

# RECHERCHES

SUR LA

## Radioactivité des Eaux neuchâtelaises et Seelandaises

---

THÈSE

PRÉSENTÉE A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE NEUCHÂTEL  
POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES

PAR

**Henri PERRET**

---

GENÈVE

IMPRIMERIE ALBERT KUNDIG, RUE DU VIEUX-COLLÈGE, 4

1918

*La Faculté des Sciences de l'Université de Neuchâtel, sur la proposition de MM. les professeurs A. Jaquerod et E. Argand, autorise l'impression de la présente thèse, sans émettre d'opinion sur les propositions qui y sont contenues.*

*Neuchâtel, le 5 avril 1918.*

*Le Doyen : H. SPINNER.*

Ces recherches ont été préconisées et dirigées par M. le professeur A. Jaquerod, de l'Université de Neuchâtel. Commencées au début de 1914, elles ont été poursuivies sans relâche jusqu'à ce jour. Durant tout ce temps, M. Jaquerod n'a cessé de nous prodiguer ses conseils et les ressources de sa science, et nous lui en exprimons toute notre profonde gratitude.

Nous remercions également, M. le professeur Argand de ses précieuses directions, ainsi que les nombreux instituteurs qui ont favorisé nos recherches.

Henri PERRET.

---

## 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, Vicentini 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 km<sup>2</sup> 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 occupé 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.

## I. MÉTHODE GÉNÉRALE.

L'appareil dont nous nous sommes servi 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 source<sup>1</sup>. Il se produit ainsi, inmanquablement, 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

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

l'on pourrait faire le vide. D'ailleurs, il est impraticable 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 avons 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 disparaît 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'électroscope entraîne de fortes perturbations dans la perte à vide, et pour des eaux aussi faiblement actives que celles du Jura, l'incertitude qui en résulterait 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'électroscope est comparée à celle d'une solution titrée.

La loi de Henry  $\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} = \frac{V_1}{aV_2}$  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 prélevée<sup>2</sup>.

*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 électroscope 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

<sup>1</sup>  $V_1$  = volume de l'air,  $\epsilon_1$  = émanation qu'il contient.

<sup>2</sup>  $V_2$  = volume de l'eau,  $\epsilon_2$  = émanation qu'elle contient.

$a$  coefficient d'absorption de l'eau.

<sup>2</sup> Chap. IV, p. 19.

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

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

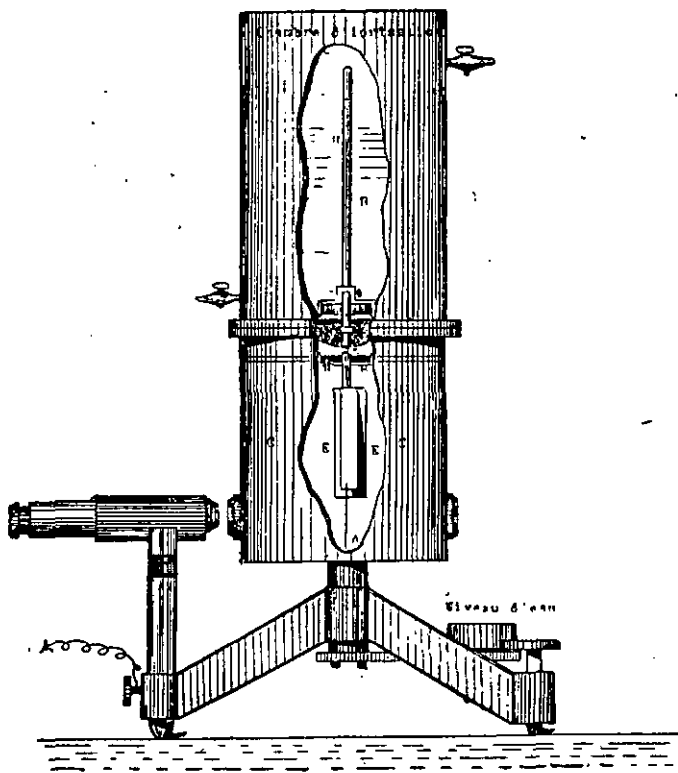


Fig. 1.

moyen d'un électroscope 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.

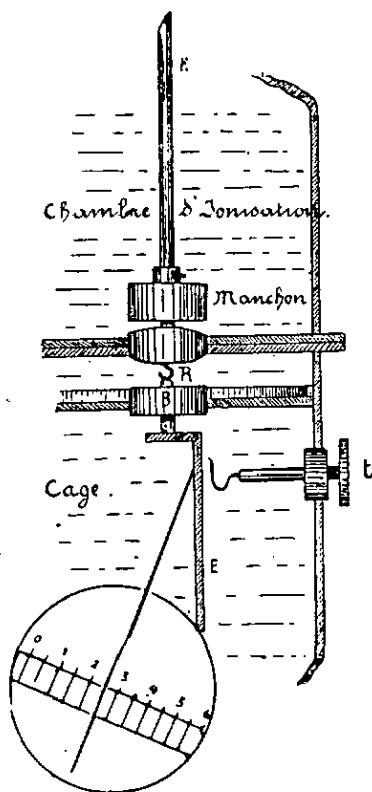


Fig. 2.

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 <sup>1</sup>	
	mai	18	17	novemb.	16	15	
	juillet	10	14	décemb.	12	19	
	août	14	13	1917	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	
1916	janvier	21	13	juin	18	17	
	février	11	15	juillet	9	15	
	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-

<sup>1</sup> 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'émanation<sup>1</sup>. 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  $q$ , la quantité d'émanation produite par une solution titrée connue et introduite dans la chambre d'ionisation d'un électroscope;  $D_1$  la chute de l'aiguille durant le temps  $T$ ;  $d$  celle qui aurait été produite par l'ionisation spontanée de l'air.

<sup>1</sup> 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

$$q_2 = q_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad \text{et} \quad \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{V_1}{\alpha V_2} \quad ^1$$

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 considéré.

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-

<sup>1</sup> Voir p. 9.

vations, et nous serions obligé 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 logarithmés :

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 :

$$d_3 = d_2 - v_2(t_2 - t_3)$$

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

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 h  $1/2$ ; de même, la valeur donnée pour 2 heures est la moyenne des vitesses entre 1 h  $1/2$  et 2 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'électroscope 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<sup>re</sup> 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'électroscope nous permettant de traduire les divisions en volts,  $V_1 - V_2$  est une quantité connue.

On sait qu'un Curie produit un courant

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

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<sup>me</sup> 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<sup>mm</sup> 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<sup>mm</sup>.

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

<sup>1</sup> Les nombres entre parenthèses renvoient au chap. intitulé « Ouvrages consultés. »

C. TABLE.

Temps	Position de l'aiguille	Temps	Position de l'aiguille
- 1/2 h	2000	5 j 1 1/2	1198.2
+ 1/2	1990	6 —	1180.4
1 1/2	1980.1	14 —	1150.2
2 1/2	1970.2	22 —	1121.8
4 1/2	1950.7	6 j 6 —	1095.0
6 1/2	1931.6	14 —	1069.7
8 1/2	1912.6	22 —	1045.9
10 1/2	1894.0	7 j 6 —	1023.6
12 1/2	1875.7	14 —	1002.5
14 1/2	1857.6	22 —	982.7
16 1/2	1839.8	8 j 6 —	964.0
18 1/2	1822.2	14 —	946.4
20 1/2	1805.0	22 —	929.9
22 1/2	1788.0	9 j 10	905.9
24 1/2	1771.2	10 j 3 —	876.6
1 j 3 1/2	1746.5	11 j 3 —	841.1
6 1/2	1722.4	12 j 3 —	811.6
9 1/2	1698.8	13 j 3 —	786.8
12 1/2	1675.6	20 —	771.8
15 1/2	1653.1	14 j 12 —	759.3
18 1/2	1631.1	15 j 4 —	748.2
21 1/2	1609.5	20 —	738.4
24 1/2	1588.4	16 j 12 —	729.7
2 j 3 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 1/2	1412.8	22 j 6 —	685.5
7 1/2	1396.1	23 j 6 —	681.5
13 1/2	1363.8	24 j 6 —	678.2
19 1/2	1332.9	25 j 6 —	675.4
4 j 1 1/2	1303.3	26 j 6 —	673.1
7 1/2	1275.6	27 j 12 —	670.6
13 1/2	1248.6	28 j 12 —	669.0
19 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.

L'émanation totale  $E_t = E_1 + E_2$  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

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

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

La vitesse de chute à l'électroscope 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 (3<sup>1</sup>). [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

<sup>1</sup> 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

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

Dans une chambre d'ionisation ordinaire, elle donne un courant initial<sup>1</sup> 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 760<sup>mm</sup>. S'il n'en est pas ainsi, il faut multiplier le produit précédent par le facteur

$$F = [1 + 0,0007(760 - p) + 0,002(t - 15)]$$

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 760<sup>mm</sup> 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'électroscope.

L'émanation d'une eau quelconque à  $t^0$  et p<sup>mm</sup> 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'électroscope, on a :

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

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

<sup>1</sup> 3 h après l'introduction de l'émanation.

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

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

$K_1$ , 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<sup>mm</sup> 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:

$$R_1 = \frac{D \cdot K}{F \cdot D_1}$$

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<sup>mm</sup>, ce qui donne pour le facteur F [p. 20] :  $F = 1,024$ .

Le volume de la chambre d'ionisation est de 798 cm<sup>3</sup> = V

» » » l'eau était de 990 cm<sup>3</sup> = V<sub>2</sub>

» » des tubes, poire, etc, était de 157 cm<sup>3</sup> = 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

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

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 :

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

celle de l'eau analysée est donc :

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

L'expérience ayant porté sur 990 cm<sup>3</sup> 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 :

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

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 aux $10^{10}$ 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

} moyenne 1,48 . N

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  $10^{10}$  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

$$n_3 = 1,48 \cdot N \cdot \frac{6}{10} = 0,89 \cdot N$$

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  $\overline{10}^{11}$  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

$$I = n \cdot 6,02 \cdot 10^6 \cdot \left(1 - 0,572 \frac{S}{V}\right) \text{ U. E. S. [p. 22]}$$

notre solution titrée étant aux  $\overline{10}^{10}$  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 vibrante<sup>1</sup> : 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 :

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

Comme les expériences n'ont porté que sur 990 cm<sup>3</sup> d'eau, il faut ajouter le 1 % au résultat, et l'on voit que le courant

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

<sup>2</sup> 1,52 = valeur d'une division en volts.

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  $\overline{10}^6$  . g . Ra par litre.

Par dilution nous avons titré les 3 autres<sup>1</sup> contenant respectivement :

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

## VI. ETUDE GÉNÉRALE.

*A. Tableaux.* — Les tableaux suivants résument les résultats de nos recherches. La colonne intitulée « Position sur la carte » permet de situer les sources : ainsi, 86, C . H, indique la source N. 86, dans le rectangle de la carte ayant C comme abscisse et H comme ordonnée<sup>2</sup>.

Chaque source est représentée par un petit cercle comprenant un secteur noir plus ou moins grand. Ce secteur est proportionnel à la quantité d'émanation par litre de la source, comme l'indique la légende qui accompagne la carte.

La colonne intitulée « Teneur totale » donne, pour chaque source, le produit de l'émanation par litre par le débit. Ce dernier, il est bon de le rappeler, n'est qu'approximatif, car il est souvent très difficile de l'évaluer exactement par une méthode simple. Parfois, nous n'avons aucune indication à ce sujet.

<sup>1</sup> Voir p. 24.

<sup>2</sup> Voir la planche I.

