



HAL
open science

Recherches sur les centres électrisés de faible mobilité dans les gaz

Maurice de Broglie

► **To cite this version:**

Maurice de Broglie. Recherches sur les centres électrisés de faible mobilité dans les gaz. J. Phys. Theor. Appl., 1909, 8 (1), pp.869-888. 10.1051/jphystap:019090080086900 . jpa-00241504

HAL Id: jpa-00241504

<https://hal.science/jpa-00241504>

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**RECHERCHES SUR LES CENTRES ÉLECTRISÉS DE FAIBLE MOBILITÉ
DANS LES GAZ ;**

PAR M. MAURICE DE BROGLIE.

La théorie de l'ionisation des gaz est à présent devenue trop classique pour qu'il soit nécessaire d'en exposer ici les principes et les conséquences. Aussi rappellerons-nous seulement que les centres électrisés qui constituent les véhicules de l'électricité dans les gaz rendus conducteurs par les radiations des corps actifs et les rayons de Röntgen, possèdent une *mobilité*, ou vitesse dans un champ de 1 volt par centimètre, qui atteint l'ordre du centimètre par seconde avec un léger avantage au profit des ions négatifs.

On conçoit généralement que ces ions sont produits par une désagrégation des molécules gazeuses, soumises soit à un bombardement corpusculaire, soit à une perturbation électromagnétique soudaine et intense. La molécule gazeuse serait alors scindée en deux parties contenant des charges égales et contraires autour desquelles vient se grouper par attraction électrostatique un cortège de molécules neutres ordinaires. On regarde aussi généralement le fragment positif comme renfermant presque toute la masse de la molécule primitive, tandis que le fragment négatif n'est qu'un corpuscule de masse au moins mille fois moindre ; mais le cortège moléculaire une fois formé donne à chaque ensemble des dimensions comparables et de l'ordre de quelques rayons moléculaires. On s'explique ainsi la presque égalité des mobilités à la température ordinaire. Nous désignerons avec M. Langevin, sous le nom de *petits ions*, cet ensemble, centre et cortège, se déplaçant dans un champ unité avec une vitesse d'environ 1 centimètre par seconde.

Une nombreuse série de cas d'ionisation : corps radio-actifs, rayons de Röntgen, rayons de Lénard et rayons canaux, phénomènes électro-optiques de Hertz, etc., fournit des petits ions de ce genre qui paraissent complètement identiques entre eux. Ce sont les plus importants et ce furent les premiers étudiés, surtout à cause des phénomènes de radioactivité et de l'intérêt qui s'est attaché aux rayons de Röntgen.

Cependant l'examen d'un certain nombre d'autres cas de conductibilité gazeuse montra qu'on avait alors affaire à des centres électrisés de mobilité d'un tout autre ordre de grandeur.

Les ions étudiés par M. Bloch dans l'air chargé de ce qu'on appelle l'*émanation du phosphore*, les centres électrisés qui donnent aux gaz de flamme leur énorme conductibilité, présentent une mobilité qui peut descendre jusqu'au $\frac{1}{300}$ de millimètre dans un champ de 1 volt par centimètre, et cette faible valeur de la mobilité, en rendant lentes la recombinaison et la diffusion, donne une stabilité relative à l'état conducteur de ces gaz.

M. Bloch, étudiant les ions émis par la flamme du gaz d'éclairage, a mesuré des mobilités décroissantes à mesure que le gaz se refroidit et qu'il vieillit. Ces mobilités tendent vers une limite qui est précisément de l'ordre de celle trouvée précédemment pour les ions du phosphore.

A ces cas d'ionisation, il faut ajouter les gaz récemment préparés par voie électrolytique ou chimique et ceux qui viennent d'être détendus ou de barboter dans des solutions salines.

Enfin, M. Langevin a signalé la présence, dans l'air atmosphérique normal, d'une conductibilité attribuable à des centres électrisés à mobilité de cet ordre et leur a donné le nom de *gros ions*, en indiquant qu'ils provenaient peut-être de l'évaporation incomplète de gouttelettes d'eau.

Avec l'hypothèse généralement admise, où l'on attribue à tous les ions la même charge électrique, la différence des mobilités ne peut tenir qu'à la différence des masses matérielles des centres.

On peut chercher à se faire une idée de leurs dimensions en employant la formule de Stokes, qui donne la vitesse de chute uniforme v d'une petite sphère de rayon a dans un milieu dont le coefficient de viscosité est σ :

$$\frac{4}{3} \pi a^3 g (D - d) = 6\pi\sigma av.$$

La validité de cette formule pour les très petits rayons a paru assez justement contestable. Mais des mesures récentes de M. Perrin, concernant la chute des granules colloïdaux de gomme-gutte, l'ont vérifiée pour des rayons de l'ordre de $\frac{1}{10}$ de micron.

On déduit alors de la formule que le rayon varie en raison inverse de la mobilité et que, en supposant la densité de l'ion voisine de l'unité, pour des mobilités de l'ordre de $\frac{1}{100}$ de millimètres (gros ions), le diamètre de l'ion vaudrait 10 $\mu\mu$.

Il n'est pas sans intérêt de remarquer ici que les évaluations qu'on a pu faire des dimensions les plus faibles de quelque chose de matériel, ont conduit à des chiffres de cet ordre. L'épaisseur limite des pellicules extrêmement minces d'huile sur l'eau, d'après les travaux de lord Rayleigh, Sohnke, Röntgen, Fischer, est de l'ordre de quelques μ . Il en est de même des pellicules solides minces, qui peuvent se former à la surface des liquides (Melsens, Ramsden, Devaux, Metcalf) et des parois des bulles de savon (Plateau, Drude, Reinold et Rücker).

