sont cette lueur jaune verdâtre perçue par notre œil ; mais elle émet, en

outre, des radiations d'une autre nature, qui sont les rayons Röntgen.

L'étude des ombres portées le prouve ; d'ailleurs, si l'on approche un aimant, non du trajet du rayon X, mais du tube de Crookes, on déforme les images photographiques.

Les rayons Röntgen, en effet, ne sont pas déviés, mais les rayons cathodiques le sont ; comme le centre d'émission des rayons X est le point où finissent les rayons cathodiques, l'aimant peut déplacer le centre à partir duquel ils se propagent toujours en ligne droite et par conséquent déplacer les images.

Ainsi, c'est le verre qui émet les rayons Röntgen, et il les émet en devenant fluorescent. Ne peut-on alors se demander si tous les corps dont la fluorescence est suffisamment intense n'émettent pas, outre les rayons lumineux, des rayons X de Röntgen, *quelle que soit la cause de leur fluorescence* ? Les phénomènes ne seraient plus alors liés à une cause électrique. Cela n'est pas très probable, mais cela est possible, et sans doute assez facile à vérifier.

IV. — INTERFÉRENCES DES RAYONS CATHODIQUES.

Si les rayons nouveaux sont mystérieux, les rayons cathodiques ne cessent pas pour cela de l'être. Plusieurs théories ont été proposées, et je ne m'écarterai pas de mon sujet en en parlant, puisqu'il y a probablement un lien intime entre ces deux sortes de radiations et que ces deux mystères finiront sans doute par s'éclairer mutuellement.

Je voudrais profiter de l'occasion pour en dire quelque mots, et je désirerais surtout attirer l'attention sur une doctrine que j'ai combattue dans ses détails, mais qui n'en contient pas moins, très vraisemblablement, une part de vérité.

Nous voyons, pour ainsi dire, se continuer aujourd'hui, autour des rayons cathodiques ce même combat qui se livrait sous la Restauration autour des rayons lumineux. Il y a des partisans de l'émission ; les ondulations longitudinales et les ondulations transversales ont aussi leurs défenseurs.

Les idées de W. Crookes sur la matière radiante et le bombardement moléculaire, qui rappellent la doctrine newtonienne de l'émission, ne sont pas encore aujourd'hui abandonnées par tout le monde, malgré les expériences de Lenard.

Wiedemann et Lenard voient, dans les rayons cathodiques, des ondulations transversales de très courte période. Pour Wiedemann, ce seraient des rayons ultra-violet très absorbables ; pour Lenard, l'onde serait plus courte encore et sa longueur serait comparable aux distances intermoléculaires.

M. Jaumann attribue, au contraire, ces phéno-

mènes à des vibrations longitudinales. Il appuie sa manière de voir sur deux ordres de preuves expérimentales et d'abord sur des apparences qu'il considère comme dues à des interférences.

che est plane, mince et nettement délimitée. M. Jaumann l'appelle un « plan d'interféréncé », parce qu'il l'attribue à l'interférence des rayons émanés des deux cathodes.