*Sources neuchâtelaises.*

N°	Nom de la source	Date	Débit en l par m	Temp. eau	Eman. par l $\frac{-10}{10^6}$ ° C	Eman. totale	Position sur la carte
1	Abbesses	22- 1-16	4	5	traces	traces.	D. J.
2	Ruz Chatru	22- 1-16		6	0,19		
3	Grand' Vigne	22- 1-16		11	0,22		
4	Bregot	9- 9-15	80	8	0,25	20	
5	Epinettes	9- 9-15	40	8	0,18	72	
6	Roty	9- 9-15	80	9	0,22	18	
7	Plan des Faongs	15- 1-15		11	rien		
8	Les Guches	15- 1-15		10	traces		
9	Glettrens	2- 8-15			0,13		
10	Neuchâtel (lac)	28- 9-16		12	0,06		
11	Neuchâtel (éviers)	28- 9-16		12	0,54		
12	Noiraigue (?)	6- 4-15	8	12	0,10	1,52	C. I.
13	La Noiraigue	6- 4-15	15000	6	0,24	3600	
14	Oeuillons	12- 8-16	6	9	0,65	3,9	
15	Fontaine froide	13- 8-16	3	8	0,79	2,37	
16	Mont. de Boudry	28- 5-16		9	rien		
17	Mont. de Boudry	29- 1-16			0,47		
18	Combe grise	15- 3-16	40	8	0,17	6,68	
19	Moillat	15- 3-16	75	7	0,23	17,25	
20	Chez le Bois	5- 3-15	36	8	0,24	8,64	
21	Château Gredin	5- 3-15	1600	10	0,45	720	
22	Les Ponts (ferr.)	26-11-14			0,27		
23	Les Ponts (sulf.)	26-11-14			0,20		
24	Pré St-Pierre	3- 7-15	5	14	0,25	1,25	
25	Pré Juard	3- 7-15	30	12	0,23	6,9	
26	Corne du Bois	3- 8-15	5 $\frac{1}{2}$	13	rien		
27	Les Tannes	26- 2-15	300	7	0,10	30	
28	Brenaz	26- 2-15	45	7,5	0,46	1,61	
29	Grandes Prises	19- 2-15			0,16		B. I.
30	Pré Chardon	18- 2-15	100	4,5	0,15	15	
31	Neyri	16-12-15	85	6	0,11	9,35	
32	Tailleu	16-12-15	22	8	traces		
33	La Doubs	20- 4-15	600	7	0,15	90	
34	Aragnée	20- 4-15	75	8	0,10	75	
35	Brenil inférieur	13- 9-15	2	8	0,38	0,64	
36	Les Raisses	13- 9-15		7,5	0,32		
37	Sassel	13- 9-15	2	9	0,27	0,54	

N°	Nom de la source	Date	Débit	Temp. eau	Eman. par l	Eman. totale	Position sur la carte
38	Sagnette	15- 9-15	25	9	0,42	10,05	B. I.
39	La Brévine (ferr.)	20- 1-15			0,08		
40	Les Aujets	24-12-14		12	0,52		A. I.
41	La Fille	24-12-14		11	0,06		
42	Cergnat	7- 7-14			0,21	-	D. H.
43	Pierre à Bot	22- 6-14			0,25		
44	Trois Pigeons	30- 6-14			2,40		
45	Villars (Village)	27-12-15	10	10	0,20	2	
46	Saules	27-12-15	3	5	rien	rien	
47	Rosey	11- 6-15	1	10	0,27	0,27	
48	La Creuse	20- 7-14			0,18		
49	Fonteny	28- 9-14			0,50		
50	St-Blaise (tunnel)	12- 9-15	3	14	0,24	0,72	
51	Ruau	1-10-15	120	10	0,12	14,4	
52	Les Barbes	6-11-15	puits		0,25		E. H.
53	Les Planches	6-11-15			0,20		
54	Sur le Peu	4-11-15	10	6	0,15	1,5	
55	Cressier (fontaine)	12- 4-15	900	10	0,53	477	
56	Montruz	12- 4-15	fort	9	0,26		
57	Cressier (Eviers)	12- 4-15		8	0,31		
58	Landeron (réservoir)	10- 3-15	72	6	0,17	12,4	
59	Combazin	10- 3-15	18	8	0,36	6,68	
60	Les Brous	18- 6-15	2	13,5	0,78	1,55	
61	Clemenau	18- 6-15		9,5	0,27		
62	Les Crêtes	1-12-14			0,09		C. H.
63	Grauds Prés	1-12-14		10	0,27		
64	Combe Girard	22-10-14	4	8	2,62	10,48	
65	La Jacques	5- 9-14	8	11	0,48	3,84	
66	Entre-Deux-Monts	22- 7-15	7	5	0,39	2,73	
67	Roches de la Saque	22- 7-15	50	6,5	0,44	20,5	
68	La Jaluse	22- 1-17	7,5	5	0,20	1,5	
69	Les Replates	6- 9-17	4	11,5	0,88	35,2	
70	Varodes	26- 6-16	3,8	9,5	0,47	1,79	
71	Crozot	9-10-16	puits	10	0,311		
72	Combe Robert	19-10-16	1,5	6,5	traces	traces	
73	Le Rocher	19-10-16	50	10	0,56	28	
74	Vioulou (pâturage)	24- 6-17	6	7	3,71	22,26	
75	Calames (école)	28- 6-17	1	12	1,38	1,38	
76	Molière	9- 7-17	35	9	0,57	20	

N°	Nom de la source	Date	Débit en l par m	Temp. eau	Eman. par l	Eman. totale	Position sur la carte
77	La Claire (Haut)	1- 8-17	10	7	0,72	7,2	C. H.
78	Combe Jeanneret	6- 9-17	8	8	0,41	32,8	
79	Replates (Haut)	13- 8-17	6	11	0,34	1,44	
80	Crêt Perrelet	29- 8-17	12	11	0,14	1,68	
81	Eplatures	16-11-17	7	8	1,04	7,28	
82	Les Frètes (Combôles)	29- 9-17	2,25	13,5	rien	rien	
83	Combe des Enfers	27-10-16	40	6	0,59	23,6	
84	Eplatures	16-11-17	16	7,5	2,02	32,32	
85	Eplatures	16-11-17	1,3	7	1,54	2	
86	La Recorne	9-12-16	4	6,5	0,06	0,24	
87	Bas Monsieur	2- 9-15	puits	8	0,09		D. H.
88	Moulin de la Roche	2- 9-15	15	5	0,11	1,65	
89	Bas Monsieur	2- 9-15	puits	9	traces		
90	Ponillere	17-11-17	faible	5,5	0,25		C. H.
91	Le Quartier	16-11-17	2,5	5	0,36	0,90	
92	Chaux-du Milieu	16-11-17	4,5	6	0,37	1,67	
93	Charbonnière	25-11-17	20	4	0,34	6,8	D. H.
94	St-Blaise	20- 9-16	4	8	0,15	0,60	
95	Roche des Crocs	23-11-17	12	4	0,29	3,48	
96	Les Roulets	27-11-17	puits	4	0,36		
97	Les Roulets	27-11-17	puits	5	0,48		
109	Chaux-de-Fonds	3-12-17	1	7	0,73	0,73	
110	Chaux-de-Fonds	10-12-17	1	6,5	0,42	0,42	
111	Le Chalet	20-12-17	80	4	0,11	8,8	

*Quelques sources bernoises<sup>1</sup>.*

N°	Nom de la source	Date	Débit	Temp. eau	Eman. par l	Eman. totale
98	Puits Racherer	13- 5-14		11	0,42	
90	Puits Méroz	14- 7-14		12	0,31	
100	Taubenloch I	25- 5-16	4	10	0,10	0,40
101	Taubenloch II	25- 5-16	2	10	0,12	0,24
102	Bienne (éviers)	24- 6-15		12	0,12	
103	Macolin	22- 6-16	9	10	0,08	0,72
104	Brühl	12- 4-14	8	11	0,35	2,80
105	Seeland	27- 5-14	3	11	0,84	2,52
106	Péry	23- 7-16	12	9	0,24	3,6
107	Lac de Bienne	25- 6-17		18	traces	
108	Aar (sortie du Lac)	25- 6-17		16	traces	

<sup>1</sup> Plusieurs de ces sources figurent sur la carte de Madretsch [Chap. VII].  
Pour les autres, il ne valait pas la peine de faire une carte spéciale.

B. *Conclusions.* — Avant de traiter chacun des points du plan que nous nous sommes proposé, il nous paraît intéressant et utile de faire un court exposé historique de la question.

On pourra ainsi facilement comparer nos résultats à ceux qui ont été trouvés jusqu'à présent, à notre connaissance du moins.

Les chiffres entre parenthèses se rapportent à ceux du chapitre intitulé « Ouvrages consultés ».

### 1. Radioactivité des sources.

*Note historique.* — Les recherches faites jusqu'à ce jour sur la radioactivité des eaux montrent qu'elles emportent toutes du sol une certaine quantité d'émanation. S'il est vrai que certaines eaux sont si peu radioactives que leur émanation n'influence pas les appareils, tout fait prévoir que des appareils plus sensibles ne tarderont pas à la déceler.

Les travaux ont surtout porté sur les eaux thermales et minérales dont la radioactivité est en général relativement forte, et qui, grâce à leurs vertus, offraient un intérêt particulier. Les eaux ordinaires ont été beaucoup moins étudiées. Celles du Simplon ont donné lieu à des travaux de G. von der Born (20) et, comme il fallait s'y attendre, vu leur provenance, elles sont fortement actives.

Dinert a étudié les eaux potables qui alimentent la ville de Paris (32). Presque toutes ont une faible activité. Le maximum est donné par la source de la Dhuys qui contenait une quantité d'émanation de  $6 \cdot 10^{10}$ . C par litre. Celles du groupe de la Vanne donnent des résultats allant de 0,8 à  $1,5 \cdot 10^{10}$  C/L; les eaux du Nouvet, d'Erigny, de Rivière, du Breuil, contiennent également peu d'émanation. -

Schmidt et Knrz (38) ont analysé un très grand nombre de sources de la Hesse. Ils arrivent à ce résultat que confirment nos recherches : *Presque toutes les eaux qui sortent du sol sont radioactives.*

Muller a étudié les eaux potables qui alimentent Mulhouse; leur activité est relativement forte et va jusqu'à près de  $30 \cdot 10^{10}$  C/L (67).

Satterly s'est occupé des eaux de Cambridge: leur activité va de 1,3 à  $1,96 \cdot 10^{10}$  C/L.

C. Schiffner s'est occupé des eaux de la Saxe (55), et ses recherches portent sur plus de 170 sources.

*Radioactivité des sources neuchâteloises et bernoises.* — Comme le montrent les résumés et les cartes, presque toutes les eaux que nous avons étudiées sont radioactives. Celles qui ne dégagent aucune émanation appréciable sont les suivantes :

Plan des Faougs, près de Pesoux	N <sup>o</sup> 7	D I
Montagne de Boudry II	16	C I
Corne du Bois, près de Montalehez	26	C I
Saules	46	D H
Les Frêtes, près du Locle	82	C H

D'autres sources contiennent une si faible quantité d'émanation qu'il est impossible d'en indiquer sûrement la quantité; ce sont les suivantes :

Abbesses près d'Anvernier	N° 1	D I
Les Guchos près de Pesoux	8	C I
La Taillen près de Boveresse	32	B I
Combe Robert près du Locle	72	C H
Bas Monsieur près de la Chanx-de-Fonds	89	D H
Lac de Biemme et Aar	107 et 108	(2 <sup>e</sup> carte)

La proportion des eaux inactives ou très faiblement actives, en tenant compte des expériences dont nous parlerons dans les chapitres suivants et qui portent sur d'autres sources, se monte à peine à 7 %.

Dans près du 80 % des cas, l'activité des eaux ne dépasse pas  $0,5 \cdot 10^{10}$  C/L. Les sources plus actives, mais dont la quantité d'émanation reste cependant inférieure à  $10^{10}$  C/L, sont :

Nonchâtel (éviers)	$0,54 \cdot 10^{10}$ C/L	N° 41	D I
Oeuillons	0,65	14	C I
Fontaine froide	0,79	15	C I
Les Anjets près des Verrières	0,52	40	A I
Cressier (fontaine)	0,53	55	E H
Les Brous, près de Lignièrès	0,78	60	E H
Les Replates, près du Locle	0,88	69	C H
Le Rocher » »	0,56	73	C H
La Molière » »	0,57	76	C H
La Claire (Haut) » »	0,72	77	C H
Combe des Enfers » »	0,59	83	C H
Chanx-de-Fonds	0,73	109	D H
Seeland	0,84	105	(2 <sup>e</sup> carte)

Enfin, voici les seules sources qui contiennent plus de  $10^{10}$  C/L.

