

L'ionisation de l'air par la lumière ultra-violette

Par E. BLOCH

[École normale supérieure. — Laboratoire de physique.]

1. **L'effet Hertz.** — L'effet photoélectrique découvert par M. Hertz, en 1888, au cours de ses célèbres recherches sur les oscillations électriques, a été l'objet, depuis cette époque, d'un très grand nombre de travaux. Cet effet consiste, comme on sait, en ce que la lumière ultraviolette est capable de décharger beaucoup de conducteurs chargés d'électricité négative, alors qu'elle est sans action sur les corps chargés positivement. Parmi les corps les plus sensibles, il faut citer les métaux fraîchement polis, en particulier le zinc et l'aluminium. Les solutions de couleurs d'aniline dans l'eau sont également très photoélectriques. Au contraire, l'eau et les solutions de sels métalliques dans l'eau ne le sont pas¹. Les métaux sont d'autant plus photoélectriques qu'ils sont plus électropositifs. Aussi les métaux alcalins le sont-ils à un degré extrême; ils perdent même leur charge négative, comme l'ont trouvé Elster et Geitel, sous l'influence des radiations du spectre visible. Enfin, en dehors des métaux, beaucoup d'autres substances sont nettement photoélectriques: ainsi les oxydes métalliques, le noir de fumée, la glace, etc.

La nature de l'effet photoélectrique a été élucidée définitivement par Lenard en 1900. Ce savant a montré que l'effet existe même dans le vide le plus

1. Telle est du moins l'opinion des auteurs les plus connus.

avancé; et, dans ces conditions, la perte d'électricité négative a lieu sous forme de *rayons cathodiques*. Il a pu montrer que ces rayons ont toutes les propriétés des rayons ordinaires des ampoules de Crookes: ils sont capables de provoquer la fluorescence d'une foule de substances, ils subissent la déviation magnétique et électrique, le rapport $\frac{e}{m}$ de la charge d'un corpuscule à sa masse est le même que dans les ampoules de Crookes. Ainsi la radiation qui frappe le conducteur photoélectrique a pour effet d'en faire sortir des électrons si le métal est chargé négativement: ceux-ci sont alors projetés avec une vitesse très grande qui augmente encore par l'action du champ. Si le conducteur est primitivement neutre, les électrons en sortent encore avec une vitesse de l'ordre de 10^8 , qui est celle dont ils étaient animés à l'intérieur même du conducteur. Mais, en même temps, le conducteur soumis à la radiation se charge positivement jusqu'à un potentiel de l'ordre de 2 volts. Dès lors le champ antagoniste qui existe au voisinage du conducteur s'oppose à la sortie des électrons, et, pour tout potentiel positif supérieur à celui-là, aucune décharge n'a lieu par effet de la lumière.

Les électrons libérés par la radiation traversent généralement un gaz à leur sortie du conducteur photo-

électrique. Si ce gaz est sous pression élevée et si le champ électrique n'est pas trop grand, les corpuscules se transforment dans le gaz en ions négatifs ordinaires, lui communiquant ainsi la remarquable conductibilité unipolaire qui, dès l'origine, a fait l'objet des travaux de Hallwachs, Stolztow, Righi, etc. Si au contraire la pression est plus faible et le champ électrique assez intense, les corpuscules ou ions négatifs, en mouvement rapide dans le gaz, peuvent en provoquer l'ionisation par chocs. La conductibilité cesse dès lors d'être unipolaire et prend les caractères bien connus qui annoncent la décharge disruptive : c'est ce qu'ont montré les travaux de v. Schweidler, Townsend, etc.

2. **L'effet Lenard. Historique.** — L'année même où Lenard élucidait, d'une manière qui semble définitive, la nature de l'effet photoélectrique de Hertz, il découvrait un phénomène nouveau, l'*ionisation des gaz par la lumière ultra-violette de très petite longueur d'onde*¹. Cette conductibilité, très notable, puisqu'un électroscope ordinaire à feuilles d'or est déchargé en quelques instants, est surtout sensible sous l'influence des sources d'ultra-violet qui émettent en grande quantité les radiations de longueurs d'onde comprises entre $0^{\mu},1$ et $0^{\mu},2$, voisines de celles qui ont été étudiées par Schumann. Ces radiations sont, comme on sait, facilement absorbées par l'air. Cependant avec des étincelles jaillissant entre pointes d'aluminium, Lenard a obtenu des effets nets jusqu'à 50 centimètres de distance.

