
ÉTUDE DES PROPRIÉTÉS RADIOACTIVES DU HOULLER ALPIN

par J. SARROT-REYNAULD DE CRESSENEUIL

Cette étude, entreprise sur l'initiative de M. le Professeur MORET, dans les Laboratoires d'Electrostatique et de Physique du Métal de M. le Professeur NÉEL, a porté sur les séries houillères des sièges d'exploitation de Montgirod, la Boutière, La Mure ¹.

L'étude du gisement de Montgirod-les-Chapelles (Houiller briançonnais près de Bourg-Saint-Maurice) a été faite en collaboration avec M. J. FABRE, géologue au B.R.G.G.; celle des mines de la Boutière près de Laval (Isère) avec M. BOUROZ, géologue en chef des Houillères du Nord. L'étude du dôme houiller de La Mure, et en particulier du siège d'exploitation du Villaret, a bénéficié des travaux et conseils de MM. BOUROZ et HAUDOUR.

L'étude a porté sur la radioactivité présentée par les échantillons des divers toits et murs rencontrés dans les trois mines étudiées.

Pour toutes les questions de radioactivité nous avons eu recours aux conseils de M. de MAGNÉE, Professeur à l'Université libre de Bruxelles.

Technique des mesures.

Les mesures ont été effectuées avec un compteur de Geiger-Muller à paroi mince du Commissariat à l'Energie atomique (comportant un dispositif numérateur-enregistreur), pendant une durée

¹ Je remercie M. le Professeur WEIL et M. BERTAUT, chef de Travaux à la Faculté des Sciences, qui ont bien voulu mettre leur matériel à ma disposition.

Les chiffres entre crochets et en caractères gras renvoient à la bibliographie à la fin de l'article.

de une heure, avec comptage du fond continu (*back-ground*) dû au rayonnement cosmique pendant une durée égale.

Le dispositif comporte une nacelle contenant 25 gr. de l'échantillon réduit en morceaux aussi petits que possible de façon à avoir une substance à peu près homogène. La nacelle est placée exactement sous la fenêtre du compteur. Cette disposition ne permet pas l'élimination du rayonnement cosmique qui se superpose à la radioactivité propre de l'échantillon. Chaque résultat de mesure comprend donc la valeur de la radioactivité propre de l'échantillon augmentée

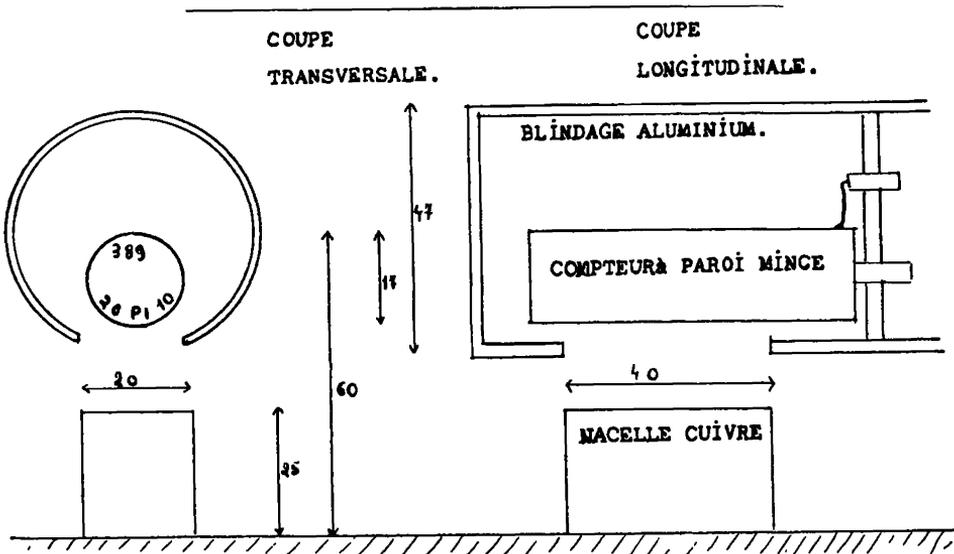


Fig. 1. — Dispositif expérimental.

