HAL
archives-ouvertes.fr

Les ions de l'atmosphère

J.A. Pollock

To cite this version:

J.A. Pollock. Les ions de l'atmosphère. Radium (Paris), 1909, 6 (5), pp.129-135. 10.1051/radium:0190900605012900 . jpa-00242349

HAL Id: jpa-00242349

https://hal.archives-ouvertes.fr/jpa-00242349

Submitted on 1 Jan 1909

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.

MÉMOIRES ORIGINAUX

Les ions de l'atmosphère

Par J. A. POLLOCK

[Laboratoire de Physique de l'Université de Sydney].

L'un des résultats des nouvelles théories de l'électricité est la considération dans l'air à l'état normal, et dans les autres gaz sous des conditions analogues, de l'existence d'un petit nombre de molécules ou groupes de molécules, qui se distinguent des molécules voisines par le fait qu'elles sont électrisées. On appelle ion chacun de ces groupes électrisés, quelle que soit sa structure; les ions se divisent en deux classes principales, l'une comprenant ceux qui sont électrisés positivement, l'autre ceux qui sont électrisés négativement. La notion d'ion a été introduite en vue d'obtenir une description simple des phénomènes qui se rattachent à la conductibilité électrique à travers les gaz, et cette hypothèse a atteint admirablement son but.

Le nombre des ions contenus dans l'air peut être considérablement augmenté par l'action des rayons Röntgen, des rayons du radium ou des autres substances radioactives, et ce sont les recherches relatives à la production artificielle des ions qui ont le plus contribué à développer la théorie actuelle des ions. Pour comprendre ce qui va suivre, je rappellerai que dans un champ électrique, en plus du mouvement d'agitation moléculaire auquel prennent part tous les constituants du gaz, les ions, en vertu de leur charge, acquièrent une vitesse dont la valeur moyenne dépend de l'intensité du champ et de la résistance qui est offerte à leur mouvement; sous l'influence des forces électriques les ions s'écoulent, pour ainsi dire, dans une direction définie, les ions positifs allant vers l'électrode négative et vice versa, ce mouvement n'appartenant pas aux molécules non chargées. Toutes choses égales, on a démontré que cette vitesse d'écoulement des ions est directement proportionnelle à l'intensité du champ électrique, et, suivant la proposition de M. Langevin, le terme *mobilité* a été adopté pour désigner la vitesse moyenne acquise par un ion dans un champ unité. Aujourd'hui, la mobilité d'une espèce d'ions est la propriété la plus facile à déterminer, et c'est principalement par les observations de la mobilité des ions dans les différents gaz et sous des conditions variées que nous cherchons à déceler la nature de la structure ionique. Dans tout ce qui suit j'exprimerai la valeur de la mobilité et de la vitesse en centimètre par seconde dans un champ d'un volt par centimètre, c'est-à-dire en unités pratiques. On a reconnu l'existence naturelle dans l'air de deux espèces d'ions, les *petits ions* de mobilité égale à 1,5 environ dans les conditions normales, les autres découverts par Langevin[1] et appelés par lui *gros ions*, caractérisés par une très faible mobilité atteignant seulement 1/3000. A ces deux espèces j'en ajouterai maintenant une troisième constituée par des ions de mobilité d'environ 0,01 dans les conditions normales. On peut appeler ces ions, pour le présent du moins, ions de mobilité intermédiaire, ou *ions intermédiaires*.

M. Bloch[2] a trouvé dans l'air qui a barboté dans l'eau, des ions d'une mobilité de l'ordre de 0,01 à 0,02; ceux-ci semblent former une quatrième espèce d'ions et il serait intéressant de savoir s'ils n'existent pas actuellement dans l'air.

Les petits ions de l'atmosphère sont identiques à ceux qui sont produits artificiellement dans l'air par les agents ionisants, et qui ont fait l'objet de nombreuses recherches décrites en particulier par Bragg. La connaissance des mouvements et des dimensions des molécules, résumés dans la théorie cinétique des gaz, est aujourd'hui très importante, et puisqu'on a trouvé qu'un ion se meut plus lentement dans un champ électrique que ne le ferait une simple molécule si elle était chargée, et que d'ailleurs l'ion doit être constitué de la matière même du gaz dans lequel il a été formé, qu'y a-t-il de plus naturel que de considérer cet ion comme un groupement de plusieurs molécules? On attribue ainsi aux petits ions des dimensions supérieures à celles des molécules voisines, mais comme leur mobilité s'accroît d'une façon notable quand la pression décroît et que la température s'élève, il semble que leur diamètre n'ait pas une valeur constante.

