

Zeitschrift: Archives des sciences physiques et naturelles
Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band: 45 (1918)

Artikel: Recherches sur la radioactivité des eaux neuchâteloises et seelandaises
Autor: Perret, H. / Jaquierod, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-743002>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 17.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

RECHERCHES
SUR LA
RADIOACTIVITÉ DES EAUX
NEUCHATELOISES ET SEELANDAISES

PAR

H. PERRET et A. JAQUEROD

(Avec 6 figures et 1 planche).

INTRODUCTION.

Le nombre des sources qui ont été étudiées au point de vue radioactif est déjà considérable. Les eaux thermales et minérales de quelque renommée sont presque toutes connues. Certaines régions comme la Bohême, la Hesse, la Saxe, ont fait l'objet d'études spéciales ; des centaines de sources y ont été analysées.

Curie, Laborde, Diénert, Blanc en France, Munoz del Castillo en Espagne, Pinto en Portugal, Vicentiti en Italie, Sokolof en Russie, Gockel en Suisse, Boltwood, Eve et Ramsey en Amérique, Isitani et Yamakawa au Japon, etc., etc., se sont principalement occupés de la question.

En général, les études portent sur de vastes régions où les sources analysées sont nécessairement éloignées. Il nous a paru intéressant de nous limiter à une région restreinte et de la « fouiller » aussi complètement que possible. Nous ne croyons pas nous tromper en disant que c'est la première fois que, dans une région aussi petite, des sources aussi nombreuses ont été étudiées.

Dès que nos résultats furent suffisamment nombreux, il nous apparut clairement qu'il était bon de restreindre encore le champ de notre activité, en étudiant, très minutieusement et

parallèlement, deux régions de quelques km² seulement. On verra dans la suite que cette seconde étude vint confirmer les conclusions de la première en ce qui concerne la relation entre la radioactivité des eaux et leur provenance. Continuant d'aller du général au particulier, nous nous sommes occupés longuement de l'étude parallèle de deux sources d'une même région, puis de deux sources de régions différentes.

Enfin, nous avons fait de nombreuses analyses pour voir si les eaux contenaient des sels radifères. Un procédé spécial nous a permis d'élucider ce problème délicat.

Pour des raisons qui seront exposées plus loin, nous n'avons recherché ni l'émanation ni les sels du Thorium.

Les problèmes que pose la question de la radioactivité des eaux sont multiples : est-il possible de déceler une répartition géographique de l'activité ? quelle est l'influence des divers facteurs météorologiques, pression atmosphérique, température, précipitation, etc. ? existe-t-il une relation entre l'activité des eaux et la tectonique ?

Comme on le verra par la suite, si certaines relations générales, basées sur des moyennes, ont pu être établies, il s'en faut de beaucoup que tous ces problèmes soient résolus. Nos recherches, d'ailleurs, seront poursuivies et tendront à démêler l'influence des divers facteurs qui entrent ici en jeu.

Nous remercions très vivement M. le professeur Argand des conseils et des directions qu'il a bien voulu nous donner concernant le côté géologique de la question.

1. MÉTHODE GÉNÉRALE.

L'appareil dont nous nous sommes servis reste fixe. Cela lui donne de précieux avantages dont nous parlerons dans la suite. Par contre, il est impossible de faire des recherches sur des émanations de courte période, celle du thorium par exemple. C'est pour cette raison que nos travaux ne portent que sur l'émanation du radium. Les eaux ont été prélevées en plongeant tout simplement une bouteille dans le lit de la source¹. Il se produit

¹ Au besoin, le lit de la source était creusé préalablement, pour que l'eau pût facilement pénétrer dans le récipient et le remplir.

ainsi, immédiatement, un mélange avec l'air et, par suite, une perte d'émanation. Pour l'éviter, il faudrait faire le vide dans la bouteille, la fermer immédiatement pour ne l'ouvrir que sous l'eau. Ce procédé présentait de nombreux inconvénients, surtout lorsqu'il s'agissait de sources très éloignées de l'endroit où l'on pourrait faire le vide. D'ailleurs, il est impratiquable pour de nombreuses sources qui ne coulent que par un mince filet.

D'autre part, comme nous n'avons pu prélever nous-même toutes les eaux que nous avons analysées, nous avons recouru à l'obligeance d'un grand nombre d'institutrices et d'instituteurs qui nous ont aimablement prêté leur concours. Il était dès lors tout indiqué d'opérer le plus simplement possible.

Il était bon, cependant, de pouvoir évaluer approximativement la quantité d'émanation perdue par notre manière d'opérer. Pour cela, nous avons rempli en même temps et à la même source : 1 récipient dans lequel nous avions fait le vide, et 1 récipient que nous remplissions par la méthode ordinaire.

La différence entre les quantités d'émanation est en moyenne inférieure à 10 % lorsque le débit n'est pas trop faible.

Voici deux exemples qui se rapportent à une source du Seeland (n° 105) :

I. Le 26 septembre l'eau de la source était à une température de 13°, et son débit était de 2 l à la minute.

a) Celle qui n'avait pas été au contact de l'air contenait $2,22 \cdot 10^{-10}$ C. par litre.

b) l'eau prise par la méthode ordinaire contenait $2,02 \cdot 10^{-10}$ C.

II. Le 26 octobre, l'eau de la même source est à une température de 12°, et son débit est de 3 l à la minute.

a) L'eau qui n'a pas été au contact de l'air contient $0,87 \cdot 10^{-10}$ C. par litre

b) l'eau prise par la méthode ordinaire contient $0,80 \cdot 10^{-10}$ C. par litre.

