

**21 — CONTRIBUTION A L'ETUDE
DE LA RADIOACTIVITE INDUITE
PAR LE RAYONNEMENT COSMIQUE**

PAR

**M. DEMEUR, ⁽¹⁾ A. GRIBAUMONT
et P. JANSSENS ⁽²⁾**

Université Libre de Bruxelles, Belgique

1. — Parmi les phénomènes nucléaires qui se produisent dans les astres il faut citer les évaporations nucléaires causées par le rayonnement cosmique. L'étude des fragments ionisants émis par évaporation a été faite dans les émulsions nucléaires. Il a été montré que ces fragments étaient constitués d'éléments stables ou de courte durée de vie. Au cours de ces évaporations nucléaires, des neutrons (d'une énergie maximum de quelques dizaines de Mev) sont émis. Ralentis par chocs, ils sont finalement capturés lorsque leur énergie atteint celle des pics de résonance des noyaux du milieu considéré. Ces captures créent des radio-isotopes parmi lesquels certains peuvent avoir une longue durée de vie. Ce phénomène ne se produit que dans une mince couche superficielle, étant donné que le rayonnement cosmique ne pénètre pas profondément.

⁽¹⁾ Chercheur agrégé de l'Institut Interuniversitaire des Sciences Nucléaires. Université Libre de Bruxelles.

⁽²⁾ Assistant à l'Université Libre de Bruxelles.

2.— Le Professeur F.G. Houtermans nous avait suggéré d'appliquer les résultats théoriques que nous avons obtenus pour la répartition des neutrons dans un modérateur (^{1,2}), à l'étude de la radioactivité de certains minéraux de la croûte terrestre.

La fréquence des évaporations nucléaires causées par le rayonnement cosmique s'affaiblissant rapidement avec la profondeur, il n'est pas inutile de connaître la profondeur limite à laquelle la radioactivité induite se fait sentir. En général, il y aurait, en surface, un apport à la radioactivité « naturelle ».

Dans le cas d'un minéral contenant des éléments fissionables, il y aurait accumulation de produits de fission.

Si le radio-isotope formé a une durée de vie longue, les anomalies de la radioactivité induite pourraient fournir des indications sur le comportement géologique du gisement considéré. Le Cl³⁵ possède une grande section efficace de capture pour les neutrons thermiques; le Cl³⁶ formé a une longue durée de vie (4.10^5 années).

L'effet principal étant dû à la capture de neutrons émis par les évaporations nucléaires dans la croûte terrestre, les corrections dues à la composante nucléonique du rayonnement cosmique (laquelle contient des neutrons de très grande énergie, pénétrant dans la croûte pratiquement à la verticale) et à la capture de neutrons émis par les évaporations nucléaires dans l'atmosphère terrestre peuvent être calculées.

3. — Etude de l'effet principal.

Soit $N(E_0, P_0; E, P)$ la probabilité pour un neutron produit en P_0 avec l'énergie E_0 , d'arriver en P avec l'énergie E .

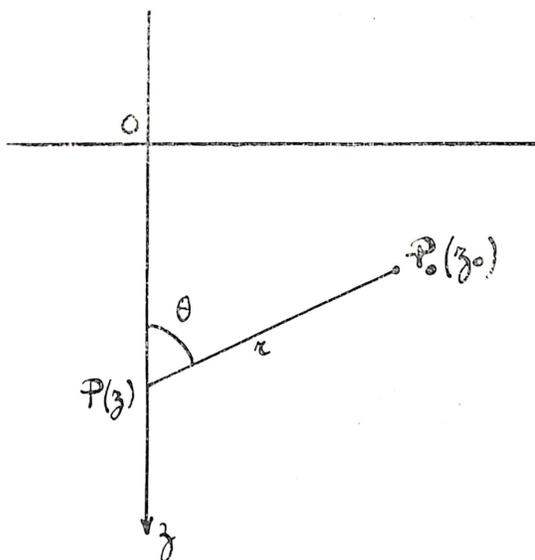


Fig. 1

Soit d'autre part, $I(E_0, P_0)$ le nombre de neutrons d'énergie E_0 produits en P_0 par unité de temps. Le nombre $\mathfrak{N}(E, P)$ de neutrons arrivant en P avec l'énergie E sera alors :

$$\mathfrak{N}(E, P) = \int_{\underline{E}_0}^{\bar{E}_0} dE_0 \int_V I(E_0, P_0) N(E_0, P_0; E, P) dP_0 \quad (1)$$

où \underline{E}_0 et \bar{E}_0 sont les limites des énergies des neutrons produits; l'intégrale sur V est étendue à tout le demi-espace sous le plan de la surface terrestre.