L'argument direct, qu'on donne en faveur de cette conception, repose sur ce que, dans les nombreuses

1. Travail présenté à l'Association Australienne pour l'Avancement des Sciences [communiqué par l'auteur].

1. Langevin, *C. R.*, **140** 1905 232.
2. Bloch, *C. R.*, **145** 1907 54.

Article published online by EDP Sciences and available at http://dx.doi.org/10.1051/radium:0190900605012900

collisions qui se produisent entre molécules chargées et non chargées, l'énergie cinétique de ces dernières n'est pas, dans beaucoup de cas, suffisante pour les soustraire après le choc à l'attraction de la charge. La molécule chargée rassemble ainsi autour d'elle d'autres molécules, mais comme l'effet de la charge sur les molécules qui ne font pas partie du groupement diminue à mesure que le nombre des constituants du groupement augmente, l'accroissement cessera pour une dimension telle que l'attraction de la charge à la surface du groupe, lors du choc de l'ion et de la molécule, soit juste insuffisante pour ne pas retenir cette molécule comme membre constitutif du système ionique. Ce principe, appliqué au calcul de la valeur du rayon limite est analogue à celui qui détermine si une comète, lors de son voisinage immédiat du soleil, deviendra un membre permanent du système solaire ou errera dans l'espace d'où elle vient.

Le calcul des dimensions d'un ion qui a été fait d'après ces principes conduit à admettre que les ions sont des sphères conductrices chargées, et les molécules des sphères conductrices non chargées, et en prenant la valeur 10^{-8} cm. pour rayon de la molécule, on arrive à la conclusion que le rayon d'un ion ne peut dépasser trois fois cette valeur.

Pour expliquer la variation de la mobilité avec la pression et la température, on imagine que les groupements de molécules constituant les ions comprennent un plus petit nombre d'éléments aux basses pressions et à haute température que dans les conditions ordinaires. Quand la température s'élève, par exemple, l'ion perd une à une ses molécules composantes. La mobilité, cependant, varie d'une façon continue et non pas par sauts; on imagine alors qu'à une température quelconque, un groupement ne comprend pas toujours le même nombre de molécules. Dans les nombreuses collisions, auquel un ion est soumis en temps que constituant du gaz, une molécule d'un groupe peut être perdue à un choc et retrouvée à un autre, le groupe agissant dans l'ensemble comme s'il contenait le nombre moyen des constituants; c'est ce nombre moyen qui dans cette conception peut être regardé comme diminuant d'une façon continue quand la température s'élève.

De l'examen du mouvement lent des ions dans un champ électrique, comparé à celui que prendrait une simple molécule chargée se mouvant dans les mêmes circonstances, il est possible, avec l'aide des principes de la théorie cinétique, d'estimer le nombre des molécules constituant un ion. Cette remarque a été faite par M. Phillips[1] dans une note sur « les vitesses des ions dans l'air à différentes températures », et l'auteur a tiré de ses résultats que l'ion positif à — 179° C comprend en moyenne environ quatre molécules et demie (4,63), tandis qu'à + 158° C, la moyenne est seulement d'environ 1,5 (1,52). On obtient des nombres beaucoup plus petits pour l'ion négatif.

Une telle conception du petit ion, reposant soit sur l'argument direct dans sa forme restreinte indiquée, soit sur le calcul qui vient d'être rappelé, ne peut pas être considérée comme satisfaisante et n'est pas nécessaire, comme l'ont montré récemment deux physiciens, M. Wellisch à Cambridge et William Sutherland à Melbourne.

A ce sujet il est intéressant de rappeler un autre problème physique qui en apparence nécessite aussi pour être expliqué une contraction de la molécule avec l'élévation de la température; c'est la relation entre la température et la viscosité d'un gaz. La solution de cette question a été finalement obtenue en 1893 par M. Sutherland, grâce à la considération de l'influence des forces moléculaires[1] comme cause des collisions qui ne se produiraient pas sans elles; ces recherches sont décrites dans une note de l'auteur sur « la viscosité des gaz et la force moléculaire ». Il résulte de l'attraction mutuelle entre molécules, sensible seulement aux faibles distances, que les molécules, considérées comme soustraites à toute attraction, se comportent comme si elles avaient un diamètre plus grand que la valeur réelle.