On le voit, dans les deux cas, la différence est inférieure à 10 %. Il est clair que la perte d'émanation est d'autant plus grande que l'eau entre plus lentement dans le récipient, et qu'elle est relativement considérable lorsque l'eau ne s'écoule que par un mince filet.

Notre étude étant essentiellement comparative, cette manière

de prendre l'eau ne présente pas de graves inconvénients. L'important est de procéder toujours uniformément. A cet effet nous avons eu soin de donner des instructions identiques à tous nos collaborateurs.

Voici les principales :

- 1° Prendre l'eau à l'endroit même où elle sort de terre.
- 2° Faire en sorte qu'elle se mélange le moins possible à l'air.
- 3° Remplir complètement les bouteilles, les fermer immédiatement et hermétiquement.
- 4° Mesurer la température de l'eau et celle de l'air.
- 5° Mesurer le débit approximativement. Pour cela, le plus simple est d'opérer comme suit :
 - a) Si l'eau ne sort qu'en faible quantité, on notera le temps qu'elle met à remplir un récipient de capacité connue.
 - b) si elle sort en plus grande abondance et ne peut être captée totalement, on mesurera sa vitesse, la largeur et la profondeur moyennes de son lit. Un calcul élémentaire donnera le débit. La vitesse s'évalue en laissant flotter un morceau de bois dont on mesure le trajet en un temps donné.
- 6° Indiquer le jour et l'heure de la prise.
- 7° Indiquer la situation géographique.
- 8° Envoyer l'eau le plus vite possible : l'expérience se fera ainsi dans les meilleures conditions, car la quantité d'émanation est fonction du temps et diminue rapidement avec lui.

En général les eaux nous parvenaient un, au plus deux jours après leur prélèvement. La quantité d'émanation disparue atteignait donc les 15 à 30 % de la quantité initiale. Malgré cet inconvénient, notre méthode nous semble meilleure que celle qui consiste à analyser les eaux sur place au moyen d'appareils portatifs. En effet, tout déplacement de l'électroscopie entraîne de fortes perturbations dans la perte à vide, et pour des eaux aussi faiblement actives que celles du Jura, l'incertitude qui en résultera ne permettrait aucune mesure sérieuse.

Notre appareil reste absolument fixe : durant de longs mois, il ne subit aucun déplacement. Cette stabilité entraîne une constance remarquable de la perte à vide et permet de déceler les plus faibles influences. Cela nous a permis de faire des mesures

précises qui eussent été probablement impossibles avec un appareil portatif.

L'émanation est extraite de l'eau par la méthode de circulation d'air. Son influence sur l'électroscopie est comparée à celle d'une solution titrée.

La loi de Henry $\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} = \frac{V_1}{aV_2}$ ¹ et la loi bien connue $I = I_0 \cdot e^{-\lambda t}$ permettent de connaître la quantité d'émanation totale présente au moment où l'eau a été prélevée².

Remarque. Nous rendons nos lecteurs attentifs aux « Notes historiques », qui précèdent chacun des chapitres où nous tirons nos conclusions ; elles permettent de comparer nos résultats à ceux qui ont été trouvés jusqu'à ce jour.

II. APPAREIL.

A. Description. — L'appareil qui nous a permis de faire nos recherches a été construit entièrement au laboratoire de l'Université de Neuchâtel.

Comme le montre la figure 1, il se compose d'un électroscopie à feuille d'aluminium, portant un microscope muni d'un micromètre oculaire à 100 divisions. La lame d'aluminium est munie d'un petit fil de quartz, seul visible dans le microscope, pour faciliter les lectures.

La cage C est supportée par un trépied avec vis de réglage et niveau d'eau.

La chambre d'ionisation, capable de tenir un bon vide, est munie de deux robinets : l'un à la partie supérieure et l'autre à la partie inférieure. Cela permet une bonne circulation de l'émanation. Cette chambre est faite de deux parties vissées l'une sur l'autre. On peut ainsi la nettoyer facilement et enlever s'il le faut, par frottement, les dépôts de radioactivité induite qui pourraient fausser les observations.

L'électrode H est isolée au soufre et s'appuie sur celle de

¹ V_1 == volume de l'air, ϵ_1 == émanation qu'il contient.

V_2 == volume de l'eau, ϵ_2 == émanation qu'elle contient.

a coefficient d'absorption de l'eau.

² Chap. IV, p. 291.

l'électroscopie, isolée à l'ambre, par un petit ressort r. Une tige métallique t, glissant dans un cylindre d'ébonite, permet de charger l'appareil (fig. 2).