En observant les couleurs qui se succèdent pendant l'amincissement d'une lame liquide, on arrive à une tache noire qui correspond à l'épaisseur minima compatible avec la cohésion de la membrane. On a tenté, par divers procédés, de mesurer cette épaisseur, dans laquelle on peut distinguer deux couches superficielles et une portion centrale. Toutes les mesures ont conduit à l'ordre de grandeur de quelques μ . Au delà de cette limite on verrait disparaître les propriétés de la matière au sens ordinaire du mot. Les recherches les plus récentes attribuent au diamètre moléculaire une valeur de l'ordre de $0,1$. Il s'ensuit que les épaisseurs les plus minces vaudraient une centaine de diamètres moléculaires et que les petites gouttes contiendraient au moins 10^6 molécules.

On a même pu prévoir l'ordre de grandeurs de ces résultats en partant de considérations relatives à l'énergie potentielle de capillarité d'une lame mince étirée indéfiniment, et en faisant l'hypothèse que cette énergie ne peut dépasser l'équivalent de la chaleur de vaporisation.

Les granules en suspension dans les solutions colloïdales et qu'on n'entrevoit qu'en employant des procédés de diffraction ultra-microscopiques ont des diamètres figurés par des nombres du même ordre.

D'autre part, nous avons vu que les petits ions sont regardés comme ayant une grosseur de l'ordre des dimensions moléculaires.

On peut se représenter les centres électrisés de faible mobilité comme une agglomération matérielle relativement considérable portant une charge égale à celle des petits ions ou de l'atome d'hydrogène dans l'électrolyse, soit $3,4 \cdot 10^{-10}$ unité électrostatique⁽¹⁾. S'il en est ainsi, on doit pouvoir reproduire de tels ions par l'union d'un centre matériel neutre de l'ordre de grandeur voulu et d'un petit ion.

(1) De récentes mesures tendent à faire adopter un nombre légèrement supérieur et voisin de $4 \cdot 10^{10}$ (Rutherford, Perrin, 1908).

C'est l'idée qui a servi de guide à la première partie des recherches qui suivront.

De pareilles conditions peuvent, en effet, être considérées comme réalisées dans les cas où la mesure des mobilités classe les centres électrisés parmi les gros ions.

Ainsi, l'air qui a passé sur du phosphore renferme des poussières visibles avec certaines précautions d'éclairage. Dans la plupart des flammes, il se forme des composés liquides ou solides qui se condensent dans le gaz refroidi. Enfin les phénomènes de barbotage et d'écrasement de gouttes que nous étudierons plus loin ne vont jamais sans une sorte de pulvérisation, qui peut fournir des centres matériels.

Quelle que soit l'origine de la charge électrique, les produits matériels, s'ils sont solides ou liquides, peuvent se condenser autour des petits ions qui leur serviraient de noyau, ou les attirer après coup à cause de leur charge électrique. Il est clair que dans ces conditions le noyau matériel, s'il est assez petit, n'aura guère de chances d'attirer plus d'un ion, puisque, déjà chargé une fois, il repousse les charges de même signe.

Nous donnons plus loin une théorie appropriée de ce mécanisme ; mais il faut remarquer ici que des expériences très nettes, dont nous allons donner le détail, ont permis de mettre directement en évidence l'existence de centres neutres susceptibles de se transformer en gros ions sous l'influence des petits ions du radium ou des rayons X, et fournissent ainsi une base solide à la conception qui vient d'être exposée.

I. — THÉORIE DE LA CHARGE DES CENTRES NEUTRES

Les expériences décrites dans ce travail nous conduiront souvent à envisager le cas d'un gaz où se trouvent à la fois des centres neutres en suspension et des petits ions. On peut imaginer qu'alors les particules neutres (que nous supposerons relativement grosses) attireront les charges électriques et tendront à les fixer.

M. Langevin, en signalant des ions de faible mobilité de l'air atmosphérique, a jeté les bases d'une théorie que nous allons exposer et qui permet précisément de prévoir ce qui se passera dans un pareil cas.

Considérons un gaz ne renfermant d'abord que des centres neutres

(tel, par exemple, que celui qui sort de la flamme du gaz d'éclairage et qui a passé dans un condensateur destiné à arrêter les centres chargés qu'il contenait). Soumettons-le à une radiation (rayons de Röntgen ou du radium) capable d'y produire de petits ions.

Soient, pour 1 centimètre cube du gaz :

M , le nombre total des gros centres présents ;

p et n , les nombres des petits ions (positifs et négatifs) maintenus dans le gaz par la radiation ;

P et N , les nombres des gros centres électrisés (positifs et négatifs) au moment de l'équilibre.

Pour calculer P et N , nous écrirons qu'au moment de l'équilibre, le nombre des centres neutres qui se chargent par rencontre avec des petits ions d'un certain signe, est égal au nombre des gros centres chargés du même signe, qui disparaissent pendant le même temps, par recombinaison soit avec un gros, soit avec un petit ion de signe contraire.