Puisque l'attraction moléculaire est d'autant moins effective à créer des collisions que la vitesse avec laquelle deux molécules s'approchent l'une de l'autre est plus grande, le diamètre apparent de la molécule est d'autant plus petit que la température est plus élevée.

Les auteurs précédemment cités ont montré récemment qu'il y a un effet semblable dû à la charge de l'ion. Grâce à l'influence de l'attraction électrique, il y a des collisions entre ions et molécules qui n'auraient pas lieu si cette attraction n'existait pas et par conséquent les ions se comportent comme des molécules de diamètre supérieur à la valeur normale, le diamètre apparent diminuant quand la température s'élève.

En ce qui concerne le déplacement d'un ion à travers un gaz, M. Langevin[2] a établi pour la mobilité k, et le coefficient de diffusion D, les équations :

$$k = \frac{eL}{mV}, \qquad D = \frac{LV}{3}$$

dans lesquelles e désigne la charge ionique, L le libre parcours moyen de l'ion, m sa masse, et V sa vitesse moyenne d'agitation thermique. M. Wellisch a calculé dans son travail le libre parcours moyen de l'ion, en tenant compte de l'effet de la charge de l'ion pour augmenter la fréquence des collisions, et en substituant dans les équations ci-dessus, il a obtenu des

1. Phillips. *Roy. Soc. Proc.*, A-**78** (1906) 167.

1. Sutherland. *Phil. Mag.*, **36** (1893) 507.
2. Langevin. *Ann. Chim. et Phys.*, V-**28** (1903) 289.

expressions générales pour les deux quantités considérées. Si l'on prend pour la masse et les dimensions de l'ion les mêmes valeurs que pour celles de la molécule, l'expression de la mobilité devient à 0° C :

$$k = \frac{A\eta_1}{\rho_1 p}\left[1 + \frac{(K_1 - 1)\pi A^2 \eta_1^2}{2\rho_1 p_1^2}\right]^{-1}$$

et celle du coefficient de diffusion à la même température,

$$D = \frac{\eta}{\rho}\left[1 + \frac{(K_1 - 1)\pi A^2 \eta^2}{2\rho_1 p_1^2}\right]^{-1}$$

dans lesquelles A ($= 1{,}50 \times 10^{10}$ E. S.) est le produit du nombre de molécules par centimètre cube et de la charge de l'ion ; η, le coefficient de viscosité du gaz ; K, son pouvoir inducteur spécifique. ρ la densité et p la pression en dynes par centimètre carré, les symboles avec indices se rapportant aux valeurs de la température et de la pression dans les conditions initiales.

Pour appuyer sa théorie, M. Wellisch donne le tableau suivant qui met en parallèle les valeurs observées et les valeurs calculées, les mobilités, sauf dans le cas de l'air, l'hydrogène, l'azote et l'oxygène, étant les résultats de séries de déterminations récemment faites par cet auteur.

M. Wellisch montre plus loin que si d désigne le coefficient de diffusion de la molécule à travers le gaz,

$$\frac{D}{d} = \left\{1 + \frac{(K_1 - 1)\pi A^2 \eta_1^2}{2\rho_1 p_1^2}\right\}^{-1}$$

et dans le tableau suivant, il indique l'ordre de concordance entre les valeurs calculées et celles observées.

Tableau II.

Gaz	$\frac{(K_1-1)\pi A^2\eta_1^2}{2\rho_1 p_1^2}$	d observé (1)	D calculé	D observé (2) —	D observé (2) +
Air	5,70	0,150	0,052	0,028	0,045
H^2	5,59	1,31	0,205	0,125	0,190
O^2	5,56	0,189	0,041	0,025	0,040
CO^2	2,52	0,109	0,051	0,023	0,026

1. Voy. Jeans. *Dynamical Theory of Gases*, p. 255.
2. Townsend. *Phil. Trans.*, A-**193** (1900) **129**.

Dans les deux cas de mobilité et dans celui de coefficient de diffusion, l'accord entre les valeurs calculées et observées est en somme tout à fait satisfaisant, et amène à cette conclusion que la façon dont l'ion se comporte peut être expliquée en supposant qu'il est constitué par une simple molécule associée à une charge électrique égale à celle portée par l'ion monovalent dans l'électrolyse.

