

§ 2. — *Transmission du rayonnement au travers de lames épaisses de verre ou de métal. Rayons secondaires.*

Les expériences précédentes, en permettant d'analyser les effets de pénétration des rayons inégalement déviables, ont donné les raisons des divergences observées par divers expérimentateurs dans la transmissibilité du rayonnement au travers des métaux. Elles rendent inutile la publication de nombreuses expériences que j'avais faites pour démontrer qu'une partie déviable du rayonnement traversait des écrans métalliques, en donnant au travers de ceux-ci des ombres déviées.

Je citerai seulement l'expérience suivante : Sur une plaque photographique placée dans le champ d'un électro-aimant, on dépose une petite cuve de plomb contenant un sel de radium ; au-dessus on place une lame de plomb recourbée de façon à présenter deux montants verticaux (fig. 37 et 38, Pl. VI) et, d'un côté, on interpose entre la

source et la lame de plomb, une lame plane d'aluminium de 0^{mm},1 d'épaisseur. Si l'on fait d'abord agir le champ de façon à rejeter le faisceau déviable du côté où n'est pas la lame d'aluminium, celui-ci donne lieu à une ombre projetée assez nette. Si l'on renverse le sens du courant, l'ombre projetée au travers de l'aluminium se voit encore, mais elle est recouverte par l'impression d'un faisceau secondaire issu de la lame d'aluminium et qui a été ramené sur la plaque. Je n'insisterai pas davantage sur cette expérience, ni sur d'autres, montrant que certains rayons déviables peuvent traverser réellement les écrans métalliques: ce fait est surabondamment prouvé par les expériences d'analyse magnétique décrites plus haut.

Rayons déviables. — La pénétrabilité des rayons peu déviables est assez grande; l'expérience suivante en donne une nouvelle démonstration différente de celle qui résulte des épreuves déjà citées: on superpose trois plaques photographiques, les gélatines tournées toutes en dessus, et on les enveloppe ensemble dans le même papier noir; on place le tout dans le champ d'un électro-aimant. Sur le papier de la plaque supérieure on pose une petite cuve de plomb contenant un sel de radium dans un petit trou rond, puis à l'extrémité de la plaque à une distance de la source de 4° on met une petite rondelle de plomb de 1 millimètre d'épaisseur et de 5 millimètres de diamètre. On aimante l'électro-aimant de façon à rejeter le faisceau déviable sur la rondelle de plomb. Dans cette expérience l'intensité du champ magnétique était 2600. En développant les plaques on trouve sur la première une impression intense, dont le maximum sous le papier noir

correspond à $RH = 1400$, puis à l'extrémité de la plaque une impression faible donnant une ombre de la rondelle pour des rayons tels que $RH = 5000$. Ces rayons traversent le verre de la première plaque photographique soit $1^{\text{mm}},5$ de verre environ et impressionnent la seconde à partir de $RH = 3000$; ils donnent sur cette deuxième plaque une ombre de la rondelle. On n'observe sur la troisième plaque aucune trace de la rondelle de plomb. Les rayons en question ne paraissent pas avoir traversé la petite rondelle de plomb. Ces rayons déviables très pénétrants donnent des impressions faibles parce qu'ils ne sont pas absorbés; ils ne produisent que de faibles actions chimiques ou physiques, qui ne peuvent nous donner aucune indication sur leur intensité véritable. C'est ainsi que se comporteraient, par exemple, des rayons lumineux rouges intenses qui traverseraient une plaque photographique sans l'impressionner, parce que ces rayons ne sont pas absorbés par le sel d'argent.

Une autre expérience, qui sera utilement rapprochée de celles qui vont suivre, consiste à disposer dans un champ magnétique, parallèlement l'une au-dessus de l'autre, à quelques millimètres de distance, deux plaques photographiques enveloppées de papier noir et dont les gélatines sont tournées l'une vers l'autre. Sur le verre de la plaque supérieure on place la source radio-active, la petite cuve formant une source ponctuelle, et sur la gélatine de la plaque inférieure une petite bande de plomb. Dans le faisceau ramené sur les plaques par le champ magnétique, la partie pénétrante traverse le verre de la plaque supérieure et vient exciter sur la bande de plomb

des rayons secondaires qui impressionnent à distance la plaque supérieure.

Dans cette expérience on n'a pas observé d'impression due à des rayons secondaires du plomb qui auraient pu être ramenés par le champ magnétique sur la seconde plaque photographique.

