L'ionisation de l'air en vase clos et la radiation pénétrante

Par A.-B. CHAUVEAU

DEUXIÈME PARTIE

IV. — *Origine de la radiation pénétrante.*

13. — Nous avons dit que, d'après les meilleurs résultats connus, on peut estimer, *en moyenne*, à 6 ions par cmc. et par seconde la part qui, dans l'ionisation en vase clos, revient à une influence du milieu extérieure sous forme de rayons très pénétrants analogues aux rayons γ du radium.

Quelle est l'origine de cette radiation ?

On est tout naturellement conduit à la chercher dans les produits radioactifs du sol et de l'atmosphère,

et les données actuelles sur la teneur en émanation de ces deux milieux permettent, en effet, comme nous le verrons plus loin, de se rendre compte, au moins approximativement, des phénomènes.

Toutefois, suivant la façon dont leurs observations ont été conduites, les différents physiciens qui se sont occupés de la question ont émis des conclusions différentes sur l'importance relative des effets de l'atmosphère et du sol.

Les uns, parmi lesquels il faut citer McLennan, Wulf, Wright, Simpson, attribuent au rayonnement direct des couches superficielles du sol la presque totalité de la

radiation pénétrante ; d'autres, comme H. Mache et Tr. Rimmer¹, Strong², Pacini³, Gockel⁴, V. F. Hess⁵, considérant surtout soit les variations du phénomène (variations régulières, telles que la variation diurne, et variations accidentelles, souvent considérables et de l'ordre de grandeur de la valeur normale), soit certains résultats de mesures en ballon, inclinent à une origine plutôt atmosphérique de l'effet pénétrant.

Mache et Rimmer ont très bien développé cette seconde manière de voir. Suivant ces auteurs, le rayonnement pénétrant du sol résulte des radioactivités induites, d'origine atmosphérique, accumulées sur la surface par l'action du champ terrestre.

L'effet doit varier comme la cause, et les maxima et minima d'ionisation doivent correspondre aux maxima et minima d'entraînement vers le sol des radioactivités induites, c'est-à-dire aux maxima et aux minima du champ. On explique ainsi tout à la fois et l'allure de la variation diurne et les fortes variations accidentelles en relation immédiate avec des variations analogues que l'on sait fréquentes dans la valeur du champ.

Toute cause d'entraînement physique ou mécanique des radioactivités induites de l'atmosphère provoquerait de même l'accroissement de l'ionisation en vase clos. Telle serait l'action des pluies ou des neiges qui semblent, en effet, augmenter l'ionisation, et qui, dans leur chute, précipitent sur le sol les radioactivités des couches qu'elles traversent.

D'autre part, l'absence de variation diurne et la faiblesse des variations accidentelles que Simpson et Wright ont cru constater au-dessus de l'océan (n°6) s'accorderaient également bien avec la conception de Mache et Rimmer, les dépôts actifs ne pouvant se produire et persister sur la surface des mers comme sur la couche solide du sol.

On sait que l'ionisation générale de l'atmosphère, évaluée par des mesures directes ou par des mesures de conductibilité, varie, au contraire, en sens inverse du champ. Mais ce fait n'est pas en contradiction avec les considérations précédentes, car, ainsi que le font remarquer Mache et Rimmer, pour l'ionisation générale, due surtout aux rayons α , le facteur essentiel est la densité en volume de l'émanation et de ses produits dans l'air, et cette densité peut très bien être minima au moment où la densité superficielle des dépôts radioactifs sur le sol est maxima.

Aucune explication meilleure ne paraît pouvoir être donnée des variations régulières ou accidentelles

de l'ionisation en vase clos. D'autres hypothèses ont cependant été faites à leur sujet. Wulf, notamment, a cru trouver dans les résultats d'une intéressante série d'expériences l'existence d'un rapport immédiat entre ces variations et celles de la pression atmosphérique : le rayonnement pénétrant serait d'autant plus fort que cette pression est plus faible, et cet effet pourrait être rattaché au dégagement de l'émanation incluse dans les couches superficielles, dégagement qu'accroissent des pressions plus faibles, que ralentissent des pressions plus fortes, ainsi que cela semble résulter des mesures d'Ebert.