B. *Etalonnage.* — L'étalonnage de l'appareil a été fait au

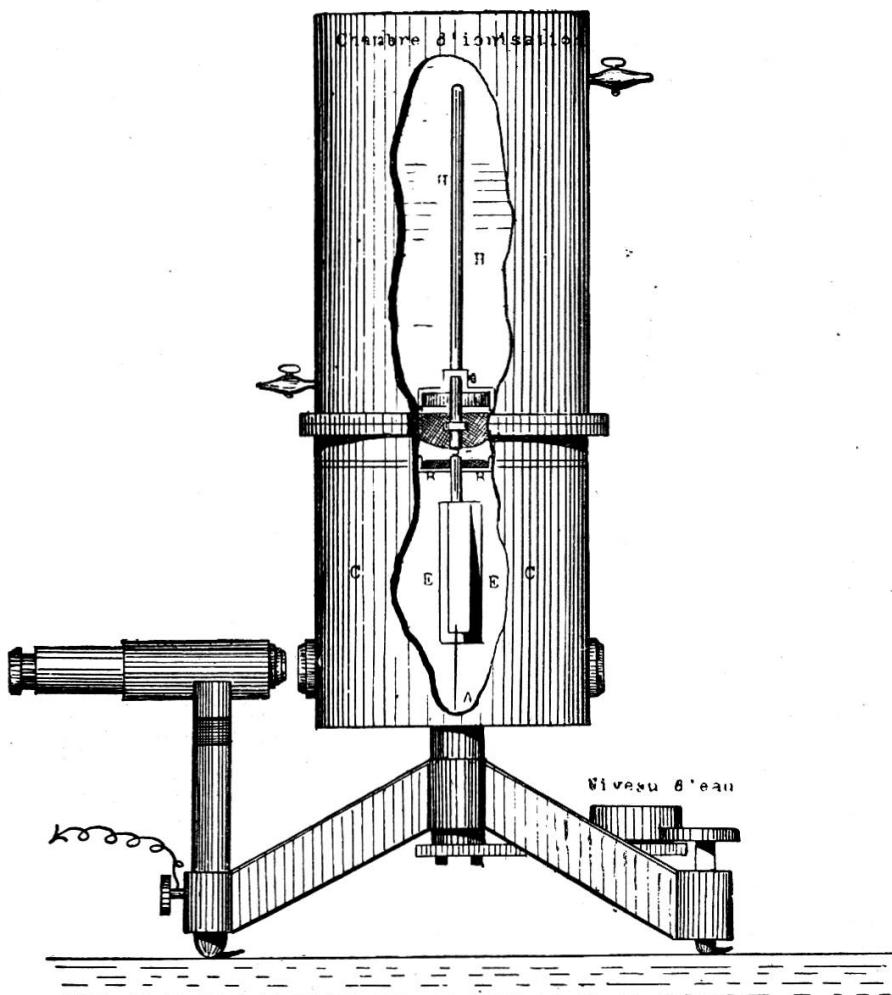


Fig. 1.

moyen d'un électroscopé étalonné lui-même suivant la méthode ordinaire à l'aide de piles.

La division 0 correspond à 267,5 volts et la division 100 à 389 volts. La courbe du voltage, en fonction de la position de l'aiguille, est une droite.

En introduisant dans la chambre d'ionisation l'émanation d'une solution titrée de forte teneur, on voit que la chute de l'aiguille est proportionnelle au temps. Par conséquent, les divisions sont bien équivalentes. C'est là ce qui importe.

C. *Perte à vide.* — L'activité des eaux du Jura est en général très faible. L'influence de l'ionisation spontanée de l'air est très souvent supérieure aux 20 % de l'influence totale. Elle doit donc être très bien connue.

La perte à vide peut varier sensiblement d'une heure à l'autre, et jamais elle ne peut être très exactement connue, au cours d'une expérience, pour un espace de temps restreint. Cependant, ses fluctuations ne sont que momentanées, et, si l'on considère des intervalles de plusieurs heures, sa moyenne varie peu. C'est ce que prouve le tableau suivant, et cela tient comme nous l'avons dit au fait que l'appareil reste fixe.

Si l'on tient compte des facteurs suivants :

1° Au cours d'une expérience nous faisons toujours de nombreuses lectures, si bien qu'il est difficile que les variations brusques de la perte à vide, si elles se produisent, échappent à l'observation.

2° Nous mesurons la perte à vide avant et après chaque expérience, si possible, et les variations lentes sont ainsi connues.

3° Les expériences durent au moins quelques heures, au plus quelques jours.

4° La radioactivité d'une même source varie considérablement d'un jour à l'autre. Il n'est donc possible de la déterminer que pour un instant donné. Les mesures ne nécessitent pas, en conséquence, une très grande précision.

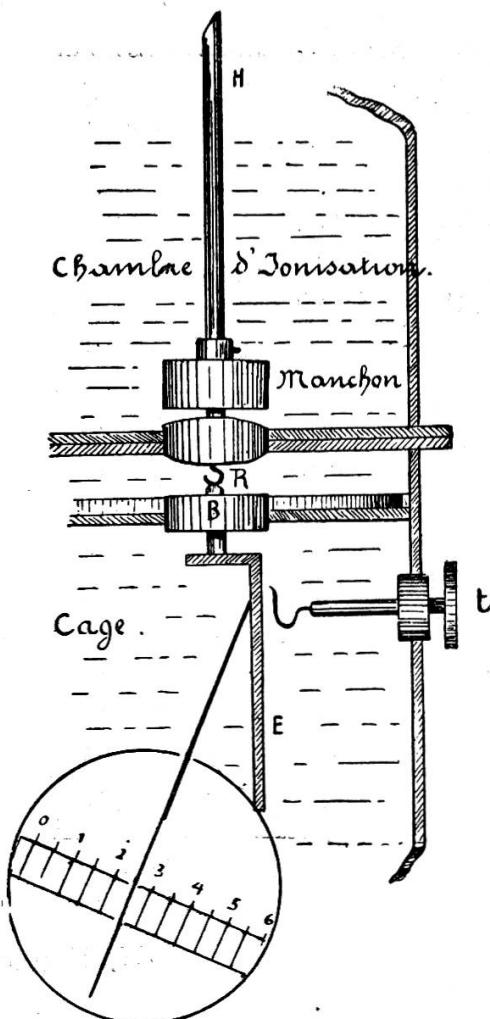


Fig. 2.