Rayonnement non déviable. — Dans les expériences précédentes, on trouve sous la petite cuve de plomb une tache très intense due à des rayons qui ont traversé le fond de la cuve de plomb. Cette tache se retrouve sur les trois plaques superposées dont chacune a environ $1^{\text{mm}},5$ d'épaisseur et les rayons qui les produisent traverseraient des épaisseurs de verre beaucoup plus grandes. Ces rayons ne sont pas déviés par l'aimant. J'avais déjà signalé cette très grande pénétrabilité de certains rayons au travers du plomb (1), quand M. Villard (2) publia une expérience fondamentale montrant que ces rayons différaient totalement des rayons déviables. En recevant sous une incidence presque rasante sur une plaque photographique enveloppée de papier noir, et soumise à un champ magnétique le rayonnement émis par un petit tube de verre contenant du chlorure de baryum radifère peu actif, M. Villard reconnut, à côté du faisceau dévié, un faisceau non dévié assez pénétrant pour traverser une lame de plomb de $0^{\text{mm}},2$ d'épaisseur. Ces rayons n'avaient apparu qu'à la suite de la longue pose rendue nécessaire par la faiblesse de l'émission et la disposition de l'expé-

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXXX, p. 374 (février 1900).

(2) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXXX, p. 1012 (avril 1900).

rience, et c'est ce qui explique comment on ne les avait pas observés en recevant directement sur des plaques photographiques le rayonnement de corps plus actifs pour lesquels une pose de quelques minutes était suffisante.

On a déjà vu, plus haut, que ces rayons, n'étant que très peu absorbés, produisent une action photographique faible qui ne donne aucune idée de leur intensité.

Au contraire, lorsqu'ils traversent un corps absorbant tel que le plomb ou le verre, la partie absorbée se transforme en rayons secondaires très absorbables et par suite très actifs; dans ces conditions, en quelques minutes, on observe la trace de ces rayons. C'est ainsi qu'on obtient sous une petite cuve de plomb au travers de 1 millimètre d'épaisseur une impression en quelques minutes de pose. Toutes les épreuves obtenues avec des petites cuves de plomb posées sur les plaques photographiques manifestent ce phénomène.

L'interposition des corps absorbants, substituant au rayonnement pénétrant un rayonnement secondaire, peut être comparée à l'interposition d'un écran fluorescent sur le trajet de rayons excitateurs invisibles; l'écran rend visible leur présence en leur substituant des rayons lumineux.

L'expérience de M. Villard a montré ce fait important qu'on pouvait, en prolongeant la pose, obtenir sur une plaque photographique la trace de rayons dont on n'avait observé jusque-là que les effets de pénétration et de transformation.

Encore est-il probable que, dans cette expérience, les effets secondaires provoqués par les rayons pénétrants sur

le verre de la plaque jouent un rôle important dans l'impression.

J'ai répété plus tard l'expérience de M. Villard en la modifiant de la manière suivante : deux plaques photographiques superposées ont été placées verticalement, sans être enveloppées de papier noir, dans le champ magnétique d'un aimant permanent. Deux blocs d'étain limitaient un large faisceau issu de la petite cuve linéaire contenant du radium et couverte d'aluminium, dont il a été question plus haut, et une petite plaque de plomb était disposée sur le trajet des rayons non déviables. Les diverses pièces métalliques étaient collées sur une lame de verre et pressées contre la couche sensible de la première plaque. L'impression sur la première plaque est conforme à la description que M. Villard a faite de son expérience ; le faisceau dévié est séparé du faisceau non déviable. On remarque incidemment que ce dernier faisceau donne des ombres projetées des écrans qu'il rencontre.

On observe en outre que le faisceau non déviable est bordé de deux lignes noires fines (fig. 65, Pl. XI).

Au delà de la lame de plomb ces lignes s'expliqueraient par la diminution d'intensité de la partie centrale à la suite de l'absorption par la lame de plomb, mais cette explication ne convient pas pour rendre compte de la présence de ces bordures plus noires dans le voisinage des blocs d'étain et avant que le faisceau non déviable ait rencontré la lame de plomb. Entre les deux blocs d'étain ce sont des effets secondaires du métal. Au delà on pourrait les attribuer à des rayons émis tangentiellement par les surfaces métalliques, cependant l'obliquité de l'une des lignes

n'autorise pas à formuler sans réserves cette hypothèse.