Le spectre d'énergie des neutrons produits par évaporation étant pratiquement indépendant de la profondeur à laquelle l'évaporation a lieu, nous pouvons séparer profondeur et énergie dans $I(E_0, P_0)$:

$$I(E_0, P_0) = J(E_0) K(P_0)$$

où le spectre d'énergie des neutrons produits est représenté

par $J(E_0)$ et où la fréquence des évaporations nucléaires en fonction de la profondeur est donnée par $K(P_0)$. J et K sont connues expérimentalement (3). En utilisant le fait que $N(E_0, P_0; E, P)$ ne dépend de P et P_0 que par la distance qui les sépare, la relation (1) devient :

$$\mathfrak{N}(E, z) = 2\pi \int_{\underline{E_0}}^{\overline{E_0}} J(E_0) dE_0 \int_{v=v_1+v_2} N(E_0, E; r) K(z - r \cos \theta) r^2 dr \sin \theta d\theta$$

où l'on est passé aux coordonnées polaires d'origine P ; z_0 étant alors égal à $z - r \cos \theta$ et PP_0 à r . Le domaine d'intégration V se décompose en deux :

$$\begin{aligned} V_1: & \quad 0 < r < z; & \quad 0 < \theta < \pi \\ V_2: & \quad z < r; & \quad \arccos z/r < \theta < \pi \end{aligned}$$

A l'aide des propriétés de symétrie de N , il est possible de ramener \mathfrak{N} à la forme plus simple suivante :

$$\mathfrak{N}(E, z) = 2\pi \int_{\underline{E_0}}^{\overline{E_0}} J(E_0) dE_0 \int_{-z}^{\infty} dr r N(E_0, E; r) \int_0^{r+z} K(u) du$$

La fonction $rN(E_0, E; r)$ est compliquée; elle se simplifie cependant lorsque le rapport E_0/E est très grand, car dans ce cas la forme asymptotique de Langevin (4), peut être utilisée. On a alors, dans le cas d'un seul constituant :

$$r N(E_0, E; r) = \frac{2\lambda}{(1 - p + p \ln p) \pi E_0} \int_0^{\infty} \frac{1}{u} [\arccos(\lambda u)]^2 \exp \left[\frac{x}{\lambda u} \arccos(\lambda u) \right] \sin(ru) \cdot du,$$

où λ est le libre parcours moyen d'un neutron d'énergie E ; $p = \ln \left(\frac{M-1}{M+1} \right)^2$; M est le nombre de masse du modérateur et $x = \ln(E_0/E)$.

4. — A titre d'exemple, nous avons calculé la répartition des neutrons d'évaporation dans un modérateur composé de NaCl pur. Il a été supposé que tous les neutrons sont émis avec la même énergie $E_0 = 10$ Mev, [cf. réf. (3), p. 43].

La fonction $K(z)$ est donnée par une somme de deux exponentielles passant au mieux par les points expérimentaux (3) :

$$K(z) = 1,45 \cdot e^{-0,755z} + 0,00603 \cdot e^{-0,01473z}.$$

L'intégrale sur u a été calculée numériquement.

Le tableau suivant fournit les densités de neutrons d'énergie $E = 0,01, 0,1, 1$ et 10 eV à différentes profondeurs, compte tenu de la fréquence des évaporations nucléaires (en supposant qu'un seul neutron est émis dans chaque évaporation) :

z (en m)	0	10	50	100	150	200
densité à 0,01 eV	11	0,10	0,025	0,011	0,005	0,0012
densité à 0,1 eV	1,5	0,02	0,0045	0,0021	0,001	0,0005
densité à 1 eV	0,45	0,004	0,0008	0,0004	—	—
densité à 10 eV	0,06	0,0006	0,00015	—	—	—

5. — Etude de deux corrections.

La surface terrestre, supposée plane, peut être considérée :

1) comme une source plane de neutrons très énergétiques (de la composante nucléonique du rayonnement cosmique) tombant verticalement, et

2) comme une source plane de neutrons créés par les évaporations nucléaires dans l'atmosphère.

Dans les deux cas, la densité de neutrons d'une énergie donnée peut être calculée pour une profondeur quelconque. On peut montrer que la première densité présente un maximum à une certaine profondeur (fonction de l'énergie et du minéral considéré) contrairement à la seconde, laquelle décroît en fonction de la profondeur, comme la densité de l'effet de principal. Ce maximum n'est pas détectable, l'intensité de la composante nucléonique du rayonnement cosmique étant très faible.

REFERENCES

1. P. JANSSENS et A. GRIBAUMONT, *Bull. Acad. Roy. Belg. Cl. Sc.*, **36**, 616, 1950.
 2. M. DEMEUR, *Bull. Acad. Roy. Belg. Cl. Sc.*, **36**, 623, 1950.
 3. I. G. WILSON, *Progress in Cosmic-Ray Physics* (chap. 7), North-Holland C° 1952.
 4. P. LANGEVIN, *C. R. Acad. Sc. Paris*, **214**, 867, 1942.
-