Complétant la discussion développée dans un travail précédent par l'addition, dans l'expression de l'énergie, d'un terme représentant l'énergie potentielle électrique de l'ion et de la molécule en contact, M. Sutherland, dans une note qu'il m'a transmise, établit la relation entre la mobilité et la température et déduit pour la mobilité de l'ion l'expression simple :

$$k = \frac{A\theta^{\frac{1}{2}}}{1 + \frac{C'}{\theta - \theta'}}$$

dans laquelle A est une constante, θ la température absolue, θ' le point d'ébullition absolu, à la pression de l'expérience, de la nature du gaz dans lequel se forment les ions, et C' une constante analogue à celle qu'il représente par C dans sa nouvelle formule bien connue de la viscosité.

Tableau I.

Gaz ou vapeur	Formule	Poids moléculaire	$\rho_1 \times 10^5$	$\eta_1 \times 10^5$	$(K_1 - 1) \times 10^5$	$k_1 - 60$ Calculé	$k_1 - 60$ Observé +	$k_1 - 60$ Observé —
Air	»	»	129	177	59	1.25	1.56	1.87
Hydrogène.	H_2	2	9	85	26	6.32	6.70	7.95
Oxyde de carbone	CO	28	125	165	69	1.16	1.05	1.10
Azote.	N_2	28	125	165	59	1.31	1,6	néant
Oxygène.	O_2	32	143	191	54	1.25	1.56	1.80
Acide carbonique	CO_2	44	196	141	96	0.87	0.77	0 81
Oxyde azotique.	N_2O	44	196	141	107	0.81	0.79	0.86
Ammoniaque.	NH_3	17	76	96	770	0.21	0.70	0.76
Alcool éthylique	C_2H_6O	46	205	85	940	0.19	0.32	0.26
Acide sulfureux	SO_2	64	286	122	995	0.13	0.42	0.39
Chlorure d'éthyle.	C_2H_5Cl	64.5	288	95	1554	0.11	0.32	0.30
Ether éthylique	$C_4H_{10}O$	74	330	69	742	0.24	0.28	0.30
Tétrachlorure de carbone .	CCl_4	153.8	686	153	426	0.20	0.29	0.30

A l'appui de sa théorie, M. Sutherland applique l'équation aux expériences de M. Phillips[1] sur l'ion négatif, en prenant $A = 0.1764$, $C' = 150{,}5$ et $\theta' = 70$; les résultats sont les suivants :

Tableau III.

θ	411	399	383	373	348	333	285	209	94
k calculé.	2.48	2,42	2,33	2.27	2.13	2.05	1.75	1.22	0.235
k observé.	2.49	2.40	2.30	2,21	2.125	2.09	1,78	1,25	0,255

La comparaison de la mobilité calculée en partant

1. Philips. *Loc. cit.*

de l'expression ci-dessus avec les résultats des précieuses séries d'observations de M. Phillips, montre l'accord bien au delà des limites des erreurs expérimentales, sur toute une échelle de tempétatures de 95 à 411 degrés absolus. La diminution des dimensions de l'ion avec l'élévation de la température est ainsi expliquée, comme l'a découvert M. Phillips, par un effet de la charge de l'ion, analogue à l'action de l'attraction moléculaire, qui rend compte de la contraction apparente des molécules dans le problème de la viscosité.

M. Sutherland montre, de plus, comment on peut, en partant de ses résultats, calculer le diamètre d'un ion, et conclut de sa propre détermination qu'il est plus que probable que le petit ion gazeux est l'ion ordinaire de l'électrolyse.

L'expression de M. Sutherland pour la mobilité de l'ion, par le fait qu'elle contient un symbole représentant le point d'ébullition de la matière gazeuse à la pression de l'expérience, indique une dépendance de la mobilité et de la pression du gaz ; la comparaison des valeurs que donne cet auteur est encore à comparer avec les résultats de l'expérience [1].

