

DOSIMÉTRIE DES IONS LOURDS DU RAYONNEMENT COSMIQUE PAR ÉMULSIONS NUCLÉAIRES LORS DES VOLS APOLLO

R. PFOHL, R. KAISER *

(Manuscrit reçu le 10 janvier 1974)

INTRODUCTION

L'un des problèmes intéressants et importants posés aux physiciens à l'occasion du vol de Apollo XVI est celui de la dosimétrie des ions lourds. Cette dosimétrie a été effectuée à l'aide des émulsions nucléaires se trouvant dans le Biostack.

1. MÉTHODE D'ENREGISTREMENT

Les particules chargées traversant une émulsion laissent une trace qui, après développement, est caractéristique de la particule incidente ainsi que de son énergie. Les paramètres utilisables sont la granularité de la trace pour les charges 1,2 d'une part, l'épaisseur pour les ions lourds, d'autre part. Ces divers paramètres varient avec la nature, c'est-à-dire, la sensibilité des émulsions K₅, K₂, K₀, ainsi qu'avec les techniques de développement. Il est essentiel de souligner que cette méthode a l'avantage d'être *une méthode d'intégration* donnant un résultat global. D'autre part, le renseignement est obtenu sous un *volume très réduit*, ce qui est actuellement encore important dans une expérience spatiale. En dernier lieu, l'exploitation de la mesure se fait *à terre après l'expérience*. Ces diverses caractéristiques font que l'utilisation de l'émulsion nucléaire est très rentable pour les vols à haute altitude et les missions spatiales.

2. LOCALISATION DES IONS LOURDS

— Après la mission Apollo, les émulsions ont été impressionnées en surface par une grille aux mailles de 1 mm. Chaque carreau est affecté de coordonnées lisibles au microscope à faible grossissement. L'ion lourd est donc localisé sans ambiguïté dans ce système de coordonnées.

* Laboratoire de physique corpusculaire. Centre de Recherches nucléaires, Strasbourg-Cronembourg (Bas-Rhin) - B.P. 20 CR - 67037 Strasbourg Cedex.

— Nous mesurons également la longueur projetée et l'enfoncement ainsi que l'angle par rapport au système de coordonnées.

— A l'aide de ces indications, il nous est possible de faire une restitution spatiale de la trajectoire des ions lourds. Connaissant très exactement l'empilement, nous arrivons à suivre individuellement des ions lourds ayant traversé totalement ou partiellement le Biostack.

3. DÉTERMINATION DE LA CHARGE

Le problème fondamental est la détermination de la charge des ions lourds cosmiques. Il nous est actuellement possible de comparer les ions lourds cosmiques à des ions lourds connus accélérés au Bevatron de Berkeley à des énergies de 250 MeV par nucléon et 2,1 GeV par nucléon.

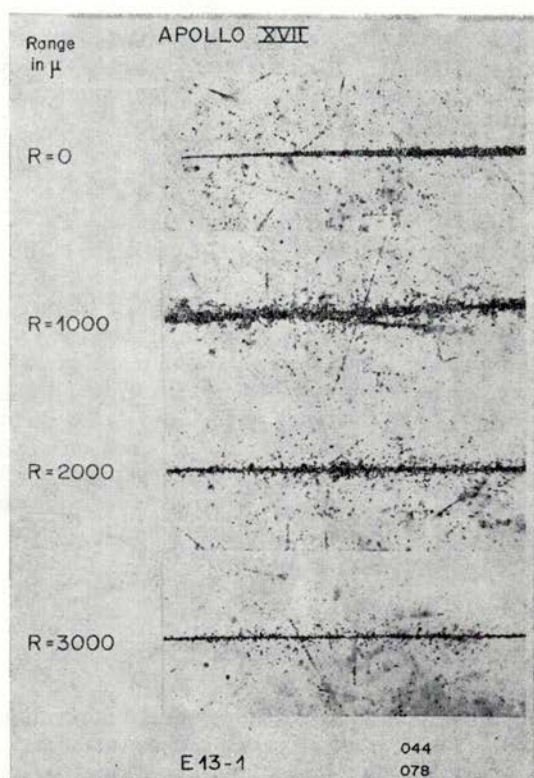


FIG. 1 — Tracé d'ion lourd, différents parcours résiduels Apollo XVII.

Nous disposons d'ions connus, à savoir C, N, O, Ne, à des énergies de l'ordre de celle du rayonnement cosmique. Pour les traces s'arrêtant dans l'émulsion,

l'amincissement en fin de parcours est un excellent paramètre qui a déjà été utilisé lorsque le HILAC de Berkeley ne donnait que 10 MeV par nucléon.