On voit que les variations de la perte à vide qui auront échappé à l'observation n'auront pas d'influence sensible sur le résultat de nos recherches.

VARIATIONS DE LA PERTE A VIDE

Année	Mois	Jour	Moy. div. par m	Année	Mois	Jour	Moy. div. par m
1914	mai	14	0,013	1916	juin	13	0,014
	décemb.	14	17		juillet	16	16
1915	janvier	16	14		octobre	19	20 ¹
	mai	18	17		novemb.	16	15
	juillet	10	14		décemb.	12	19
	août	14	13		janvier	18	15
	sept.	24	13		février	2	15
	octobre	12	13		mars	4	16
	novemb.	16	13		avril	25	17
	décemb.	12	12		mai	18	19
	janvier	21	13		juin	18	17
	février	11	15		juillet	9	15
1916	mars	11	15		août	20	17
	avril	23	14		sept.	25	19
	mai	18	13				

III. EXPÉRIENCES.

A. *Dispositif.* — L'appareil est placé sur une tablette de verre et relié au sol par un fil conducteur.

Le robinet supérieur porte un tuyau de caoutchouc. Lorsqu'on veut faire le vide dans la chambre d'ionisation, on fixe ce tuyau sur une conduite de verre aboutissant à une trompe à eau. Lorsqu'on veut introduire l'émanation dans la chambre, on fixe ce tuyau sur un tube desséchant au chlorure de calcium dont l'autre extrémité est reliée à un tube de verre. Ce dernier, enfoncé dans le bouchon du récipient qui contient l'eau à ana-

¹ L'appareil venait d'être déplacé pour cause de réparation.

lyser, s'arrête à 1 cm environ de la surface. Le bouchon est traversé d'un second tube qui plonge dans la bouteille jusqu'à un ou deux cm du fond et par lequel l'air extérieur pénétrera dans le liquide, y barbotera et se chargera d'émanation avant de se rendre dans l'appareil.

B. *Analyses.* — Avant de commencer une analyse, il est nécessaire d'enlever, par circulation d'air, toute trace d'émanation de la chambre d'ionisation, des tuyaux, poire, etc. Pour que cet air soit exempt de poussière et d'humidité, on le fait passer préalablement à travers un tube contenant de l'ouate et un tube desséchant.

Lorsque la circulation est suffisante, on fait le vide dans la chambre et l'on ferme les robinets. L'air est alors appelé dans la chambre : il traverse l'eau à laquelle il enlève une partie de son émanation, se dessèche dans un tube au chlorure de calcium, et pénètre dans l'appareil par le robinet supérieur.

En général, l'air, dans son passage rapide à travers l'eau, ne se charge pas de toute l'émanation qu'il est capable de contenir à la température donnée : malgré toutes les précautions, et notamment une pince de réglage qui ne permet à l'air d'entrer que bulle à bulle dans la bouteille, il se produit, pour une même solution titrée dont on extrait l'émanation à intervalles réguliers, des différences assez sensibles.

Pour parer à cette cause d'erreur, on aspire l'air de la chambre d'ionisation au moyen d'une poire fixée au robinet inférieur, et on le refoule dans l'eau à laquelle il enlève une nouvelle quantité d'émanation¹. Puis il se rend dans la chambre par le robinet supérieur.

Lorsque l'air a passé plusieurs fois dans l'eau, il contient toute l'émanation qu'il peut contenir dans les conditions données.

C. *Procédé de mesure.* — Soit q_1 la quantité d'émanation produite par une solution titrée connue et introduite dans la chambre d'ionisation d'un électroscopie ; D_1 la chute de l'aiguille durant le temps T ; d celle qui aurait été produite par l'ionisation spontanée de l'air.

¹ Deux soupapes placées convenablement de part et d'autre de la poire empêchent l'air de suivre le chemin inverse.

Supposons que, dans les mêmes conditions, l'émanation d'une eau de source produise une chute D_2 ; on aura.

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{D_1 - d}{D_2 - d}$$

On en tirera q_2 , c'est-à-dire la quantité d'émanation provenant de l'eau de source et contenue dans la chambre d'ionisation au moment de l'expérience.

Grâce aux relations connues

$$q_2 = q_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad \text{et} \quad \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{V_1}{aV_2}^1$$

on connaîtra facilement la quantité d'émanation au temps zéro, c'est-à-dire au moment où l'eau a été prise à la source.

C'est ce procédé que nous avons utilisé pour nos recherches.

IV. CALCULS.

A. Inconvénients des méthodes ordinaires quand il s'agit de faibles quantités d'émanations. — Les vitesses de chute étant proportionnelles aux intensités des courants d'ionisation, et tous les calculs se faisant par comparaison, au lieu de comparer des courants, on comparera des vitesses de chute.

Si nous opérions sur des quantités d'émanation assez fortes, nous pourrions rapprocher suffisamment les observations sans que les erreurs de lecture et les fluctuations de la perte à vide puissent influencer les résultats. On pourrait alors supposer la vitesse de chute constante entre les intervalles t_1 et t_2 considérés, et l'on connaîtrait la vitesse de chute à l'instant moyen.

Ayant construit, pour l'émanation de la solution titrée, la courbe des vitesses de chute en fonction du temps, il serait très facile de calculer la teneur de l'émanation considérée.

Mais les eaux que nous analysons sont presque toujours très peu radioactives et la vitesse de chute est si faible qu'il est nécessaire d'espacer considérablement les lectures. Il est dès lors impossible de considérer l'intensité du courant d'ionisation comme constante dans l'espace de temps qui sépare deux obser-

¹ Voir p. 281.

vations, et nous serions obligés de calculer à quel instant t_x l'intensité réelle du courant est égale à l'intensité moyenne.