La conception du petit ion comme étant un groupe de plusieurs molécules, fondée sur des bases incertaines, était vague ; la substitution de cette façon de voir par une théorie définie ne doit cependant pas être regardée comme faisant faire un grand pas à notre connaissance de la structure ionique.

Si on considère maintenant les gros ions de l'air, on peut dire que ce que nous en savons est contenu uniquement dans la collection des résultats des recherches expérimentales. Les gros ions ont été découverts par Langevin[2] en 1905, qui trouva que leur déplacement, sous l'influence d'un champ électrique d'un volt par centimètre, n'est que de trois millièmes de centimètre par seconde, mais que dans les conditions normales, leur nombre est environ 50 fois celui des petits ions. Dans une communication, MM. Langevin et Moulin[3], donnent la description d'un appareil enregistreur automatique de l'ionisation de l'atmosphère produite par les petits et les gros ions, dont il se sont servi il y a quelques années. L'usage d'un tel appareil donnera beaucoup de résultats importants.

On a fait pendant quelque temps, au laboratoire de physique de l'Université de Sydney, des observations de ces gros ions dans l'air à la pression normale. Dans ces recherches, j'ai eu maintes fois, la collaboration d'élèves dont les noms accompagnent les résultats qu'ils ont obtenus, et j'ai été habilement aidé par mon assistant, M. Carl Sharpe. Par suite du caractère variable de l'ionisation naturelle, ce travail a été extrêmement pénible, et ce n'est qu'en de rares occasions que les observations ont été assez concordantes pour donner une valeur déterminée de la mobilité. L'ionisation est plus uniforme après le coucher du soleil et nous avons fait nos observations principalement la nuit.

Nous avons fait toutes nos observations avec un appareil construit d'après celui employé avec tant de succès par M. Zeleny[1] pour la détermination de la mobilité des petits ions. Dans un appareil de ce type un courant d'air uniforme s'écoule à l'intérieur d'un tube métallique qui forme l'armature extérieure d'un condensateur cylindrique, les ions s'accumulant sur une électrode axiale intérieure, par suite de l'action du champ électrique établi entre le tube et la tige axiale. La théorie de la méthode pour déduire la mobilité des mesures faites avec un tel appareil, telle qu'elle a été donnée par M. Zeleny, est bien connue; nous l'avons suivie sans modifications pour déterminer les résultats de nos séries d'expériences présentes. On obtient une ionisation bien plus uniforme si l'air, avant d'atteindre l'électrode de mesure, est canalisé dans une grande longueur de tubes. Nous n'avons pas remarqué un effet quelconque sur la nature des ions dû au contact prolongé de l'air avec le métal des tubes et, dans la plupart de nos expériences, nous avons employé plusieurs mètres de tubes de fer ou de fer galvanisé. Nous avons toujours employé des électromètres Dolezalek pour la mesure des courants d'ionisation.

Au cours de ce travail nous avons obtenu quelques résultats définis dont je me propose de donner un aperçu.

En examinant le travail de M. Langevin, beaucoup de personnes ont dû penser, et c'est ce que Rutherford fait dans son livre sur les transformations radioactives, que les gros ions peuvent être dus à la présence de vapeur d'eau. Les efforts que j'ai faits pour élucider ce point m'ont amené à trouver qu'il y a une relation déterminée entre la mobilité des ions et le degré d'humidité de l'air.

Quand un courant d'air a passé sur des substances hygroscopiques, indépendamment de toute filtration mécanique, M. S.-G. Lusby trouve que les gros ions sont absorbés et mentionne une perte en nombre s'élevant à 55 pour 100, après passage de l'air à travers un tube contenant de l'anhydride phosphorique. Je trouve, de plus, que les gros ions qui existent encore dans l'air après passage sur la matière desséchante ont une mobilité qui diminue avec le temps, et que lorsque l'humidité relative varie de 80 à 4 pour 100 à la tempétature de 19° C., ils ne sont en équilibre avec les nouvelles conditions de tension de vapeur qu'après environ 12 minutes. Par suite du caractère variable de l'ionisation naturelle et peut-être d'autres causes, les mobilités calculées pré-

1. Langevin. *Ann. Chim. et Phys.*, **28** (1903) 289.
2. Langevin. *C. R.*, **140** (1905) 232.
3. Langevin et Moulin. *Le Radium*. **4** (1907) 218.