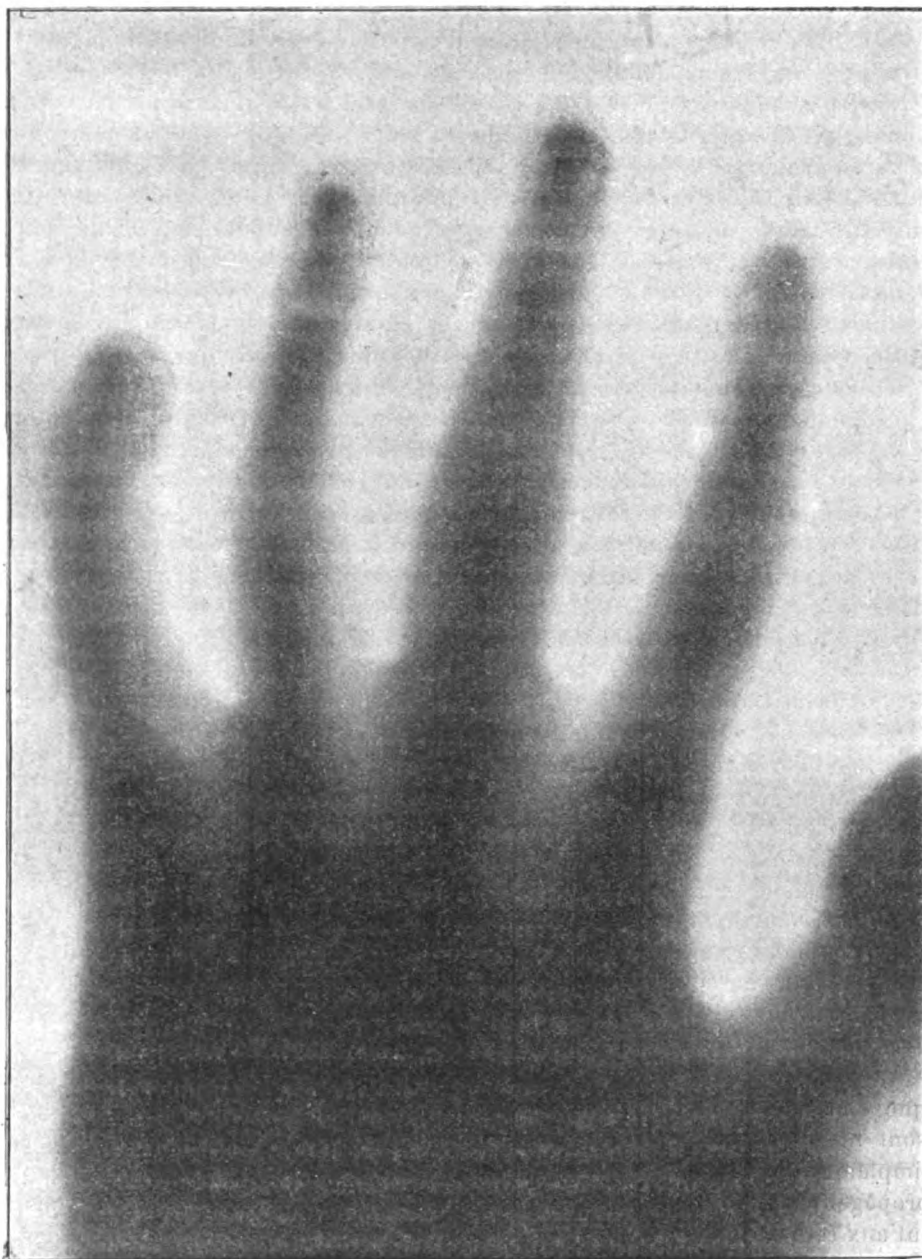


Fig. 5. — Main dont un doigt (médium) est atteint d'ostéite tuberculeuse. — L'os de la première phalange du médium, étant gonflé, a intercepté les rayons sur une plus grande largeur que ne l'eût fait l'os normal. (Service du Professeur Lannelongue à l'hôpital Trousseau.)

Ces interférences se produisent dans la lueur bleue qui entoure la cathode; si l'on prend deux cathodes formées de deux plans métalliques parallèles distants de 4 centimètre, on voit entre les deux plans et à égale distance se former une couche bleue plus lumineuse que le reste de l'intervalle compris entre les deux cathodes. Cette cou-

Mais, pour que cette apparence se produise, il faut que les deux cathodes soient réunies au pôle négatif de la bobine par deux fils d'égale longueur. Si les deux fils sont inégaux, non seulement la couche d'interférence se déplace, mais elle s'élargit, de sorte qu'elle finit par remplir tout l'espace compris entre les deux cathodes.

Cet élargissement correspond, d'après M. Jaumann, à un *spectre* de surfaces d'interférence qui appartiendraient à des rayons cathodiques de périodes différentes.

L'expérience peut être variée de bien des manières. C'est ainsi qu'avec deux cathodes, l'une plane, l'autre réduite à un fil parallèle au plan de la première, l'habile physicien a obtenu une surface d'interférence parabolique.

Il semble qu'il y ait là le germe d'une méthode expérimentale qui nous donnera un jour la clef du problème; mais l'assimilation avec les interférences, du moins telles que nous les connaissons, ne peut être admise qu'avec quelques réserves.

Dans les interférences ordinaires l'intensité varie avec la différence de marche, et la courbe qui représente cette variation est une sinusoïde. Il semble que la lueur de Jaumann devrait varier suivant une loi analogue. Il n'en est rien; si la période était courte, on verrait dans l'intervalle des cathodes plusieurs maxima; si elle est longue, comme l'auteur le suppose, on devrait voir non pas un maximum tranché, mais une plage lumineuse lentement dégradée sur les bords. *Il semble que le phénomène ne puisse se produire que si la différence de marche est presque rigoureusement nulle.*

Dès qu'il y a une dissymétrie quelconque, la couche d'interférence s'élargit, ce qui serait dû, d'après M. Jaumann, à ce que les radiations de période différente n'interféreraient plus à la même place.