Mais, dans cette hypothèse, le parallélisme signalé par Wulf lui-même entre les variations du potentiel et celles de l'ionisation n'est plus explicable. Ces deux variations devraient être, au contraire, presque en sens inverse, la marche diurne du baromètre étant, dans son ensemble, analogue à celle du champ au voisinage du sol. En admettant la loi de variation diurne de Wood et Campbell, on écarte nécessairement, comme cause indirecte de cette variation, l'effet de la pression, du moins tel que le conçoit l'hypothèse de Wulf. Cet effet ne peut plus intervenir que pour l'explication des variations accidentelles de l'ionisation, si toutefois l'observation montre qu'il y a concordance avec des variations brusques et notables de la pression. C'est ce qui semble, d'ailleurs, résulter surtout des expériences de Wulf.

14. — L'ordre de grandeur des variations diurnes et accidentelles de l'ionisation en vase clos se prête à leur explication par une action venue de l'atmosphère. Il n'en est pas ainsi du phénomène lui-même, que la radioactivité des couches superficielles du sol semble seule pouvoir expliquer.

Les expériences de Mc Lennan et de Wright sur l'effet d'écran des nappes d'eau suffisamment épaisses établissent, d'une façon qui paraît irréfutable, l'existence d'un effet pénétrant considérable de la surface solide du sol. Nous avons vu qu'en opérant successivement avec le même appareil, à l'air libre, d'abord au-dessus du sol nu, ensuite *sur la glace* du lac Ontario, Mc Lennan avait observé une diminution de 15,1 à 9,5, soit de 5,8 ions. C'est une réduction de 58 pour 100 de l'ionisation initiale, au moins égale et plutôt supérieure aux réductions les plus fortes obtenues avec des écrans métalliques autour du récipient. L'observation sous cette forme est même particulièrement instructive, car, en dehors d'un effet propre du terrain, toutes les influences extérieures possibles se font également sentir dans les deux positions de l'appareil, et les dépôts radioactifs eux-mêmes, entraînés par le champ vers la terre, semblent pouvoir exister sur la glace du lac comme sur le sol des régions voisines.

Les recherches de Wulf¹, auxquelles nous avons

1. *Loc. cit.* n° 12.

1. *Phys. Zeitschr.*, 7 (1906) 617; et *Le Radium*, 3 (1906) 289. — *Wien. Ber.*, 119 (1910) 55.

2. *Phys. Rev.*, 27 (1908) 59; et 28 (1909) 144.

3. *Rend. Acc. Linc.*, 18 (1909) 125.

4. *Phys. Zeitschr.*, 10 (1909) 845.

5. *Wien. Ber.*, 120 (1911); et *Phys. Zeitschr.*, 12 (1911) 998.

fait allusion plus haut, exécutées dans des conditions très variées, tantôt au-dessus de pièces d'eau, tantôt avec des appareils immergés ou enterrés à des profondeurs variables, ont fortement appuyé les conclusions de Mc Lennan. Elles ont montré, en outre, que l'effet pénétrant du sol ne provient pas uniquement de la surface, ainsi que le suppose l'explication de Mache et Rimmer, mais aussi des couches sous-jacentes, jusqu'à une profondeur qui, à cause de l'absorption, ne doit pas dépasser beaucoup 1 m. Un appareil enterré à 20 cm de profondeur, *dans un sol préalablement pelé à la surface*, a accusé une augmentation de 4,7 ions (de 17,9 à 22,6) sur les mesures faites à l'air libre au même lieu.

Enfin, les observations de Simpson et Wright, à bord du « Terra Nova », confirmées par les dernières mesures de Mc Lennan (n° 12), ont nettement montré que l'ionisation en vase clos au-dessus des océans est beaucoup plus faible qu'au-dessus du sol des continents.