1. Zeleny. *Phil. Trans.*, A-**195** (1900) 193.

sentent des irrégularités considérables, mais montrent d'une façon certaine, que, lorsque l'équilibre est établi, la mobilité dépend de la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air, la relation entre ces deux quantités étant vraisemblablement une fonction linéaire entre les limites d'une humidité absolue représentée par 0,5 et 19,0 (grs./m³), correspondant à des humidités relatives de 4 et 100 pour 100. Les valeurs moyennes des mobilités pour ces limites de l'humidité, d'après les résultats obtenus, sont respectivement $\frac{1}{1280}$ et $\frac{1}{5370}$. En d'autres termes la mobilité pour une humidité absolue de 2,4 est 2 fois celle relative à une humidité de 15,4 (grs./m³). Les observations ne sont pas assez régulières pour permettre de dire s'il y a une différence entre la mobilité des ions positifs et négatifs. Par suite de l'ionisation causée par le phosphore, il n'est pas bon d'employer comme desséchant dans ces expériences l'anhydride phosphorique ; dans tous les cas nous nous sommes servis du chlorure de calcium.

L'ion intermédiaire n'a été observé que pendant un temps relativement court; les mesures, cependant, montrent que sa mobilité est affectée dans une très large mesure par le changement de l'humidité de l'air, sa grandeur variant de 1/15 à environ 1/10 de sa valeur quand l'humidité absolue varie de 0,5 à 15 (grs. m³) à une température d'environ 22° C. A cela il y a une restriction que je n'ai pas encore approfondie ; dans l'air à l'état naturel avec une humidité absolue comprise entre 14 et 16 (grs. m³) à 22° C, quand l'ionisation due à cette espèce d'ions est relativement faible, la mobilité, du moins pour les ions positifs, est de l'ordre de 1/65, tandis qu'avec une forte ionisation la valeur de la mobilité n'est que moitié. Quoique la restriction qui vient d'être faite concerne un cas particulier, dans une recherche ultérieure on n'a pu déduire des observations aucune différence déterminée entre les mobilités des ions positifs et des ions négatifs de cette espèce.

Les faits qui viennent d'être décrits montrent qu'il y a une relation définie entre les ions et la vapeur d'eau de l'air, et ouvrent un champ intéressant de recherches pour ce qui concerne le développement de la structure des centres électrisés, la nature de la résistance qu'ils éprouvent en s'écoulant à travers la foule de molécules. La base de la structure est en somme l'ion moléculaire, qui, comme on sait, a son origine dans les effets connexes des transformations radioactives se rencontrant dans l'air, l'ionisation étant primitivement due à la présence de radium et de thorium dans la matière qui constitue l'écorce terrestre. L'apparition d'une structure plus complexe a lieu sans doute par suite de la présence d'une collection de molécules d'eau autour de l'ion moléculaire, par suite de l'influence de sa charge.

C'est par la considération des résultats d'expérience que nous devons reconnaître dans l'air deux formes d'agrégation moléculaire électrisée qui sont stables dans les conditions ordinaires. Puisque les mobilités dépendent de l'humidité il ne serait pas absurde de supposer que les ions intermédiaires et les gros ions représentent des échelons dans le développement des petits ions en une goutte d'eau visible, ce qui arrive si l'air devient suffisamment sursaturé. Il semble, par conséquent, curieux que les gros ions ne soient pas visibles séparément comme noyau de condensation dans les expériences de ce genre.