Les Trois Pigeons, près de Valangin	$2,40 \cdot 10^{10}$ C/L	N° 44	DH
Combe Girard, près du Locle	2,62	64	CH
Vioulou, Pâturage, près du Locle	3,71	74	CH
Eplatures	1,04	81	CH
Eplatures	2,02	84	CH
Eplatures	1,54	85	CH

Remarquons en passant, qu'à l'exception de la première, elles appartiennent toutes à la région des Montagnes.

Ces résultats montrent clairement qu'une première conclusion s'impose :

*La radioactivité des eaux neuchâtelaises et seelandaises est faible et varie en général de 0 à 0,50 . 10<sup>10</sup> C/L.*

## 2. Nature de l'émanation.

*Note historique.* — En général, l'émanation observée par les divers auteurs est celle du radium. Cependant, il arrive assez fréquemment que cette émanation soit accompagnée de celle du thorium, mais cette dernière n'est pas toujours recherchée.

Starke (3, p. 87) a porté ses recherches sur 32 sources des environs de Halle. Une vingtaine contiennent, à côté de l'émanation du radium, celle du thorium. Elle est due à des sels dissous dans l'eau. Ce résultat est conforme à celui qui a été trouvé par Rutherford (3, p. 88) après ses recherches sur les eaux de Baden-Baden.

G. A. Blanc (18) a trouvé que les dépôts solides, formés aux sources d'Echaillon en Maurienne et aux petites sources de Salins-Montier, émettent l'émanation du thorium, ce qui prouve que les eaux de ces sources en contiennent en dissolution.

G. von der Born (20) a divisé les sources du Simplon en deux classes, désignées par les symboles TH et R : le premier se rapportant aux eaux qui contiennent l'émanation du thorium, le second à celles qui ne contiennent que l'émanation du radium.

Laborde et Lepape (81) ont aussi trouvé, dans les eaux de Luxeuil et de la Nérise, de l'oxyde de thorium. Les sédiments de la première en contiennent 5 . 10<sup>3</sup> g par g et ceux de la seconde 1 . 10<sup>10</sup> g par g.

Les émanations de quelques sources fort rares ne suivent aucune loi connue. Mache et Adam (2, II, p. 499) ont signalé une émanation dont la période est de trois jours. G. Vicenti et Levi di Zara (14) ont constaté, par la méthode ordinaire, dans les eaux Enganéennes, la présence d'une émanation dont la loi de décroissance de la radioactivité induite diffère notablement de celle du radium<sup>1</sup>. Seule la source de Montegretto fait exception.

Ce résultat est confirmé par Muller, mais contesté par Elster et Geitel qui ont étudié les sources de Bataglia.

Sokolof trouve que les eaux de Narzan (15) suivent la loi exprimée par

$$I = I_0 \cdot e^{-\lambda t} = \frac{1}{357.000} \text{ sec}^{-1}$$

d'où l'on déduit  $\Theta = 2,86$  j.

G.-A. Blanc a établi que l'émanation de certaines eaux d'Aix-les-Bains

<sup>1</sup> Il est fort probable que ces constatations reposent sur des erreurs expérimentales.

diminue de moitié en deux jours, tandis que, pour d'autres, la  $\frac{1}{2}$  période est de trois jours (18). L'auteur signale qu'une loi semblable a été trouvée par Ebert et Ewers pour les gaz extraits du sol, et par Adam pour l'émanation des eaux de Cambridge.

E. Dorn déclare que l'émanation des eaux de Gastein (21) a une période différente de celle du radium, et signale le fait que Elster et Geitel ont également trouvé, à Baden-Baden, une autre émanation que celle du radium. Il en est de même à Wildbad en Wurtemberg, où les eaux dégagent une émanation dont la période est plus longue que celle de l'émanation du radium.

C. Schiffner (55) affirme que certaines eaux de la Saxe ont une émanation qui n'est pas celle du radium. Enfin, Battelli, Occhiavelli et Chella (29) ont constaté, dans les eaux de San-Giuliano, en Toscane, la présence d'une émanation dont la période est de 6 jours, et qui produit une radioactivité induite diminuant de moitié en 37 minutes.

*Sources neuchâteloises et seelandaises.* — Comme nous n'avons fait aucune expérience sur place, il n'était pas question de voir si les eaux contenaient l'émanation du thorium. Il est vrai qu'elles auraient pu contenir des sels en dissolution, et particulièrement du radiothorium ; dans ce cas, leur influence se serait fait sentir, en seconde analyse. Cela se serait-il produit, que nous n'aurions pu le constater que pour une énorme activité. En effet, d'après la méthode que nous avons suivie, l'air entre très lentement dans la chambre d'ionisation, et, s'il contenait de l'émanation du thorium, elle disparaîtrait au fur et à mesure de son introduction.

Nous n'avons pas constaté non plus la présence d'une émanation de longue période autre que celle du radium. Dans le 95 % des cas, les courants d'ionisation variaient bien suivant la loi<sup>1</sup> :

$$I = I_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad \text{où} \quad \lambda = 0,0075 \text{ (heure)}^{-1} .$$

C'est la loi qui caractérise l'émanation du radium.

Quelques sources laissaient subsister des doutes, mais les détails des expériences et les études ultérieures nous ont montré clairement, que l'émanation de leurs eaux suit également la loi générale.

Ainsi : *Toutes les émanations observées sont dues au radium.*

<sup>1</sup> Voir l'exemple numérique de la p. 22.

## 3. Influence de la température et du débit.

*Note historique.* — En général, tous les auteurs affirment qu'il n'y a pas de relation entre l'émanation d'une source et sa température.

Kurz et Schmidt ont analysé plusieurs centaines de sources de la Hesse, aussi doit-on considérer leurs résultats comme parmi les plus probables. Ils établissent qu'il n'y a pas de rapport (38) :

1° entre l'émanation et la température ; 2° entre le débit et l'émanation ; 3° entre la profondeur et l'émanation ; 4° entre la composition chimique et l'émanation.

Brochet (47) établit que, pour les eaux de Plombières, il n'y a pas de relation entre la température et l'activité.

Laborde et Lepape (81), après avoir étudié les sources de Vichy, posent en principe qu'il n'y a aucun rapport : 1° entre l'émanation d'une source et sa température ; 2° entre les émanations et les débits.

Mache arrive à la même conclusion en ce qui concerne les eaux de Gascia (13). Au contraire, Hermann et Pesendorf (12) concluent de leurs expériences sur les eaux de Karlsbad que les sources froides sont en général plus actives que les sources chaudes. Isitani et Yamakava (79) confirment ce résultat pour les eaux de Formose.

*Eaux neuchâtelaises et seelandaises.* — Les quantités d'émanation variant peu d'une source à l'autre, et les débits variant considérablement, il apparaît d'emblée qu'il n'y a pas de relation entre le débit et la radioactivité, et par conséquent entre l'activité par litre et l'activité totale.

Il n'y en a pas davantage entre la radioactivité et la température. Le tableau suivant le prouve, puisque, pour des activités presque égales, débits et températures sont absolument différents.

N°	Emanation par litre	Débit	Temp.	N°	Emanation par litre	Débit	Temp.
12	0,10 . 10 <sup>-10</sup> C.	8	12	13	0,24 . 10 <sup>-10</sup> C.	15.000	6
27	0,10	300	7	20	0,24	36	8
34	0,10	75	8	50	0,24	3	14
100	0,10	4	10	106	0,24	12	9
31	0,11	85	6	4	0,25	80	8
88	0,11	15	5	24	0,25	5	14
51	0,12	120	10	90	0,25	faible	5,5
101	0,12	2	10		etc.		

Il est bon de faire remarquer cependant que les eaux ont été prises à toutes les époques de l'année et par tous les temps. Les températures, les débits ont donc considérablement varié pour une même source, et, pour pouvoir comparer avantageusement les activités de sources différentes, il faudrait prélever les eaux le même jour et dans un rayon assez restreint pour que l'on puisse considérer les conditions météorologiques comme semblables.

Cela n'est possible que pour quelques sources puisque l'émanation disparaît rapidement avec le temps et que le nombre des appareils de dosage est nécessairement très limité.

D'autre part, avant de commencer cette étude, forcément longue, il est bon de s'assurer que, pour une même source, l'activité est fonction du débit et de la température. Si ce n'est pas le cas, on ne saurait trouver, pour des sources différentes, une relation quelconque.

Nous avons entrepris cette étude et nous en parlerons dans un chapitre spécial (Etude de deux sources).

#### 4. Eaux thermales et minérales.

*Note historique.* — On sait que la plupart des eaux thermales et minérales sont très fortement actives. Il suffit de jeter un coup d'œil sur le tableau que donne Gockel (3, p. 90) pour s'en convaincre. C'est même à l'émanation qu'elles contiennent que l'on attribue leur vertu ; on explique le fait qu'il faut boire l'eau à la source même et que les eaux transportées sont inefficaces, par la disparition de l'émanation avec le temps<sup>1</sup>.

Cependant, certaines eaux thermales ou minérales contiennent très peu d'émanation. C'est souvent le cas pour les eaux sulfureuses froides qui naissent dans des terrains sédimenteux et qui parfois sont presque complètement inactives.

<sup>1</sup> On sait que la composition chimique de plusieurs eaux très efficaces ne présente rien de particulier.

Voici quelques sources renommées mais très peu actives (3, p. 90-92) :

Wiesbaden, Adlerquelle	$2,2 \cdot 10^{10}$ C/L	64°
Wildbad, Kaltequelle	0,74	
Kannstatt, Kursaal	2,2	
Karlsbad, Sprudel	0,37	71° 3
Franzensbad, Loimannsquelle	3,5	41°
Franzensbad, Salzquelle	4,8	41°
Vichy, source de l'Hôpital	0,18	33° 8
Vichy, source des Célestins	0,48	15°
Louèche	1,1	51°
Pfäfers-Ragaz, Stollenquelle	2,6	36°
Schuls, Sotsassquelle	3,7	froid
Tarasp, Carolaquelle	4,1	froid

La littérature concernant les eaux thermales et minérales est très riche, aussi nous est-il impossible d'en donner un résumé même succinct.

*Eaux neuchâtelaises et seelandaises.* — Nous ne connaissons jusqu'à présent que la radioactivité de quatre sources ferrugineuses et d'une source sulfureuses. Ce sont :

Source ferrugineuse de la Brévine	$0,08 \cdot 10^{10}$ C/L	N. 39
» » des Ponts	0,27	22
» » de St-Blaise	traces	51
» » de la Molière	0,57	76
» sulfureuse des Ponts	0,20	23

Ces cinq sources sont froides et leur activité est au-dessous de la moyenne.

### 5. Y a-t-il des régions de même radioactivité ?

*Note historique.* — L'activité d'une même source variant considérablement, il est très difficile, comme nous l'avons déjà fait remarquer (page 34), de comparer des sources dont les eaux ont été prises à différentes époques de l'année.

Souvent, des sources très voisines ont des activités différentes. Les sources de Vichy sont caractéristiques à ce point de vue : tandis que l'activité de la source de l'Hôpital est de  $0,2 \cdot 10^{10}$  C/L, celle de la Bourboule est de  $229 \cdot 10^{10}$  C/L, c'est-à-dire 1000 fois plus forte que la précédente (81).

Au Val-les-Bains, les différences, quoique moins fortes, sont considérables : la source Ste-Marie a une activité de 3,4 et celle de St-Dominique de 1480.  $\bar{10}^{10}$  C/L (6).

Diéniert a étudié les eaux captées par la ville de Paris (32) ; il les a divisées en trois classes et arrive aux conclusions suivantes :

1. Il y a une grande différence dans la radioactivité des eaux issues d'un même gisement géologique. Ainsi, le groupe de Loing et du Lunain est moins radioactif que celui de la Vanne.