On aurait pour les ions positifs, par exemple, et pour l'augmentation de P :

$$(1) \quad dP = A [M - (P + N)]p,$$

en supposant que le nombre des rencontres soit proportionnel (avec un coefficient de proportionnalité A , qui dépend des mobilités) à la fois au nombre p des petits ions chargeants et au nombre $M - (P + N)$ des gros ions actuellement neutres.

L'équation indiquant la diminution de P s'écrira de même :

$$(2) \quad dP = BPn + \alpha PN,$$

α étant le coefficient de recombinaison des gros ions entre eux et B celui des gros ions positifs avec les petits ions négatifs.

En égalant ces deux expressions, nous aurons l'équation :

$$(3) \quad A [M - (P + N)]p = BPn + \alpha PN,$$

qui exprimera l'équilibre.

On peut remarquer que α , coefficient de recombinaison des gros ions entre eux, est certainement très petit devant B , coefficient de recombinaison des gros et des petits ions. Si l'on admet que les coefficients de recombinaison sont proportionnels à la somme des mobilités des ions en présence, on voit, en effet, que α sera proportionnel à

deux fois la mobilité des gros ions, et B à la somme des mobilités des gros et des petits ions, c'est-à-dire à un nombre plus de mille fois supérieur. On pourra donc négliger le second terme du deuxième membre de (3) devant le premier, tant que n ne sera pas trop petit, c'est-à-dire dès que l'ionisation en petits ions sera notable.

Supprimons donc αPN et faisons de plus $p = n$, ce qui est très sensiblement le cas de l'ionisation produite par les rayons de Röntgen et du radium. L'équation (3) devient :

$$(4) \quad M - (P + N) = \frac{B}{A} P \text{ pour les ions positifs,}$$

$$(4') \quad M - (P + N) = \frac{B'}{A} N \text{ pour les ions négatifs.}$$

Ces deux équations ne contiennent plus p ; elles expriment donc que le nombre des gros ions chargés tend à devenir indépendant de la radiation ionisante quand cette dernière devient considérable. Il s'établit un état d'équilibre qui détermine des valeurs limites de $\frac{P}{M}$ et $\frac{N}{M}$; on peut les tirer de (4) et (4').

L'ionisation d'un gaz contenant des gros centres neutres ou chargés (la théorie s'appliquerait aussi bien à ce dernier cas) prend donc, en présence d'une radiation telle que celle du radium ou des rayons de Röntgen, une valeur d'équilibre qui dépend *seulement* du nombre des gros centres.

Si le nombre des gros centres chargés dans le gaz antérieurement à la radiation était supérieur à cette limite, il sera réduit; s'il était inférieur, il devra augmenter.

Les équations (4) et (4') donnent $\frac{P}{M}$ et $\frac{N}{M}$ en fonction de A, A', B, B', c'est-à-dire des mobilités; ce qu'on sait de ces coefficients conduit à attribuer à $\frac{P}{M}$ et $\frac{N}{M}$ une valeur numérique de l'ordre de $\frac{1}{10}$.

Dans tout ce qui précède, nous avons supposé que le gaz restait suffisamment longtemps exposé à une radiation uniforme pour que l'équilibre soit établi; il peut très bien n'en être pas ainsi, le temps nécessaire à l'établissement de cet équilibre étant relativement considérable.

II. — DISPOSITIFS ET APPAREILS EMPLOYÉS.

Nous avons constamment employé, dans les expériences qui vont suivre, des condensateurs cylindriques dont l'armature intérieure recueille les ions et transmet leur charge à l'électromètre.

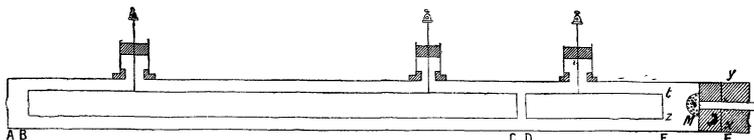


FIG. 1.

AB = 22 ^{cm} ,5	DF = 15 ^{cm} ,0	xy (int. 47 ^{mm} , ext. 50 ^{mm})	M, arrivée du gaz :
BC = 140 ,0	EF = 22 ,5	z (ext. 30 ^{mm} , int. 27 ^{mm})	ajutage en
CD = 1 ,0	AF = 201 ,5		pomme d'arrosoir.

$$\frac{b}{a} = 1,57; \quad \log \text{ nép } \frac{b}{a} = 0,45.$$

La *fig. 1* montre la disposition de ces instruments et donne les dimensions de l'un d'eux. A l'intérieur circulaient les gaz aspirés par une trompe à eau avec un débit qui pouvait atteindre 70 centimètres cubes par seconde : une tourie de 80 litres et deux manomètres à eau permettraient d'obtenir la constance du débit et d'en mesurer les variations.

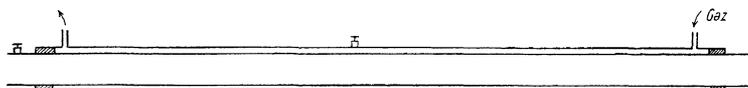


FIG. 2.

Condensateur d'arrêt.

Rayon du tube intérieur.....	13 ^{cm} ,00a	$\frac{b}{a} = 1,4;$	$\log \frac{b}{a} = 0,336.$
Rayon intérieur du tube extérieur.	21 ,00b		
Capacité par unité de longueur....	1 ,49		
Longueur totale.....	132		

Mobilités que ce condensateur peut arrêter avec 300 volts et un débit de 40 cm³ par sec. : 6×10^{-5} cm (gros ions : 3×10^{-4} cm).

