DISTRIBUTION ANGULAIRE DES GRANDES GERBES D'AUGER

Par J. DAUDIN.
Laboratoire de l'École Normale Supérieure. Paris.

Sommaire. — Les compteurs, quelle que soit leur disposition, sont incapables de sélectionner les gerbes de l'air suivant leur orientation. La chambre de Wilson est nécessaire à cette étude. Les travaux poursuivis en 1943 au Lautaret, ont permis de rassembler un nombre notable de clichés de gerbes d'Auger. Ces clichés sont utilisés pour l'étude de la répartition angulaire des gerbes par rapport à la verticale.

1. **Dépouillement des résultats.** — Les clichés utilisés dans cette étude ont été obtenus au cours d'une mission dirigée par M. Leprince-Ringuet, au Lautaret à environ 2000 m d'altitude. Le système expérimental est décrit dans les articles notés [1] et [2] dans la bibliographie ci-jointe, il consistait en une chambre de Wilson verticale commandée par des compteurs éloignés, de façon à enregistrer des trajectoires appartenant à des grandes gerbes de l'atmosphère.

Lorsque sur un cliché un certain nombre de trajectoires sont parallèles, on peut en inférer que la gerbe a la même direction générale. Pour que cette conclusion soit juste, il faut exiger un nombre minimum de trajectoires parallèles. En effet :

Deux trajectoires peuvent être fortuitement parallèles; c'est impossible pour un nombre plus élevé. En outre certaines gerbes secondaires peuvent être produites dans le toit de bois. Ces gerbes secondaires présentent parfois des pinceaux très divergents. Lorsqu'un tel pinceau venant de quelques mètres traverse la chambre, les trajectoires y apparaissent comme pratiquement parallèles bien que la direction du pinceau ne soit pas celle de la gerbe en général. Ainsi s'explique sans doute l'existence de quelques clichés où les trajectoires présentent deux directions moyennes très différentes. Un tel accident sera d'autant plus rare que l'on exigera un nombre plus grand de trajectoires parallèles. Enfin lorsqu'on exige un nombre minimum de trajectoires sur le cliché, on choisit des gerbes relativement denses et l'on n'a pas à discuter l'effet (sans doute très minime) de la sélection par les compteurs.

On a donc considéré que les groupes de quatre trajectoires parallèles et plus, définissaient la direction de la gerbe même si ces trajectoires étaient associées à d'autres trajectoires plus ou moins divergentes. Les trajectoires gerbigènes (électrons ou photons) étant de grande énergie moyenne ont un poids plus élevé et comptent pour plus d'une trajectoire ordinaire (de 1 à 3 suivant l'ampleur de la gerbe secondaire produite dans l'écran de plomb médian).

Les angles mesurés ne sont pas les inclinaisons vraies θ sur la verticale mais les projections α de ces angles sur le plan de la chambre. En général les répartitions de ces deux angles sont très voisines. Plus explicitement si la fréquence d'une direction θ dans l'angle solide $d\Omega$ est de la forme $\cos^n\theta . d\Omega$, la fréquence de la projection α est de la forme $\cos^n\alpha . d\alpha$. En fait la répartition observée est suffisamment voisine d'une répartition en $\cos^n\alpha$ pour que l'on puisse considérer à la précision des statistiques, les fonctions de fréquence pour θ et α comme identiques. La lecture des angles projetés α se fait à 2° près en général; cette erreur est sans aucune importance en face des erreurs statistiques.

2. **Statistiques.** — Deux statistiques ont été dressées, l'une à partir des expériences A (compteurs sans plomb), l'autre à partir des expériences B (compteurs couverts de 4 et, le plus souvent, de 8 cm de plomb). Les résultats sont consignés au Tableau I.

TABLEAU I.

Angles.....		0°.	5°.	10°.	15°.	20°.	25°.	30°.	40°.
Nombre de gerbes	A..	13	17	12	14	8	7	8	2
	B..	19	15	17	23	16	10	7	3

L'allure des deux statistiques est très semblable. En particulier aucune des deux ne comporte de gerbe plus inclinée que 45° sur la verticale. Néanmoins les inclinaisons moyennes de 15 à 25° sont mieux représentées dans la statistique des gerbes « pénétrantes ». Il faut ajouter en ce qui concerne ces dernières qu'à partir des angles de 30° elles

traversent l'écran de plomb protégeant les compteurs assez obliquement pour que l'épaisseur de plomb traversée croisse notablement au-dessus des valeurs minimes de 4 et 8 cm. Cet effet peut « couper » quelque peu la statistique B pour les grands angles.