Un des points intéressants de cette nouvelle expérience est l'impression obtenue sur la deuxième plaque, au travers du verre de la première qui a $1^{\text{mm}},5$ d'épaisseur. Les rayons déviables n'ont produit aucune action, mais les rayons non déviables ont donné une trace notablement plus intense que sur la première plaque, avec deux lignes plus noires sur les bords du faisceau rectiligne divergent (fig. 66, Pl. XI). Cet effet est dû aux rayons secondaires excités par les rayons pénétrants sur la face de sortie du verre en contact avec la seconde plaque photographique.

Sous l'incidence presque rasante les rayons qui font leur impression à l'extrémité de la seconde plaque photographique ont ainsi traversé près de deux centimètres de verre.

Cette expérience est importante parce qu'elle sépare les effets secondaires produits, d'un côté, par le rayonnement déviable, et, de l'autre, par le rayonnement très pénétrant non déviable.

Antérieurement j'avais réalisé d'autres expériences qui ont été également instructives.

La première a consisté à placer sur une plaque photographique, enveloppée de papier noir, le petit bloc de plomb contenant la matière active réunie dans une fente linéaire et qui avait servi à diverses expériences depuis près d'un an (du 27 mars 1900 au 12 février 1901). Ce bloc avait les dimensions suivantes : $34^{\text{mm}},5 \times 21^{\text{mm}},2$ de base sur $7^{\text{mm}},5$ de haut. La rainure avait $1^{\text{mm}},64$ de profondeur, 1 millimètre de large sur $20^{\text{mm}},5$ de longueur; la matière active était rassemblée au milieu sur 10 millimètres de longueur environ

L'épreuve développée au bout de 2 jours et reproduite (fig. 63, Pl. X) montre la trace rectangulaire de la base du bloc produite par le rayonnement secondaire, ainsi que des impressions dues à des rayons émis, soit par la source soit par les faces latérales du parallélépipède de plomb. Il semble que l'impression soit principalement due à des rayons secondaires, car les rayons directs filtrés par une épaisseur de 1 centimètre de plomb doivent être trop pénétrants pour impressionner la plaque photographique.

On a donc ainsi un moyen d'isoler, par filtration au travers d'une grande épaisseur de métal, des rayons extrêmement pénétrants, qui n'impressionnent pas directement une plaque photographique; mais on pourra cependant les recueillir en les recevant sur une lame absorbante qui les arrête partiellement et sur laquelle ils provoquent des phénomènes secondaires révélant leur présence.

On réalise ainsi une expérience paradoxale qui consiste à n'observer d'action que sous des écrans opaques qui sembleraient au contraire devoir protéger les plaques photographiques.

De nombreuses expériences de transformation de ces radiations avec divers métaux ont été ainsi réalisées. On en citera seulement quelques-unes.

Trois plaques photographiques, superposées, la gélatine en dessus, ont été enveloppées de papier noir. Sur la face supérieure, du côté de la gélatine de la plaque supérieure, on a posé d'abord une très mince feuille de mica, puis une lame mince d'aluminium, de $0^{\text{mm}},1$ d'épaisseur, puis couvrant en partie celle-ci, une bande de plomb de 1 millimètre d'épaisseur, et enfin en croix sur la bande

de plomb le petit bloc contenant la matière active (fig. 26). L'épreuve fig. 64, Pl. X (A. 16-2-01) développée au bout de 48 heures a montré diverses particularités importantes. Non seulement la silhouette de la base du bloc, qui était à plus de 1 millimètre de la plaque, est apparue avec une impression uniforme intense, mais encore la silhouette de la bande de plomb, avec une intensité un peu moindre et enfin avec une intensité encore moindre la région couverte par l'aluminium.

On remarquera que la silhouette de la lame de plomb se détache en plus clair sur celle de la base du bloc, ce qui montre qu'elle est produite par des rayons plus pénétrants que ceux qui ont excité le rayonnement secondaire du bloc de plomb. Les rayons les moins pénétrants ont en effet été arrêtés par ce dernier. Sous ces écrans l'impression est plus forte qu'en dehors. Le rayonnement secondaire a traversé le mica, ce qui exclut l'hypothèse d'une action due à des vapeurs métalliques.

Les deux bords de la bande de plomb, le bord de la lame d'aluminium parallèles à la direction de la source lumineuse projettent des ombres qui apparaissent en blanc sur la figure. Ces bords interceptent le rayonnement direct car l'ombre de l'un d'eux se voit au travers de la lame d'aluminium. Les rayons directs qui provoquent le rayonnement secondaire de l'aluminium ont donc été arrêtés par le bord de la bande de plomb. Les faces des dièdres verticaux aux quatre angles du petit bloc parallépipède projettent aussi des ombres qui traversent l'aluminium. Ces ombres se voient également dans l'épreuve précédente.