Dans certaines expériences, il a été nécessaire d'arrêter les centres chargés en suspension dans le gaz ; nous avons employé dans ce but un condensateur cylindrique formé de deux tubes concentriques (*fig. 2*) assez longs pour qu'une différence de potentiels de 300 à

400 volts entre les armatures parvint à dépouiller le gaz de toute conductibilité.

L'électromètre employé est un électromètre Curie à amortissement par l'air, réglé de façon à donner pour 1 volt une déviation de 30 centimètres sur une échelle à 1 mètre.

Une paire de quadrants est reliée d'une façon permanente à la cage; l'aiguille est maintenue à un potentiel constant; l'autre paire de quadrants communique avec l'armature intérieure d'un des condensateurs cylindriques; elle est reliée primitivement à la cage et peut être isolée au moment des mesures (*fig. 3*).

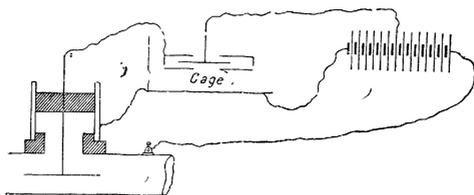


FIG. 3.

Pour fixer les idées sur les quantités d'électricité mises en jeu, nous dirons, par exemple, qu'avec l'un des condensateurs employés, 1 centimètre d'échelle correspondait à l'arrivée d'une quantité d'électricité égale à 0,04 unité C. G. S. électrostatique.

III. — CENTRES ÉLECTRISÉS PRODUITS PAR LE PASSAGE, DANS UN TUBE CHAUFFÉ AU ROUGE, D'UN MÉLANGE D'AIR ET D'UN GAZ COMBUSTIBLE.

Nous avons d'abord cherché à réaliser, par un appareil spécial, les conditions : combinaison chimique, haute température, formation de produits condensables, que réunissent les flammes usuelles et dont le résultat est de communiquer une forte conductibilité aux gaz qui en sortent avec des centres de mobilité faible. Pour cela, nous avons fait passer dans un tube chauffé au rouge un courant d'air mêlé de quelques bulles d'hydrogène ou de gaz d'éclairage.

Le dispositif expérimental comportait une colonne desséchante de 3 mètres de longueur, remplie de ponce sulfurique soigneusement préparée, puis une colonne de coton de 0^m,50 de longueur, des-

tinée à arrêter complètement les poussières de l'air, celles provenant du desséchant ainsi que toute trace de conductibilité gazeuse.

A la suite (*fig. 4*) venait un flacon mélangeur M contenant un peu d'acide sulfurique où plongeaient deux tubes de verre d'assez gros diamètre amenant, l'un l'air provenant du desséchant, l'autre le gaz à mélanger ayant subi une purification analogue à celle de l'air.

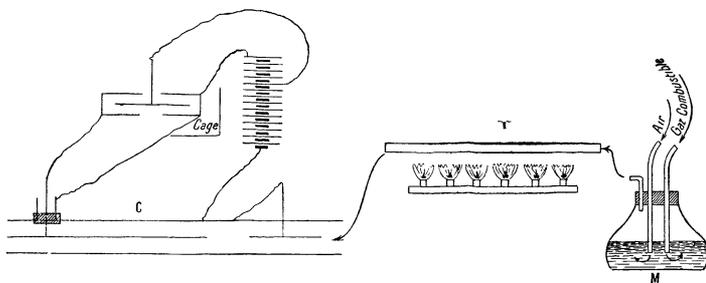


FIG. 4.

Dans ces conditions, l'influence ionisante du barbotage peut être considérée comme complètement évitée, ce dont il est facile, du reste, de s'assurer.

La quantité de gaz est évaluée par le nombre de bulles passant en une seconde (0,2 à 2 ou 3, suivant les expériences), et la constance de ce débit est contrôlée par un manomètre en dérivation du genre Töpler.

Le mélange gazeux est ensuite dirigé dans un tube T, en terre vernissée sur les deux faces, chauffé par une rampe à gaz ; de là, il traverse une certaine longueur de canalisation pour se refroidir et entre dans un long condensateur cylindrique C muni de plusieurs électrodes axiales isolées et pourvues d'anneaux de garde.

Ceci fait, il a encore fallu, avant d'arriver à des résultats tout à fait nets, éviter une cause d'erreur qui provient du tube chauffé. Si les parois de ce dernier ne sont pas absolument propres et sèches ou si une écaillage du vernis leur donne une porosité qui retient l'eau davantage, elles peuvent fournir longtemps, pendant la chauffe, des traces de vapeur d'eau qui introduisent un élément de perturbation dont je parlerai plus loin.

Marche d'une expérience. — L'appareil étant bien desséché et

mis en marche, on vérifie qu'aucune ionisation notable n'existe dans le gaz quand le robinet amenant l'hydrogène est fermé.

On laisse alors passer bulle à bulle ce dernier gaz, et l'on constate que, pour une proportion d'à peine quelques millièmes en volume, il apparaît une forte conductibilité, sensiblement égale pour les ions des deux signes.

En augmentant la proportion de gaz combustible, la conductibilité augmente rapidement et devient très forte au voisinage des proportions explosives.