de celle du *back-ground*. Le compteur utilisé réagit aux rayonnement β et γ . Si l'on place un écran d'aluminium de 1 mm. d'épaisseur sur la nacelle, on constate la disparition complète de la radioactivité propre à l'échantillon, ce qui laisserait supposer que celui-ci ne contient pas de substances émettant un rayonnement γ tels que l'uranium ou le thorium. En réalité, il n'en est rien car, dans les compteurs à paroi épaisse recommandés pour l'étude du rayonnement γ , lorsqu'une particule frappe la coque du compteur, il y a émission d'électrons par effet Compton, photoélectrique et production de paires qui provoquent une brève décharge dans le compteur [13]. Ceci ne se passe pas avec un compteur à paroi mince et, lorsque l'on place un écran devant la fenêtre du compteur, les électrons émis dans l'écran sous l'action d'une particule γ ont peu

de chances d'agir sur le compteur. Dans le cas où l'on emploie un compteur à paroi mince, on mesure donc presque uniquement le rayonnement β . Avec un compteur à paroi épaisse, on mesure le rayonnement γ . Il faut d'ailleurs remarquer que les compteurs G. M. ont toujours un mauvais rendement (de l'ordre de 1 %).

Pour les mesures du rayonnement γ , on a donc intérêt à faire appel, comme l'indique M. de MAGNÉE, au « scintillomètre » qui a un rendement très élevé vis-à-vis du rayonnement γ . On peut donc pour plusieurs séries d'échantillons mesurer une constante β et une constante γ indépendantes l'une de l'autre. On a ainsi un contrôle réciproque des deux méthodes.

Origine de la radioactivité. Mesures de détermination.

Il existe dans la nature de nombreux éléments radioactifs sous forme d'oxydes de métaux dont les principaux sont :

	<i>Rayonnements</i>	<i>Période</i>
Uranium U ₂₃₈ et U ₂₃₅	α , β et γ	$4,4 \times 10^9$ ans
Thorium Th ₂₃₂	α , β et γ	$1,4 \times 10^{10}$ ans
Potassium K ₄₀	β	$1,4 \times 10^9$ ans
Rubidium Rb ₈₇	β	
Samarium Sm ₁₄₈	α	
Lutecium	β	

Tous ces éléments émettent des « particules α , β et γ mais leur rayonnement principal est celui indiqué dans le tableau ci-dessus. En dehors de l'uranium et du thorium, c'est le potassium qui joue le rôle le plus important dans la radioactivité des roches. Les pegmatites riches en feldspaths potassiques présentent une forte radioactivité. Le potassium est très abondant dans les sédiments, spécialement dans les sédiments d'origine marine ou lagunaire; ces milieux sont en effet caractérisés par une forte teneur en éléments alcalins. Pour ce qui est de l'uranium et du thorium, il semblerait qu'ils soient absorbés dans les sédiments par les micelles colloïdales des particules argileuses [1]. L'uranium provient soit des eaux marines, soit des sources radioactives (lessivage de massifs cristallins). Il est possible que les bactéries jouent un certain rôle dans cette fixation de l'uranium, mais ceci n'a pas encore été prouvé.

Successivement, Mlle MUCHEMBLÉ, MM. CHALARD et de MAGNÉE [2, 9, 10] ont signalé les valeurs relativement élevées de la radioactivité des niveaux marins du Houiller franco-belge. M. CHALARD a constaté un rapport de radioactivité de 2 pour un sédiment d'origine continentale à 3 pour les horizons marins westphaliens de

Rimbert et Poissonières. M. de MAGNÉE a trouvé des résultats analogues pour les niveaux de Bouxharmont, Quaregnon et d'une manière générale pour les niveaux de schistes à Lingules. Ceci n'a rien d'étonnant lorsque l'on imagine la forte radioactivité du milieu dans lequel ces sédiments se déposaient. L'homogénéité assez grande du milieu explique la *constance de la radioactivité de chaque strate, constance qui est l'hypothèse fondamentale de nos mesures*. Nous estimons que les constantes β et γ ont une véritable valeur stratigraphique, ce qui est d'ailleurs admis généralement, et que la constante β est un aussi « bon fossile » que la constante γ .

L'origine des sédiments n'est évidemment pas la même dans le cas d'un bassin paralic, comme celui du Nord de la France, et dans celui d'un bassin limnique, comme les bassins houillers des Alpes. Le milieu originel n'est plus alors sous l'influence marine mais sous celle des eaux de ruissellement alimentant des torrents, des lacs et des marécages. Il n'en reste pas moins qu'à petite échelle le milieu a une composition à peu près constante et qu'en conséquence les mesures de radioactivité gardent leur valeur stratigraphique.