L'ensemble de ces résultats nous paraît ne pouvoir laisser aucun doute sur la réalité d'une influence du sol, agissant directement par les produits radioactifs qu'il renferme et qui sont, d'ailleurs, la source très probable de tous ceux que peut contenir l'atmosphère.

15. — La teneur en émanation du sol et celle de l'atmosphère, telles qu'elles résultent des plus récentes déterminations, peuvent conduire à des estimations approximatives de l'effet pénétrant qu'il est intéressant de signaler, malgré les incertitudes qu'elles comportent, parce qu'elles s'accordent suffisamment avec les conclusions qui précèdent sur l'influence relative des deux milieux dans les phénomènes d'ionisation en vase clos.

A. S. Eve¹ a cherché à déterminer par l'expérience le nombre d'ions produits *dans un récipient* par les rayons pénétrants provenant de 1 gr de radium en équilibre radioactif placé à l'unité de distance. Pour cela, il s'est servi d'un échantillon de bromure de radium pur enfermé sous 7 mm de plomb, et il a fait usage d'un récipient d'aluminium. Ce récipient avait été choisi parce qu'il donnait l'ionisation la plus faible (297, au lieu de 550 avec des récipients de zinc ou de cuivre, et 550 avec un récipient de plomb), les différences provenant soit de la présence de matières radioactives dans le métal, soit de l'effet plus ou moins grand des radiations secondaires excitées sur les parois par le rayonnement pénétrant.

Après quelques corrections plus ou moins approchées pour tenir compte de l'absorption par l'enveloppe de plomb, puis par l'air, Eve obtient, pour le nombre K d'ions produits par centimètre cube et par seconde, dans le récipient, par les rayons γ provenant

de 1 gr. de radium en équilibre, placé à l'unité de distance, la valeur¹

$$K = 5,9.10^9.$$

Considérons un milieu dont la teneur uniforme en émanation soit représentée par p , poids en gramme du radium en équilibre avec l'émanation par centimètre cube, et soit μ le coefficient d'absorption du milieu pour les rayons γ . Un calcul simple donne, pour le nombre des ions produits par seconde et par centimètre cube à l'intérieur d'un récipient placé dans ce milieu, l'expression

$$(1) \quad n = \frac{4\pi}{\mu} p K.$$

Appliquons-la à l'air atmosphérique.

La quantité d'émanation contenue dans l'air, nécessairement très variable suivant les conditions météorologiques, paraît être, en moyenne, d'après les déterminations assez concordantes (on pourrait même dire remarquablement concordantes, étant donnée la nature de la grandeur à mesurer) de A. S. Eve², J. Satterly³, G. Ashman⁴, par mètre cube, celle qui correspond à l'équilibre radioactif avec 10^{-10} gr de radium. On aura donc pour p , rapporté au centimètre cube, $p = 10^{-16}$ gr.

Le rayonnement γ des produits de cette émanation est seul à considérer pour l'ionisation dans un récipient clos⁵. Le coefficient d'absorption de ce rayonnement par l'air, μ , se déduira par la formule de Mc Clelland (loi des densités) de la valeur $\mu_0 = 0,054$ déterminée pour l'eau : δ étant la densité de l'air, on aura $\mu = 0,054 \delta = 0,000044$.

En introduisant dans la formule les valeurs de K, p et μ , on trouve :

$$n = 0,11.$$

Ce nombre se rapporte à l'émanation du radium, ou, plus exactement, au radium C qui en résulte,

1. La valeur donnée par Eve dans son Mémoire (*Phil. Mag.*, Sept. 1906) est $5,1.10^9$. Ce nombre se rapporte à 1 gr. de bromure de radium, et il est calculé avec $e = 5,4.10^{-10}$ comme valeur de la charge ionique; d'où la nécessité de deux corrections, d'ailleurs de sens contraire et qui se compensent en partie. Elles ont été publiées par l'auteur dans un Mémoire postérieur (*Phil. Mag.*, Janvier 1911), où, pour le calcul que nous donnons plus loin, Eve utilise la valeur $K = 5,1.10^9$. La première des deux corrections seule est faite dans le *Traité de Radioactivité* (t. II, p. 512 de Mme Curie, et le nombre donné pour K : $5,15.10^9$ e. t. par suite, trop fort. Eve a rectifié lui-même son calcul dans un mémoire qui a suivi de quelques mois (*Phil. Mag.*, Octobre 1911) celui que nous citons plus haut : il adopte la valeur $K = 5,74.10^9$.