2. Dans un même groupe, il y a également des différences dans les activités, mais elles sont moins fortes.

Ainsi, les sources de Cochepies et du Miroir, qui ont un primaire d'alimentation dans le fort d'Othe, ont une radioactivité identique, mais différente de celle des sources de Flacy et de Pâture, issues toutes deux d'un primaire d'alimentation voisin, situé près de la rivière de la Vanne.

Aux groupes du Loing et du Lunain, les sources de Bourron et de Chaintréauville, émergeant dans la vallée du Loire, ont une radioactivité identique, mais différente de celle de St-Thomas et de Villemer constituant le groupe de la vallée du Lunain.

3. Par ces groupements, il semble qu'il y ait des zones de même radioactivité.

4. Les sources dont les primaires d'alimentation sont très riches en argile sont les plus actives.

Gockel (3) déclare qu'il est difficile d'établir une relation entre les émanations des eaux et la provenance de ces dernières, pour les raisons suivantes :

1. Il est impossible de dire, d'après les terrains situés aux environs du griffon d'une source, les terrains que l'eau a parcourus avant sa sortie. On sait que deux sources qui ont leurs points de sortie très voisins peuvent avoir des températures et des compositions chimiques très différentes.

2. L'émanation du radium peut provenir des terrains que l'eau a traversés, mais elle peut aussi provenir de terrains très éloignés, après avoir passé par des fissures.

3. Les eaux qui ont traversé des terrains riches en radium peuvent se mêler à des eaux faiblement actives ou inactives provenant d'autres terrains, de sorte que l'on ne mesure qu'une activité moyenne.

4. L'eau qui coule très lentement à travers des canaux étroits, situés dans des terrains contenant de l'émanation, en sera plus chargée que des eaux qui couleront dans de grandes artères.

Ajoutons que l'émanation est fonction du temps et qu'il n'est pas possible de savoir combien de temps une eau a séjourné sous terre.

On sait, d'une manière générale, que les eaux les plus actives sont celles qui proviennent des terrains anciens, et, comme le dit Gockel, cette question complexe fera un grand pas le jour où l'on ne se contentera plus d'étudier les eaux minérales, mais où l'on étudiera toutes les eaux d'une région.

*Sources neuchâteloises et seelandaises.* — Les eaux ayant été prises à toutes les époques de l'année et par tous les temps, les

unes renferment beaucoup d'eau de pluie, qui n'ont fait que traverser de faibles couches de terrain, les autres n'en contiennent que peu ou pas du tout.

On ne pourra donc se baser que sur la moyenne d'un grand nombre de sources. Malgré les difficultés du problème, nos expériences sont assez nombreuses pour que nous puissions en tirer des conclusions certaines.

I. Les eaux des Montagnes sont sensiblement plus actives que celles des Vallées et du Vignoble. Dans la première de ces régions, 25 sources sur 40 contenaient une émanation supérieure à  $0,30 \cdot 10^{10}$  C/L. Dans la seconde, 19 sur 68 sont dans ce cas (le Secland étant compris dans le Vignoble). C'est pour la première région le 62 % et pour la seconde le 28 %.

II. Tandis que le 30 % des eaux de la première région contiennent une émanation supérieure à  $0,5 \cdot 10^{10}$  C/L, le 13 % seulement des eaux de la seconde sont dans le même cas.

III. Dans les Montagnes, cinq sources (13 %) ont donné une émanation supérieure à  $1 \cdot 10^{10}$  C/L. Dans la seconde région, une seule source, celle des Trois-Pigeons, près de Valangin, présente une aussi forte activité<sup>1</sup>.

IV. Le contraste est surtout frappant si l'on considère le Vignoble neuchâtelois seul et qu'on le compare à la région des Montagnes. Dans le Vignoble, 4 sources sur 28 (14 %) ont une activité supérieure à  $0,25 \cdot 10^{10}$  C/L, et une seule dépasse  $0,50 \cdot 10^{10}$ . Dans les Montagnes, le 70 % des eaux sont dans le premier cas, et un grand nombre dans le second.

La Région intermédiaire du Val de Travers présente, relativement aux deux précédentes, une activité moyenne. Le 44 % de ses sources contient une émanation supérieure à  $10^{10}$  C/L.

Ainsi, l'activité des eaux augmente quand on va du SE au NW. Cette conclusion qui s'impose, même après un examen sommaire de la carte, semble conforme aux prévisions géologiques, et montre qu'il y a une relation entre la radioactivité des eaux et leur provenance, relation qui n'apparaît souvent et ne devient certaine que si l'on considère un grand nombre de sources.

<sup>1</sup> Cette source sort d'une grotte profonde. Les eaux ont probablement traversé des couches épaisses de terrains, ce qui expliquerait en partie leur forte activité.

Voici, à ce sujet, les renseignements que M. le professeur Argand nous a obligeamment donnés : « Il n'est pas étonnant que la radioactivité soit plus grande dans la région du NW où il y a tout lieu de croire que l'infra-structure cristalline est plus rapprochée de la surface que dans le SE. Plusieurs max. importants et très caractérisés (les nos 64 et 74 par exemple), se trouvent sur l'affleurement des plis-failles dont les surfaces de dislocation sont particulièrement pénétrantes et se rapprochent de l'infra-structure. On conçoit que, dans ces conditions, l'adduction des eaux radifères provenant du lavage du granit soit particulièrement facilitée et que les dites régions soient privilégiées par rapport aux territoires immédiatement limitrophes. »

La question de la délimitation de régions de même activité est si importante que nous n'avons pas voulu nous contenter des résultats précédents et que nous avons étudié minutieusement deux régions, l'une au NW, l'autre au SE. C'est le sujet du chapitre suivant.

## VII. ETUDE SPÉCIALE DE DEUX RÉGIONS.

A. *Région du Locle.* — Voici par ordre chronologique les sources que nous avons étudiées dans un espace de quelques km<sup>2</sup>. La carte correspondante (p. 42) est faite d'après les mêmes principes que la carte générale. Pour qu'il n'y ait pas de confusion possible, les sources qui figurent sur les deux cartes ont le même numéro.

N°	Nom de la source	Date	Débit	Temp. ann.	Eman. par l	Eman. totale
65	La Jacques I	5- 9-14	8	11	0,48	3,84
64	Combe Girard	22-10-14	4	8	2,62	10,48
66	Entre-deux-Monts	22- 7-15	7	5	0,39	2,73
67	Roches de la Sagne	22- 7-15	50	6,5	0,41	20,5
70	Varodes	26- 6-16	3,8	9,5	0,47	1,79
71	Crozot	9-10-16	puits	10	0,31	
72	Combe Robert	19-10-16	1,5	6,5	traces	traces

N°	Nom de la source	Date	Débit	Temp. eau	Eman. par l	Eman. totale
73	Le Rocher	19-10-16	50	10	0,56	28,0
83	Combe des Enfers	27-10-16	40	6	0,59	23,6
68	La Jaluse (bas)	22- 1-17	7,5	5	0,20	1,5
113	La Claire (bas)	1- 4-17	10	12	0,76	7,6
114	Jaluse (haut)	9- 4-17	2,5	5	0,80	2,0
115	Jaluse (M. Rose)	25- 4-17	18	6	1,92	34,58
116	Abuttés	15- 6-17	30	7,5	0,85	25,5
117	Vioulou (ferme)	24- 6-17	32	5	1,04	33,28
118	Calames-Combes	24- 6-17	35	10	1,47	51,45
74	Vioulou (pâturage)	24- 6-17	6	7	3,71	22,26
75	Calames (école)	28- 6-17	1	12	1,38	1,38
119	Jeanneret (bas)	6- 7-17	40	7	1,31	52,4
120	Jeanneret (haut)	6- 7-17	50	7	0,36	18
121	Fontaine Gunther	9- 7-17	4	10,5	0,13	5,2
76	Molière	9- 7-17	35	9	0,57	20
77	La Claire (haut)	1- 8-17	10	7	0,72	7,2
79	Les Replates (haut)	13- 8-17	6	11	0,34	1,44
80	Crêt Perrelet	29- 8-17	12	11	0,14	1,68
78	Combe Jeanneret	6- 9-17	8	8	0,41	32,8
69	Les Replates (bas)	6- 9-17	4	11,5	0,88	35,2
122	Combe Girard II	24- 9-17	40	9	0,45	18
123	Combe Girard III	24- 9-17	28	8	0,55	15,4
82	Frêtes (Comboles)	29- 9-17	2,25	13,5	rien	rien
124	Frêtes (Restaurant)	29- 9-17	6	12,5	0,17	1,02
125	Quartier Neuf	12-10-17	35	6	0,85	29,75
126	Molière II	20-10-17	6	6	0,65	3,90
127	Jaluse	20-10-17	12	7	0,81	9,72

B. *Région du Seeland*. — [Voir la carte de Madretsch et environs, p. 45]. Nous avons choisi, dans le Seeland, une région encore plus restreinte que la précédente. Elle mesure à peine 1 km<sup>2</sup>. Nous y avons analysé les eaux de tous les puits, fontaines, sources qui s'y trouvent. Un grand nombre des eaux ont été prises à la même époque : il s'agissait de voir si elles présentent, au point de vue radioactif, un caractère d'uniformité. La tablelle et la carte suivantes montrent ce qui en est.

N°	Nom de la source	Date	Débit	Temp. eau	Eman. par l	Eman. totale
104	Brühl	12- 4-14	8	11	0.35	2.80
98	Puits Racherer	13- 5-14		11	0.42	
105	Marais	27- 5-14	3	11	0.84	2.52
99	Puits Méroz	14- 7-14		12	0.31	
102	Eviers (Madretsch)	24- 6-15		12	0.12	
147	Collège	7- 2-16	2	5	0.11	0.22
154	Grand Pont	20- 5-16	3	9	0.29	0.87
153	Tillens	16- 6-16	12	10	0.77	9.24
149	Ried (sud)	18-11-16		8	0.33	
137	Puits Zingg	10- 1-17		7	0.43	
136	» Moser	11- 1-17		6	0.30	
138	» Hess	12- 1-17		8	0.22	
128	» Marti	13- 1-17		3	1.33	
142	» Aerni	15- 1-17		13	0.43	
132	» Frutiger	16- 1-17		7	0.37	
133	» Moser	19- 1-17		7	traces	
134	» Huguenin	22- 1-17		8	0.17	
135	» Hachen	24- 1-17		0	0.27	
152	» Weyeneth	25- 1-17		3	0.68	
131	» Steiner	26- 1-17		7	0.17	
150	» Burri	27- 1-17		5	0.19	
145	» Frutiger	30- 1-17		5	0.25	
130	» Kunzi	2- 2-17		2	traces	
146	» Herr	3- 2-17		4	0.14	
144	» Breitler	7- 2-17		0	traces	
143	» Baumgartner	8- 2-17		1	0.10	
139	Ried (nord)	23- 2-17		4	0.54	
140	Puits Schaffter	26- 2-17		6	0.25	
141	Tillens (sud)	2- 3-17		2	0.39	
129	Puits Rohr	12- 5-17		15	0.36	
151	Route de Brügg I	14- 5-17		9	0.36	
148	Route de Brügg II	16- 5-17		2	1.15	

C. *Conclusions.* — Les résultats précédents ne font que corroborer nos conclusions de la page 37. La région du Locle est en moyenne considérablement plus active que celle du Seeland. En effet :

a) La radioactivité moyenne, dans la première région, est de

0,73 .  $\overline{10}^{10}$  C/L, tandis qu'elle n'est que de 0,36 .  $\overline{10}^{10}$  C/L dans la seconde région.

b) 14 sources de la première région (41 %) ont une activité supérieure à 0,70 .  $\overline{10}^{10}$  C/L, tandis que, dans la seconde région, 4 sources (12 %) sont dans ce cas.

c) 7 sources de la première région (21 %) ont une activité supérieure à  $\overline{10}^{10}$  C/L, alors que, dans la région du Seeland, 2 sources seulement (6 %) sont dans ce cas.

d) 24 sources de la première région, soit les 70 %, ont une activité supérieure à 0,40 .  $\overline{10}^{10}$  C/L ; 9 sources seulement de la seconde région (28 %) sont dans ce cas.