M. de MAGNÉE a étudié la radioactivité des diverses argiles de Belgique et mis au point une méthode que nous avons utilisée à sa suite. Cette méthode permet d'avoir une idée précise sur les rôles joués par les divers éléments radioactifs dans les sédiments.

Lorsque l'on place un échantillon devant le tube de Geiger à parois minces, le compteur enregistre d'une part le rayonnement cosmique (correspondant à l'effet zéro du tube) et d'autre part la radioactivité due au potassium, ainsi qu'à l'uranium et au thorium. Il est facile de connaître la part revenant dans les comptages au rayonnement cosmique par une mesure de fond continu dont on retranche la valeur de celle obtenue précédemment. Suivant la méthode de M. de MAGNÉE, on peut déterminer la part revenant au potassium et celle revenant à l'uranium et au thorium dans la radioactivité.

On opère un comptage sur un échantillon, puis on répète l'opération en ajoutant à celui-ci successivement : 1, 2, 3, 4, 5 % d'oxyde de potassium K_2O sous forme de l'équivalent en potassium (KCl par exemple). On trace la droite représentant l'augmentation de la radioactivité en fonction de la teneur en K_2O (voir courbes ci-jointes). Cette droite coupe l'axe des abscisses en un point A. La valeur du segment OA indique la part imputable à l'uranium et au thorium dans les mesures. Si l'on retranche cette valeur de celle trouvée dans la première mesure, on obtient la part revenant à K_2O dans l'échantillon étudié. Si sur l'axe des abscisses, on porte le nombre de coups/heure mesurés avec l'échantillon initial (sans

addition de K_2O) et si on élève la perpendiculaire à cet axe, le point B où cette perpendiculaire coupe la droite considérée permet de connaître la teneur en K_2O originelle de l'échantillon.

Nous avons entrepris ces essais pour des schistes et des grès typiques de la région de La Mure. Il ressort des résultats et courbes ci-joints que le potassium joue un rôle assez peu important dans la radioactivité β vis-à-vis de celle due à l'uranium et au thorium et, d'autre part, ce rôle est plus important dans les schistes que dans les grès, ce qui est normal et confirme la théorie de M. de MAGNÉE [9].