J_1 et J_2 étant les intensités aux temps t_1 et t_2 , nous aurions :

$$J_1 = J_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t_1} \quad J_2 = J_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t_2}$$

$$J_m = \frac{J_1 + J_2}{2} = J_0 \left[\frac{e^{-\lambda \cdot t_1} + e^{-\lambda \cdot t_2}}{2} \right] = J_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t_x}.$$

Le calcul donne :

$$t_x = -\log \left[\frac{e^{-\lambda \cdot t_1} + e^{-\lambda \cdot t_2}}{2} \right] : \lambda .$$

On arriverait ainsi à connaître l'intensité du courant d'ionisation à un instant précis, et l'on serait ramené au premier cas.

Les tables permettraient de calculer $e^{-\lambda \cdot t_1}$ et $e^{-\lambda \cdot t_2}$ mais on voit que les calculs seraient assez longs. C'est pour cette raison que nous avons cherché une méthode plus rapide, et voici comment nous avons procédé pour éviter dans nos calculs les exponentielles et les logarithmes :

B. *Courbe étalon idéale.* — La vitesse de chute, si l'on suppose la perte à vide = 0, est :

$$v_1 = \frac{d_1 - d_2}{t_1 - t_2}$$

d_1 étant la position de l'aiguille au temps t_1 .

d_2 » » » t_2 .

$t_1 - t_2$ étant assez petit pour que la vitesse puisse être considérée comme constante malgré la diminution de l'émanation avec le temps.

$$d_1 - d_2 = v_1(t_1 - t_2) \quad (1)$$

et de même :

$$d_n - d_{n+1} = v_n(t_n - t_{n+1}) .$$

Si l'on connaît v_0 , c'est-à-dire la vitesse de chute au temps initial, on en déduira facilement v_n au temps n puisque :

$$v_n = v_0 \cdot e^{-\lambda t_n}$$

et que les tables donnent le terme $e^{-\lambda t_n}$ au temps n .

Si l'on connaît également d_1 , c'est-à-dire la position de l'aiguille au temps 0 (position que l'on peut fixer arbitrairement

puisque seules les différences comptent), on pourra calculer la position de l'aiguille au temps quelconque t_n . En effet, la relation (1) donne :

$$d_2 = d_1 - v_1(t_1 - t_2) ;$$

connaissant d_2 , on aura :

$$\begin{aligned} d_3 &= d_2 - v_2(t_2 - t_3) \\ &\dots \dots \dots \dots \dots \\ d_n &= d_{n-1} - v_{n-1}(t_{n-1} - t_n) . \end{aligned}$$

Sachant quelles sont les positions de l'aiguille aux temps $t_1, t_2, t_3 \dots t_n$, on construira la courbe qui donne ces positions en fonction du temps.

Pour des raisons que nous dicte l'expérience, nous avons supposé que $v_1 = 10$ divisions à l'heure, et nous avons fixé la position initiale d_1 à 2000.

Pour calculer les vitesses $v_2 \dots v_n$, nous avons supposé que la valeur $v_0 \cdot e^{-\lambda t}$ donnée par les tables au temps 1 heure est la valeur moyenne des vitesses entre $1/2$ h et $1 \text{ h } 1/2$; de même, la valeur donnée pour 2 heures est la moyenne des vitesses entre $1 \text{ h } 1/2$ et $2 \text{ h } 1/2$, et ainsi de suite. Comme il s'agit toujours de faibles quantités d'émanation, les erreurs qui résultent de cette supposition sont absolument négligeables.

Ainsi, si l'aiguille de l'électroscoppe marquait sa position sur un cylindre horizontal tournant d'un mouvement uniforme devant elle (la perte à vide étant supposée nulle), elle y tracerait une courbe semblable à la courbe idéale.

Cette courbe peut servir pour n'importe quels appareils, à condition de connaître leurs constantes. Pour cela, deux méthodes peuvent être employées :

1^{re} méthode. — On se base sur la capacité de l'appareil.

Soit C cette capacité, on a, J étant l'intensité du courant d'ionisation :

$$J = C \frac{(V_1 - V_2)}{300.3600} \text{ U. E. S.}$$

$V_1 - V_2$ étant la chute de potentiel produite par la solution idéale durant la première heure. La chute de l'aiguille étant de 10 divisions et l'étalonnage de l'électroscoppe nous permettant de traduire les divisions en volts, $V_1 - V_2$ est une quantité connue.

On sait qu'un Curie produit un courant

$$I = 6,02 \cdot 10^6 \cdot \left(1 - 0,572 \cdot \frac{S}{V} \right) [(3) p. 102]^1$$

S étant la surface intérieure de la chambre d'ionisation et V son volume.

Ainsi, la quantité d'émanation correspondant à la courbe idéale est :

$$Q = \frac{J}{I} \text{ Curies.}$$

2^{me} méthode. — On peut aussi procéder par comparaison avec une solution titrée.

Supposons qu'entre les temps quelconques t_n et t_x , la solution titrée produise une chute D de l'aiguille, tandis que, pour le même temps, la solution idéale accuse une chute D_i . Si n est la teneur de la solution titrée, n_i celle qui correspond à la solution idéale, on a :

$$n_i = \frac{n \cdot D_i}{D \cdot A}$$

A étant le facteur par lequel il faut multiplier D pour connaître la déviation que produirait l'émanation totale de la solution titrée à 760^{mm} et 15°.

