

Observations sur les Premiers Résultats d'Expériences Poursuivies au Pic du Midi

J. DAUDIN, Dr. ès Sc.

La théorie du pouvoir pénétrant des gerbes d'Auger est discutée. Quelques mesures directes sont données utilisant des compteurs avec et sans écrans, et les propriétés des particules très pénétrantes comparés aux propriétés des mésons ordinaires isolés, et particulièrement à leurs propriétés gerbigènes. Les résultats d'expériences à Bagnères-de-Bigorre et au Pic du Midi confirment la relation entre l'absorption dans l'atmosphère et le coefficient barométrique.

PÉNÉTRATION DES GERBES D'AUGER

LES GERBES d'Auger comportant une très grande proportion de particules électroniques et photoniques et toujours très peu de mésons, étaient un domaine bien choisi pour comparer l'expérience et la théorie en ce qui concerne le pouvoir pénétrant des cascades. En fait la première inspection du problème montre déjà un pouvoir pénétrant trop élevé. La plupart des chercheurs ont alors invoqué l'effet suivant : dans les gerbes de l'air plusieurs trajectoires peuvent tomber sur l'écran et ainsi accroître la probabilité de pénétration. Néanmoins on se rend compte tout de suite que l'effet de cette saturation est assez limité. En effet les trajectoires sont réparties suivant un spectre de densité et un spectre d'énergie et s'il existe des gerbes envoyant plusieurs trajectoires sur l'écran; il en existe obligatoirement un nombre bien plus élevé qui n'en envoient qu'une ou deux. Le calcul montre immédiatement que la plus grosse partie des coïncidences est toujours due à des gerbes qui ne saturent pas les compteurs mais jouent le plus grand rôle parce qu'elles sont les plus nombreuses. Or l'absorption pour ces gerbes là est en gros l'absorption due aux trajectoires isolées si bien que la saturation joue le rôle d'une correction très grosse mais qui ne change pas l'ordre de grandeur.

Déjà en 1945 j'ai soumis¹ le problème au calcul entre 4 et 8 cm de plomb pour éliminer le rayonnement de faible énergie mal connu, de la façon suivante.

D'après la théorie une gerbe de primaire E donne n secondaires en moyenne après traversée de t cm de plomb. Si l'on admet les fluctuations de Poisson la probabilité de présence d'une trajectoire secondaire est alors : $1 - \exp \{-\bar{n}(E,t)\}$. Si le spectre d'énergie des trajectoires de l'air est en $E^{-\alpha}$ il est clair que la proportion de trajectoires individuelles donnant un effet sera

$$f(t) = \int E^{-\alpha} \{1 - \exp [-\bar{n}(E,t)]\} dE$$

Or cette proportion est accessible à l'expérience. Tout se passe comme si la surface du compteur n'était plus S surface géométrique mais $S \cdot f(t) = \sigma(t)$.

Le nombre des coïncidences étant connu on peut évaluer par la méthode de la loi de densité la surface équivalente d'un compteur nu σ qui donnerait sans écran la même fréquence de coïncidences. Or la loi de densité inclut dans le calcul l'effet des gerbes très denses. Il en résulte qu'en tirant

$$f(t) = \frac{\sigma(t)}{S} = \frac{\text{surface apparente}}{\text{surface réelle}}$$

On tient compte des paquets de trajectoires qui sont ordinairement invoqués pour expliquer qualitativement le pouvoir pénétrant anormal pour les épaisseurs moyennes de plomb.

La théorie prévoit, entre 4 et 8 cm de plomb, une absorption de l'ordre de dix et le calcul une absorption inférieure à trois. A cela on doit ajouter l'observation faite à la chambre à brouillard² et suivant laquelle la dispersion angulaire des trajectoires de gerbes secondaires dans les gerbes de l'air est également anormale. Il y a un grand nombre (même pour les gerbes secondaires très peu fournies) de trajectoires secondaires déviées de moins de 5°. Ceci signifie que des trajectoires peu gerbigènes créent des secondaires d'énergie suffisante pour être peu déviées à la sortie de l'écran (moments d'environ 50 et plus). Ceci est évidemment en étroite accord avec la pénétration trop élevée et apporte une confirmation à l'hypothèse émise par le professeur AUGER et ses collaborateurs suivant laquelle des particules de masse 3 environ seraient responsables du pouvoir pénétrant aux pénétrations moyennes.