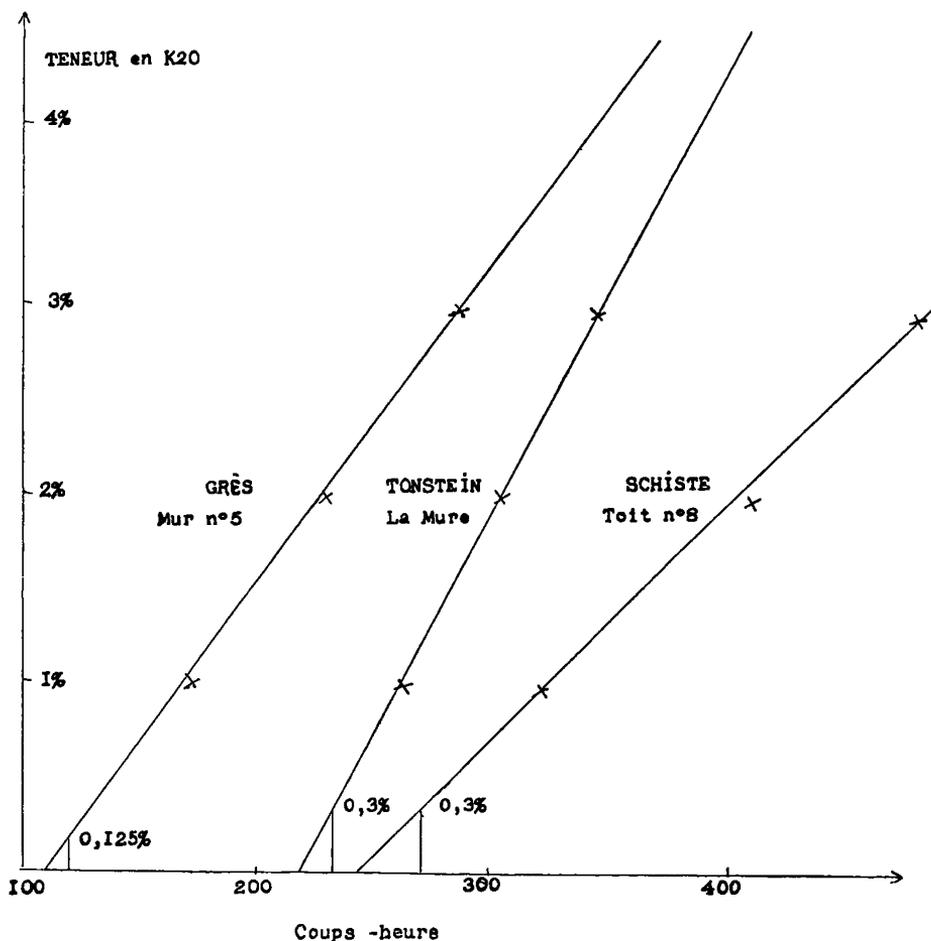


Fig. 2. — Teneur en potassium K 40 (K_2O).

Nous avons porté sur la même figure les résultats obtenus dans l'étude de la teneur en potassium d'un *tonstein* rencontré dans la série de La Mure.

On peut doser par la même méthode le thorium présent dans un échantillon en utilisant de la thiorine ThO_2 et l'uranium en utilisant les oxydes UO_2 et U_3O_8 .

On a ainsi une méthode assez rapide et élégante de dosage qui, sans être aussi précise que les méthodes classiques, est d'un emploi infiniment plus aisé.

Résultats des comptages faits avec un tube Geiger à parois minces sur les échantillons des mines de Montgirod, La Boutière, La Mure.

Pour faciliter la lecture des résultats, nous n'indiquons pour les divers échantillons que la valeur de leur radioactivité propre (*back-ground* déduit).

Il est intéressant de préciser l'ordre de grandeur des erreurs possibles. L'erreur faite sur chaque mesure est au minimum du même ordre que les fluctuations du rayonnement cosmique. Celles-ci se traduisent dans les mesures par une erreur qui est proportion-

nelle à $\frac{\sqrt{N}}{N}$ (N = nombre de coups comptés) soit : $\frac{\sqrt{1100}}{1100} = 3\%$ environ.

Telle est l'erreur minima. L'erreur maxima est d'après la plupart des auteurs égale à : $67,45 \sqrt{\frac{N+n}{N-n}}$.

N : nombre total de coups comptés;

n : nombre de coups dus au *back-ground*.

On a donc une erreur maxima de l'ordre de :

$$67,45 \sqrt{\frac{1100 + 800}{1100 - 800}} = 9,8\%$$

Les divers rayonnements correspondent à la désintégration du noyau des éléments radioactifs. Cette désintégration suit une loi exponentielle de la forme : $n = n_0 e^{-\lambda t}$

n : nombre atomes à l'instant t

n_0 : nombre atomes à l'instant $t = 0$

λ : constante radioactive.

La période radioactive (temps au bout duquel la moitié des atomes présents dans une masse radioactive donnée se sont désintégrés) étant très grande, l'instant de la vie des éléments radioactifs où l'on effectue la mesure influe fort peu sur les résultats obtenus.

Les principales causes d'erreur sont attribuables : à l'identité plus ou moins parfaite des conditions géométriques d'une mesure à l'autre, aux variations de tension du secteur, etc...

Signalons que, dans les tableaux, nous indiquons les toits et les murs géologiques quand nous les connaissons, de façon certaine, et les toits et murs géométriques quand nous ne connaissons pas la position géologique de la couche en question.

Tableau des résultats de mesures de radioactivité β faites sur une série-type du VILLARET (La Mure).

ROLLAND	<i>Toit 1</i>	Schiste fin tectonisé	120 c/h
	<i>Mur 1</i>	Schiste un peu gréseux métamorphisé	268
	<i>Toit 2</i>	à 30 cm. du charbon : Schiste grossier (rayure grise)	265
		à 20 cm. : Schiste fin à rayure noire	113
		à 10 cm. : Schiste bitumineux et phyllite	101
		à 10 cm. du charbon : Grès sériciteux	217
Grande couche	<i>Mur 2</i>	à 20 cm. : Grès carbonneux (débris végétaux)	109
		à 30 cm. : Schiste sériciteux	118
Banc du mur	<i>Toit 3</i>	Schiste grossier à rayure grise	262
	<i>Mur 3</i>	Schiste carbonneux tectonisé	176
	<i>Toit 4</i>	Schiste assez grossier, un peu gréseux	180
Banc repère	<i>Mur 4</i>	Schiste gréseux à inclusions claires	328
	<i>Toit 4 bis</i>	Schiste bitumeux à passées sériciteuses	279
Filet M.B.R.	<i>Mur 4 bis</i>	Schiste gréseux	111
	<i>Toit 5</i>	Schiste ardoisé très fin	213
Henriette	<i>Mur 5</i>	Grès assez grossier	120
	<i>Toit 6</i>	Schiste fin à cassure esquilleuse	230
Banc M.H.	<i>Mur 6</i>	Schiste gréseux et micacé	252
	<i>Toit 7</i>	Schiste foncé fracturé (Pyrite, silice)	358
Banc T.T.	<i>Mur 7</i>	Schiste gréseux	225
	<i>Toit 8</i>	Schiste fin à rayure grise	274
Trois bancs	<i>Mur 8</i>	Schiste très gréseux et micacé	108
	<i>Toit 9</i>	Grès	267
	<i>Mur 9</i>	Schiste glissé, gréseux et micacé	234