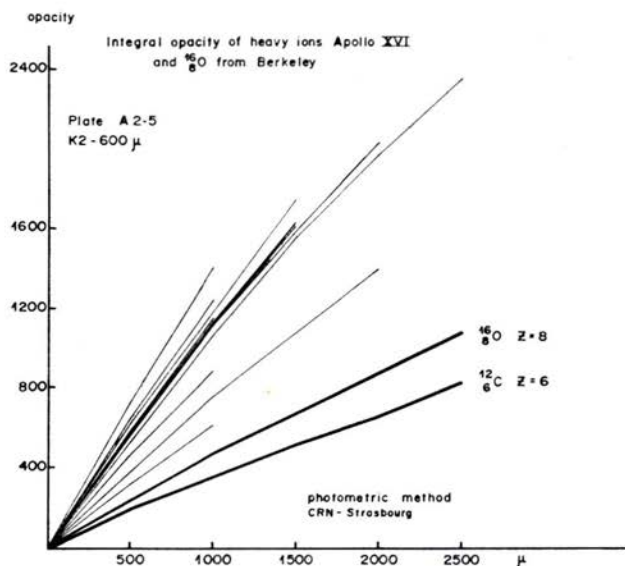


FIG. 2. — Opacité intégrale en fonction du parcours résiduel.

Du point de vue technique, on peut mesurer soit l'épaisseur de la trace par microphotographie suivie d'agrandissement et planimétrie, soit plus rapidement l'opacité de la trace, ainsi que nous le faisons avec le photomètre Leitz MPV (fig. 1, 2, 3).

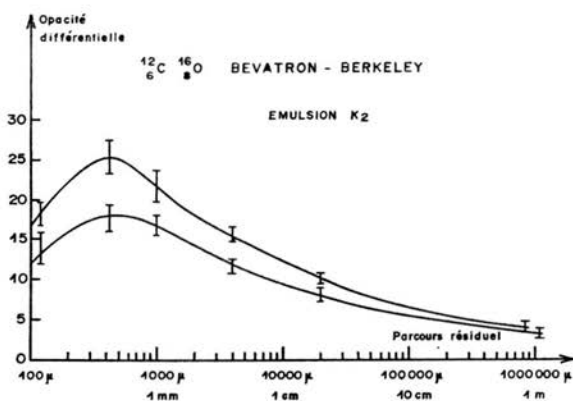


FIG. 3. — Opacité différentielle pour C et O du Bevatron de Berkeley.

La question fondamentale est la relation entre nos mesures photométriques et l'ionisation de la particule, à savoir la perte linéique d'énergie (TLE).

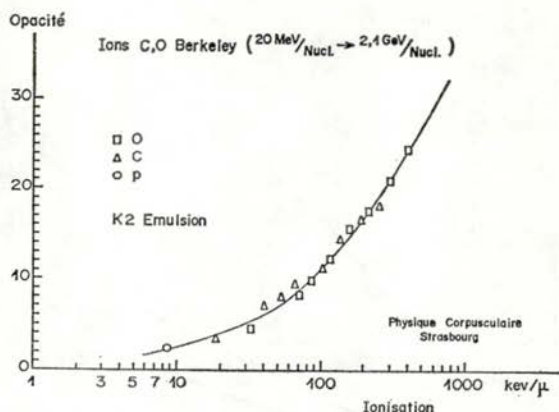


FIG. 4. — Relation expérimentale opacité-ionisation.

La figure 4 montre les résultats obtenus et calibrés avec des ions connus du Bevatron de Berkeley. Nous constatons avec satisfaction que nous avons une relation unique dans un grand domaine d'énergie, à savoir de 20 MeV par nucléon à 2,1 GeV par nucléon. Ce résultat nous permet, moyennant certaines précautions, à savoir le traitement séparé des « fins de parcours », d'effectuer une dosimétrie sans se préoccuper de la charge exacte de l'ion traversant l'émulsion. La figure 5 nous montre les résultats photométriques de l'étude sur l'unité physique A5-15.

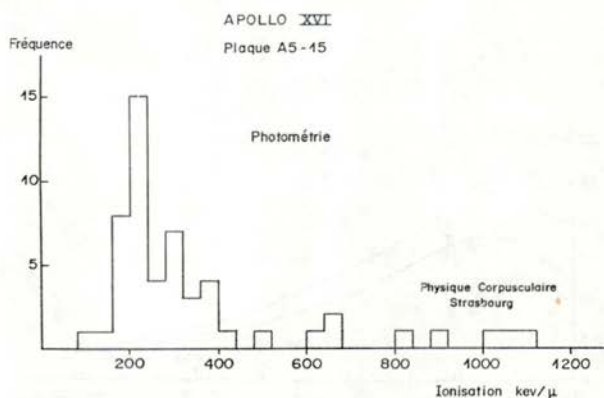


FIG. 5. — Histogramme de l'ionisation des ions cosmiques : plaque A5-15 Apollo XVI.