2. *Phil. Mag.*, 40 1905, 98; et 46 1908) 622.

3. *Phil. Mag.*, 46 1908 584; et 20 1910 1.

4. *Amer. Journ. of Sc.*, 26 1908 119.

5. Les rayons β les plus pénétrants ne sont arrêtés que par quelques millimètres des métaux ordinaires (V. E. Pound). Une certaine proportion de ces rayons doit donc agir sur le gaz dans les récipients; mais cet effet ne semble pouvoir être qu'une fraction très faible de l'effet des rayons γ .

1. *Phil. Mag.* 42 (1906), 189.

producteur de rayons γ . La radioactivité induite du thorium, présente dans l'air en quantité notable, peut aussi donner de tels rayons. Les données manquent pour en évaluer l'effet ionisant dans le cas qui nous occupe, mais il y a tout lieu de croire qu'il est sensiblement inférieur à celui des produits du radium, de telle sorte que le nombre

$$n_1 = 0,20$$

paraît représenter une valeur assez approchée, et plutôt par excès, de l'effet pénétrant de l'ensemble des produits radioactifs en suspension dans l'atmosphère, en y comprenant même l'effet des rayons β capables d'agir à travers la paroi sur le gaz du récipient.

16. — On peut évaluer de la même façon l'effet pénétrant du sol. Des déterminations assez nombreuses ont été faites, notamment par R. J. Strutt et J. Joly, sur la teneur en radium des différents terrains ou roches qui composent les couches superficielles. On peut admettre, comme valeur moyenne applicable à l'ensemble des terrains, 2.10^{-12} gr. de radium par gramme de matière, ou 5.10^{-12} gr. par centimètre cube.

D'autre part, le coefficient d'absorption des rayons γ par le sol, de densité moyenne 2,5, est donné par $\mu_1 = 0,054.2,5 = 0,085$.

La formule (4) qui devient ici, pour une action s'exerçant à la surface du milieu,

$$(2) \quad n = \frac{2\pi}{\mu} p K$$

donne

$$n = 1,5$$

environ, pour l'effet du radium.

Il faut y ajouter l'effet du thorium, et là se présente une très grosse incertitude.

La teneur du sol en thorium est considérable, par rapport à la teneur en radium. Elle paraît assez bien connue, du moins comme ordre de grandeur, par les mesures de G. A. Blanc¹ (à l'aide de deux méthodes très différentes, l'une indirecte, l'autre directe), et par celles de J. Joly², qui conduisent à la considérer comme 10^7 fois plus grande que la teneur en radium, et correspondant par suite, en moyenne, à 5.10^{-5} gr. de thorium par centimètre cube de roches.

C'est là, certainement, une source très importante de rayons pénétrants, mais quelle est sa part dans le rayonnement total du sol?

M. Blanc³ estime qu'elle est environ 6 fois plus grande que celle du radium; M. Eve, qu'elle est sen-

siblement la même. Suivant que l'on admet l'une ou l'autre de ces opinions, également incertaines, on est conduit à

$$n_2 = 10,5$$

ou

$$n_2 = 3$$

pour le nombre des ions produits par centimètre cube et par seconde, dans l'air d'un récipient, par le rayonnement pénétrant du sol. La première valeur est notablement plus forte, la seconde plus faible que la moyenne des nombres fournis par les meilleures déterminations directes, dont on retrouve ainsi, cependant, mieux que l'ordre de grandeur.