Si la différence de marche devait être égale non à zéro, mais à un multiple de la longueur d'onde, les choses se passeraient ainsi, en effet. Mais la condition de l'interférence paraît être que cette différence soit nulle; donc, pour que deux radiations n'aient pas le même plan d'interférence, il ne suffit pas qu'elles n'aient pas la même période, *il faut que leur vitesse de propagation soit différente.*

J'ajoute que dans la couche d'interférence les rayons ne sont ni détruits ni renforcés; ils semblent être simplement *déviés*. « Les rayons cathodiques se propagent dans ce plan d'interférence parallèlement aux cathodes ».

V. — INFLUENCE SUR LA DÉCHARGE.

La seconde série de preuves expérimentales est empruntée à l'action des radiations sur l'étincelle électrique; d'après M. Jaumann, une vibration ne facilite l'explosion de cette étincelle que si elle est normale à l'électrode.

La vérification a été faite pour les rayons hertiens.

On l'a faite aussi, avec un succès relatif, pour la lumière. On sait que les rayons ultra-violets pro-

voquent les étincelles. Il paraissait naturel de chercher quelle est leur action quand ils sont polarisés. Mais il était difficile d'obtenir des rayons ultra-violetts parallèles, polarisés et suffisamment intenses.

Heureusement MM. Elster et Geitel ont reconnu que la lumière visible agit sur les électrodes formées d'un métal alcalin, comme la lumière ultra-violette sur les électrodes ordinaires. La vérification de la loi de Jaumann, qui s'est faite dans un gaz raréfié, n'est que grossièrement approximative. Pour expliquer cette divergence, M. Jaumann suppose que, dans les gaz raréfiés, la lumière ordinaire elle-même serait accompagnée d'une composante longitudinale (?).

La même méthode, appliquée aux rayons cathodiques, montre que leurs vibrations sont longitudinales.

Il serait intéressant de faire tomber sur une même électrode, deux rayons cathodiques à angle droit; on verrait s'il y a un maximum d'effet quand la normale à l'électrode est dirigée suivant la bissectrice des deux rayons; ou s'il n'y a pas de maximum; ou encore s'il y a deux maxima correspondant à la direction des deux rayons.

VI. — THÉORIE DE JAUMANN.

M. Jaumann cherche ensuite à rendre compte de la possibilité théorique des vibrations longitudinales, et c'est sur cette partie de son travail qu'ont porté mes critiques.

D'après lui, le pouvoir diélectrique des corps serait variable, et ces variations seraient notables dans les gaz raréfiés; elles seraient proportionnelles à la charge électrique.

Introduisant ces hypothèses dans les équations de Maxwell, l'auteur examine le cas où l'on a un champ électrique *constant* intense, superposé à des oscillations électromagnétiques très faibles, mais de période très courte. Il arrive ainsi à certaines équations que je ne transcrirai pas.

Ces équations, qui sont la conséquence nécessaire des hypothèses citées plus haut, montrent, en effet, qu'il doit exister des rayons longitudinaux qui jouiraient de quelques-unes des propriétés des rayons cathodiques.

Mais, en poussant le calcul jusqu'au bout, j'ai vu que ces rayons devraient suivre les lignes de force électrique du champ constant. Ils ne seraient donc pas rectilignes en général; ils iraient de la cathode à l'anode; ils ne seraient pas déviés par l'aimant.

Si donc j'ai été séduit au premier abord par les vues ingénieuses de M. Jaumann, si, malgré cette critique, je n'en persiste pas moins à penser que ce savant est sur la voie qui le mènera à la vérité;

je crois néanmoins qu'il devra modifier ses hypothèses, au moins dans le détail.

VII. — CONDITIONS DES EXPÉRIENCES DE RÖNTGEN.

Revenons aux expériences photographiques de M. Röntgen. La technique, comme nous l'avons vu, est très simple; la seule difficulté est de se procurer un tube de Crookes qui conserve ses propriétés assez longtemps; on en rencontrera avec un peu de chance. La plupart perdent rapidement leurs qualités, à cause des gaz dégagés par les électrodes; il faut, si l'on veut s'en servir, avoir une trompe à mercure pour maintenir le vide de Crookes.