4. DOSES EXPÉRIMENTALES

Une étude complète a été faite sur la plaque A5-15. D'une part, nous avons une dosimétrie expérimentale exacte pour tous les ions mesurés. D'autre part, nous avons fait intervenir les corrections nécessaires pour ceux dont l'ionisation n'est pas facilement mesurable.

La dose trouvée concernant une perte linéique d'énergie supérieure à $80 \text{ keV}/\mu\text{m}$ est de $3,3 \text{ mrad}$.

La dose totale étant de l'ordre de 600 mrad , le rapport est donc de $0,55 \%$.

Une étude similaire faite sur la plaque E7-1 de *Apollo XVII* nous donne une dose de $3,5 \text{ mrad}$.

La dose totale étant de l'ordre de 730 mrad , le rapport est de $0,48 \%$.

L'action des ions lourds est très localisée. Il est intéressant, à titre documentaire, de calculer la dose due aux ions lourds en admettant que le cylindre d'interaction a un diamètre de $10 \mu\text{m}$. La valeur de la dose dans cette hypothèse n'est plus $3,5 \text{ mrad}$ mais 20 rads . Ceci nous montre bien la difficulté de la notion de dose de correspondance avec l'efficacité biologique réelle.

Dans les émulsions nucléaires exposées aux radiations cosmiques (ou à celles des accélérateurs), nous rencontrons un grand nombre d'étoiles nucléaires. Il est intéressant d'essayer de calculer quelle est la dose déposée par ces interactions. Pour le vol *Apollo XVI*, le nombre moyen est de $15\ 000$ étoiles par cm^3 .

Nous ne pouvons faire autrement que d'utiliser des valeurs moyennes pour les diverses branches des étoiles.

Les hypothèses faites sont les suivantes :

Le nombre moyen de branches est de $13 : 5$ grises, 6 protons, 2α déposant dans un cm^3 en moyenne $2,75$, 2 et 10 MeV , ce qui nous donne pour une étoile la valeur de 46 MeV . La dose correspondante est de $2,8 \text{ mrad}$. Remarquons qu'elle est du même ordre de grandeur que celle déposée par les ions lourds.

Une étude faite par DAVIDSON (Bristol) sur les étoiles nucléaires donnait les résultats suivants :

Altitude de vol en mètres	Dose en mrem/jour
—	—
11 000	4,1
20 000	9,0
33 000	6,8

Si nous faisons le calcul de la dose locale déposée par une étoile nucléaire dans une sphère de diamètre $10 \mu\text{m}$, nous arrivons à une dose locale de 3 rads .

Il ressort de cette étude que, tant pour les ions lourds que pour les étoiles nucléaires, le rapport entre les doses locales et globales est de l'ordre de 10^3 à 10^4 . Ceci pose le problème de la définition de la dose pour les ions lourds.

COMPARAISON AVEC D'AUTRES RÉSULTATS

Apollo 7	Schaefer	Emulsion	$1,3 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{jour}^{-1}$	$0,4 \text{ mrad } Z > 20$	TLE $> 1 \text{ MeV cm}^2 \text{ g}^{-1}$ 260h (vol orbital)
Apollo 8	Schaefer	Emulsion	$6,8 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{jour}^{-1}$	$1,5 \text{ mrad}$	144h (mission lunaire)
Apollo 8	Benton	Plastic	$0,4 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{jour}^{-1}$		TLE $> 150 \text{ keV} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ 144h
Apollo 16	Benton	Plastic	$1,7 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{jour}^{-1}$		TLE $> 150 \text{ keV} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ 266h
Apollo 16	Strasbourg	Emulsion	$11,4 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{jour}^{-1}$	$3,3 \text{ mrad}$	TLE $> 80 \text{ keV} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ 266h
Apollo 17	Strasbourg	Emulsion	$13,0 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{jour}^{-1}$	$3,5 \text{ mrad}$	TLE $> 80 \text{ keV} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ 304h
Apollo 17	Schopper	ClAg	$7,2 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{jour}^{-1}$		$Z \geq 6$
		ClAg	$1,9 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{jour}^{-1}$		$Z \geq 9$