17. — Nous avons trouvé plus haut, pour l'effet des produits radioactifs en suspension dans l'atmosphère,

$$n_1 = 0,20.$$

Cette valeur est très faible; mais elle ne suffit probablement pas à caractériser l'influence du milieu, car à celle-ci doit se rattacher encore l'effet des dépôts radioactifs accumulés sur la surface du sol, soit par l'action du champ, soit par les précipitations, suivant l'hypothèse de Mache et Rimmer. Or, dans les mesures, l'effet de ces dépôts s'ajoute à l'effet propre du sol; il est éliminé avec lui dans celles qui sont faites au-dessus des nappes d'eau.

Les observations de Simpson et Wright (n° 11) sur les ionisations plus grandes observées à bord d'un navire au voisinage des côtes, et sur la persistance de cet effet pendant un temps assez long après que le navire a gagné la pleine mer, pourraient servir à préciser l'importance de cette action indirecte des radioactivités de l'atmosphère. Simpson et Wright ont signalé, dans l'ionisation de l'air de leur récipient, des différences de 2 ions qui ne sont explicables que par ces dépôts, et, même en tenant compte de l'accroissement du rayonnement secondaire de la paroi, l'effet est, au moins, de six à dix fois supérieur à celui que l'on peut attribuer aux seuls produits en suspension dans l'air au-dessus des continents.

Comme conclusion, il semble que l'on puisse résumer ainsi tout ce que nous pouvons prévoir actuellement des origines de la radiation pénétrante; celle-ci résulterait :

1° D'un effet des produits radioactifs en suspension dans l'atmosphère; effet presque négligeable et de l'ordre de 0,1 à 0,2 ions;

2° D'un effet des dépôts radioactifs provenant de l'entraînement des radioactivités atmosphériques vers la surface du sol. Cet effet, très variable comme ces dépôts eux-mêmes, et qui peut fournir l'explication des variations régulières et accidentelles de l'ionisation en vase clos, serait de l'ordre de 1 à 2 ions;

1. *Rend. Acc. Linc.*, 47 (1908); et 48 (1909) 241 et 249.
— *Le Radium*, 5 (1908) 109; et 6 (1909) 506.

2. *Phil. Mag.*, 47 (1909) 765; et 20 (1910) 125.

3. *Le Radium*, 6 (1909) 506.

5° D'un effet du rayonnement propre du sol, dû aux matériaux radioactifs des couches superficielles, probablement variable dans d'assez larges limites, d'un lieu à l'autre, suivant la nature de ces couches, plus important que ceux qui précèdent et correspondant à la production de plusieurs ions, mais dont il est difficile, pour le moment, de préciser autrement la grandeur. Il serait de 4 à 5 ions, si l'on admet le nombre 6 pour l'effet pénétrant total déduit des observations.

Quoi qu'il en soit, il paraît inutile, pour l'explication quantitative des résultats, de chercher autre part que dans des influences terrestres l'origine de cet effet. S'il n'est pas possible d'écarter absolument l'hypothèse de Richardson¹ d'un rayonnement pénétrant d'origine cosmique ou solaire, on ne voit pas qu'il y ait lieu d'y faire appel pour les phénomènes observés *au voisinage du sol*. Cette hypothèse n'aurait à intervenir que pour rendre compte d'un état anormal d'ionisation des couches élevées de l'atmosphère, si l'observation nous révélait l'existence d'un pareil état.

48. — *Variations avec l'altitude.* — Les variations de l'ionisation en vase clos avec l'altitude fourniraient des indications précieuses, s'il était possible d'isoler, en quelque sorte, les récipients dans l'air, de façon à les soustraire à tout effet radioactif de constructions ou d'objets voisins. La réalisation complète de ces conditions semble difficile.

Dans un Mémoire que nous avons déjà cité², A. S. Eve a calculé, sous certaines hypothèses, l'effet probable de l'altitude sur l'intensité des rayons pénétrants émanés du sol, par suite de l'absorption par la couche d'air traversée; il obtient les nombres suivants :

Altitude en mètres.	Intensité relative.
0	1,00
1	0,98
10	0,85
100	0,56
1000	0,001

La décroissance est rapide et pourrait être aisément constatée à des hauteurs relativement faibles au-dessus du sol.