Tableau des résultats de mesures de radioactivité β faites sur les toits et murs géométriques de MONTGIROD-LES-CHAPELLES.

<i>Mur 1</i>	Grès micacé	173 c/h
<i>Toit 1</i>	Schiste ardoisé noir	289
<i>Mur 2</i>	Schiste dur métamorphisé à cassure franche	311
<i>Toit 2</i>	Schiste gréseux à rayure noire	305
<i>Mur 3</i>	Schiste dur à rayure noire	275
<i>Toit 3</i>	Schiste noir glissé	285
<i>Mur 4</i>	Grès pyriteux dur	343
<i>Toit 4</i>	Grès très siliceux	102
<i>Mur 5</i>	Schiste dur glissé	166
<i>Toit 5</i>	Schiste micacé à cassure franche	123
<i>Mur 6</i>	Schiste dur finement stratifié	369
<i>Toit 6</i>	Schiste dur à rayure noire	310
<i>Mur 7</i>	Schiste gréseux tendre	285
<i>Toit 7</i>	Grès dur	278
<i>Mur 8</i>	Schiste gréseux gris clair	80
<i>Toit 8</i>	Schiste noir très métamorphisé	322
<i>Mur 9</i>	Schiste glissé un peu gréseux	266
<i>Toit 9</i>	Schiste gréseux	338
<i>Mur 10</i>	Schiste dur un peu gréseux à rayure grise	411
<i>Toit 10</i>	Schiste micacé	294
<i>Mur 11</i>	Schiste ardoisé fin	465
<i>Toit 11</i>	Schiste grossier tectonisé	268
<i>Mur 12</i>	Schiste tendre grisâtre	296
<i>Toit 12</i>	Schiste noir dur (radicelles)	352
<i>Mur 13</i>	Grès schisteux et glissé	328
<i>Toit 13</i>	Grès irrégulier grisâtre	376
<i>Mur 14</i>	Schiste micacé dur	339
<i>Toit 14</i>	Schiste fortement gréseux tectonisé	234
<i>Mur 15</i>	Schiste fin	401
<i>Toit 15</i>	Schiste un peu gréseux et micacé	312
<i>Mur cote 1600</i>	Schiste grossier à cassure esquilleuse	393
<i>Toit cote 1600</i>	Schiste ardoise extrêmement fin	358

Tableau des résultats de mesures de radioactivité β faites sur les échantillons des mines de LA BOUTIERE (Isère).

T.B. 7	A	Grès schisteux	198 c/h
T.B. 7	B	Schiste foncé dur	309
T.B. 7	C	Schiste un peu gréseux	183
T.B. 7	D	Grès schisteux	165
T.B. 7	E	Schiste broyé et silicifié	247
T.B. 7	F	Grès métamorphisé	190
Henriette (Raff.)	G	Mur. Schiste fin foncé dur	374
Henriette (Raff.)	H	Toit. Grès broyé et altéré	177
Henriette (Tonk.)	I	Toit. Schiste glissé	330
Henriette (Tonk.)	J	Mur. Schiste ardoise très fin	382
3 Bancs (Tonkin)	K	Toit. Grès schisteux micacé	189
3 Bancs (Tonkin)	L	Mur. Schiste fin gréseux	255
4° Banc (Tonk.)	M	Toit. Schiste grossier glissé	287
4° Banc (Tonk.)	N	Mur. Schiste noir	334

L'étude des tableaux ne permet pas pour le moment de conclusions très générales, si ce n'est, dans le cas de La Boutière, la plus grande radioactivité des schistes que des grès.