C. T. R. Wilson[1] a montré que dans de telles expériences la présence d'un champ électrique faible empêche la formation de gouttes si la fraction de détente ne dépasse pas 1,27. Cela prouve que les noyaux pour ces faibles détentes sont des ions qui peuvent être déplacés par le champ avant que la détente n'ait lieu. J'ai répété ces observations avec beaucoup de soin, à l'aide d'un appareil semblable à celui décrit par M. Wilson afin de déterminer si l'effet du champ électrique varie avec le temps qu'on laisse s'écouler avant la détente, et j'ai trouvé que l'effet était complet que cet intervalle soit d'une seconde ou de vingt minutes. Avec les champs employés, il faut plusieurs minutes pour déplacer tous les gros ions, en raison de leur faible mobilité, tandis que les petits ions disparaissent en moins d'une seconde; aussi les noyaux des gouttes formées pour des détentes inférieures à 1,27 ne sont-ils presque pas des gros ions. M. E. P. Norman, au laboratoire de l'Université de Sidney, a cherché si les gros ions deviennent visibles à un degré d'humidité plus bas que celui auquel les petits ions apparaissent ; il a répété les expériences de Wilson sur la sursaturation nécessaire à la condensation[2], avec de l'air naturel sur le mercure. En partant d'une humidité comprise entre 60 et 70 pour 100, après avoir chassé les poussières, aucune condensation ne se produit, non seulement au-dessous de la saturation, mais encore jusqu'à ce que la sursaturation devienne quatre fois celle des expériences précédentes sur l'eau. Dans toutes nos expériences les observations ont été répétées avec de l'air qui a séjourné en repos dans l'appareil pendant la nuit, afin que ce temps puisse être effectif pour la reproduction des gros ions qui auraient pu être initialement arrêtés, mais les résultats de la première détente, le matin, n'a paru dans aucun cas différent des résultats suivants.

De nouveau, M. Lusby trouve, en employant deux tubes de Zeleny en série, reliés à la terre par un tube dont on peut faire varier la longueur, que si les gros ions sont entraînés du premier tube par un courant d'air, ils sont complètement reproduits en 22 minutes environ. Notre impuissance à déceler les gros

1. Wilson. *Phil. Mag.*, juin 1904.
2. Wilson *Phil. Trans.*, A-189 1897 265.

ions ne tient par conséquent pas à ce qu'ils sont entraînés avec des poussières, à moins que ces gros ions ne se produisent dans les vases fermés, ce qu'il serait difficile de déterminer.

En considérant que dans l'air naturel les gros ions sont 50 fois plus nombreux que les petits, il est difficile de concilier le fait que l'existence séparée de ces derniers n'a jamais été mis en doute dans les expériences de condensation et l'idée que les gros ions représentent un échelon dans la croissance des petits jusqu'à leur apparition visible et l'évidence expérimentale en ce qui concerne la position du gros ion dans cet enchaînement ne semble pas encore établie d'une façon satisfaisante.

MM. Langevin et Moulin[1] considèrent les petits et les gros ions comme jouant un rôle différent dans la formation des nuages naturels, mais l'exposé de leur façon de voir n'est qu'une conception.

Puisque tous les ions ont la même charge, l'état électrique de l'air dépend du nombre des ions de chaque espèce qui existent à un instant donné. Si les nombres des ions positifs et négatifs sont les mêmes l'air est neutre électriquement; mais si des ions d'un certain signe surpassent de beaucoup le nombre des ions de l'autre signe, l'air est alors fortement électrisé.

Le nombre par centimètre cube, ou le nombre spécifique, comme on dit, de chaque espèce d'ions dans l'air est une quantité excessivement variable, particulièrement pendant le jour. Des résultats de mesures faites à divers points du monde on considère que le nombre spécifique des petits ions varie entre 500 et plusieurs milliers.

Entre cette valeur et celle que m'ont donnée mes propres expériences, il y a une surprenante discordance. Dans une serie de 128 observations faites à Sydney dans la première partie de 1907, le nombre spécifique maximum a été trouvé 157, le minimum zéro, le nombre moyen pour les ions positifs étant 59 et celui pour les ions négatifs 58. Les déterminations effectuées en Europe reposent sur les observations faites avec l'appareil bien connu d'Ebert, dont le principe est celui du tube de Zeleny. A l'aide de l'existence des ions intermédiaires, on peut montrer facilement que l'électrode intérieure de l'appareil est beaucoup trop longue. L'appareil de la façon dont il est ordinairement employé, recueille non seulement les petits ions mais aussi une certaine proportion des autres espèces. En appliquant le calcul à mes propres mesures des mobilités et des nombres spécifiques, on trouve que la détermination du nombre spécifique des petits ions en partant des indications de l'appareil d'Ebert doit être de deux à trois fois trop grand. En ce qui concerne le reste de la différence de concordance, j'ai employé pour mes observations l'électromètre Dolezalek et cela m'a peut-être porté préjudice de penser que la feuille de métal de l'électroscope d'Ebert est d'une application douteuse pour l'usage dans de telles déterminations; en tout cas la question doit faire l'objet d'une étude spéciale, mais en attendant, j'ai la plus entière confiance dans mes propres mesures.