Les rayons X ne se réfractant pas, on ne peut donc les concentrer à l'aide d'un objectif; les images que l'on photographie ne sont donc pas comparables aux images formées au foyer d'une lentille. Ce sont des ombres portées, des silhouettes.

D'autre part, la source lumineuse, je l'ai dit, n'est pas la cathode, c'est toute la surface fluorescente du verre; dans les expériences de MM. Oudin et Barthélemy par exemple, la source était comparable à une sphère lumineuse de 7 centimètres

de diamètre. Un petit objet sphérique projette donc derrière lui un cône d'ombre assez court, entouré d'une pénombre.

Cela n'est pas sans inconvénient pour la netteté des images. Il conviendrait donc de donner à la cathode la forme d'un miroir sphérique concave, dont le centre serait voisin de la paroi (pas sur la paroi même, il pourrait en résulter du dégât). La partie la plus intense de la source serait ainsi d'étendue restreinte.

Si l'objet à photographier est plus grand que la source, on pourra le rapprocher de la source, et éloigner la plaque photographique; l'objet sera agrandi, mais les détails ne viendront pas.

Si l'objet est petit, il faudra le mettre le plus près possible de la plaque sensible, et pas trop près de la source.

Les premiers clichés de MM. Oudin et Barthélemy étaient moins nets que les derniers, parce qu'on avait placé la plaque trop près du tube de Crookes.

H. Poincaré,

de l'Académie des Sciences,
Professeur de Physique mathématique à la Sorbonne.

537,53,
770)

UNE NOUVELLE ESPÈCE DE RAYONS

1. La décharge d'une grosse bobine d'induction traverse un tube à vide de Hittorf, ou un tube de Lenard ou de Crookes dont le vide a été poussé très loin. Le tube est entouré d'un écran de papier noir qui s'y adapte exactement; on peut alors constater, dans une salle où l'obscurité est complète, qu'un papier dont une face est recouverte de platino-cyanure de baryum, présente une fluorescence brillante quand on l'amène au voisinage du tube, quelle que soit la face du papier qui regarde le tube. La fluorescence est encore visible à deux mètres de distance.

Il est facile de montrer que la cause de la fluorescence réside dans le tube à vide.

2. On voit donc qu'il existe un agent capable de pénétrer une plaque de carton noir, absolument opaque pour les rayons ultra-violet, pour la lumière de l'arc ou celle du Soleil. Il est intéressant de rechercher si d'autres corps se laissent pénétrer par le même agent. On montre facilement que tous les corps présentent la même propriété, mais à des degrés très différents. Par exemple, le papier est très transparent; l'écran fluorescent s'illumine quand on le place derrière un livre de mille pages; l'encre d'imprimerie n'offre pas de résistance sensible. De même la fluorescence se manifeste derrière deux jeux de cartes; une carte unique ne diminue pas visiblement l'éclat de la lumière. De

même aussi, une seule épaisseur de papier d'étain projette à peine une ombre sur l'écran; il faut en superposer plusieurs pour produire un effet notable. Des blocs de bois épais sont encore transparents. Des planches de pin de deux ou trois centimètres d'épaisseur absorbent très peu.

Un morceau d'une feuille d'aluminium, de 15 millimètres d'épaisseur, laisse encore passer les rayons X (c'est ainsi que j'appellerai ces rayons pour abrégé), mais diminue beaucoup la fluorescence. Des plaques de verre de même épaisseur se comportent de la même manière; toutefois le cristal est beaucoup plus opaque que les verres exempts de plomb. L'ébonite est transparente sous une épaisseur de plusieurs centimètres. Si l'on tient la main devant l'écran fluorescent, les os projettent une ombre foncée et les tissus qui les entourent ne se dessinent que très légèrement (fig. 3, page 54, et 1 et 2, pages 60 et 61).

L'eau et plusieurs liquides sont très transparents. L'hydrogène n'est pas notablement plus perméable que l'air. Des plaques de cuivre, d'argent, de plomb, d'or et de platine laissent aussi passer les rayons, mais seulement quand le métal est en lame mince. Une épaisseur de platine de 2 millimètres laisse encore passer quelques rayons; l'argent et le cuivre sont plus transparents. Le plomb, sous une épaisseur de 1 mil. 05,