En même temps que des ions positifs et négatifs, la radiation crée aussi : 1° des centres de condensation très actifs pour la vapeur d'eau; 2° de l'ozone. La condensation de la vapeur d'eau est tellement facilitée que, comme l'ont trouvé bien des expérimentateurs, elle peut avoir lieu en présence de vapeur simplement saturante².

Au cours de ses expériences, Lenard a réussi à déterminer l'ordre de grandeur des mobilités des ions qui donnent au gaz sa conductibilité. Il est arrivé à ce résultat remarquable, que les ions négatifs ont des mobilités relativement fortes, voisines de celles des petits ions (ions des rayons de Röntgen, du radium, etc.), alors que les ions positifs ont des mobilités très faibles, de l'ordre de celles des gros ions (ions du phosphore, des gaz de la flamme, etc.)³. Cette anomalie singulière suggère immédiatement l'hypothèse suivante pour l'explication de l'effet Lenard.

La radiation, agissant sur les particules photoélectriques en suspension dans le gaz, en fait sortir des corpuscules négatifs, pendant que les particules elles-mêmes, prenant une charge positive, deviennent de

gros ions à faible mobilité. Les corpuscules émis, s'entourant par attraction électrostatique de molécules neutres de gaz, deviennent eux-mêmes de petits ions à grande mobilité, comme dans le cas de l'effet Hertz dans un gaz à la pression ordinaire. Si cette manière de voir est exacte, l'effet Lenard ne serait donc qu'un cas particulier de l'effet de Hertz. Cette hypothèse est si naturelle qu'elle est venue à l'esprit de Lenard lui-même, qui l'énonce et la discute dans ses mémoires. Les raisons qui la lui font rejeter ne paraissent pas absolument convaincantes, et le professeur J.-J. Thomson, dans son livre sur la conductibilité des gaz⁴, ne les considère pas comme telles. Il se rallie au contraire à l'explication par les poussières telle qu'elle a été énoncée ci-dessus.

Néanmoins, des expériences directes sur ce sujet paraissent utiles. M. Langevin⁵, au cours de ses recherches sur l'ionisation de l'atmosphère, a été conduit à en faire quelques-unes. Se servant d'une méthode de courant gazeux, il a été amené à conclure au rôle prépondérant des poussières dans le cas où la source employée est un arc au charbon. Il a réussi aussi à créer, en quelque sorte, un effet Lenard artificiel, en semant dans l'air de l'aluminium en poudre. J'ai tenu à reprendre complètement la question pour les raisons suivantes : l'effet de l'ultra-violet n'est produit, selon Lenard, que par les radiations de très petites longueurs d'ondes; par exemple, les étincelles entre pointes de magnésium, source par ailleurs très actinique, n'exercent leur action qu'à 7 centimètres au plus. Il était donc nécessaire de se servir des sources mêmes qui, selon Lenard, sont le plus actives.

D'autre part, les méthodes de courant gazeux ont besoin d'être contrôlées par des méthodes où l'air reste immobile, l'effet disparaissant avec le temps, suivant l'expression même de Lenard « avec une extraordinaire rapidité ». En fait, Lenard a utilisé surtout les étincelles entre pointes d'aluminium et a étudié leur effet sur l'air immobile. J'ai tenu à me conformer le plus possible à cette technique, en la combinant, d'ailleurs, avec d'autres méthodes.