MESURES DIRECTES DU POUVOIR PÉNÉTRANT

Mais pour des physiciens, il est préférable de supprimer une correction que de la calculer. On peut diminuer et éliminer pratiquement l'effet des paquets d'électrons et de photons de la manière suivante. Au compteur protégé on associe en coïncidence 2 compteurs de très grande surface (1.300 ou 1.900 cm²) sensibles à des gerbes très peu denses qui auront donc très peu de chances de toucher par 2 trajectoires ou plus, le compteur protégé. On peut en outre associer un quatrième compteur en anti-coïncidence qui élimine la plus grande partie des gerbes denses. Dans ce cas on a directement et avec une faible correction la courbe d'absorption vraie d'une trajectoire isolée de gerbes. C'est cette expérience qui a été poursuivie durant cinq mois à Bagnères-de-Bigorre puis reprise au Pic du Midi (2.860 m) cet été sur la même base de 5 m, 50 et en outre au Pic du Midi également avec un grand compteur éloigné de 75 m.

La courbe d'absorption directe sur un compteur coïncide parfaitement avec celle calculée en 1945 par voie indirecte. Le compteur était logé sans vide *directement* dans le plomb, protégé par dessous et sur les côtés et au bout par 7 à 10 cm de plomb, voici les résultats 100 étant la fréquence des trajectoires sans écran.

Tableau I. Les Résultats d'Expériences à Bagnères

Cm de plomb ..	0	0,6	2	4	5	8	10	12,4	14	17,4	19
Fréquence ..	100	122	101	53	40	18,5	8,9	5,1	4,8	3,15	2,9

Erreur probable de 5 à 10 pour cent

La courbe d'absorption déduite en 1945 étant confirmée par cette expérience directe le désaccord avec la théorie reste entier, même en tenant compte des derniers calculs d'ARLEY³ qui ne changent rien à ce sujet. La courbe d'absorption est pratiquement la même à 2.860 m et à 550 m. Elle est pratiquement la même si l'un des grands compteurs est écarté de 70 m au lieu de 5 m. Ceci confirme les résultats de l'école italienne pour la partie pénétrante et des envergures de 20 m environ.

Ainsi le pouvoir pénétrant des gerbes d'Auger et sans doute leur composition varie extrêmement peu avec l'altitude et avec l'envergure du système de compteurs. Il s'agit des propriétés bien définies en désaccord avec la théorie dans son état actuel.

PROPRIÉTÉS DES PÉNÉTRANTES

J'ai songé pour comparer les propriétés des particules très pénétrantes à les comparer aux propriétés des mésons ordinaires isolés et particulièrement à leurs propriétés gerbigènes. Si sous un écran de plomb on place deux petits compteurs dans la même cavité on observe des coïncidences dues aux électrons de choc des mésons. En prenant un faisceau de mésons inclinés entre 0 et 45° on observe que le deuxième compteur est touché dans nos conditions dans 7 pour cent des cas. Si l'on place un écran de 8 mm entre les deux compteurs le deuxième compteur n'est plus touché que dans 1,5 à 2 pour cent des cas. Les électrons de choc des mésons ordinaires sont, on le sait, extrêmement mous.

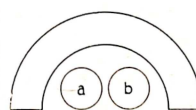


Figure 1

On peut faire la même expérience sur les particules pénétrantes des grandes gerbes de l'air et voici la proportion des coïncidences du deuxième compteur pour différents écrans.

Tableau II. Proportion des coïncidences a accompagnés d'une coïncidence b

Cm de plomb	0		0,5		2		4		8		14		19	
	sans	avec	sans	avec	sans	avec	sans	avec	sans	avec	sans	avec
Cloison	27%	50%	56%	42%	53%	44%	45%	36%	35%	—	33%	17%		

Les mesures portent sur un millier de coïncidences pour les deux premiers points que 2 à 300 pour 24 et 8 cm sur 100 environ pour les trois points suivants (à 550 m d'altitude).

A la lumière de ces résultats on peut discuter les différentes interprétations possibles. On doit tout de suite constater la grande proportion de coïncidences du deuxième compteur avec le premier et la comparer au faible nombre de coïncidences des mésons isolés. S'il existe des mésons isolés dans les gerbes de l'air comme le suggèrent certains clichés Wilson, ils ne constituent qu'une partie du rayonnement pénétrant.