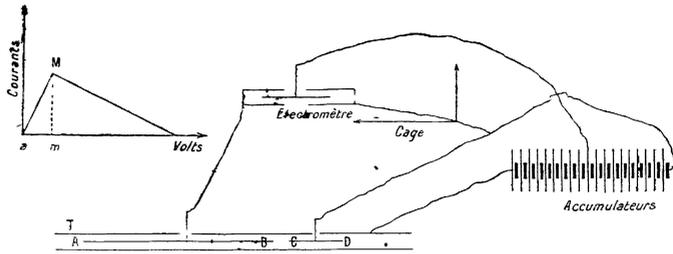


FIG. 5.

Mesure de mobilité. — Méthode de Zélény.

$$AB = l; \quad CD = l'; \quad \text{mobilité } K = \frac{U \log \frac{b}{a}}{2\pi (l + l')V};$$

U, débit gazeux;
b, *a*, diamètres du tube T et des électrodes AB et CD;
 Abscisse de M = *om* = V.

L'expérience a été faite ensuite dans des conditions inverses, c'est-à-dire en opérant sur un courant d'hydrogène mélangé à quelques bulles d'air. Elle a donné des résultats absolument analogues. J'ai aussi cherché à voir si la formation de l'eau par la réduction, au moyen d'un courant d'hydrogène, de la tournure de cuivre oxydée rendrait un gaz conducteur. Il n'y a pas d'ionisation, mais ce fait peut s'expliquer par la diffusion intense des ions sur le filtre métallique chaud formé par le cuivre réduit, diffusion qui fait disparaître très rapidement la conductibilité.

Quant à la mobilité, elle est déterminée par l'abscisse du point anguleux de la courbe de Zélény (fig. 5). Les valeurs obtenues sont très inférieures aux mobilités des petits ions et rapprochent les ions étudiés des ions de flamme. On observe que la mobilité varie avec la

proportion d'hydrogène, en diminuant quand on augmente la quantité de ce corps. Le fait s'explique aisément. On comprend que la grosseur des centres formés soit plus considérable, quand la masse d'eau qui se condense est elle-même plus forte.

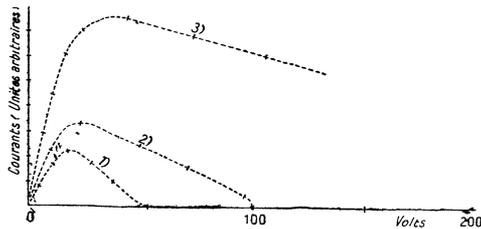


FIG. 6.

- | | | |
|----|-----|-----------------------|
| 1. | 0,3 | bulle H par seconde ; |
| 2. | 0,7 | — |
| 3. | 1,4 | — |

La *fig.* 6 montre trois courbes obtenues pour trois valeurs différentes de la proportion d'hydrogène. On voit non seulement que la mobilité diminue, mais qu'elle est de moins en moins bien définie en allant de la courbe 1 à la courbe 3.

Ces courbes, obtenues avec des gaz refroidis, mais peu éloignés de leur formation, donnent des mobilités tout à fait comparables à celles que fournissent dans les mêmes conditions les gaz de la flamme.

La teneur en hydrogène, et par suite la quantité de vapeur d'eau formée, influe non seulement sur la mobilité, et par conséquent sur la grosseur des gouttes, mais aussi sur leur nombre, l'intensité d'ionisation croissant, toutes choses égales d'ailleurs, de la courbe 1 à la courbe 3.

IV. — COMBUSTION DE L'OXYDE DE CARBONE.

D'après les idées que nous avons exposées sur le mécanisme de formation des gros ions, il ne doit pas se former de tels centres dans les ionisations où aucun produit solide ou liquide ne vient se condenser au sein du gaz.

C'est le cas, par exemple, du gaz sortant de la flamme de l'oxyde de carbone brûlant dans un excès d'air. Nous avons commencé par

suivre la même disposition que précédemment, mais en remplaçant l'hydrogène par l'oxyde de carbone.

Il faut chauffer les tubes très fortement et très longtemps dans un courant d'air sec pour les débarrasser de tout dépôt d'humidité.

Cette petite couche d'eau, nous le verrons plus loin avec plus de détails, fournit à une température suffisante d'excellents véhicules où se fixent les petits ions provenant de la combinaison chimique de l'oxyde de carbone et de l'oxygène.

On constate alors que *l'air sec et filtré, mélangé d'oxyde de carbone sec et filtré, ne prend pas de conductibilité stable, par la combinaison des gaz*. Il y a cependant des charges libres ; elles se manifestent, en effet, en formant des gros ions quand, par exemple, on admet de l'air non filtré.

Flamme d'oxyde de carbone. — Les résultats précédents faisaient prévoir qu'une flamme véritable d'oxyde de carbone, brûlant dans de l'air bien sec et filtré, et en l'absence de toute source de véhicules condensables, ne donnerait pas d'ions de faible mobilité, comme ceux que fournissent les flammes ordinaires, dans lesquelles il y a toujours formation d'eau et souvent mise en liberté de carbone divisé.

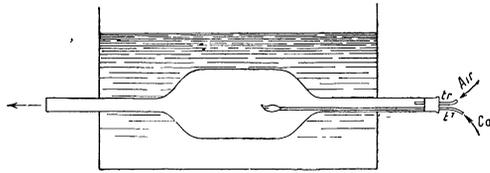


FIG. 7.

L'expérience a été réalisée avec un tube de verre large de 2 centimètres, disposé comme l'indique la *fig. 7* et portant une partie élargie à 7 centimètres, qui sert de chambre de combustion.