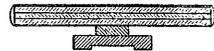


Fig. 26.

Si l'on examine les autres plaques photographiques qui ont été impressionnées au-dessous de la première, on retrouve sur la seconde les mêmes silhouettes beaucoup plus diffuses et les ombres portées plus étendues. Sur la troisième plaque les silhouettes ont à peu près disparu pour faire place à une impression intense due à des rayons très pénétrants qui se transforment à la sortie du verre de la deuxième plaque.

Les parties métalliques atteintes par le rayonnement dans le voisinage de la source émettent donc un rayonnement secondaire assez intense et assez pénétrant pour traverser deux lames de verre de $1^{\text{mm}},6$ environ d'épaisseur chacune.

L'expérience suivante a donné des épreuves très intéressantes. On a enveloppé de papier noir deux plaques photographiques 18×24 superposées. Sur la face supérieure de l'une d'elles, du côté de la gélatine, on a posé une lame de mica très mince, puis une lame de plomb de $1^{\text{mm}},08$ d'épaisseur découpée suivant la forme indiquée ci-contre (fig. 27), et divers morceaux de plomb; enfin dans la région centrale de cette lame de plomb, on a posé la petite cuve dont il a été question dans les expériences précédentes (1). La source était en outre recouverte d'une petite bande de plomb contournée qui venait ensuite reposer sur le mica comme les autres lames de plomb.

Les deux épreuves, développées au bout de 48 heures,

(1) La partie de la figure 27 qui représente à part la petite cuve contenant la matière active, n'est pas à la même échelle que la plaque de plomb découpée.

ont été particulièrement belles et intéressantes. Sur la première plaque (fig. 69, Pl. XII, A 18-2-01), on observe d'abord que la silhouette des lames de plomb est marquée par une impression secondaire, intense dans le voisinage de la source, impression qui va en s'affaiblissant graduellement à mesure qu'on s'éloigne de la source. Cet effet est dû surtout à ce que le rayonnement oblique est obligé de traverser des épaisseurs de plomb de plus en plus grandes avant d'exciter les radiations actives à la sortie. Cet affaiblissement s'observe particulièrement en h

Les bords des lames de plomb présentent deux effets inverses : du côté qui ne reçoit pas le rayonnement on observe des ombres portées d'autant plus larges

que le rayonnement qui atteint la plaque en ces régions est plus oblique, telles sont les ombres observées sous forme de bandes blanches en $a_2, d_2, f_2, g_1, g_2, h_1, h_2, l_2$. Les bandes blanches l_2, h_1, h_2 pénètrent même dans l'intérieur des projections des lames de plomb, montrant que les bords font l'office d'écrans qui interceptent le rayonnement direct, et, par suite, suppriment, dans les ombres portées, le rayonnement secondaire qui produit les impressions étudiées.

Du côté où ils reçoivent le rayonnement, les bords des lames sont le siège d'une impression plus intense que sous les autres parties de ces lames, de sorte que ces bords

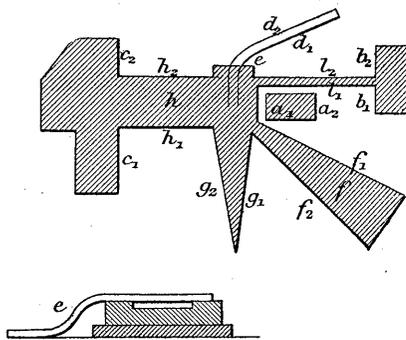


Fig. 27.

présentent des bandes noires estompées vers l'intérieur des lames. Tels sont les maxima observés en a_1 , b_1 , b_2 , c_1 , c_2 , d_1 , f_1 . L'explication de ce fait est simple : Les rayons très pénétrants qui rencontrent la lame en A près du pied du bord ont à traverser une très faible épaisseur de matière, ils sont à peine affaiblis et provoquent sur place un rayonnement secondaire intense, en A (fig. 28), les rayons

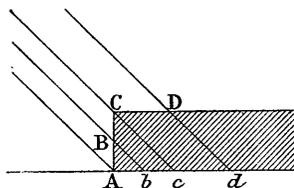


Fig. 28.

qui pénétrèrent en B auront à traverser une épaisseur d'autant plus grande que B sera plus voisin de C et ils donneront en b un rayonnement secondaire provoqué par des rayons plus pénétrants, ou par des rayons affaiblis, et, en tous cas, ce rayonnement sera moins absorbable que celui

qui est produit en A ; l'impression photographique sera donc moins intense, et l'impression sous la lame ira en décroissant de A à C. A partir de C tous les rayons obliques donneront une impression qui sera uniforme si l'obliquité est constante, et qui ira en décroissant comme en h , si l'obliquité est croissante.