Exemple. — La courbe idéale étant construite et rapportée aux constantes de l'appareil, les calculs sont des plus simples :

Supposons qu'une quantité donnée d'émanation ait produit une chute de 30 divisions entre 10 h et 20 h. (Le temps initial étant celui où l'eau est prise). Durant le même temps la courbe idéale accuse une chute de 89,3 divisions.

La solution considérée contenait donc au temps 0, une quantité d'émanation

$$q = n_i \frac{30}{89,3} \cdot B$$

B étant un facteur correctif tel que 30. B donne la chute qu'aurait produite dans le même temps l'émanation totale, à 15° et 760^{mm}.

Voici la table que nous avons calculée et qui permet de construire la courbe idéale.

¹ Les nombres entre parenthèses renvoient au chap. intitulé « Ouvrages consultés. »

C. TABLE.

Temps	Position de l'aiguille	Temps	Position de l'aiguille
— $\frac{1}{2}$ h	2000	5 j 1 $\frac{1}{2}$	1198,2
+ $\frac{1}{2}$	1990	6 —	1180,4
1 $\frac{1}{2}$	1980,1	14 —	1150,2
2 $\frac{1}{2}$	1970,2	22 —	1121,8
4 $\frac{1}{2}$	1950,7	6 j 6 —	1095,0
6 $\frac{1}{2}$	1931,6	14 —	1069,7
8 $\frac{1}{2}$	1912,6	22 —	1045,9
10 $\frac{1}{2}$	1894,0	7 j 6 —	1023,6
12 $\frac{1}{2}$	1875,7	14 —	1002,5
14 $\frac{1}{2}$	1857,6	22 —	982,7
16 $\frac{1}{2}$	1839,8	8 j 6 —	964,0
18 $\frac{1}{2}$	1822,2	14 —	946,4
20 $\frac{1}{2}$	1805,0	22 —	929,9
22 $\frac{1}{2}$	1788,0	9 j 10	905,9
24 $\frac{1}{2}$	1771,2	10 j 3 —	876,6
1 j 3 $\frac{1}{2}$	1746,5	11 j 3 —	841,1
6 $\frac{1}{2}$	1722,4	12 j 3 —	811,6
9 $\frac{1}{2}$	1698,8	13 j 3 —	786,8
12 $\frac{1}{2}$	1675,6	20 —	771,8
15 $\frac{1}{2}$	1653,1	14 j 12 —	759,3
18 $\frac{1}{2}$	1631,1	15 j 4 —	748,2
21 $\frac{1}{2}$	1609,5	20 —	738,4
24 $\frac{1}{2}$	1588,4	16 j 12 —	729,7
2 j 3 $\frac{1}{2}$ h	1567,8	17 j 4 —	721,9
7 —	1544,3	20 —	715,1
11 —	1518,2	18 j 6 —	711,2
15 —	1492,7	19 j 6 —	702,9
19 —	1468,3	20 j 6 —	696,1
23 —	1444,5	21 j 6 —	690,3
3 j 4 $\frac{1}{2}$	1412,8	22 j 6 —	685,5
7 $\frac{1}{2}$	1396,1	23 j 6 —	681,5
13 $\frac{1}{2}$	1363,8	24 j 6 —	678,2
19 $\frac{1}{2}$	1332,9	25 j 6 —	675,4
4 j 1 $\frac{1}{2}$	1303,3	26 j 6 —	673,1
7 $\frac{1}{2}$	1275,6	27 j 12 —	670,6
13 $\frac{1}{2}$	1248,6	28 j 12 —	669,0
19 $\frac{1}{2}$	1222,8	29 j 12 —	667,7
		30 j 12 —	666,6

D. *Formules.* — L'émanation se répartit entre l'air et l'eau, comme nous l'avons dit, suivant la loi :

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{a \cdot V_2} .$$

E_1 et E_2 étant respectivement la quantité d'émanation contenue dans l'air et dans l'eau, V_1 et V_2 les volumes d'air et d'eau, et a le coefficient d'absorption de l'eau.

$$\text{L'émanation totale } E_t = E_1 + E_2 \text{ et comme } E_2 = E_1 \cdot a \cdot \frac{V_2}{V_1}$$

$$E_t = E_1 \cdot \left(1 + a \cdot \frac{V_2}{V_1}\right) .$$

Appelons E l'émanation contenue dans la chambre d'ionisation, e celle que contiennent les tubes desséchants, la poire, les tuyaux, V le volume de la chambre, et v celui des tubes, poire, etc.

$$\frac{E}{e} = \frac{V}{v} \quad \text{d'où} \quad e = E \cdot \frac{v}{V} .$$

Comme

$$E_1 = E + e \quad E_1 = E \left(1 + \frac{v}{V}\right)$$

$$E_t = E \left(1 + \frac{v}{V}\right) \cdot \left(1 + a \cdot \frac{V_2}{V_1}\right) .$$

La vitesse de chute à l'électroscopie nous permettra de calculer E ; il sera donc facile d'en déduire E_t , tout étant connu dans la formule précédente.

Le coefficient d'absorption est fonction de la température; nous en donnons la valeur d'après Gockel (3¹). [Pour des valeurs intermédiaires nous avons interpolé].