Ce tube est plongé dans un réfrigérant rempli d'eau froide pour éviter l'effet d'une température trop élevée qui, en exagérant la diffusion des ions, pourrait les empêcher de parvenir jusqu'à l'appareil de mesure et masquer ainsi un effet de conductibilité, s'il existait. L'échauffement des parois serait, du reste, par les traces de vapeur qu'il peut fournir, une source continue de perturbations.

L'oxyde de carbone brûle au bout d'un tube de plomb t_1 bien nettoyé et doit donner une flamme franchement bleue, dont la variation

de couleur est souvent un bon moyen de reconnaître la présence d'impuretés ou de poussières.

L'air amené par le tube t_2 peut à volonté être pris sur une canalisation desséchante et filtrante, ou bien être puisé directement dans l'atmosphère ; enfin un branchement sur la canalisation d'oxyde de carbone permet de mélanger le courant de ce gaz de quelques bulles d'hydrogène.

Le passage des gaz est donné par le schéma suivant (*fig. 8*) :

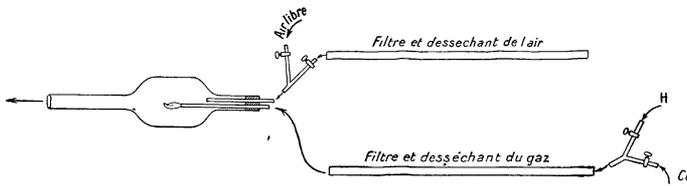


FIG. 8.

On ne recueille pas de charge quand les parois sont bien propres et que les gaz sont desséchés et filtrés ; au contraire, si l'air est puisé directement dans l'atmosphère, la conductibilité se manifeste aussitôt avec les caractères des ions de faible mobilité ; il en est de même, et d'une façon beaucoup plus intense, si, en employant de nouveau de l'air sec et filtré, on mélange à l'oxyde de carbone quelques bulles d'hydrogène.

Pour mettre en évidence d'une façon régulière et un peu prolongée la formation de gros ions par la présence simultanée, dans le gaz, de la flamme d'oxyde de carbone qui ne produit pas de gros centres par elle-même, et d'agglomérations matérielles neutres, on peut suspendre au voisinage de la flamme un petit panier de treillage contenant des fragments de pierre ponce humide ; la conductibilité apparaît alors et d'une façon assez régulière pour se prêter à une mesure approximative de la mobilité qu'on trouve encore analogue à celle des gaz de flamme.

La chauffe d'un corps poreux humide dans la région où passent les gaz récemment extraits de la flamme d'oxyde de carbone permet de reconnaître que cette flamme produit des ions à recombinaison rapide, et de constater, en chauffant un peu de ces corps en des régions A, B, C d'un tube (*fig. 9*), la disparition progressive de ces petits ions à mesure qu'on s'éloigne de la flamme.

Les expériences de ce genre peuvent être variées de différentes manières ; mais un cas particulièrement intéressant est fourni par la chauffe d'un corps poreux humide en présence des radiations du radium ou des rayons de Röntgen.

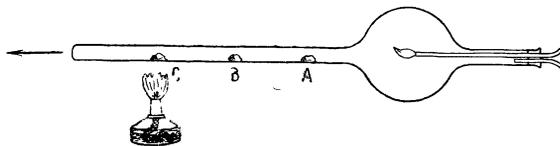


FIG. 9.

Un peu de ponce humide est mis dans un tube de verre assez large (3 à 4 centimètres) pour éviter une trop grande diffusion, à une distance des appareils telle qu'il ne puisse pas y avoir d'action directe du radium (*fig. 10*).

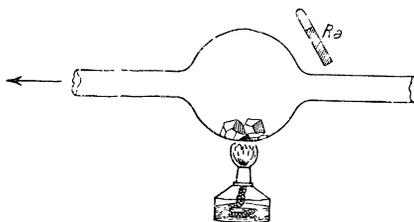


FIG. 10.

On chauffe à la lampe à alcool, et il est facile de montrer que la chauffe en présence du radium produit des ions de faible mobilité, tandis que la chauffe seule ne produit rien et le radium non plus, si l'on a pris les précautions nécessaires pour ne pas être influencé par ses petits ions.

Les rayons de Röntgen peuvent être substitués au radium. Ces radiations jouent donc un rôle analogue à celui de la flamme d'oxyde de carbone, à la différence que celle-ci donne des gros ions avec l'air atmosphérique non filtré, ce qu'on peut vraisemblablement attribuer aux produits de la combustion des poussières.

On peut même obtenir avec de l'air humide et filtré un gaz contenant des gros centres électrisés sans qu'il soit nécessaire de le soumettre à aucune radiation ionisante ; il suffit de faire passer l'air dans

un tube de grès chauffé au rouge vif et contenant des fragments de pierre ponce.

V. — CENTRES NEUTRES.

Les gaz issus des flammes usuelles, par exemple de la flamme du gaz d'éclairage, sont conducteurs, et les ions qu'ils renferment ont une mobilité qui peut descendre jusqu'au $1/300$ de millimètre. Nous venons de démontrer qu'on peut produire un gaz jouissant de propriétés conductrices analogues en lui fournissant à la fois les éléments, *agglomérations matérielles neutres et petits ions*, dont la réunion forme un gros ion. Mais la théorie exposée page 7 conduit à penser qu'on peut s'attendre à trouver, à côté des gros ions chargés, un nombre relativement considérable de centres analogues non chargés.