Ainsi, en moyenne, les eaux des environs du Locle sont deux fois plus actives que celles qui sont au sud de la ville de Bienne.

#### VIII. ETUDE PARALLÈLE DE DEUX SOURCES.

A. *Source du Brühl*. — [N° 104. voir les courbes, p. 46]. Cette source se trouve près de la nouvelle gare des marchandises de Bienne, au sud, à quelques mètres du passage sous voie de la route Nidau-Mâche. Quelques mètres plus haut commence un petit plateau de 2-300 mètres de largeur aboutissant à une colline peu élevée. Il est donc probable que les eaux de cette source traversent des couches de terrain peu profondes. Le débit, très variable, semble le confirmer : par les fortes pluies, l'eau coule en abondance, mais en été, il arrive souvent que la source est tarie.

Notre but est de voir :

a) quelles sont les variations de la radioactivité d'une source et si ces variations sont fonction du débit, du temps, de la température.

b) si les variations de deux sources dont les eaux sont prises aux mêmes époques sont parallèles.

Pour rendre la comparaison plus facile, nous avons réuni les courbes se rapportant aux tables suivantes qui résument nos recherches dans ce domaine [p. 46 et 47].

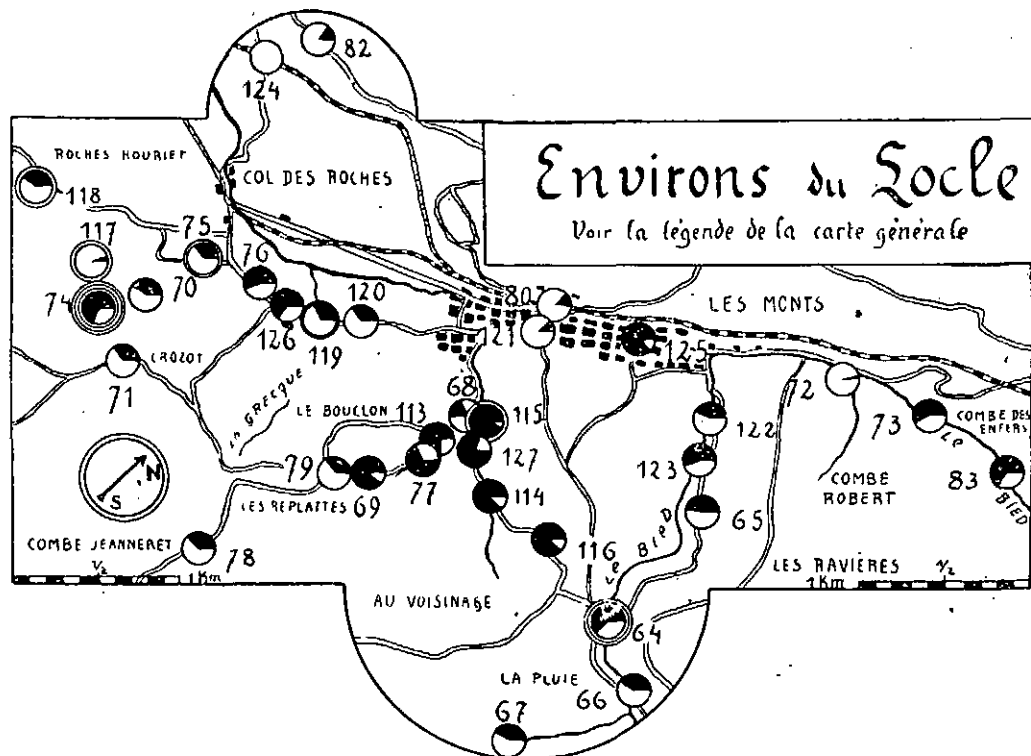
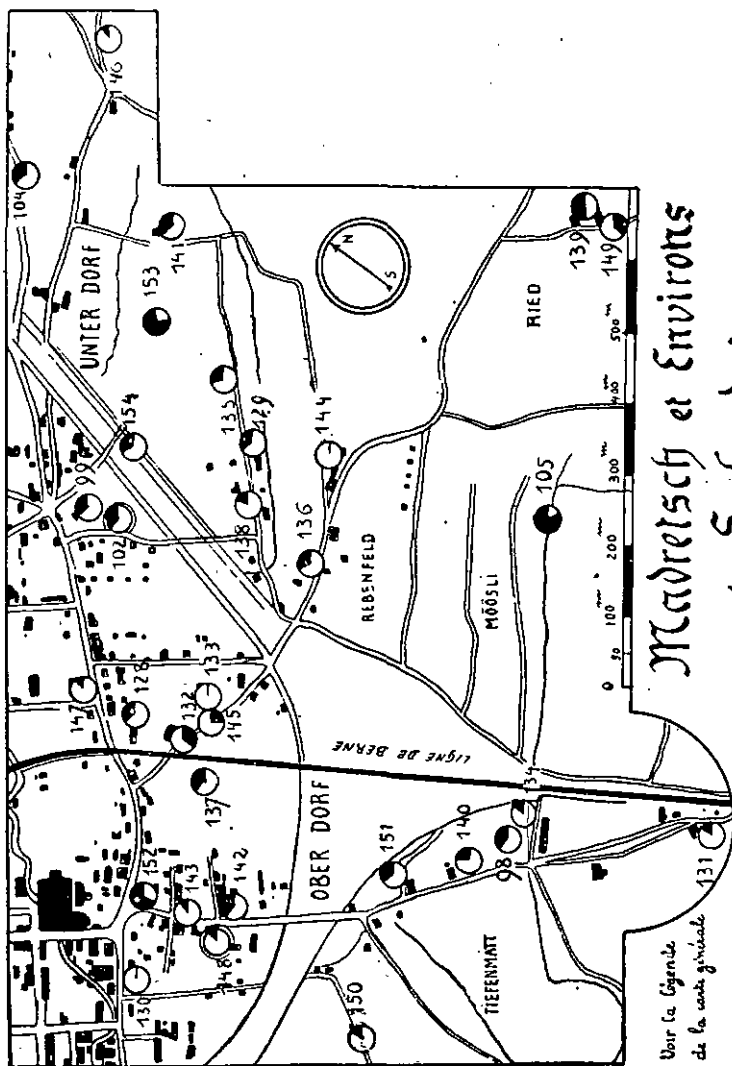


Fig. 3



Madretsch et Environs  
( Seeland )

Voir la légende  
de la carte générale

FIG. 4

Année	Date	Débit	Temp.	Teneur par l	Teneur totale
1914	12 avril	8	11	0,36	2,88
	20 mai	5	10	1,05	5,25
	9 septembre	7	8	0,14	1,28
1915	17 février	5	6	0,07	0,35
	9 mars	12	6	0,38	4,36
	16 mars	8	10	0,44	3,52
	26 mars	7	9	0,25	2,25
	27 avril	6	10	0,37	2,22
	18 juin	0,5	15	0,73	0,36
	24 juillet	0,5	10	0,22	0,11
	17 août	1	13	0,42	0,42
	8 septembre	1	8	0,33	0,33
	26 octobre	0,2	9	traces	traces
	2 décembre	4	9	0,30	1,20
	10 décembre	5	9	0,23	1,15
	17 décembre	2,5	8	0,25	0,63
	26 décembre	5	7	0,31	1,55
	1916	5 janvier	4	8	0,09
15 janvier		8	9	0,92	7,36
27 janvier		1,5	10	0,38	0,57
11 février		4	5	0,52	2,08
28 février		3	5	0,45	1,35
23 mars		3	9	0,23	0,69
9 mai		1	8	0,32	0,32

Par suite de travaux de drainage, et de canalisation, cette source a disparu, et les expériences n'ont pu être poursuivies.

B. *Source du Marais*. — [N° 105, voir les courbes correspondantes, p. 47]. Cette source ne tarit jamais. Elle coule dans une petite vallée, à peu de distance de la précédente (900 m à vol d'oiseau) sur l'autre versant de la colline. 20 m plus haut, se trouve le petit plateau duquel nous avons parlé à propos de la source du Brühl.

Les eaux de ces deux sources proviennent des mêmes terrains, mais celles de la seconde traversent des couches plus profondes.

## Résumé des expériences.

Année	Date	Débit	Temp.	Teneur par l	Teneur totale
1914	27 mai	3	11	0,84	2,52
1915	28 janvier	6	9	0,55	3,30
	10 mars	8	3	0,33	2,64
	26 juin	4	15	0,92	3,68
	12 juillet	2	10	0,53	1,06
	26 juillet	3	13	0,47	1,41
	16 août	3	15	0,71	2,13
	28 août	1	13	0,69	0,69
	24 septembre	1	15	0,69	0,69
	23 octobre	0,5	11	0,33	0,16
	1 novembre	4	9	0,42	1,68
	19 novembre	2	10	rien	rien
	27 décembre	8	9	0,15	1,20
	1916	5 janvier	9	8	traces
19 janvier		7	8	1,20	8,40
8 mars		10	5	0,86	8,60
3 mai		5	8	0,10	0,50
2 juin		2	11	0,32	0,64
26 septembre		2	13	2,02	4,04
3 octobre		1	13	0,82	0,82
14 octobre		1	12	0,69	0,69
4 novembre		10	9	0,36	3,60
1917	24 janvier	3	6	2,72	8,16
	26 mars	23	6	1,70	39,10
	11 avril	15	7	2,10	31,5

Vers la fin d'avril 1917, la source a disparu, par suite de drainage, comme la précédente.

## C. CONCLUSIONS.

*Note historique.* — A. Hauser (34) a étudié en 1905 et 1906 les eaux thermales de Teplitz Schönau pour voir si l'on pouvait constater une période dans la radioactivité, ou une influence quelconque de la température et de l'état atmosphérique. Il constate que la radioactivité est constante par rapport à ces différents facteurs.

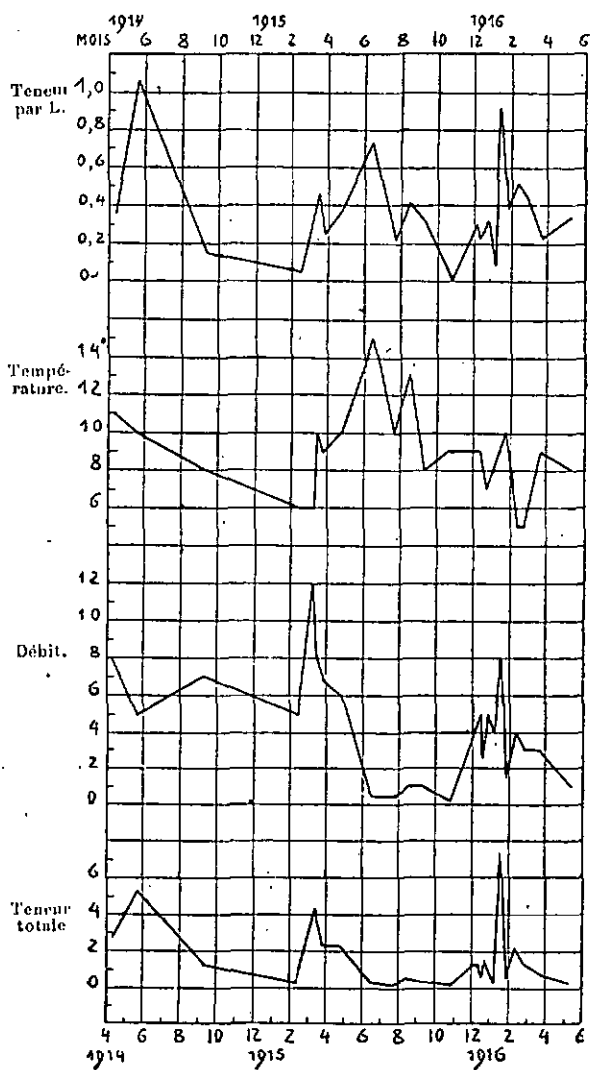


Fig. 5. — Source du Brühl.