C'est ce qu'a essayé de faire Mc Lennan³ en observant, avec le même récipient, à la base et au sommet d'une tour de 64 mètres de hauteur. Nous avons donné (n° 10) les résultats de ces observations. La moyenne des premières, faites à l'air libre au-dessus du sol, donne 15,1 ions par cmc. et par seconde; celle des secondes, à l'intérieur de la cage de l'horloge, au sommet, donne 12,1. On admet que, pour ce

dernier résultat, il y a compensation entre l'accroissement résultant d'un effet des parois de l'espace clos dans lequel on opère, et la diminution provenant de l'absorption par les mêmes parois. Les valeurs de l'effet pénétrant à la base et au sommet sont respectivement :

$$15,1 - 9,5 = 5,6 \text{ et } 12,1 - 9,5 = 2,6$$

(9,5 est l'ionisation observée sur la glace du lac), et le rapport, 0,48, est bien de l'ordre de grandeur prévu par le calcul d'Eve.

Les mesures exécutées par Wulf⁴ à la base et au sommet de la Tour Eiffel indiquent également une décroissance très nette de la radiation pénétrante avec l'altitude. Elles s'accordent, il est vrai, fort mal, pour la hauteur de 300 m., avec le tableau d'Eve. Le rapport des nombres d'ions dus à l'effet pénétrant, d'une part au sommet (2,6), d'autre part sur le sol (4,5), est 0,58, et beaucoup trop fort. Nous avons indiqué (n° 12) l'explication probable de cette discordance : sous l'action du champ très intense (environ 3000 volts)⁵ au voisinage du sommet, les dépôts radioactifs doivent être considérables sur l'armature de la Tour, et leur influence paraît certaine sur l'appareil de mesures.

Bergwitz⁵, dans des observations sur un clocher, à 85 m. de hauteur, a obtenu un résultat analogue à celui de Wulf.

Au contraire, plusieurs observations en ballon libre faites par Gockel⁴, et plus récemment par Hess⁵, à des altitudes élevées, n'ont paru donner qu'une diminution négligeable, ou même nulle, de l'ionisation en vase clos. Dans les mesures de Hess, l'appareil employé (appareil de Wulf) était à parois épaisses et absolument étanche; l'ionisation s'est montrée invariable avec l'altitude du ballon qui, cependant, a dépassé 1000 m.

En présence de ces résultats d'apparences contradictoires, il est actuellement bien difficile de conclure, et le problème de la variation du rayonnement pénétrant avec l'altitude, si important pour la question d'origine, attend encore sa solution.

V. — L'ionisation spontanée.

49. — La radiation pénétrante n'explique qu'une partie de l'ionisation en vase clos. Une autre partie provient des parois, par les dépôts radioactifs qui ont pu s'y former; une autre encore des radioactivités

1. *Phys. Zeitschr.*, **11** (1910) 810.

2. A. B. CHALVET : *Etude de la variation diurne de l'Électricité atmosphérique*. Ann. Bur. cent. Météor., 1900 T. I, p. C. 78.

3. *Habilitationschrift*. Braunschweig, 1910.

4. *Phys. Zeitschr.*, **11** (1910) 280.

5. *Phys. Zeitschr.*, **12** 1911 998; et *Wien Ber.*, **120** (1911).

1. *Nature*, **73** (1906) 607.

2. *Phil. Mag.*, **21** (1911) 26.

3. En collaboration avec Macallum. *Phil. Mag.*, **22** (1911) 639.

introduites avec le gaz lui-même. Nous avons dit (n° 5) qu'en éliminant autant que possible ces diverses causes de production d'ions, d'une part par un nettoyage complet, mécanique et chimique, des surfaces et par la filtration de l'air introduit dans le récipient, d'autre part par l'interposition d'écrans convenables, liquides ou solides, on ne peut arriver à faire disparaître l'ionisation du gaz, qui conserve encore une valeur très notable. Les observations de Simpson et Wright conduisent à l'évaluer à 4 ions environ. C'est là, d'ailleurs, la valeur la plus faible qui ait été constatée pour l'ionisation en vase clos.