Températures	Coefficient d'absorption
10	0,340
14	0,303
17	0,284
20	0,245
23	0,228
40	0,170
60	0,135
70	0,120

¹ Les nombres entre parenthèses renvoient au chapitre intitulé : « Ouvrages consultés. »

Une quantité d'émanation de 1 Curie, en liberté, c'est-à-dire dans une chambre d'ionisation de volume infini, donne un courant de

$$6,02 \cdot 10^6 \text{ U. E. S.}$$

Dans une chambre d'ionisation ordinaire, elle donne un courant initial¹ de

$$6,02 \cdot 10^6 \left(1 - 0,572 \cdot \frac{V}{S} \right)$$

V étant le volume de la chambre et S sa surface intérieure. Ceci à condition que la température soit de 15° et la pression de 760mm . S'il n'en est pas ainsi, il faut multiplier le produit précédent par le facteur

$$F = [I + 0,0007(760 - p) + 0,002(t - 15)]$$

p et t étant la pression et la température de la chambre.

En général, cette correction n'est pas négligeable [2-3 %].

L'émanation d'une solution titrée ramenée à 760mm et 15° et contenant n Curie produirait, si elle était tout entière dans la chambre d'ionisation, un courant initial

$$I = n \cdot (6,02 \cdot 10^6) \cdot \left(1 - 0,572 \frac{S}{V} \right) = n \cdot A \cdot B \quad (3 \text{ p. } 102)$$

en représentant par A et B les facteurs entre parenthèses.

Dans l'intervalle de temps $t_n - t_m$, elle produirait une chute D à l'électroscopie.

L'émanation d'une eau quelconque à t° et $p\text{mm}$ donnerait un courant

$$I_1 = n_1 \cdot A \cdot B \cdot F_1 .$$

Si dans l'intervalle de temps $t_n - t_m$ elle produit une chute D_1 à l'électroscopie, on a:

$$\frac{n_1 \cdot F_1}{n} = \frac{D_1}{D} \quad \text{ou, en posant} \quad \frac{D}{D_1} = R_1$$

$$n_1 = \frac{n}{R_1 \cdot F_1} .$$

¹ 3 h après l'introduction de l'émanation.

C'est la teneur de l'émanation mesurée ; celle de l'émanation totale est :

$$n_t = n_1 \left(1 + \frac{v}{V} \right) \cdot \left(1 + \alpha \cdot \frac{V_2}{V+v} \right) = n_1 \cdot K_1$$

K_1 étant le produit des deux parenthèses.

$$n_t = \frac{n \cdot K_1}{R_1 \cdot F_1} .$$

Pour déterminer R_1 , il faut connaître la chute que produirait l'émanation totale de la solution titrée pendant le temps considéré, à 760^{mm} et 15°.

La chute observée étant D, la chute totale sera, dans les conditions indiquées :

$$D_t = \frac{D \cdot K}{F}$$

les facteurs K et F ayant les mêmes significations que K_1 et F_1 .

On en tire :

$$R_1 = \frac{D \cdot K}{F \cdot D_t} .$$

C'est à l'aide de ces formules que nous avons calculé la teneur N de notre solution idéale.

$$N = n \cdot \frac{D_i}{D_t}$$

D_i se rapportant à la solution idéale.

Puis nous avons rapporté tous nos calculs à cette solution. Dès lors, la teneur d'une eau quelconque est :

$n_x = \frac{N \cdot K_x}{R_x \cdot F_x}$

expression dans laquelle

$$R_x = \frac{D_i}{D_x} .$$

On pourra chaque fois vérifier la bonne marche de l'expérience et s'assurer qu'il s'agit bien de l'émanation du radium en faisant pour différents intervalles de temps les rapports R_x .

Ces rapports étant faits pour des intervalles t_1, t_2, \dots, t_n , on doit avoir :

$$R_{t_1} = R_{t_2} = \dots = R_{t_n}.$$

E. *Exemple numérique.* — Voici un exemple numérique qui montrera comment nous avons procédé pour toutes les analyses que nous avons faites : il se rapporte à une eau prise au S de Fleurier, à 1 km environ du village, le 13 septembre 1915, à 9 h $\frac{1}{2}$ du matin [Source n° 36]. L'expérience a été faite à 17° et 732^{mm}, ce qui donne pour le facteur F [p. 292] : $F = 1,024$.

Le volume de la chambre d'ionisation est de 798 cm³ = V

» » l'eau était de 990 cm³ = V₂

» » des tubes, poire, etc, était de 157 cm³ = v

le coefficient d'absorption à 17° est 0,284 = a

le facteur K est donc :

$$K = \left(1 + \frac{v}{V}\right) \cdot \left(1 + a \cdot \frac{V_2}{V + v}\right) = 1,56 .$$

Du 17 à 22 h 35 au 18 à 6 h 45, la chute causée par l'émanation est de 12,5 divisions. En prenant pour t_0 l'instant où l'eau a été prise, l'intervalle considéré correspond à

$$t_1 = 4 j 13 h 5 min. \quad \text{et} \quad t_2 = 4 j 21 h 15 min.$$

Au temps t_1 l'ordonnée de la courbe idéale vaut 250.

» t_2 elle vaut 216. La différence est de 34 divisions.

Le rapport des deux chutes est donc : $R = \frac{34}{12,5} = 2,72$.

De même, le 18, entre 6 h 45 et 17 h. 13, la chute due à l'émanation est de 15,4 divisions, et la différence des ordonnées de la courbe idéale est 42.

$$R_1 = \frac{42}{15,4} = 2,72 .$$

L'égalité de ces deux rapports montre que l'expérience a bien marché et que l'émanation considérée est bien celle du radium.