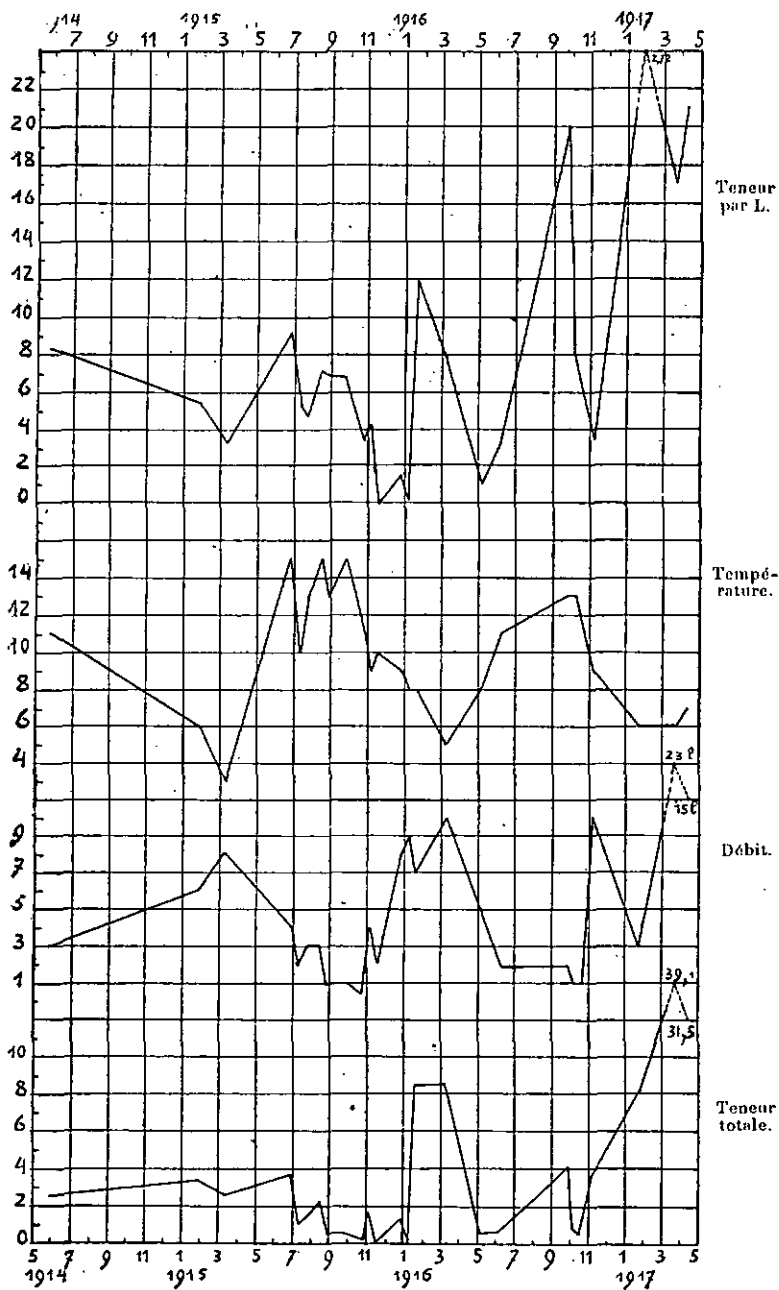


Fig. 6. — Source du Marais

R. Ramsey (96) a étudié parallèlement, près de Blomington en Indiana, les deux sources de Hottle Spring et Cent Spring, pour se rendre compte des variations de leur radioactivité.

Nous avons construit, pour ces deux sources, les courbes relatives aux températures, aux débits, aux quantités d'émanation par litre, et vérifié ce qui suit :

1° Les courbes qui donnent la quantité d'émanation par litre sont semblables :

a) Il y a, dans la première comme dans la seconde, 4 max.

Ceux de janvier et de juin tombent sur le même jour, tandis que pour ceux de février et de mai, il y a une légère avance pour la source du Cent.

b) Les min. de décembre, janvier, avril, juin, ont lieu en même temps pour les deux sources, tandis que celui de mai présente un retard de quelques jours pour la seconde.

2° Le caractère général des courbes de températures est le même.

a) Jusqu'au 22 janvier, à part le min. du 7 qui a lieu en même temps pour les deux sources, les températures sont plus hautes que dans la suite.

b) En janvier, max. d'émanation, min. de température.

En février, max.            •           min.            •

En mai,           max.           •           min.           •

En juin,           max.           •           min.           •

3° En comparant les courbes de l'émanation et du débit relatives à la source du Cent, on voit que :

a) Les max. de janvier, février, juin, tombent sur le même jour. En avril, le max. de l'émanation est suivi d'une semaine par celui du débit.

b) Les min. de janvier, février, avril, mai, tombent également sur les mêmes jours.

c) Au max. du débit correspondent donc des min. de températures (2°, b).

Voyons maintenant si nous retrouvons les mêmes concordances pour les deux sources que nous avons étudiées.

*Source du Brühl et source du Marais.* — 1° La comparaison des courbes qui donnent la quantité d'émanation par litre fait voir ce qui suit :

a) Il y a, pour les deux sources, trois grands max. en mai 1914, juin 1915, janvier 1916, et ces max. ont lieu la même semaine.

Les eaux ayant été prises à un ou deux jours d'intervalle, il est probable qu'en réalité, les max. correspondent absolument.

b) Les min. de mars, juillet, novembre 1915 et janvier, mai 1916, de la source du Marais correspondent à ceux de février, juillet, fin octobre 1915, et janvier, fin mars 1916 de la source du Brühl.

On le voit, il y a une analogie frappante entre ces résultats

et ceux de Ramsey. Il semble donc bien que pour des sources voisines, *les max. et les min. d'émanation se produisent en même temps.*

Il resterait à voir, si, pour des sources éloignées, il en est de même.

2° Le caractère général des courbes de température est, le même.

a) Les max. ont lieu en juin et août 1915 pour les deux sources; les minimums principaux tombent en mars 1915 et fin février commencement de mars 1916.

b) Les relations entre les quantités d'émanation et les températures sont les suivantes :

1° Pour la source du Brühl :

mai 1914	max. d'émanation,	max. de température
juin 1915	max. »	max. »
janvier 1916	max. »	max. »
février 1915	min. d'émanation,	min. de température
mars	min. »	min. »
juillet	min. »	min. »

Ainsi, pour cette source, il y a correspondance générale entre les *max. et les min. d'émanation et de température.*

2° Pour la source du Marais :

juin 1915	max. d'émanation,	max. de température
janvier 1916	max. »	basse »
septembre	max. »	max. »
janvier 1917	max. »	min. »
mars 1915	min. d'émanation,	min. de température
juillet	min. »	min. »

Ainsi, tandis que les résultats sont complètement opposés à ceux de Ramsey, pour la source du Brühl, pour celle du Marais, on retrouve pour trois des plus importants max. la relation qu'il a exprimée.

N'y a-t-il aucune relation entre les teneurs en émanation et les températures, comme le pensent plusieurs auteurs (13, 34, 47, 81), ou ces relations sont-elles particulières à chaque source? Les résultats précédents font pencher en faveur de cette dernière hypothèse.

3° Comparons les quantités d'émanation aux débits :

a) La source du Brühl donne :

mai 1914	max. d'émanation,	min. de débit
juin 1915	max. »	min. »
janvier 1916	max. »	max. »
avril 1914	min. d'émanation,	max. de débit
février 1915	min. »	min. »
octobre	min. »	min. »

De mars à octobre 1915, les allures générales des deux courbes sont inverses l'une de l'autre ; à partir de cette date, jusqu'en avril 1916, elles présentent une grande analogie.

b) La source du Marais donne :

juin 1915	max. d'émanation,	min. de débit
janvier 1916	max. »	max. »
septembre	max. »	min. »
janvier 1917	max. »	min. »
mars 1915	min. d'émanation,	max. de débit
novembre	min. »	min. »
mai 1916	min. »	min. »
novembre	min. »	max. »

Les courbes sont tantôt parallèles, tantôt inverses, et font penser que les résultats de Ramsey ne sont pas généraux.

4° Puisqu'il n'y a pas de relation constante entre l'émanation par litre et le débit, il ne saurait y en avoir entre l'émanation par litre et l'émanation totale. C'est ce que montrent les courbes.

5° Nous n'avons pas davantage trouvé de relation entre la chute des pluies et les quantités d'émanation.

Les quantités de pluie étant entre elles, approximativement, comme :

juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre 1915;	janvier 1916
8	19	13	10	5	9	15	9

les quantités d'émanation par litre sont entre elles comme

7	2	4	3	0	3	3	9
---	---	---	---	---	---	---	---

et les radioactivités totales comme

35	10	42	33	0	10	50	20
----	----	----	----	---	----	----	----

Il est indéniable que la température, le débit<sup>1</sup>, la chute des

<sup>1</sup> Nos courbes montrent qu'en général, aux max. de débit correspondent des min. de température et inversement. Cette relation, frappante surtout pour la source du Marais, est celle qui a été trouvée par Ramsey [96].

pluies, les conditions météorologiques, ont une influence considérable sur la radioactivité des eaux. Seulement, toutes ces influences ne sont pas parallèles et simultanées et ne peuvent se traduire par une loi simple.

D'autre part, on ne sait pas combien de temps les eaux restent en terre, quels sont les terrains parcourus, s'il y a eu des mélanges et dans quelle proportion, etc. Les eaux subissant l'influence de ces facteurs, et ceux-ci variant à l'infini pour des sources différentes, il est compréhensible que les variations des quantités d'émanation de deux sources puissent ne pas être les mêmes.

D. *Variations d'activité de quelques sources.* — Nous avons fait une dizaine d'analyses sur les eaux d'une source des environs du Locle (n° 114). Nous les résumons dans le tableau suivant :

Dates	Débit	Temp.	Eman. par l	Eman. totale
21 octobre 1916	35	5	0,56	19,60
22 janvier 1917	7,5	5	0,20	1,50
4 mars	3	5	0,46	1,38
24 mars	2,5	3	0,39	0,97
9 avril	2,5	5	0,80	2,00
25 avril	10	5	0,62	6,20
18 mai	12	7	1,07	12,84
15 juin	7	7	0,67	4,69

En construisant les courbes relatives à cette source, et en les comparant aux courbes correspondantes du Marais, on voit d'emblée qu'il n'y a aucune relation entre les variations des deux sources<sup>1</sup>.

Enfin, voici un tableau montrant à différentes époques l'activité de quelques eaux.

<sup>1</sup> Ceci semble prouver que la relation exprimée à la page 49 n'a lieu que pour des sources voisines.

N°	Dates	Débit	Temp.	Eman. par l	Eman. totale
98	13 mai 1914	puits	11	0,42	
	12 février 1915		11	0,13	
	30 mars		12	0,15	
99	14 juillet 1914	puits	10	0,35	
	10 juin 1915		12	0,31	
	11 juin 1916		11	0,73	
115	10 avril 1917	6	5	0,82	4,92
	25 avril	18	6	1,92	34,56
128	13 janvier 1917	puits	3	1,33	
	13 avril		6	0,35	
142	15 janvier 1917	puits	13	0,43	
	9 février		10	0,10	

On le voit, les variations d'activité d'une même source sont considérables, et ceci s'accorde bien avec les résultats de tous les auteurs qui se sont occupés de cette question.

#### IX. LES EAUX CONTIENNENT-ELLES DES SELS RADIFÈRES EN DISSOLUTION ?

*Note historique.* — En général les eaux ne contiennent pas de sels radifères en dissolution, ou bien n'en contiennent que des quantités infinitésimales.

Les eaux de Gastein, comme l'a prouvé Mache (13) sont dans ce cas ; il en est de même de quelques eaux analysées par Schiffner, en Saxe (55) et de celles de Karlsbad, étudiées par E. Dorn (21).

A Schmidt (25) déclare que certaines eaux du Taunus « semblent » contenir des sels-radifères. Leur influence est si faible, qu'il n'est pas possible de se prononcer définitivement.