Cette discussion ne comporte aucune solution puisque les chiffres sont trop petits : les écarts peuvent être fortuits. Il se peut néanmoins que les gerbes « pénétrantes » aient une répartition azimuthale quelque peu plus étalée : ou bien les gerbes d'Auger « pénétrantes » sont d'une nature spéciale, ou bien (et pour diverses raisons on peut le considérer comme plus probable [2] les gerbes ou portions de gerbes comprennent une proportion de particules pénétrantes variable, par exemple avec le lieu dans la gerbe ou avec l'âge de la gerbe.

On se contentera d'attribuer à la première statistique A (compteurs nus) un poids plus grand qu'à la seconde.

3. **Correction de surface.** — Les conditions expérimentales faussent néanmoins quelque peu les statistiques pour la raison suivante : exiger quatre trajectoires parallèles pour les gerbes verticales est beaucoup plus sévère que d'en exiger le même nombre pour les gerbes inclinées. En effet la surface de la chambre est de 70 cm² environ pour la direction verticale, de 140 cm² environ pour la direction à 45° située dans le plan de la chambre, de 400 cm² pour la direction à 45° située dans le plan de profit. On doit donc être moins exigeant pour le nombre minimum de trajectoires parallèles lorsqu'elles sont voisines de la verticale. La correction n'est intéressante à notre point de vue (au point de vue de l'angle projeté α) que dans le plan de la chambre. On a donc divisé les statistiques suivant la longueur des trajectoires projetée dans la chambre (angle avec le plan de la chambre) et pour chaque tranche on a abaissé régulièrement le maximum lorsque α diminue, suivant des considérations purement géométriques.

Cette correction tend à relever assez sensiblement le maximum central de la statistique. Elle ne saurait heureusement être considérée comme trop arbitraire. Lorsqu'elle a été effectuée on obtient les statistiques suivantes Tableau II.

TABLEAU II.

Angles.....		0°.	5°.	10°.	15°.	20°.	25°.	30°.	40°.
Nombre de gerbes	A..	19	24	18	17	9	8	8	2
	B..	30	21	21	27	19	11	8	3

4. **Transformation de Grosz.** — Pluvinage [3] a appliqué la transformation de Grosz aux grandes gerbes de l'air. Bien qu'il ait utilisé la notion inexacte de densité moyenne, le principe de son calcul reste exact. Si $N(x)$ est le nombre de grandes gerbes enregistré au niveau x dans l'atmosphère et $n(x)$ le nombre des gerbes qui seraient observées si elles étaient toutes verticales, on a la relation suivante :

$$n(x) = N(x) - x\frac{dN}{dx}.$$

Pour l'inclinaison θ, des gerbes comprises dans l'angle solide de Ω ont traversé en réalité $\frac{x}{\cos\theta}$; le nombre de gerbes enregistrées sous cet angle est évidemment

$$dN = \frac{d\Omega}{2\pi} n\left(\frac{x}{\cos\theta}\right).$$

La fonction $n\left(\frac{x}{\cos\theta}\right)$ étant peu différente d'une fonction $\cos^n\theta (n \neq 7{,}5)$ la fonction de répartition suivant l'angle projeté α est d'après le paragraphe 2 voisine de

$$n\left(\frac{x}{\cos\alpha}\right) \quad \text{à un facteur près.}$$

Pour connaître $n(x)$ il faut connaître $\frac{dN}{dn}$. L'absorption des grandes gerbes est bien exponentielle et de la forme $N = e^{\alpha x}$

$$n\left(\frac{x}{\cos\alpha}\right) = e^{\frac{\mu x}{\cos\alpha}}\left(1 - \frac{\mu x}{\cos\alpha}\right).$$

L'absorption logarithmique des coïncidences doubles ou triples est environ $-0{,}10\ \text{cm}^{-1}$ de Hg (Hilberry, Cosyns, Daudin). Ici il ne s'agit pas des gerbes enregistrées par les compteurs, mais de gerbes comportant plus de trois ou quatre trajectoires dans la chambre. Les gerbes décroissent d'autant plus vite qu'elles sont plus denses (c'est ce qu'indique la croissance de l'indice γ avec l'écran atmosphérique), aussi faut-il calculer le coefficient d'absorption μ pour des gerbes comportant plus de deux à cinq trajectoires en moyenne par compteur. Cela est aisé par la méthode développée en A connaissant l'absorption des coïncidences doubles. On trouve que les gerbes de plus de cinq trajectoires ont un coefficient de $-0{,}135\ \text{cm}^{-1}$ de Hg, les gerbes de plus d'une trajectoire un coefficient de $-0{,}12\ \text{cm}^{-1}$ de Hg.