Quant aux autres ions, je conclus des séries d'observations très limitées que j'ai faites maintenant sur les ions intermédiaires dans l'air à son état naturel, que ce que j'ai antérieurement appelé une ionisation relativement forte est représenté par environ un millier par cm^3, tandis que l'ionisation relativement faible est environ de deux cents.

Une série de 117 observations me donne pour le nombre spécifique des gros ions 5500 comme maximum et 600 comme minimum, la moyenne pour les ions positifs étant 1914 et pour les négatifs 2228.

Les nombres donnés à l'exception de ceux concernant l'ion intermédiaire sont les résultats de mesures faites avec de l'air aspiré directement dans l'appareil de mesure sans l'intermédiaire d'un tube quelconque. Des observations ultérieures conduisent à des valeurs plus élevées pour le nombre spécifique des gros ions dans l'air qui a traversé une grande longueur de tubes.

On sait, très bien, depuis le mémorable travail de lord Kelvin sur ce sujet, qu'une différence de potentiel existe entre la surface de la terre et les couches élevées de l'atmosphère. Dans le champ électrique ainsi défini les ions de l'air se meuvent plus ou moins rapidement dans la direction verticale, les négatifs s'élevant ordinairement, les positifs se dirigeant vers le sol. Un tel mouvement constitue un courant vertical électrique dans l'air, l'intensité de ce courant à un instant dépendant de la conductivité spécifique de l'air et la valeur du gradient du potentiel à cette époque. La conductivité spécifique est représentée par la somme des produits du nombre spécifique, de la mobilité et de la charge pour chaque espèce d'ion. Un appareil décrit par Gerdien, dans lequel on emploie un électroscope comme dans l'appareil d'Ebert, a été universellement employé pour les déterminations de cette importante quantité. Il mesure la somme des conductivités dues à chaque espèce d'ionisation, et le calcul du résultat des observations avec cet appareil n'explique pas la découverte d'une nouvelle espèce d'ions. La complexité de l'ionisation naturelle, cependant, empêche l'instrument employé de déterminer avec précision le nombre spécifique des petits ions. La valeur moyenne de la conductibilité spécifique de l'air à différents endroits du monde, conduit, avec l'appareil de Gerdien[1], à environ 10^{-4} U. E. S. La grandeur de cette quantité peut être calculée à partir des mesures de mobilités et des nombres

1. Langevin et Moulin. *Loc. cit*

1. Gerdien. *Gesell. Wiss. Gottingen. Math. Phys. Klasse.* 1 (1907) 77.

spécifiques des ions, et la conductibilité spécifique moyenne de l'air à Sydney, ainsi déterminée, n'est que le dixième de la valeur précédente. Ici encore, il y a une discordance considérable entre mes propres mesures et celles qui ont été déjà obtenues.

Le développement de nos connaissances à ce sujet nous permet de prévoir en météorologie une répercussion importante de l'observation des ions; il n'est pas douteux maintenant qu'on ne fasse dans cette voie de sérieux efforts en marquant ainsi la confiance acquise dans ces questions.

Tel est l'aperçu de ce que nous savons actuellement sur les ions de l'atmosphère.

Avec la publication de M. Wellisch et les recherches de M. Sutherland nous possédons une idée nette des petits ions de l'air, considérés comme molécules, qui grâce à l'attraction de leur charge produisent des collisions qui n'auraient pas lieu sans cela, et agissent comme si elles possédaient des dimensions plus grandes; cette conception ne servant pas seulement à l'interprétation simple de notre expérience, mais aussi à la description exacte des faits. Pour ce qui est des gros ions on ne peut encore faire aucune image analogue. Des ions d'un caractère semblable ont été observés dans les gaz des flammes et dans d'autres cas, et il faut espérer que ce sujet maintenant résumé sera reconnu d'un intérêt suffisant, par ceux qui ont l'habitude de manier les méthodes de la théorie cinétique des gaz, pour que l'histoire de la vie de ces groupements de molécules entre en discussion.

L'étude de l'ionisation naturelle a un intérêt spécial, puisque une détermination plus complète des faits de l'ionisation de l'air permet de comprendre plus aisément l'électricité atmosphérique.

[Reçu le 15 avril 1909.]