Quelques sources du Simplon, d'après G. v. d. Borne, contiennent une faible quantité de sels (20). Schmidt et Kurz (38) en ont aussi décelé dans certaines eaux de la Hesse. Joly (3, p. 94) a même indiqué la teneur en radium des eaux du Nil. Il trouve qu'elles contiennent  $4,2 \cdot 10^{12}$  g de Ra par litre. Ève (3, p. 94) trouve que l'eau du Lorenzostrom n'en contient que  $0,25 \cdot 10^{12}$  g par litre.

Le fait que beaucoup de boues et de sédiments pris dans le lit des sources se sont montrés fortement radioactifs prouve que les eaux de ces sources contiennent des sels en dissolution. A. Sokolof (15) qui s'est occupé des eaux de Russie et de leurs dépôts, affirme que la source Elisabethte contient une faible quantité de Radium en dissolution, et que beaucoup de sources ont des boues actives.

Laborde et Lepape (81) ont trouvé que les dépôts ferrugineux des sources de Vichy contiennent de  $0,67 \cdot 10^9$  à  $0,70 \cdot 10^9$  g de Ra par gr. Mache et S. Meyer (24) arrivent à des résultats analogues par l'étude d'un grand nombre de boues de sources autrichiennes.

Le Dr Baron Blanc (19) a prouvé que les corps radioactifs contenus dans certains sédiments de Savoie sont voisins du Thorium.

*Sources neuchâtelaises et bernoises.* — Plus du 50 % des secondes analyses, faites un mois au moins après les premières, n'ont donné aucun résultat. Durant toute l'expérience, la chute de l'aiguille était sensiblement égale à la perte à vide. Dans les autres cas, une influence presque toujours très faible se faisait sentir.

Comme des doutes subsistaient, nous avons fait une série d'expériences plus précises par un procédé nouveau. Il consiste à laisser évaporer un grand volume d'eau d'une même source pour le réduire à un litre. Si cette eau contient des sels radifères, leur influence est proportionnelle à la quantité d'eau et doit pouvoir être facilement mesurée par suite de la concentration.

Nous avons traité ainsi les eaux d'une quinzaine de sources en les laissant évaporer dans de grandes cuves de verre. La chute de l'aiguille n'a pas été sensiblement accélérée; aucune proportionnalité n'a été constatée.

Faut-il en déduire, contrairement à nos premières conclusions<sup>1</sup>, que les eaux jurassiennes ne contiennent aucune trace de sels radioactifs? Au point où en est notre étude, nous pouvons dire avec certitude, que, si ces traces existent, elles sont extrêmement faibles et inférieures à  $0,01 \cdot 10^{10}$  C/L dans la plupart des cas.

## X. RÉSUMÉ.

1° Dans ces recherches, plus de cent sources et puits ont été analysés dans le Jura neuchâtelais et les régions avoisinantes. Une seule analyse a été faite en général; cependant quelques sources ont été étudiées d'une façon suivie durant plus de 2 ans.

<sup>1</sup> Compte rendu de la séance de la Société suisse de Physique du 5 mai 1917: PERRER, Radioactivité des eaux du Jura, *Arch.* 1917, vol. 44, p. 68.

2° La radioactivité des eaux neuchâteloises et seelandaises est faible: elle varie entre 0 et  $3,5 \overline{10}^{10}$  C/L. [Chap. VI, p. 25.]

3° L'activité de toutes les sources varie considérablement avec le temps. [p. 51.]

4° L'émanation observée est toujours celle du Radium. (L'émanation du Thorium n'a pas été recherchée.) [p. 31.]

5° Pour des sources différentes, nous n'avons pas trouvé de relation entre la radioactivité et le débit, ou entre la radioactivité et la température. [p. 33.]

6° Les quelques eaux thermales et minérales que nous connaissons ne se montrent pas particulièrement actives. [p. 34.]

7° L'activité des eaux augmente en moyenne d'une façon très apparente lorsqu'on se déplace du S-E au N-W à travers la chaîne du Jura, c'est-à-dire du bord du lac vers la frontière française. Il semble que ce fait puisse être mis en relation avec l'inclinaison de l'infra-structure cristalline, qui se rapproche de la surface lorsqu'on chemine dans la même direction. [p. 35 et 38 et planche I.]

8° L'étude parallèle de deux sources a montré que les max. et min. d'activité se produisent sensiblement en même temps. [p. 48.]

9° Si les eaux contiennent des sels radifères, ce ne peut être qu'en quantité extrêmement faible. [p. 52.]

#### OUVRAGES CONSULTÉS<sup>1</sup>.

N°	Auteurs	Ouvrages
1.	RUTHERFORD,	Radioaktive Substanzen und ihre Strahlungen, Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft.
2.	M <sup>me</sup> CURIE,	Traité de Radioactivité, Paris, Gauthier-Villars.
3.	A. GOCKEL,	Die Radioaktivität von Boden und Quellen, Verlag von F. Vieweg et Sohn, Braunschweig 1914.
4.	C. SCHIFFNER,	Radioaktive Wässer in Sachsen, Gratz, Gerlach, éditeurs, Freiberg, 1908.

<sup>1</sup> Ces ouvrages sont classés par ordre chronologique.

- | N°  | Auteurs                        | Ouvrages  |
|-----|--------------------------------|---|
| 5.  | WEIDIG,                        | Radioaktive Wässer in Sachsen. Freiberg, 1912.  |
| 6.  | CHAPSOUX et JAUBERT,           | <i>C. R.</i> , 1902, p. 944.  |
| 7.  | BUMSTRAD et WHEELER,           | <i>Amer. Journal of Science</i> , 1903.   |
| 8.  | ELSTER et GRITEL,              | <i>Phys. Zeitschr.</i> , 1904, 5, p. 321.   |
| 9.  | A. GOCKEL,                     | <i>Phys. Zeitschr.</i> , 1904, 10, p. 594.  |
| 10. | BOLTWOOD,                      | <i>Le Radium</i> , 1904, p. 190.  |
| 11. | F. HEINRICH,                   | <i>Wien. Anz.</i> , 1904, p. 320.   |
| 12. | HERMANN et PESENDORFER,        | <i>Le Radium</i> , 1904, p. 206.  |
| 13. | MACHE,                         | <i>Académie Royale des Sc. de Vienne</i> ,<br>17 nov. 1904.                               |
| 14. | VICENTINI et LEVI DI ZARA,     | <i>Atti del Reale Istituto Veneto di<br/>Scienze, Lettere ed Arti</i> , 1904-1905,<br>44. |
| 15. | A. SOKOLOF,                    | <i>Le Radium</i> , 1904, p. 237.  |
| 16. | R. STRUTT,                     | <i>Proc. Roy. Soc.</i> , t. 73, p. 101.   |
| 17. | K. ASCHOFF,                    | <i>Zeitschr. f. öff. Chem.</i> 1905, 11, p.<br>15.  |
| 18. | G. A. BLANC,                   | <i>Le Radium</i> , 1905, p. 58.   |
| 19. | D <sup>r</sup> BARON BLANC,    | <i>Phil. Mag.</i> , janvier 1905.   |
| 20. | G. VON DER BORN,               | <i>Jahrb. der Radioak. u. Elek.</i> , Juli 1905   |
| 21. | E. DORN,                       | <i>Le Radium</i> , 1905, p. 57.   |
| 22. | HERMANN et PESENDORFER,        | <i>Le Radium</i> , 1905, p. 106.  |
| 23. | F. HEINRICH,                   | <i>Monatschr. f. Chem.</i> , 1905, 26, p. 149-<br>184.                                    |
| 24. | MACHE et MEYER,                | <i>Le Radium</i> , 1905, p. 273.  |
| 25. | A. SCHMIDT,                    | <i>Phys. Zeitschr.</i> , 1905, 6, p. 34-37.   |
| 26. | A. SCHMIDT,                    | <i>Phys. Zeitschr.</i> , 1905, 6, p. 402-406.   |
| 27. | B. SZILARD,                    | <i>Ber. Ungar. Naturw. Ges.</i> , 1905,<br>Budapest.                                      |
| 28. | WALDMANN et SZILARD,           | <i>Pharm. Post.</i> , 1905, 38, p. 279-281.   |
| 29. | BATTELLI, CHELLA, OCCHIALINI,  | <i>Il Nuovo Cimento</i> , 1906 (2), 11, p. 499.   |
| 30. | B. BOLTWOOD,                   | <i>Journal de Physique</i> , 1906, p. 219.  |
| 31. | J. CASARES,                    | <i>Chem. B.</i> , 1906, 39, p. 3783-84.   |
| 32. | DIÉBERT,                       | <i>C. R.</i> , 1906, p. 883.  |
| 33. | DIÉBERT et BOUGUET,            | <i>C. R.</i> , 1906, p. 449.  |
| 34. | A. HAUSER,                     | <i>Phys. Zeitschr.</i> , 1906, 7, p. 593-594.   |
| 35. | HEINRICH,                      | <i>Jahrb. d. Radioak. u. Elek.</i> , 1906,<br>p. 111.                                     |
| 36. | K. KOCH,                       | <i>Phys. Zeitschr.</i> , 1906, 7, p. 806-807.   |
| 37. | JOSÉ MONOZ DEL CASTILLO,       | <i>Le Radium</i> , 1906, p. 143.  |
| 38. | SCHMIDT et KURZ,               | <i>Phys. Zeitschr.</i> , 1906, 7, p. 209-224.   |
| 39. | N. SAHLBORN et F. HINRICHSSEN, | <i>Chem. Ber.</i> , 1906, 39, p. 2607-2608.   |
| 40. | J. v. SURY,                    | Dissertation, Fribourg (Suisse), 1906.  |
| 41. | M. BAMBERGER,                  | <i>Wien. Ber.</i> , 1907, 116, p. 1473-1488.  |
| 42. | BATTELLI, OCCHIALINI, CHELLA,  | <i>Le Radium</i> , 1907, p. 123.  |
| 43. | F. GEITSCH,                    | <i>Phys. Zeitschr.</i> , 1907, 8, p. 462.   |