Les nouvelles expériences qui vont être exposées paraissent d'autant plus justifiées que, tout récemment, J. J. Thomson⁵ a annoncé avoir retrouvé l'effet Lenard. Cet effet serait intercepté par 2 millimètres d'air et n'aurait, d'ailleurs, qu'une valeur très faible, puisque la conductibilité prise par l'air serait 8 fois celle de l'air ordinaire. Sans rien préjuger de ces résultats, on peut dire que ce nouveau phénomène ne peut avoir aucun rapport direct avec celui que Lenard a étudié. Ce dernier, en effet, s'étend dans l'air jusqu'à 50 centimètres, et il est intense, puisqu'il suffit

1. LENARD, *Ann. de Phys.* 4-486 et 3-298-1900.

2. Voir en particulier C. T. R. WILSON, *Phil. Trans.*, 192-405-1899. — VINCENT, *Proc. Camb. Phil. Soc.*, 42-505-1904.

3. E. BLOCH, *Ann. Phys. Chim.*, 4-25-1905, *J. Phys.*, 4-760-1905.

4. J. J. THOMSON, *Conductivity of Gases*, p. 254, 2^e édition.

5. LANGEVIN, *Séances Soc. de Phys.*, 4^e fasc., 81-1905.

5. J. J. THOMSON, *Proceedings of Cambridge Phil. Soc.*, mars 1908.

à décharger en un temps très court un électroscope ordinaire à feuilles d'or. C'est de celui-là seul que nous nous occuperons.

3. Expériences nouvelles¹. — Les sources d'ultra-violet utilisées ont été : 1° l'étincelle fortement condensée jaillissant entre tiges d'aluminium ; 2° l'arc au mercure de Heræus à ampoule de quartz fondu. La première source est celle que Lenard indique comme étant la plus active ; la seconde est connue aussi pour la puissance de son rayonnement ultra-violet. Les expériences n'ont porté ni sur la production d'ozone, ni sur celle de noyaux de condensation

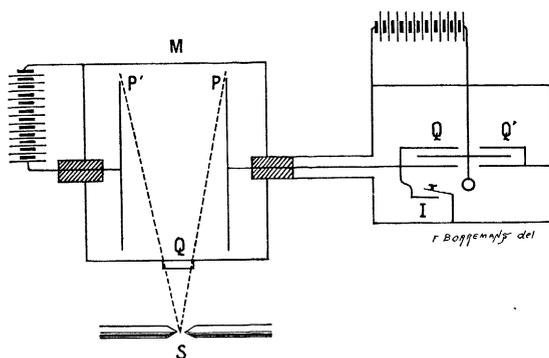


Fig. 1.

de la vapeur d'eau ; ce sont là des faits incontestés et qui, comme on le verra, paraissent indépendants de la formation d'ions positifs et négatifs, seul objet de mes recherches.

Une partie des expériences a porté sur l'air immobile. Celui-ci est contenu dans une boîte métallique M d'assez grandes dimensions, que l'on peut clore avec un couvercle et qui porte, à sa partie antérieure, une fenêtre carrée de 55 millimètres de côté, fermée par une lame de quartz (de 1 à 2 millimètres d'épaisseur). Dans la boîte sont placés deux plateaux métalliques carrés de 25 centimètres de côté environ, distants de 25 centimètres. Ces plateaux sont isolés à l'ébonite et comprennent entre eux presque tout le volume intérieur de la boîte. Il est nécessaire, en effet, de soumettre au rayonnement un volume d'air notable, si l'on veut avoir des effets intenses. La source d'ultra-violet S est placée à quelques centimètres de la fenêtre Q et peut être démasquée ou mise en marche à un moment quelconque.

L'un des plateaux P est relié à la paire de quadrants Q d'un électromètre Curie sensible (1000 div. par volt), dont l'autre paire de quadrants Q' est au sol ; la boîte M est également au potentiel 56 volts. Le plateau P' est chargé au moyen d'une batterie d'accumulateurs ainsi que l'aiguille de l'électromètre et la paire de quadrants Q peut être isolée à volonté avec

1. Voir E. Bloch, *C. R.*, 146-892-1908.

l'interrupteur électromagnétique I. Le courant décelé par l'électromètre lorsqu'on isole la paire de quadrants Q mesurera la conductibilité de l'air dans la boîte M.