Nous avons indiqué (p. 882) un moyen de reconnaître la présence de particules neutres en suspension dans un gaz en les soumettant à l'action des rayons Röntgen ou du radium, qui les transforment en gros ions, décelables par les procédés électriques ordinaires. Nous en indiquerons plus loin un second, basé sur un principe totalement différent : c'est l'intensité particulière d'ionisation acquise en barbotant dans les solutions aqueuses par les gaz qui renferment des centres neutres. Nous allons appliquer le premier moyen de recherche aux gaz ordinaires de flamme.

Il faut pour cela nous débarrasser de la conductibilité de ces gaz en les faisant passer dans un condensateur cylindrique assez puissant pour capter tous les ions chargés, ce dont on s'assurera aisément du reste en constatant expérimentalement la non-conductibilité du gaz.

Les gaz sortants passent ensuite dans un ballon de verre mince B servant de chambre d'exposition aux rayonnements ionisants. La capacité de 3 litres convient pour ce réservoir ; plus petit, il ne laisserait pas agir le rayonnement pendant un temps suffisant ; plus grand, il augmenterait trop le temps de séjour du gaz et diminuerait la conductibilité.

Enfin vient le condensateur cylindrique C_2 relié à l'électromètre E qui sert à mesurer la conductibilité du gaz et la mobilité des ions.

La *fig. 11* montre le détail de cette disposition.

L'expérience consiste à montrer que les gaz de flamme, une fois désélectrisés par leur passage à travers C_1 , contiennent encore

quelque chose de chargeable par une exposition à de petits ions. Pour cela on vérifie que, le condensateur C_1 étant excité, la conductibilité ordinaire du gaz de flamme est bien arrêtée. En approchant alors du ballon un tube de verre scellé et contenant un sel de radium, la conductibilité apparaît de nouveau; elle est bien liée au gaz de flamme, car, en le remplaçant par de l'air ordinaire, toute trace d'électrisation cesse, si l'on a bien pris les précautions nécessaires pour éviter une influence *directe* du radium.

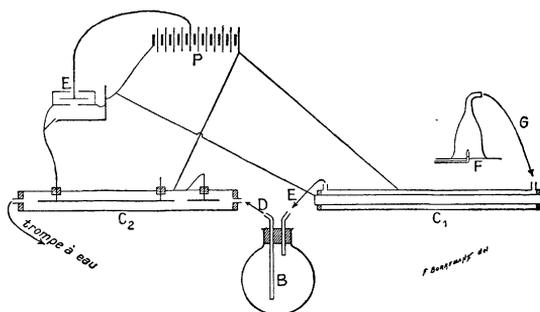


FIG. 41.

Le tableau suivant montre un exemple numérique de ce qu'on mesure dans ces conditions :

Gaz circulant dans l'appareil	État du condensateur C_1	Ionisation en B	Temps pour 15 ^{cm} d'échelle
Gaz de flamme...	C non excité	Pas de radium B	8 sec.
Gaz de flamme...	C excité (350 vol.)	Pas de radium B	300
Gaz de flamme...	C excité (350 vol.)	Radium en B	48
Air ordinaire	C excité (350 vol.)	Radium en B	300

Absence de centres neutres dans les gaz de flamme d'oxyde de carbone. — La même méthode peut servir à montrer que les gaz issus de la flamme d'oxyde de carbone brûlant dans de l'air sec et filtré ne contiennent pas de centres neutres.

Si l'on remplace, en effet, dans l'appareil précédent, le gaz d'éclairage par l'oxyde de carbone, en prenant les précautions indiquées page 880, on constate que l'approche du radium en B ne produit pas de gros ions.

Propriétés des centres neutres. — Les centres neutres provenant de corps humides chauffés semblent tout à fait analogues à ceux des

gaz de flamme. Nous en trouverons encore de très voisins dans le barbotage de certains liquides (pas de l'eau), ainsi que dans l'étincelle, et nous allons étudier quelques-unes de leurs propriétés.

Les centres neutres sont facilement arrêtés par des filtres en coton.

— En intercalant par exemple un tampon de coton ordinaire entre C' et B (*fig. 11*), on supprime toute la production des gros ions sous l'influence du radium ; le gaz n'est cependant pas desséché par le coton, ce qui indique que les agglomérations ne sont pas dues à de la vapeur d'eau, mais formées de particules en suspension.

La chaleur les détruit également.

Il suffit pour cela d'intercaler un serpentin de cuivre en G, en E ou en D, et de chauffer vers 250°. Dans tous les cas, on constate la disparition des centres neutres.

Or, en G, on avait affaire aux centres neutres mélangés aux ions de flamme, en E aux centres neutres *seuls*, et en D aux centres que le radium vient de charger. Le fait qu'en E la disparition sous l'action de la chaleur ait lieu comme ailleurs semble bien montrer que ce n'est pas une augmentation de diffusion électrique qui intervient, mais une évaporation ou une destruction de l'agglomération sous l'influence de l'agitation thermique.

Centres neutres et ions chargés, vieillissement. — Quand on laisse séjourner les gaz issus de la flamme du gaz d'éclairage dans un récipient un peu grand, une tourie de 30 ou 50 litres, par exemple, on constate que le temps amène deux modifications dans l'état du gaz.

La conductibilité, c'est-à-dire le nombre des ions par unité de volume, diminue assez rapidement et finit par s'annuler, tandis que la mobilité moyenne des ions restants diminue et tend vers $\frac{1}{300}$ de millimètre. C'est le phénomène du *vieillissement* des ions de flamme, signalé par M. Bloch.