L'interprétation des résultats de Montgirod-les-Chapelles fait l'objet d'une note séparée, car il a été nécessaire de faire appel aux méthodes géologiques et radiocristallographiques.

L'étude de la série de La Mure qui ne fait que commencer a porté sur une série-type, mais, au cours de cette étude, il a été possible à partir des résultats obtenus de déceler qu'une erreur s'était produite lors du prélèvement des échantillons 6 et 9; on avait pris deux fois la même veine (banc M.H.) et non pas le banc M.H. et la couche Inférieure.

Dans le cas de Montgirod, les difficultés venaient de ce que, par suite des efforts tectoniques, certaines veines ne sont plus au contact de leur toit ou mur originel mais d'un autre niveau amené tectoniquement en cette position. Il est évident que si l'échantillon prélevé n'est pas le toit ou le mur qui se sont formés en même temps que la veine de charbon, la radioactivité mesurée n'est plus caractéristique de la couche. On se place ainsi en opposition avec le principe même de la méthode : ceci revient, en stratigraphie normale, à considérer que les fossiles de deux couches superposées sont d'âge très voisin, même s'il existe un contact anormal entre les deux couches.

Dans l'étude des mines de La Boutière, nous avons eu un exemple typique de ceci. Les échantillons G et H pris au niveau

Raffour de la couche Henriette devraient être identiques aux échantillons I et J pris au niveau Tonkin de la même couche. Leurs radioactivités ne coïncident pas.

Le mur se présente bien en I et J avec la même radioactivité mais le toit, lui, présente des radioactivités très différentes. L'explication la plus simple et la plus plausible est que l'un de ces échantillons ne correspond pas au toit originel de la couche, ce qui est confirmé par la nature lithologique très différente des deux échantillons. Ces cas de discordances tectoniques sont les principaux écueils sur lesquels échoue la méthode radioactive; c'est pourquoi il est souvent nécessaire de la recouper par les autres méthodes classiques (paléontologie, lithologie, minéralogie, radiocristallographie).

D'autre part, si, comme l'indique M. de MAGNÉE, les schistes sont théoriquement plus radioactifs que les grès ou que certains carbonates, il arrive que l'inverse se produise et ceci s'explique par le fait que certains niveaux de grès peuvent provenir de la destruction de roches très riches en éléments radioactifs qui se sont accumulés en quelque sorte sous forme de placers.

Il faudrait évidemment entreprendre toute la série des mesures concernant les constantes γ des échantillons considérés. C'est ce que nous envisageons actuellement de faire, soit avec un compteur à paroi épaisse, soit avec un scintillomètre dont nous ne disposons pas encore. On déterminera ainsi les constantes β et γ de chaque échantillon (constantes qui ne sont pas forcément liées entre elles) et on pourra établir deux séries d'identification des couches houillères qui devront coïncider. On décèlera ainsi les erreurs qui risqueraient de se produire.

Le but que nous poursuivons n'est d'ailleurs pas une interprétation théorique des mesures, mais l'application directe des résultats à la résolution pratique de problèmes précis de géologie des gisements étudiés et, dans ce domaine, il semble que l'on puisse arriver à des conclusions extrêmement fructueuses.

C'est cet esprit qui a présidé à la mise au point des méthodes géophysiques telles que le carottage radioactif γ . Si, pour des raisons pratiques, l'industrie du pétrole n'emploie pas le carottage radioactif β , il semble que son emploi soit un complément indispensable du carottage γ dans la résolution des problèmes complexes posés par l'étude du Houiller alpin.

NOTE COMPLÉMENTAIRE

Mesures sur diverses substances.

Nous avons étudié la radioactivité de diverses substances, et en particulier : une argile de Vallauris, une bentonite du type Ca, deux tonsteins, etc...

Voici les résultats que nous avons obtenus :

Nature	Radioactivité propre
Grès houiller de Bozel (Savoie)	226 c/h
Schiste houiller des Grandes Rousses	398
Charbon Montgirod n° 13	néant
Cendres charbon Montgirod n° 13	277
Argile Vallauris (Bathonien moyen)	130
Bentonite Ca (Mauriac)	130
Tonstein Montgirod	Très faible
Tonstein La Mure	278

Ces résultats n'ont pas de signification particulière si ce n'est que l'absorption par la masse (self-absorption) dans le cas du charbon est telle que la mesure de la radioactivité n'est plus possible alors que les cendres où toute la matière non minérale a disparu ont une radioactivité non négligeable. Pour ce qui est de l'argile de Vallauris et de la bentonite, nos résultats diffèrent sensiblement de ceux que laissait attendre le graphique donné par M. LE ROY [7], sans que nous ayons d'explication plausible à cette divergence. Pour les tonsteins, nous ne tirerons actuellement aucune conclusion, une note étant en préparation sur leur composition cristallographique et chimique.