La source d'ultra-violet S étant placée à quelques centimètres (5 au moins) de la fenêtre Q, les résultats suivants ont été observés :

1° Quand la boîte M vient d'être fermée et renferme par suite des poussières, l'ultra-violet y produit un courant notable mais rapidement affaibli. Souvent, en moins d'une minute, le courant s'est pratiquement annulé. Il est nécessaire pour cela que les parois de la boîte M et les deux plateaux P et P' soient rendus non photoélectriques. A cet effet, il suffit de les noircir, puis de les couvrir d'une mince couche de suif. Cette substance est, parmi les corps dont la conductibilité est encore suffisante, celle qui m'a donné les meilleurs résultats ; elle supprime pratiquement l'effet Hertz si la source n'est pas trop rapprochée pour introduire de perturbations par suite de ses propriétés isolantes¹. A titre d'exemple, j'indiquerai que le courant initial est du même ordre que celui que provoque dans la boîte un échantillon de radium d'activité 1000 agissant à travers le couvercle (zinc de 1 millimètre) : ce courant tombe rapidement à moins de 1/60^e de sa valeur. Les potentiels employés pour produire le champ sont de quelques centaines de volts. Le résultat est indépendant du signe des ions recueillis.

2° Si l'on insuffle dans la boîte M de l'air non filtré, ou si l'on rouvre un instant la boîte, les mêmes phénomènes se reproduisent. Si l'on insuffle dans la boîte de l'air filtré sur coton, la conductibilité ne reparait pas. On peut même faire disparaître ainsi une conductibilité préalablement existante. Je n'ai pas cherché à dessécher complètement l'air, mais j'ai opéré avec de l'air d'humidité très variable ; les résultats sont restés du même ordre.

Ces seules expériences faites sur l'air immobile et avec la source d'ultra-violet employée par Lenard comme étant la plus active, me paraissent, à elles seules, mettre hors de doute l'influence prépondérante des poussières.

J'ai cru utile cependant de reprendre des expériences de courant gazeux pour obtenir l'ordre de grandeur des mobilités. La source S (fig. 2) illumine maintenant à travers la fenêtre de quartz Q l'air contenu dans une caisse métallique M dont les parois sont rendues non photoélectriques par le procédé indiqué plus haut. Un courant gazeux entraîne cet air dans un condensateur cylindrique C où la conductibilité est mesurée à la manière habituelle au moyen de l'électromètre. C'est l'électrode servant d'armature intérieure au condensateur qui recueille les charges et

1. D'autres substances, telles que le collodion ou certains liquides organiques, sont plus efficaces que le suif, mais d'un emploi moins commode ou entraînant des perturbations.

peut être isolée au moment de la mesure. On constate avec cet appareil :

1° Que si l'air insufflé n'est pas filtré, l'illumination lui communique une conductibilité très notable ;

2° Que si l'air que l'on insuffle est filtré sur coton, cette conductibilité devient pratiquement nulle.

Ces résultats sont indépendants du signe de la charge recueillie. Si l'on charge le condensateur C à un po-

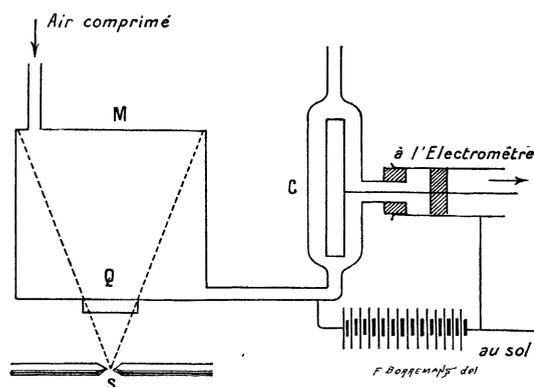


Fig. 2.

tentiel croissant, les courants recueillis augmentent, mais sont difficiles à saturer, *quel que soit le signe des ions recueillis* et malgré la capacité assez élevée du condensateur. Il s'agit donc de *gros ions des deux signes*. Ce fait n'est pas entièrement d'accord avec les résultats de Lenard qui, dans son montage a obtenu des gros ions *positifs seulement*. Il est probable que, dans mes expériences, qui portent sur des courants gazeux à débit modéré, les petits ions négatifs libérés dans le gaz par suite de l'effet Hertz sur les poussières, ont eu le temps de se diffuser en grande partie vers des poussières neutres, les transformant ainsi en gros ions. Quoi qu'il en soit, l'influence des poussières n'est pas plus contestable ici que dans les expériences portant sur l'air au repos.

