

## SUR UNE SOURCE THERMALE TRÈS RADIOACTIVE A JACHYMOV (ST. JOACHIMSTHAL) EN BOHÈME (TCHÉCOSLOVAQUIE)

par M. F. BEHOUNEK.

Institut du Radium de Prague.

**Sommaire.** — Une source thermale très radioactive a été découverte dans les mines d'uranium à Jachymov, à une profondeur de 500 mètres environ. Son activité s'élève à  $163,8 \cdot 10^{-3}$  curie par litre d'eau, l'activité du gaz libre atteint la valeur de  $148,0 \cdot 10^{-3}$  curie par litre de gaz. Les deux activités sont dues à la présence du radon. Une hypothèse sur l'origine de cette activité a été émise, indiquant que l'activation a lieu dans la base granitique et est due à la radioactivité de celle-ci et non au contact avec un filon riche en pechblende, ni dans les couches supérieures de micaschiste où la source émerge.

**1. Introduction.** — Le nombre d'analyses effectuées sur la radioactivité des eaux minérales de la Tchécoslovaquie est aujourd'hui encore très restreint. A part quelques analyses de Mache et Mayer (1) sur les sources minérales de Karlovy Vary (Karlsbad), Mariánské Lázně (Marienbad), Frantiskovy Lázně (Franzensbad) et quelques autres villes d'eau, il n'y a que des données plus ou moins incertaines, acquises par des analyses insuffisantes. Ce n'est qu'au début de cette année que j'ai pu entreprendre l'analyse détaillée des eaux de Jachymov comme première partie de recherches systématiques sur la radioactivité des eaux de la Tchécoslovaquie.

Le district minier de Jachymov, par la présence de mines d'uranium, est particulièrement intéressant au point de vue de la radioactivité de ses eaux. Les recherches systématiques que j'ai effectuées sur ce sujet faisant l'objet d'un travail spécial, je me bornerai ici à communiquer celles qui se rapportent à la source thermale du puits « Concorde ».

2. — Le puits « Concorde », qui est situé dans la partie orientale des mines et descend jusqu'à une profondeur d'environ 532 mètres, a subi en janvier 1863 une inondation par les eaux thermales. Le coup d'eau a eu lieu au plus profond point du puits (xii<sup>e</sup> niveau de Joachim) et l'eau jaillissait des fissures du filon Becken, un des filons dirigés du nord au sud et contenant de la pechblende. Le débit de l'eau, qui était d'abord de  $6,82 \text{ m}^3$  par jour, a atteint l'année suivante la valeur de  $705 \text{ m}^3$  par jour.

Les pompes d'épuisement dont on se servait à cette époque étant insuffisantes, on a dû abandonner le xii<sup>e</sup> niveau. Au bout de six ans seulement, on a réussi à épuiser l'eau jusqu'à l'émergence de la source, après quoi celle-ci a été fermée par un bouchon en ciment, d'une épaisseur de plusieurs mètres, traversé par un tuyau. Ce tuyau fut muni, à son extrémité inférieure, d'un dispositif spécial réglant le débit de la source pour éviter une trop haute pression au dessous du bouchon, causée déjà par le gaz présent dans l'eau en quantités abondantes. Le débit de l'eau s'est élevé, après l'aménagement de ce dispositif, de  $0,06 \text{ m}^3$  à  $0,133 \text{ m}^3$  par minute ; cette dernière valeur est restée constante pendant toute une année.

En 1901, on a abandonné la partie inférieure du puits ; l'eau est alors montée jusqu'au niveau de Daniel, à 148 mètres au dessous du niveau de l'orifice du puits (591 mètres au dessus du niveau de la mer) (2). Ce n'est qu'au début de cette année que l'eau a été épuisée jusqu'au plus profond point du puits et la source ainsi libérée.

3. — J'ai fait, depuis le mois de février jusqu'au mois d'août, une série d'analyses ayant pour but de déterminer la radioactivité de la source et la constance de cette activité.

Pour ces analyses, je me suis servi de la méthode de circulation indiquée par Schmidt (3), que j'ai améliorée de façon à pouvoir effectuer avec le même électromètre plusieurs analyses dans un laps de temps relativement court. A cet effet, j'ai muni l'appareil

(1) *Wiener Berichte*, t. 113 (1904) ; t. 114 (1905) et *Physikalische Zeitschrift*, (1905).

(2) En 1923, le gouvernement de la République tchéco-slovaque a procédé, avec des frais considérables, à la reconstitution du puits.