BIBLIOGRAPHIE

1. BOURCART (J.). — La vase. Hermann, Paris, 1942.
2. CHALARD (J.). — Application du compteur G. M. à la stratigraphie dans le bassin houiller du Nord de la France (*C.R. Acad. Sc.*, t. 222, 1946).
3. COPPENS (R.). — Etude de la radioactivité de quelques roches par l'émulsion photographique (*Bull. Soc. Fr. de Minéralogie et Cristallographie*, juin 1950).
4. CORK (J.). — Radioactivité et Physique nucléaire. Dunod.
5. DAVIDSON. — Mining Magazine 1951, vol. 85, n° 6.
6. JOLIOT-CURIE. — Les radioéléments naturels. Hermann, 1946.
7. LE ROY. — Subsurface methods of Geology. Colorado School of Mines, 1950.
8. MACKELVEY et NELSON. — Characteristics of uranium bearing sedimentary rocks (*Economic Geology*, vol. 45, n° 1, 1950).
9. DE MAGNÉE (I.). — Observations sur la radioactivité des horizons marins du Westphalien belge (3^e congrès strat. et géol. carbonifère, Heerlen, 1951).
 - Contribution à l'étude de la radioactivité des argiles belges (*Bull. Soc. Belge de Géol.*, t. LXI, 1952).
 - Quelques aspects de l'emploi du compteur de Geiger-Muller en prospection minière (*Bull. Inst. Royal Colonial Belge*, t. XX, 1949, n° 4).
 - Possibilité d'utilisation de la radioactivité pour la solution de problèmes géologiques au Congo (*C.R. Trav. Congrès scientifique*, 50^e anniversaire du Comité du Katanga, Elisabethville, 1950).
10. MUCHEMBLÉ (G.). — Sur la radioactivité élevée des roches marines du terrain houiller du Nord de la France (*C.R. Acad. Sc.*, t. 216, p. 270, 1943).
11. PONTECORVO (B.). — Radioactivity analyses of oil samples (*Geophysics*, vol. 7, 1942).
12. ROUBAULT (M.). — Recherche et exploitation des minerais d'uranium en France et dans l'Union française (*Mém. Soc. Ingénieurs civils de France*, n° 1 à 3, 1952).
13. SURUGUE (G.). — Techniques générales du Lab. de Physique (C.N.R.S.).
14. TIRATSOO. — The radioactivity of sediments (*Petroleum*, 1949).
15. WARMOLTZ. — Compteurs de Geiger-Muller (*Rev. techn. Phillips*, mars 1952, p. 267).

PUBLICATIONS CONSULTÉES POSTÉRIEUREMENT
A LA RÉDACTION DU TEXTE
(parvenues en juin 1953)

- Claude BIZARD. — Radioactivité des phosphates marocains, *C.R. Ac. Sciences*, 1953, t. 16, p. 1587.
- Louis CAGNIARD. — La prospection géophysique, *Presses univ. de France*.
- A. FOLDVARI. — Geological and petrological principles applied in researches for radioactive elements in Hungary. *Relationes annuae Instituti geologici publici Hungarici*, Budapest, 1948.
- The geochemistry of radioactive substances in the Mecsek mountains. *Acta geologica academiae scientiarum Hungaricae*. Budapest, 1952.
- A. SZALAY. — Thorium and Uranium content of the Velence mountains Hungary. *Nature*, Vol. 162, p. 454, septembre 1948.
- Investigations into the Thorium and Uranium contents of the eruptive rocks in Hungary by means of Geiger-Muller counter tubes. *Relationes annuae Instituti geologici publici Hungarici*, Budapest, 1948.
- A. SZALAY and Eve CSONGOR. — Determination of radioactive content of rocks by means of Geiger-Muller counters. *Science*, February 1949, Vol. 109, n° 2824, p. 146-148.
- SZALAY, SANDOR et FOLDVARI ALADAR. — Publications en langue magyare parues en 1950 et 1952.