La question d'origine se pose de nouveau pour cette ionisation résiduelle, sans cause apparente, à laquelle semble pouvoir s'appliquer encore l'ancienne expression d'ionisation spontanée, par laquelle fut caractérisé au début le phénomène général.

L'hypothèse d'une production d'ions dans la masse gazeuse par une sorte de rupture ou d'explosion spontanée de quelques molécules, avec projection d'électrons, a été quelquefois envisagée. On sait qu'un gaz lourd est plus facilement ionisé qu'un gaz léger. Les premières expériences de C. T. R. Wilson avaient montré que, si l'on excepte l'hydrogène, la production d'ions en vase clos est sensiblement proportionnelle à la densité du gaz. En étudiant le nickel-carbonyl, gaz remarquablement dense, G. Jaffé¹ a constaté que l'ionisation était 5,1 fois plus grande qu'avec l'air, et ce rapport est à peu près celui des densités. Un nombre plus considérable, 12,6, a été observé depuis avec l'hexane.

Ainsi, les gaz lourds, à molécules plus riches en électrons, donneraient en vase clos des ionisations plus fortes. Cependant, même appuyée par cette remarque, l'hypothèse d'une émission spontanée d'électrons au sein d'une masse gazeuse, bien qu'elle n'offre *a priori* rien d'in vraisemblable, ne paraît pas non plus s'imposer.

Il en est une autre, préconisée surtout par Wood et par Campbell, et à laquelle s'était rallié jadis J. J. Thomson : c'est l'hypothèse d'une radioactivité particulière de tous les métaux, propriété atomique d'un caractère général, ne différant que par l'intensité depuis les éléments radioactifs proprement dits jusqu'aux métaux ordinaires dont sont faits les récipients d'ionisation.

Wood et Campbell ont cru trouver dans leurs expériences la confirmation de cette manière de voir, que Campbell, notamment, a précisée en admettant, pour l'interprétation de ses résultats, l'existence, chez tous les métaux, d'un rayonnement très absorbable analogue au rayonnement α du radium, et dont le coefficient d'absorption, variable suivant le métal, serait caractéristique de celui-ci.

La découverte postérieure dans le plomb, qui est

1. *Phil. Mag.*, 8 (1904) 556.

particulièrement actif, de substances radioactives définies à l'état d'impuretés, a paru affaiblir les conclusions de Wood et Campbell; mais d'autre part, la radioactivité du potassium et du rubidium, nettement établie depuis leurs travaux, a confirmé des résultats annoncés par eux, et qui n'avaient pas été accueillis sans réserves, sur l'effet ionisant des sels alcalins et la proportionnalité de cet effet à la teneur en métal.

La question reste posée. Au point de vue général, elle est d'un intérêt tel que l'on doit souhaiter vivement qu'elle puisse être complètement résolue.

VI. — Conclusion. — Ionisation atmosphérique.

20. — On voit, d'après l'exposé qui précède, à quels importants résultats et à quelles intéressantes suggestions semble pouvoir conduire l'étude de l'ionisation en vase clos.

Au point de vue particulier que nous avons envisagé au début de cet article, l'ionisation générale de l'atmosphère, les recherches sur la radiation pénétrante ont mis, pour ainsi dire expérimentalement, en évidence l'une des causes les plus importantes de cette ionisation, à savoir l'effet radioactif *direct* des couches superficielles du sol. Elles ont fait mieux qu'en prouver l'existence; elles en ont donné une évaluation quantitative, insuffisamment précise encore sans doute, mais qui s'accorde assez bien avec les résultats théoriques déduits de la teneur des terrains en matières radioactives, pour qu'il soit difficile de ne pas considérer au moins comme une valeur approchée le nombre moyen de 4 à 5 ions par centimètre cube et par seconde auquel nous ont conduits les résultats les plus récents (n° 17).