Ainsi au niveau x le nombre de gerbes dont la direction se projette dans l'angle α, $\alpha + d\alpha$ est

$$n\left(\frac{x}{\cos\alpha}\right) d\alpha$$

où

$$n\left(\frac{x}{\cos\alpha}\right) = e^{\frac{\mu x}{\cos\alpha}}\left(1 - \frac{\mu x}{\cos\alpha}\right) \quad -0{,}12 < \mu < -0{,}115\ \text{cm}^{-1}\ \text{Hg}$$

(x en cm de Hg).

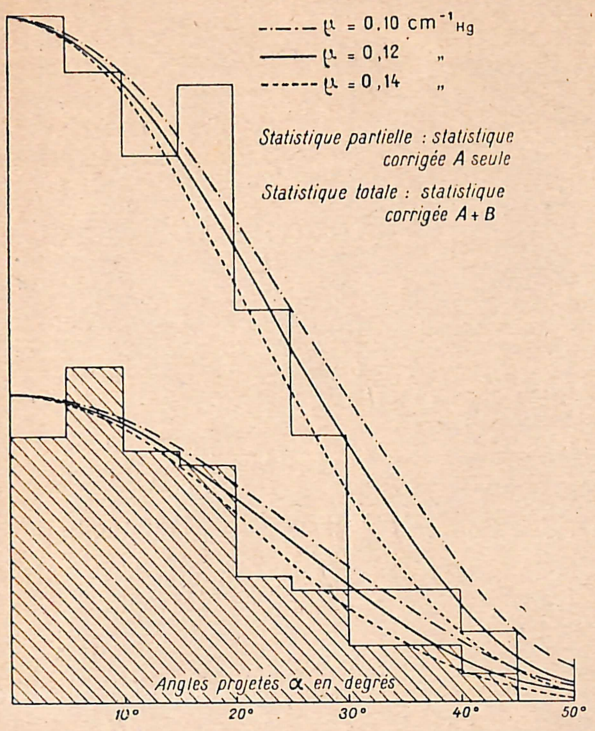

Fig. 1.

5. **Accord avec l'expérience.** — La figure 1 donne la comparaison entre le calcul et l'expérience. La première courbe a trait à la première statistique seule A (compteurs nus). La deuxième a trait à l'ensemble des deux statistiques. L'indice μ est assez bien défini par l'extrémité de la courbe; il est de l'ordre de 13 pour 100 avec une précision de l'ordre de 2 pour 100.

On a ainsi la première indication sur l'orientation azimuthale des grandes gerbes : les gerbes comportant localement une densité moyenne supérieure à 100 ou 200 trajectoires au mètre carré se produisent avec l'inclinaison θ dans l'angle $d\Omega$ avec une fréquence proportionnelle à

$$\cos^n \theta \, d\Omega, \qquad 7{,}5 < n < 8.$$

Le calcul est une confirmation indirecte de la théorie A et surtout de la transformation de Grosz. Cette transformation suppose en effet que le rayonnement n'est absorbé que par la matière et non par le temps comme les mésons lesquels présentent une répartition azimuthale anormale.

Si des radioactivités analogues à celles du méson interviennent dans le développement des grandes gerbes de l'air, elles jouent un rôle beaucoup moins important que pour les mésons isolés. On est tout à fait fondé à considérer que le développement des grandes gerbes de l'air ne dépend que de la matière traversée, quels que soient les processus en jeu.

Manuscrit reçu le 6 octobre 1945.

BIBLIOGRAPHIE.

[1] P. Auger et J. Daudin, Les grandes gerbes de l'air, *J. de Phys.*, 1945, 6, p. 233.
[2] J. Daudin, Le rayonnement pénétrant et gerbigène dans les grandes gerbes de l'air (*Ann. de Physique*, à paraître).
[3] P. Pluvinage, *Dipl. Ét. sup., École Normale sup.*, Paris, 1940.