(3) *Physikalische Zeitschrift*, (1905).

de condensateurs séparables et indépendants de l'électromètre, dont la forme et les dimensions étaient celles employées couramment au laboratoire Curie. La prise d'eau a toujours été effectuée par aspiration dans un vase clos vidé au préalable pour éviter des pertes possibles de radon au contact de l'eau avec l'air. L'appareil a été étalonné au moyen d'un sel étalon que Mme Curie a bien voulu mettre à ma disposition.

Les analyses ont donné des résultats sensiblement constants dans les limites de précision de la méthode ( $\pm 2$  pour cent) et ont démontré que la *radioactivité de la source*, qui est de  $163,8 \cdot 10^{-9}$  curie par litre d'eau, est due uniquement au radon dissous dans l'eau. Nulle trace de thoron n'a pu être décelée. Dans toutes ces analyses, l'eau a été prise à environ six mètres au-dessus du bouchon en ciment, à l'extrémité d'un tube branché à la conduite principale; sa température était de  $27^{\circ}$  C et restait sensiblement constante. Le griffon de la source n'étant pas accessible, j'ai déterminé l'activité du gaz émanant de l'eau à deux endroits du tuyau qui conduit l'eau dans l'établissement de bains pour les applications thérapeutiques. Le premier endroit se trouvait dans le puits, au niveau de Daniel, alors à une distance d'environ 380 mètres du bouchon en ciment; l'autre, à l'orifice de la galerie de Daniel, à 2700 mètres de la source. La prise du gaz a été effectuée par la méthode habituelle de l'entonnoir retourné sur un robinet monté sur le tuyau. Les résultats furent les suivants :

	Activité en $10^{-9}$ curie par litre de gaz.	Température en $^{\circ}$ C.	Pression en mm de mercure.	Débit en litres par minute.
1° Dans le puits au niveau de Daniel .....	351,8	26	—	9,5
2° A l'orifice de la galerie de Daniel .....	448,0	49	756	0,014

L'eau, en se refroidissant durant son parcours dans le tuyau longeant la galerie de Daniel, dissout plus de gaz qu'à la sortie de la source; c'est aussi pour cette raison qu'elle présente une activité relativement plus grande à l'orifice de la galerie qu'au griffon de la source.

Relativement à sa haute teneur en radon et à sa température, l'eau contient très peu de radium solide : un centimètre cube n'en renferme que  $2,4 \cdot 10^{-13}$  gramme, donc la millionième partie du radon présent dans l'eau est due au radium dissous.

L'analyse chimique a donné pour cette source, qui est aujourd'hui la plus radioactive source thermique du monde entier, les données portées dans le tableau I (en milligrammes par litre d'eau) :

TABLEAU I.

	Analyse de 1882.	Analyse de 1924.
CaO .....	29,1	80,4
K et Na <sup>2</sup> O .....	203,1	184,3
MgO .....	9,9	41,4
FeO .....	0,63	1,9
Fe <sup>2</sup> O <sup>3</sup> .....	»	2,04
Cl .....	4,4	traces
P <sup>2</sup> O <sup>5</sup> .....	traces	néant
SO <sup>3</sup> .....	7,5	162,0
CO <sup>2</sup> .....	170,5	127,5
SiO <sup>2</sup> .....	50,8	46,8
Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> .....	»	57,9

Gaz :

Pourcentage en volume à 0°C et à la pression de 1 mètre de mercure.	N'a pas encore été analysé;
Azote .....	H <sup>2</sup> S se laisse constater.
CO <sup>2</sup> .....	
H <sup>2</sup> S .....	

Les deux analyses présentent des différences qui sont surtout très notables pour la teneur en  $\text{CaO}$  et  $\text{SO}^3$  : il est probable que l'eau, sous l'influence de la haute pression qu'elle subit pendant plus de quarante ans, a changé de circulation souterraine et fut en contact avec des eaux d'origine différente qui ont modifié sa concentration en composés minéraux.

L'origine de l'eau et sa circulation souterraine probable présentent un intérêt spécial. Kraus <sup>(1)</sup> est enclin à voir dans cette source l'eau superficielle qui, descendant par les fissures des couches de micaschistes, pénètre dans le massif granitique qui se trouve au-dessous des micaschistes, y acquérant sa température et sa minéralisation et dissolvant des gaz d'origine volcanique qui proviennent probablement de l'éruption basaltique. Elle traverserait deux fois la ligne de contact de granulite et de micaschiste, en descendant et en montant ; c'est aussi au contact de ces deux formations que se trouverait la zone de sa circulation.

Je me rallie à l'opinion de Kraus et je crois que c'est aussi dans le massif granitique que l'eau de cette source acquiert sa haute radioactivité.