On pourrait penser qu'il existe des particules pénétrantes simultanées venant de l'air qui déclenchent les deux compteurs. Mais en accord avec JÁNOSSY nous pensons que leur rôle est faible. En effet si la surface s de deux petits compteurs associés à un système

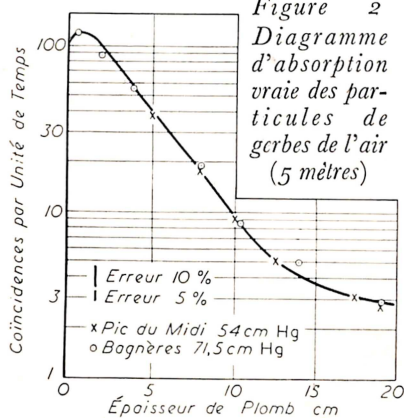


Figure 2 Diagramme d'absorption vraie des particules de gerbes de l'air (5 mètres)

Les points expérimentaux correspondent à 2 des 4 séries de mesures. La courbe est tracée en tenant compte de l'ensemble des séries.

S de grands compteurs diminue le nombre des coïncidences avec un seul compteur, (S, s) diminue comme s et le nombre des coïncidences avec les deux compteurs (S, s, s) diminue comme s^2 . L'écran de plomb équivaut à une forte réduction de surface et la proportion des quadruples devrait tomber de 27 pour cent sans écran à 5 pour cent pour 19 cm de plomb variant comme $s^{0,5}$.

On peut aussi penser (OCCHIALINI⁴) qu'il se produit dans les cascades de grandes quantités de rayons γ , surtout dans le domaine d'énergie (10^6 – 10^7 pour le plomb) où l'effet Compton et l'effet photoélectrique sont affaiblis et où les matérialisations sont encore rares. De tels flux de rayons pourraient expliquer la forte proportion de coïncidences sous plomb. Il existe sans doute des flux importants de tels rayons mais si leur parcours moyen est assez élevé (2 cm) leur efficacité est très faible car ils ne donnent naissance

qu'à des électrons de très faible parcours (quelques mm). On voit qu'entre 14 et 19 cm de plomb, les rayons sont peu absorbés. Si l'absorption observée alors résultait de l'extinction de ces rayons γ , les coïncidences dans les deux compteurs qui leur seraient dues devraient disparaître. Or il n'en est rien.

Ainsi comme l'ont observé SALVINI, TAGLIAFERRI et JÁNOSY⁵, il se produit dans l'écran de plomb lui-même des gerbes même pour des pénétrations aussi élevées. Ces auteurs deduisent de leurs observations que les particules pénétrantes sont créées dans l'écran lui-même comme d'ailleurs cela a été observé à la chambre de Wilson dans certaines expériences en 1945.

Quel sera dans cette hypothèse l'effet d'une cloison de 8 mm interposée entre les deux compteurs a et b? Évidemment les particules pénétrantes couplées seront insensibles à une si faible protection supplémentaire qui sera sans effet.

Si les coïncidences sont absorbées il faut qu'un grand nombre d'entre elles soient dues à des corpuscules mous créés au voisinage même de la cavité. A Bagnères en 500 heures 36 coïncidences a b ont été obtenues sans écran médian et 19 avec écran de 8 mm. Au Pic du Midi, dans des conditions analogues 78 en 112 heures sans cloison et 78 en 180 heures avec la cloison. Avec d'autres compteurs 188 en 244 heures avec la cloison et 195 en 139 heures sans cloison. Les expériences ont été faites avec des écrans de 19 et de 17,5 cm de plomb. La cloison de 8 mm fait donc tomber le nombre de coïncidences a b de 40 ± 6 pour cent. Ainsi dans les grandes gerbes de l'air les particules très pénétrantes sont environnées d'un important rayonnement mou. Il ne peut donc s'agir de simples gerbes de particules pénétrantes.

Il faut admettre que les gerbes de particules pénétrantes donnent lieu à d'autres gerbes dans l'ensemble de la masse de plomb et qu'avec les mésons sont lancées de nombreuses particules de faibles parcours. Ou bien encore il existe dans les gerbes des particules un peu plus gerbigènes que les mésons et nécessairement de masse plus faible. De toute façon la question apparaît plutôt compliquée que simplifiée par ces résultats dont nous espérons avoir plus ample confirmation. Il ne paraît pas possible d'expliquer les faits par une simple combinaison de particules pénétrantes isolées et de particules pénétrantes en gerbes nées dans le plomb.