Ce nombre représente l'effet du sol lui-même, l'effet *direct*, indépendamment de l'effet d'un dépôt superficiel des radioactivités atmosphériques, qui peut être évalué à 2 ou 1 ion, la somme des deux effets donnant l'effet moyen global au-dessus du sol nu.

Les radioactivités en suspension dans l'atmosphère proviennent elles-mêmes du sol par les émanations qui s'en dégagent constamment. On connaît approximativement, nous l'avons dit (n° 15), la quantité de ces émanations présentes dans l'air. Leur action ionisante par les rayons γ est faible; nous l'avons estimée, au maximum, à 0, 20 ions. Celle des rayons β semble plutôt inférieure à ce nombre¹. Mais l'effet des rayons α est beaucoup plus considérable. Un calcul que nous ne reproduirons pas ici conduit à la valeur 2,1 ions pour l'action des rayons α de l'émanation du radium; en y ajoutant quelques dixièmes pour l'action

1. Elle n'est que la seizième partie environ de l'action des rayons α que nous donnons ci-après (Mme CURIE. *Tr. de Radioactivité*, t. II, p. 511).

de l'émanation du thorium, on peut considérer le nombre 2,5 ions comme représentant assez bien, d'après les données numériques sur lesquelles est basé le calcul, l'effet total du rayonnement α des émanations contenues dans l'air à quelque distance du sol.

L'ensemble de toutes ces actions résultant directement ou non des matériaux radioactifs du sol représente donc une production moyenne de 8 à 9 ions par cmc. et par seconde *dans les couches inférieures de l'atmosphère*. Cela seul paraît très suffisant pour rendre compte de l'ionisation générale de ces couches, autant du moins qu'on peut l'apprécier.

21. — Si l'on ne tenait compte que de la recombinaison, une production de 8,5 ions par cmc. et par seconde correspondrait à un nombre d'ions égal à 2500 environ par cmc. pour l'état d'équilibre d'ionisation de la masse gazeuse. Ce nombre est certainement beaucoup trop fort. Le nombre moyen des petits ions dans l'air des couches basses est vraisemblablement inférieur à 1000, valeur autour de laquelle oscillent les déterminations faites avec l'appareil d'Ebert, qui ne peut donner que des résultats trop élevés. Or, pour avoir ces 1000 ions dans l'état d'équilibre, il suffirait d'une production de 1,5 ions.

Mais, en réalité, les nombres ainsi calculés peuvent être très éloignés des valeurs réelles. L'air ren-

ferme des poussières et de l'eau en vapeur ou condensée, et les effets de la diffusion des ions vers ces particules neutres, effets qui donnent naissance aux gros ions, ont une influence probablement beaucoup plus grande que la seule recombinaison des ions de signes contraires. Les nombres des petits ions correspondant à l'état d'équilibre doivent donc être très inférieurs à ceux que nous avons calculés, et il n'apparaît actuellement aucune discordance nécessaire entre les résultats auxquels nous avons été conduits pour la production des ions et l'état d'ionisation de l'atmosphère.

Nos connaissances sur cet état sont d'ailleurs fort incertaines. Nous avons signalé dans une étude précédente¹ quelques divergences considérables entre les résultats obtenus par des procédés de mesures différents, divergences telles qu'elles feraient douter même de l'ordre de grandeur (100 ou 1000, par exemple, pour le nombre des petits ions) de la quantité mesurée. Nous n'y reviendrons pas, mais notre conclusion est encore celle que nous avons alors formulée : il est urgent d'élucider d'une manière complète, par des mesures systématiques avec des appareils dont les indications soient nettement définies, un point qui touche à une donnée fondamentale, indispensable à l'étude électrique de l'atmosphère.

1. *La condensation de la vapeur d'eau par détente* (n° 18), *Le Radium* 9 (1912). 85 et 161.