- | N <sup>o</sup> | Auteurs                       | Ouvrages   |
|----------------|-------------------------------|--|
| 44.            | F. HEINRICH,                  | <i>Phys. Zeitschr.</i> , 1907, 8, p. 112-114.<br><i>Zeitschr. f. Elektrochem.</i> , 1907, 13,<br>p. 393-400. |
| 45.            | LEREZ et MUNO DEL CASTILLO,   | <i>Annales de la Société Espagnole de<br/>Phys.</i> , 1907, X-XI.  |
| 46.            | S. LEWENTHAL,                 | <i>Phys. Ges.</i> , 1907, 9, p. 434.   |
| 47.            | A. BROCHET,                   | <i>C. R.</i> , 1908, p. 146.   |
| 48.            | GARRIGON,                     | <i>C. R.</i> , 1908, p. 146.   |
| 49.            | F. JENTZSCH,                  | <i>Phys. Zeitschr.</i> , 1908, 9, p. 120.  |
| 50.            | J. JOLY,                      | <i>Phil. Mag.</i> , 1908, 15, p. 385-393.  |
| 51.            | MASSOL,                       | <i>C. R.</i> , 1908, p. 844.   |
| 52.            | J.-M. DEL CASTILLO,           | <i>Arch. Sc. phys. et nat.</i> , 1908, 25, p.<br>339-349.  |
| 25.            | K. REICHAU,                   | Dissertation, Halle, 1908.   |
| 54.            | SARASIN, GUYE, MICHEL,        | <i>Arch. Sc. phys. et nat.</i> , 1908, 4, p.<br>25-36.   |
| 55.            | M. BANBERGER,                 | <i>Wien. Ber.</i> , 1908, 117, p. 1055-1054.   |
| 56.            | A. WELLIG,                    | <i>Wien. Ber.</i> , 1908, 117, p. 1191-1226.   |
| 57.            | B. BESSON,                    | <i>C. R.</i> , 1908, p. 146.   |
| 58.            | E. EHLER,                     | <i>Vehr. d. D. Phys. Ges.</i> , 1909, 11, p.<br>526-543.   |
| 59.            | F. HEINRICH,                  | <i>Zeitschr. f. anorg. Chem.</i> , 1909, 65, p.<br>117-135.  |
| 60.            | J. JOLY,                      | <i>Phil. Mag.</i> , 1909, 18, p. 396-407.  |
| 61.            | H. WIEPRECHT,                 | Dissertation, Halle, 1909, 51 S.   |
| 62.            | EVE,                          | <i>Trans. of the Roy. Soc.</i> , 1910, 4, p.<br>53-54.   |
| 63.            | B. HESIUS,                    | Dissertation, Halle, 1910, 29 S.   |
| 64.            | A. HURMUZESCU et N. PATRICIN, | <i>Le Radium</i> , 1910, p. 31.  |
| 65.            | J. JANSEN,                    | <i>Le Radium</i> , 1910, p. 231.   |
| 66.            | M. LEVIN,                     | <i>Phys. Zeitschr.</i> , 1910, 11, p. 322-324.   |
| 67.            | W. MÜLLER,                    | <i>Phys. Zeitschr.</i> , 1910, 11, p. 545-<br>547.   |
| 68.            | NIEDERSTADT,                  | <i>Elektrochem. Zeitschr.</i> , 1910, 17, p.<br>219-220.   |
| 69.            | O. SCARPA,                    | <i>Gazz. Chem. ital.</i> , 1910, 40, p. 285-<br>321.   |
| 70.            | A. SCHWITZER,                 | <i>Arch. Sc. phys. et nat.</i> , 1909, 27, p.<br>256-274 ; 1910, 30, p. 46-66.                               |
| 71.            | THORKELSON,                   | <i>Mémoires de l'Académie royale des Sc.<br/>et des Lettres du Danemark</i> , 1910,<br>Sc., 8, p. 181-264.   |
| 72.            | DANNE et CREMIEU,             | <i>C. R.</i> , 1911, p. 944.   |
| 73.            | EHLER et FELNER,              | <i>Zeitschr. f. Anorg. Chemie</i> , 1911, 27,<br>p. 233-301.   |
| 74.            | P. MESERNITZKI.               | <i>Journ. d. russ. phys.-chem. Ges.</i> , 1911,<br>43, p. 255.   |

N°	Auteurs	Ouvrages
75.	O. PINTO,	<i>C. R. du III<sup>me</sup> Congrès internat. de Radiologie</i> , Bruxelles, 19 novembre 1911.
76.	A. STREICHEN,	<i>Jahrb. d. Radioak. u. Elek.</i> , 1911, p. 564.
77.	M. WEIDIG,	<i>Zeitschr. f. öffentliche Chemie</i> , 1911, 12.
78.	G. BERNDT,	<i>Ann. d. Phys.</i> , 1912, 38, p. 958-966. <i>Ann. d. Phys.</i> , 1912, 39, p. 1072.
79.	ISITANI et YAMAKAWA,	<i>Proc. Tokyo. Math. Physic. Soc.</i> , 1912, 6, p. 178.
80.	KNOCHE,	<i>C. R.</i> , 1912, p. 331.
81.	LABORDE et LEPAPE,	<i>C. R.</i> , 1912, p. 178.
82.	G. MASSOL,	<i>C. R.</i> , 1912, p. 373.
83.	J. SATTERLY,	<i>Le Radium</i> , 1912, p. 101.
84.	SANDERSON,	<i>Amer. Journal of Sc.</i> , 1912, 22, p. 169-185.
85.	B. SZILARD,	<i>Jahrb. d. Radioak. u. Elek.</i> , 1912, p. 982-984.
86.	D. ISITANI et MANABE,	<i>Proc. Tokyo. Math. Phys. Soc.</i> , 1912 6, p. 303-312.
87.	R. SWINNE,	<i>Jour. d. russ. phys. chem. Ges.</i> , 1913, 45 Phys. T, p. 454-460.
88.	BAMBERGER et KRÜSK,	<i>VII<sup>me</sup> Jahrb. Geol. Rechsanst.</i> , 1914, 64, p. 189-214.
89.	E. GIURGEA,	<i>Bulletin de l'Académie Roumaine</i> , 1914, 3, p. 54-61.
90.	D. ISITANI,	<i>Proc. Tok. Math. Phys. Soc.</i> , 1914, 7, p. 221-225.
91.	S. ONO,	<i>Proc. Tok. Math. Phys. Soc.</i> , 1914, 7, p. 412-422.
92.	E. POULSSON,	<i>Skr. Videnskabselsk.</i> , Kristiana, 1914, 8.
93.	H. SCHMIDT,	<i>Journ. Phys. Chem.</i> , 1914, 18, p. 662-666.
94.	J. E. SCHRADER,	<i>Jahrb. d. Radioak. u. Elek.</i> , 1914, p. 299.
95.	D. ISITANI,	<i>Proc. Tok. Math. Phys. Soc.</i> , 1915, 8, p. 15-35.
96.	R. RAMSEY,	<i>Philos. Mag.</i> , 1915, vol. 30 (6 série), p. 816-818.
97.	R. RAMSEY,	<i>Sill. Journ.</i> , 1915, 40, p. 309-313.
98.	A. STREICHEN,	<i>Phil. Mag.</i> , 1916, 31, p. 401-403.
99.	P.-B. PERKINS,	<i>B. z. d. Ann. der Phys.</i> , 1916, 6, p. 184-186.

## TABLE DES MATIÈRES

	Pages
INTRODUCTION . . . . .	3
I. MÉTHODE GÉNÉRALE . . . . .	6
II. L'APPAREIL.	
A. Description . . . . .	9
B. Etalonnage . . . . .	10
C. Perte à vide . . . . .	11
III. EXPÉRIENCES.	
A. Dispositif . . . . .	12
B. Analyses . . . . .	13
C. Procédé de mesures . . . . .	13
IV. CALCULS.	
A. Inconvénients des méthodes ordinaires quand il s'agit de faibles émanations . . . . .	14
B. Courbe étalon idéale. . . . .	15
C. Table . . . . .	18
D. Formules . . . . .	19
E. Exemple numérique . . . . .	22
V. PRÉCISION DES MESURES. . . . .	23
IV. ETUDE GÉNÉRALE.	
A. Tabelles . . . . .	25
Sources neuchâtelaises . . . . .	26
Sources bernoises . . . . .	28
B. Conclusions . . . . .	29
1. Radioactivité des sources . . . . .	29
2. Nature de l'émanation. . . . .	31
3. Influence de la température et du débit . . . . .	33
4. Eaux thermales et minérales . . . . .	34
5. Y a-t-il des régions de même activité ? . . . . .	35

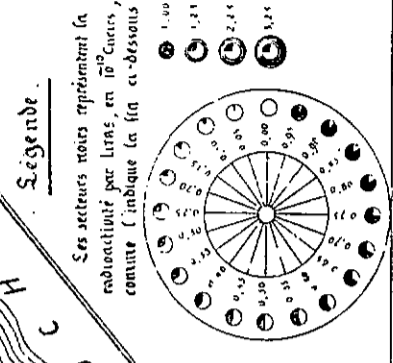
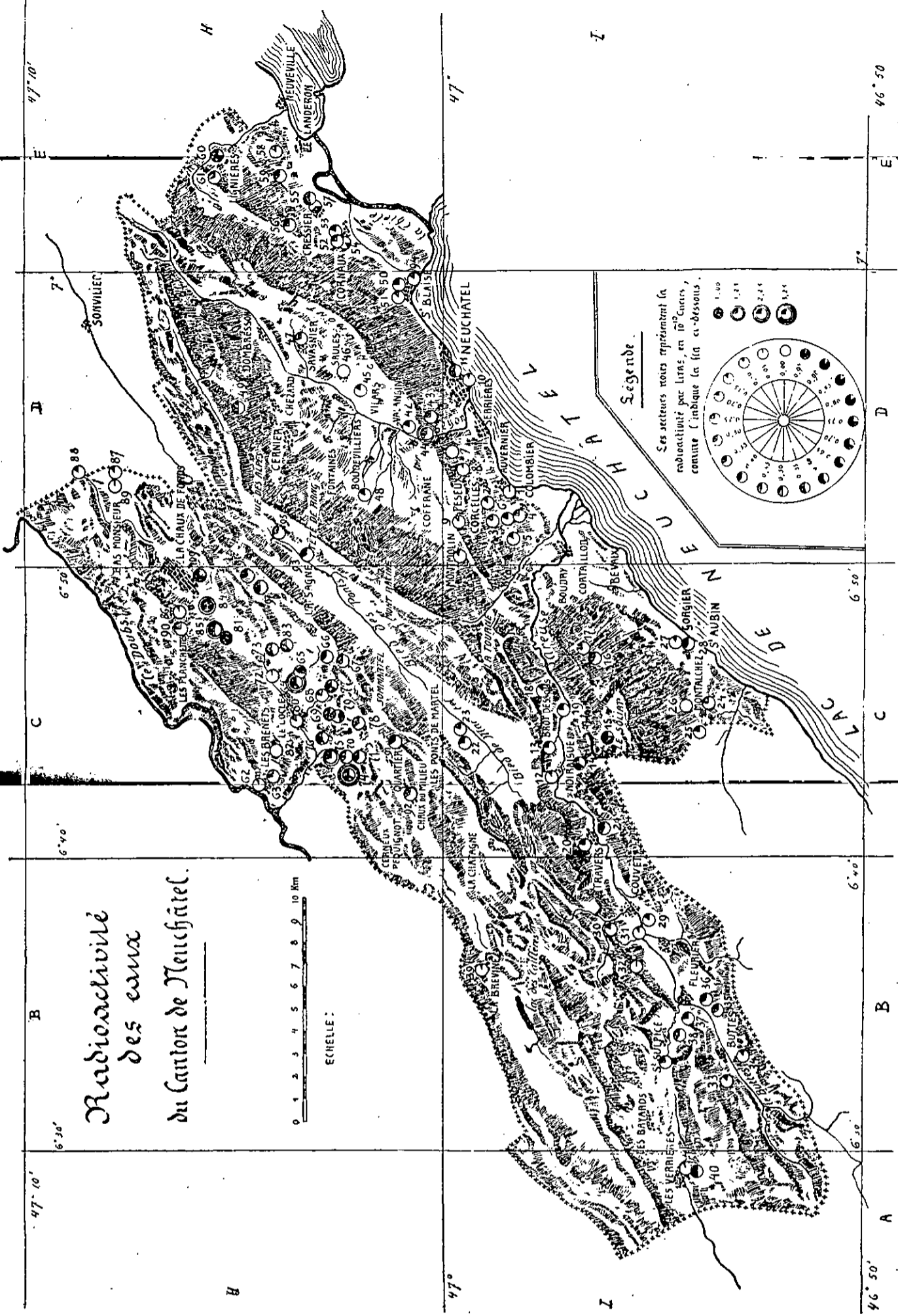
	Pages
VII. ETUDE SPÉCIALE DE DEUX RÉGIONS.	
A. Région du Locle . . . . .	38
B. Région du Seeland . . . . .	39
C. Conclusions . . . . .	40
VIII. ETUDE PARALLÈLE DE DEUX SOURCES.	
A. Source du Brühl . . . . .	41
B. Source du Marais . . . . .	44
C. Conclusions . . . . .	45
D. Variation d'activité de quelques sources . . . . .	51
IX. SELS RADIFÈRES EN DISSOLUTION . . . . .	52
X. RÉSUMÉ . . . . .	53
OUVRAGES CONSULTÉS . . . . .	54

---

# Radioactivité des eaux du Canton de Neuchâtel.



ECHELLE :



Ses secteurs sont représentés la radioactivité par litres, en 100 Curies, comme l'indique la légende ci-dessous.

46° 50'

E

7°

D

C

B

A

46° 50'

47°

7°

47°

47° 10'

E

7°

6° 50'

6° 40'

6° 30'

47° 10'

47° 10'

B

C

D

E

H

I

H

I