Le désaccord observé entre la théorie des cascades et la pénétration des gerbes de l'air entre 4 et 10 cm de plomb n'est pas aboli par une autre loi de fluctuation telle que celle de ARLEY³: ' En revanche il peut être diminué si l'on tient compte du pouvoir pénétrant des photons de 10^7 ev dans le plomb comme l'on fait BELENKY et CLEMENTEL⁹. L'énergie nécessaire à un électron pour donner un secondaire sous ces écrans de plomb peut-être divisée par 10 et ainsi se rapprocher de l'énergie critique dans l'air au voisinage de laquelle le spectre d'énergie est déjà moins décroissant '.

COEFFICIENT BAROMÉTRIQUE

On a enregistré systématiquement cet été au Pic du Midi des grandes gerbes par coïncidences triples entre groupes de 15 compteurs. Jusqu'ici sur une base de 5 mètres, les dépouillements n'étant pas terminés on a seulement retrouvé le coefficient barométrique normal de 9 pour cent par cm de mercure et aucune variation diurne systématique.

Les résultats antérieurs obtenus sur des bases plus étendues étaient passablement contradictoires. COSYNS⁶ puis DAUDIN⁷ avaient observé des coefficients barométriques

Observations sur les premiers résultats d'expériences poursuivies au Pic du Midi

très élevés supérieurs à 15 pour cent : FRÉON et DAUDIN⁸ n'avaient pu en revanche déterminer de coefficient sur 40 cm. Cet été durant une période de beau temps la variation barométrique n'a été que de 7 mm mais l'on a enregistré 48.000 coïncidences et un coefficient barométrique provisoire de 9 pour cent tout à fait normal a été calculé.

Or Fréon et Daudin en 1942 avaient observé que les coïncidences décroissaient en fonction de la distance des compteurs de la même façon au niveau de la mer et à 3.000 mètres, au moins au delà de 1 m. Donc l'absorption dans l'atmosphère est la même pour toutes les distances et la différence dans les coefficients barométriques était incompréhensible. Il semble qu'elle n'existe pas. Maintenant les enregistrements présentent de fortes fluctuations en partie d'origine instrumentale. Il n'est pas encore possible de dire si une partie de ces fluctuations ont un sens physique.

Observatoire du Pic du Midi

Bagnères-de-Bigorre, Hautes-Pyrénées

(Received January 1949)

REFERENCES

- ¹ DAUDIN, J. *Ann. Phys., Paris* 20 (1945) 520, 571
- ² — *J. Phys. Rad.* 9 (1948) 137
- ³ ARLEY, N. *Thèse en Sciences* Copenhague, 1943
- ⁴ OCCHIALINI, G. P. S. Communication privée
- ⁵ SALVINI, G. et TAGLIAFERRI, G. *Nuovo Cim.* 4 (1947) 279
JÁNOSSY, L. *Proc. roy. Soc. A* 192 (1948) 364
- ⁶ COSYNS, M. G. E. *Nature, Lond.* 145 (1940) 668
- ⁷ DAUDIN, J. *Thèse ès Sciences* Paris, 1942
- ⁸ FRÉON, A. et DAUDIN, J. *C.R. Acad. Sci., Paris* 214 (1942) 662
- ⁹ BELENKY, N. *J. Phys., U.S.S.R.* 8 (1944) 305
CLEMENTEL, E. et FABRICHESI, G. *Nuovo Cim.* 5 (1948) 78

NOTE SUR ÉPREUVES

DEPUIS le présent travail, COCCONI et GREISEN ont montré que le rayonnement de pénétration moyenne était absorbé en Z^2 et que les photons de 10^7 ev pouvaient rendre compte de l'absorption jusque vers 18 cm de plomb. AUGER, DAUDIN, FRÉON et MAZE ont confirmé la courbe d'absorption donnée ci-dessus ; Daudin a mis directement en évidence le rôle du rayonnement non ionisant (photons) dans le pouvoir pénétrant des cascades. La théorie est donc maintenant en mesure de rendre compte de la pénétration jusqu' à 18 cm de plomb et cet argument en faveur d'un méson léger a perdu de sa force. Mais le rayonnement très pénétrant est certainement complexe.

- COCCONI, G. et GREISEN, K. *Phys. Rev.* 75 (1949) 1063, 1071
AUGER, P., DAUDIN, J., FRÉON, A. et MAZE, R. *C.R. Acad. Sci., Paris* 228 (1949) 178
DAUDIN, J. *ibid* 228 (1949) 1286
ROCHESTER, G. D. et BUTLER, C. C. *Proc. phys. Soc.* 61 (1948) 307, 535