Comme nous le verrons plus loin, la teneur de la solution idéale est :

$$N = 0,6738 \cdot \overline{10}^{10} gRa$$

celle de l'eau analysée est donc :

$$n = \frac{N \cdot K}{R \cdot F} = \frac{6,738 \cdot \overline{10}^{11} \cdot 1,56}{2,72 \cdot 1,024} = 0,38 \cdot \overline{10}^{10} \text{ C.}$$

L'expérience ayant porté sur 990 cm³ d'eau, en multipliant le résultat par $\frac{1000}{990}$, on aura la quantité d'émanation contenue dans un litre.

Dans le cas particulier, on a :

$$E = 0,384 \times \overline{10}^{10} \text{ C.}$$

V. Précision des mesures. — Nous avons utilisé les contrôles suivants :

1° Si l'appareil fonctionne bien, la radioactivité de l'eau distillée doit être égale à 0. Il en est bien ainsi, comme nous avons pu le vérifier à plusieurs reprises. La différence entre la chute observée et la perte à vide s'est montrée nulle ou négligeable.

2° Les différentes expériences faites sur des solutions renfermant des sels radifères doivent toujours donner les mêmes résultats si on a soin de les espacer d'un mois au moins pour que l'émanation ait le temps de se reformer. C'est ce que nous avons obtenu à l'aide de diverses solutions titrées, comme le montre le tableau suivant, où les teneurs sont données en fonction de la teneur N de la solution idéale.

Dates	Solution à teneur inconnue	Dates	Solution titrée au $\overline{10}^{10}$ C. par L
5, 4, 15	N. 0,66	23, 6, 15	N. 1,50
15, 10, 15	N. 0,59	5, 12, 15	N. 1,47
21, 10, 15	N. 0,65	10, 2, 16	N. 1,53
2, 2, 16	N. 0,63	22, 4, 16	N. 1,50
8, 4, 16	N. 0,65	25, 6, 16	N. 1,42
12, 5, 16	N. 0,67	3, 5, 17	N. 1,48

3° Si l'on fait le rapport des quantités d'émanation de deux solutions titrées, ce rapport doit être égal à celui des teneurs de ces solutions. C'est ce que l'expérience vérifie :

A. La teneur moyenne de la solution aux $\overline{10}^{10}$ C/L est d'après le tableau précédent :

$$n_1 = 1,48 \cdot N$$

celle d'une solution aux $\overline{10}^{10} \cdot \frac{6}{10}$ C/L doit être

$$n_2 = 1,48 \cdot N \cdot \frac{6}{10} = 0,89 \cdot N$$

La moyenne de trois expériences donne :

$$n_2 = 0,920 \cdot N \text{ . (l'écart est inférieur à } 3,5\%)$$

B. La teneur d'une solution aux $\overline{10}^{11} \cdot C/L$ est :

$$n_3 = \frac{1,48 \cdot N}{10} = 0,148 \cdot N$$

nous avons trouvé :

$$n_3 = 0,142 \text{ ; (la différence est de } 4\%).$$

4° On sait que n Curies donnent un courant d'ionisation

$$I = n \cdot 6,02 \cdot 10^6 \cdot \left(1 - 0,572 \frac{S}{V}\right) \text{ U. E. S. [p. 292]}$$

notre solution titrée étant au $\overline{10}^{10} \text{ C/L}$ et le facteur de Duane $\left(1 - 0,572 \frac{S}{V}\right)$ valant 0,53, cette solution doit donner un courant initial

$$I = 3,19 \cdot \overline{10}^4 \text{ U. E. S.}$$

Il en est bien ainsi :

La capacité de notre appareil a été déterminée très exactement, par le procédé de la clef vibrante¹ : elle est de 15,2 cm.

D'après la moyenne des expériences, la solution titrée produit un courant d'ionisation 1,484 fois plus intense que celui de la solution idéale. Comme cette dernière, par définition, produit une chute de 10 divisions à l'heure, au début, la solution titrée produit dans la première minute une chute

$$D = \frac{14,84}{3600}$$

et l'intensité du courant est :

$$I = C \cdot V = \frac{15,2 \cdot 14,84 \cdot 1,52^2}{3600 \cdot 300} = 3,18 \cdot \overline{10}^4 \text{ U. E. S.}$$

¹ M. A. JAQUEROD. Mesure des capacités. *Arch. 1917*, vol. 44, p. 62-63.

² 1,52 = valeur d'une division en volts.

Comme les expériences n'ont porté que sur 990 cm^3 d'eau, il faut ajouter le 1 % au résultat, et l'on voit que le courant d'ionisation observé et le courant calculé ne diffèrent que de 0,6 %.

Tous nos résultats étant basés sur la solution titrée, il importait de faire cette vérification. Cette concordance remarquable n'a lieu que sur la moyenne des expériences. En général la précision des mesures atteint 2-4 %.

D'après ce qui précède, la teneur de la solution idéale est

$$N = \frac{\overline{10}^{10} \cdot C/L}{1,484} = 0,674 \cdot \overline{10}^{11} .$$

Note. — La solution titrée a été préparée, au moyen d'un petit tube de bromure de Ra dosé par la méthode des rayons gamma, par comparaison avec un étalon du « Radium Institut » de Genève, qui lui-même avait été comparé directement aux étalons de Londres et de Vienne.

La première solution contenait $\overline{10}^6 \cdot g \cdot \text{Ra par litre}$.

Par dilution nous avons titré les 3 autres¹ contenant respectivement :

$$\overline{10}^{10} \text{ C/L} , \quad \frac{6}{10} \cdot \overline{10}^{10} \text{ C/L} , \quad \frac{1}{10} \cdot \overline{10}^{10} \text{ C/L} .$$

(A suivre).

¹ Voir p. 296.