En e (fig. 27) le maximum observé est dû à ce que le rayonnement filtré par le bloc de plomb rencontre la bande de plomb en dessous du côté qui est tourné vers la plaque.

Si maintenant on examine la deuxième plaque qui a été impressionnée au-dessous de la première, c'est-à-dire au travers d'une lame de verre de 2 millimètres d'épaisseur, on voit que toute la plaque est comme voilée par le rayonnement secondaire excité sur le verre de la première plaque. Sur ce voile général faible, se détachent en clair

toutes les ombres portées de l'épreuve ci-dessus h_1, h_2, l_2 ; toute la plaque d_1, d_2 dans l'ombre portée par e ; f_1, f_2 , ainsi que g_1, g_2 .

Au-dessous de la source elle-même l'impression est excessivement intense, elle se prolonge faiblement au milieu des projections des diverses lames montrant que celles-ci n'ont pas arrêté tout le rayonnement incident ou que les rayons émis par les lames de plomb ont traversé en partie le verre. Cette pénétrabilité des rayons secondaires se rencontre surtout dans les rayons émis par le bloc lui-même qui reçoit et transforme le rayonnement le plus intense; la silhouette de la base de ce bloc se devine dans la partie la plus intense; cependant la régularité de la répartition du maximum d'intensité autour de la source est telle qu'on doit attribuer la majeure partie de cette impression intense à des rayons émis directement par la source, filtrés par le plomb, et transformés par le verre de la première plaque.

On peut vérifier par d'autres expériences l'exactitude des conclusions développées ci-dessus. Par exemple, si l'on dépose sur une plaque photographique, enveloppée de papier noir et couverte d'une feuille de mica, une lame prismatique de plomb d'un très petit angle et qu'on fasse tomber sur celle-ci des rayons du radium filtrés par une épaisseur notable de métal, on constate le décroissement progressif de l'intensité du rayonnement secondaire de la face inférieure à mesure que l'épaisseur de la lame augmente.

Nous n'avons parlé jusqu'ici que du rayonnement pénétrant filtré par le plomb. Les mêmes phénomènes se

produisent avec le rayonnement filtré au travers du cuivre ou d'autres métaux.

On peut encore étudier à la fois le rayonnement excité sur les deux faces de lames de verre, de métaux divers ou d'autres substances, en plaçant celles-ci entre deux plaques photographiques dont les gélatines sont toutes deux tournées vers l'intérieur, et en excitant ce système au travers du verre de l'une des plaques. Le rayonnement secondaire excité sur la face des lames exposée au rayonnement incident donne une action photographique plus intense que celui qui est excité sur l'autre face.

Il résulte de ces expériences que le verre qui sert de support à la gélatine des plaques photographiques joue un rôle important dans les impressions obtenues.

J'ai répété des expériences semblables aux précédentes avec l'uranium et le thorium. On a posé sur des plaques photographiques, enveloppées ou non enveloppées de papier noir, des lames de plomb sur lesquelles reposaient des morceaux d'uranium métallique, ou une cuve d'étain dont le fond avait plus de 1 centimètre d'épaisseur, et qui contenait de l'oxyde de thorium. Les impressions ont été semblables à celles qu'on obtient, avec une pose courte, au travers du fond des petites cuves de plomb contenant du radium.

La pose a été de 19 jours pour l'uranium et de 22 jours pour le thorium. Des rayons pénétrants ont donné une silhouette des corps actifs au travers du métal, mais les écrans métalliques et la base de la cuve se détachent en clair sur le fond voilé par les rayons directs ou secondaires, suivant les conditions des expériences.

Une feuille de mica partiellement interposée entre les lames de plomb et la plaque photographique apparaît en clair sous la totalité de l'écran métallique, montrant l'existence de rayons très faibles émis par les surfaces de plomb traversées. La faible intensité du rayonnement incident et par suite la faiblesse des radiations transformées semblent la cause pour laquelle on n'obtient pas d'impression notable sous la totalité des écrans, comme cela se produit avec le radium dans les expériences qui précèdent. L'apparence est la même qu'avec les petites cuves de plomb contenant du radium et posées pendant quelques instants sur les plaques photographiques (fig. 35 et 36, Pl. VI). Les radiations secondaires excitées par les rayons qui ont traversé le plomb sont trop peu intenses pour donner, dans ces conditions, une impression appréciable.