On peut montrer que les changements survenus par diminution des mobilités avec le vieillissement sont tout à fait les mêmes pour les centres neutres et pour les gros ions chargés.

Si l'on intercale sur le trajet du courant gazeux deux ballons (*fig. 12*), l'un A d'une vingtaine de litres, destiné à vieillir les centres, l'autre B de 2 litres ou 3 litres, servant à les exposer au rayonnement du radium, on constate que le résultat final ne change pas quand on permute les positions des deux ballons, c'est-à-dire quand on charge les centres, *avant* ou *après* leur vieillissement.

Tout cela indiquerait plutôt un grossissement des agglomérations dû à des actions qui ne sont pas électriques, et finissant par permettre à la pesanteur d'agir malgré la viscosité et les remous du gaz.

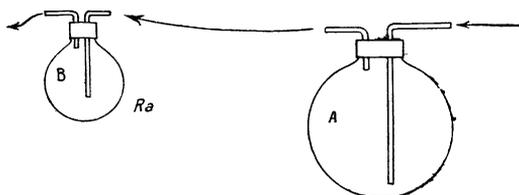


FIG. 12.

Proportion relative des centres chargés. — Quand le radium agit sur le gaz de flamme privé de ses ions chargés, pour transformer en gros ions les centres neutres qu'il contient, on peut se demander quelle proportion des centres neutres est ainsi chargée. Cette proportion, qui, d'après la théorie rappelée plus haut, devrait aboutir à un équilibre indépendant de la radiation à partir d'une certaine intensité de celle-ci, varie, en réalité, avec la distance du radium et le temps d'exposition à son action.

Cela peut être expliqué par la durée probablement assez longue que mettrait l'équilibre à s'établir complètement. Nous aurons l'occasion, du reste, de montrer que l'action du radium tend manifestement à augmenter le nombre des centres chargés, quand il est au-dessous d'une certaine limite et à l'abaisser, au contraire, quand il la dépasse.

L'expérience montre aussi que la proportion chargée est toujours faible, même avec des intensités de radiation relativement fortes.

On peut s'en rendre compte de la manière suivante : une première exposition au radium charge un certain nombre de centres ; on mesure la conductibilité correspondante. On enlève ensuite à l'aide du condensateur d'arrêt les centres ainsi chargés, puis on soumet de nouveau le gaz au rayonnement du radium, et l'on y retrouve une conductibilité à peine inférieure à la première. Il en résulte que le nombre des centres neutres encore présents au moment de la seconde exposition n'est pas beaucoup inférieur à celui de la première exposition.

VI. — IONISATION DES GAZ D'ÉTINCELLE.

Dans le courant de 1907, MM. de Watteville et Hemsalech ont signalé un procédé nouveau pour obtenir des spectres de flamme ; il suffit d'alimenter le brûleur d'un bec Bunsen par des gaz ayant passé sur une étincelle électrique ; la flamme offre le spectre des métaux entre lesquels éclate l'étincelle ; il y a donc de la matière entraînée, et dans un état qui lui permet de rester longtemps en suspension, puisque les auteurs du procédé ont pu observer la coloration de la flamme en intercalant plusieurs mètres de canalisation entre l'étincelle et le brûleur.

Il nous a semblé intéressant d'examiner l'état d'ionisation du gaz ainsi obtenu, ce qui se fait très aisément en lui faisant traverser le long condensateur et le tube collecteur de gros ions déjà employés pour l'étude des centres neutres des gaz de flamme.

L'étincelle produite par une petite bobine d'induction éclate entre des pointes de métal distantes d'environ 4 millimètre ; cette étincelle est peu condensée, pour éviter l'échauffement et la vaporisation exagérés des électrodes.

On constate :

- 1° Qu'il existe des ions des deux signes ;
- 2° Que ces ions ont une mobilité de l'ordre du $\frac{1}{400}$ de millimètre par seconde ;
- 3° Qu'ils sont accompagnés par un nombre considérable de centres analogues, mais non chargés.

Ces derniers centres jouissent de toutes les propriétés que nous avons déjà reconnues aux centres neutres des gaz de flamme ; en particulier, ils disparaissent par une élévation de température de 200° ou 300°, ce qui, dans le cas présent, ne saurait s'expliquer par une vaporisation ; il faut en rapporter la cause à l'accroissement intense de la diffusion que produit l'augmentation d'énergie cinétique du gaz.

Il y a toujours des ions des deux signes ; mais le nombre des ions de chaque signe, à peu près égal pour les ions — et les ions — quand le circuit reliant les électrodes à la bobine ne présente pas de singularités, est très sensible à l'introduction de coupures sur ce circuit ; on peut ainsi obtenir des ionisations presque entièrement unipolaires.

C'est en introduisant une coupure sur la portion de circuit qui arrive à l'électrode positive qu'on diminue le nombre des gros ions positifs.

Ce fait est vraisemblablement dû à des oscillations électriques parasites dans les conducteurs ; on pourrait peut-être l'employer pour étudier ces oscillations.

Quant à la manière dont se chargent les granules métalliques, on peut concevoir qu'ils soient projetés tout chargés des électrodes, ou bien qu'ils soient projetés neutres dans le gaz riche en petits ions qui accompagne nécessairement le phénomène de l'étincelle.

(A suivre.)