Il y a trois hypothèses possibles pour expliquer la haute activité de la source :

1° Cette activité est gagnée pour la plus grande part pendant le parcours de l'eau dans le micaschiste, c'est-à-dire dans la branche descendante.

2° Cette activité est due au contact de l'eau avec un filon contenant beaucoup de pechblende.

3° Cette activité est gagnée dans le massif granitique, c'est-à-dire à la partie la plus basse du courant d'eau.

La première hypothèse est contredite par le résultat de l'analyse de l'eau froide qui sortait de la roche au niveau même où se trouve la source et à une distance d'une cinquantaine de mètres de celle-ci, dont la teneur en radon était seulement de  $2,06 \cdot 10^{-9}$  curie pour 1 litre d'eau.

Pour répondre à la seconde hypothèse, il faut tenir compte des conditions de la circulation d'eau dans les mines. D'après l'observation, cette circulation, en général, n'a pas lieu sur les surfaces des couches de micaschistes, mais seulement par les fentes d'origine tectonique ou bien au contact du micaschiste et du massif granitique. Or, le parcours de l'eau est très difficile dans la masse compacte de micaschiste. L'eau peut trouver passage seulement dans les fissures des filons qui encore sont rares, étant donné que des minerais de ces derniers sont accompagnés de minéraux difficiles à attaquer par l'eau et cimentés par une argile imperméable. Ainsi le courant d'eau dans sa branche descendante serait représenté par des capillaires aquifères qui se réunissent seulement dans le massif granitique en un courant plus fort, étant favorisés par des fentes d'origine tectonique dont ce massif est traversé. Le courant d'eau monte ensuite sous l'action d'une haute pression hydrostatique exercée par la branche descendante, s'étend au contact de la granulite et du micaschiste et s'y rassemble probablement dans quelques-unes des cavités datant de l'époque des formations géologiques quand la granulite, encore fondue, pénétrait dans les couches de micaschiste. Renforcé maintenant que les innombrables affluents se sont concentrés au sein de la granulite, le courant se fraye un passage par les seules fissures des filons nord-sud plutôt que par les filons est-ouest. Ces filons nord-sud contenant de la pechblende, sont plus poreux que les autres ; cependant, la circonstance suivante rend improbable l'activation de l'eau durant la dernière partie de son trajet : l'activité de l'eau est restée sensiblement constante quand on la pompait soit avec un débit de 49 litres par minute, soit avec un débit de 237 litres par minute. Ainsi, le filon auquel l'eau doit son activité devrait être traversé par celle-ci seulement avant le second passage de l'eau au contact du massif granitique avec le micaschiste, donc avant l'arrivée de l'eau dans son réservoir naturel supposé au contact du massif granitique avec le micaschiste, sur la branche montante. Étant donné que le massif granitique est considéré par les géologues comme exempt de filons radifères, le filon en question ne pourrait exister seulement qu'aux endroits traversés par la branche descendante de l'eau, c'est-à-dire dans la zone des conduits capillaires et ne pourrait être en contact qu'avec une très petite partie de l'eau.

<sup>(1)</sup> *Bergbau und Hütte*, (1916)

Il ne reste alors que l'hypothèse de l'activation dans le massif granitique pour expliquer l'activité de la source. Ce massif granitique, qui n'était pas encore solide à l'époque où des solutions aqueuses, montant de l'intérieur de la Terre dans la lithosphère, amenaient l'uranium, le plomb, l'argent et d'autres minerais, peut contenir des particules de radium disséminées en lui à l'époque où lesdites solutions le traversaient. L'eau s'active en le traversant, se réunit dans un réservoir naturel au contact de la granulite et du micaschiste après la sortie du massif granitique et là elle possède déjà sa haute activité, qu'elle peut garder indépendamment du débit de la source tant que celui-ci ne dépasse pas la valeur du débit de l'eau dans le réservoir souterrain. Ainsi s'explique aussi que l'eau, malgré sa haute activité, contient si peu de radium dissous, ce qui est aussi contraire à l'hypothèse de l'activation par contact avec un filon radifère. Cette teneur en radium est aussi inférieure à la plus petite valeur indiquée par M. A. Lepape <sup>(1)</sup> pour les sources françaises, qui est celle de la source chaude d'Audinae où la quantité de radium dissous par rapport à celle du radon de l'eau est de  $3.10^{-3}$ .

J'espère que l'analyse détaillée des minéraux des mines de Jachymov quant à leur teneur en radium que je me propose de faire, va davantage éclaircir cette question de l'origine de radioactivité des eaux des mines de Jachymov.

(1) *Annales de l'Institut d'Hydrologie et de Climatologie*, t. 2 (1924).