Dans toutes les expériences qui précèdent la source de lumière ultra violette était placée à 5 centimètres au moins de la fenêtre de quartz. Si l'on cherche à diminuer cette distance, l'effet Hertz sur les parois de la boîte, même enduites de suif, commence à se faire sentir, à cause de l'intensité des sources utilisées. Pour tourner cette difficulté, j'ai fait une série d'expériences en interposant entre la source S et la boîte M un tube métallique de 55 millimètres de large et de 5 centimètres de long, fermé par deux lames de quartz mince et contenant de l'hydrogène pur et sec. La source de lumière n'est qu'à 5 millimètres de la lame antérieure, ce qui oblige à établir autour du tube une circulation d'eau pour éviter un échauffement trop fort. La radiation ne traverse donc que 5 millimètres d'air, puis de l'hydrogène qui est, comme on sait, très transparent à l'ultra-violet extrême. Malgré cela, les résultats sont restés les mêmes. Il ne sont donc pas

attribuables à la trop grande épaisseur d'air traversée précédemment.

Il me semble donc permis de conclure que *l'effet de l'ultra-violet sur l'air, tel qu'il a été observé par Lenard, est dû, au moins pour la plus grande part à la présence dans l'air de particules photoélectriques.*

Il aurait été intéressant, pour compléter les expériences précédentes, de réaliser encore celle-ci : l'air débarrassé de ses poussières par filtration sur du coton ne présente plus l'effet Lenard ; peut-on faire réapparaître cet effet en remettant en suspension *dans cette même masse d'air* des poussières neutres ? La raison qui m'a empêché de réaliser cette expérience d'une façon nette est la suivante : lorsqu'on cherche à mettre en suspension dans un gaz des poussières électriquement neutres, on n'y réussit pour ainsi dire jamais. J'ai essayé diverses poussières (aluminium, émeri, etc.) et divers modes de pulvérisation (barboteur, ventilateur, etc.). La charge spontanée prise par les poussières au moment de leur introduction dans le gaz, m'a toujours empêché d'étudier l'influence de l'ultra-violet sur la conductibilité du gaz, en masquant cette dernière influence. Ce fait n'est pas d'ailleurs sans présenter quelque intérêt. On sait, en effet, depuis les recherches de M. Langevin¹, que l'air renferme des gros ions en proportion beaucoup plus forte que les petits ions. La mise en suspension dans l'air de toute poudre solide, par l'action du vent par exemple, me paraît être l'une des causes les plus importantes de production de ces gros ions.

Je terminerai en signalant l'intérêt que peuvent présenter des expériences comme les précédentes dans l'étude de l'électricité atmosphérique. Cette étude comporte non seulement la recherche des causes de production et de la répartition de l'ionisation atmosphérique, mais encore celle de la distribution du champ terrestre et de la production des nuages. Il serait incorrect, comme on avait tenté de le faire dans les débuts, de ne tenir compte, dans l'explication de ces phénomènes, que des petits ions. Si les radiations ionisantes produisent dans l'air de petits ions, les flammes, et, comme on vient de le voir, le vent ou la lumière solaire libèrent surtout des gros ions. L'équilibre qui s'établit entre ces deux espèces de centres et les poussières neutres correspond à une proportion tout à fait prépondérante de gros ions. Les théories devront en tenir compte, en particulier les théories sur la condensation de la vapeur d'eau dans les hautes régions de l'atmosphère, où l'ionisation à laquelle on fait appel est le plus souvent celle que provoque la lumière ultra-violette du soleil, et présente par suite les caractères qui ont été étudiés dans ce travail.

[4 août 1908.]

1. LANGEVIN, C. R. 140-252-1905. — *Société de physique, loc. cit.*