



## L'observatoire Pierre Auger en lumière

Université libre de Bruxelles – Faculté des sciences

Département physique

**CALIKTOR Alexandre, DERAED Dylan, VANDERERVEN Margaux, WEIL Mathias**

Dans cette expérience, il est question de la reproduction sur circuits imprimés d'un observatoire à gerbes cosmiques afin d'en comprendre le mécanisme de fonctionnement.

Lorsqu'une particule cosmique de haute énergie entre dans l'atmosphère de la terre, elle interagit avec les autres particules présentes dans l'atmosphère, générant au passage de nouvelles particules dotées d'une certaine énergie qui, à leur tour, génèrent de nouvelles particules en cascade. C'est ce qu'on appelle une gerbe. L'entrée en elle-même de la particule dans l'atmosphère étant très localisée dans l'espace et le temps, on peut parler d'évènement.



Chantelauze A. ; Staffi S. ; Brett L. *cosmic ray air shower*. Image numérique. Sky & Telescope. Camille M. Carlisle, 21 septembre 2017. Web. 13 mars 2022.

L'observatoire détecte au sol les particules finales résultantes de la gerbe au moyen de détecteurs. Les différentes particules générées au cours d'une gerbe ont des trajectoires et des énergies variées, mais ces trajectoires, pour les particules nouvellement créées dotées d'une haute énergie, restent relativement proches de la trajectoire initiale de la particule cosmique incidente. Ceci est lié à la conservation de l'énergie et de la quantité de mouvement et a pour conséquence que les détecteurs s'activant à la détection d'une gerbe cosmique sont généralement concentrés localement.

L'intensité du signal capté par les détecteurs au sol permet de se faire une idée de l'énergie de la particule initiale, ainsi que de son angle d'incidence. En effet, au cours de la



désintégration de la particule cosmique dans l'atmosphère terrestre, son énergie aura tendance à rester localisée autour de sa trajectoire initiale, rendant plus intense le signal détecté par les détecteurs situés au plus près de sa trajectoire. L'enchaînement temporel dans l'activation des différents détecteurs communique également sur l'angle d'incidence. Les particules issues de la gerbe ayant un chemin plus court à parcourir sous la trajectoire de la particule incidente et plus long au-delà, les premières activeront les détecteurs avant les secondes.

Afin d'enregistrer un grand nombre de particules cosmiques, notamment des particules de très hautes énergies dont les occurrences sont très rares, l'observatoire Pierre Auger couvre une surface de 3000 km<sup>2</sup>, soit plus que le Grand-Duché de Luxembourg dont la superficie égale un peu moins de 2600 km<sup>2</sup>, et utilise environ 1600 détecteurs à effet Tcherenkov espacés chacun de 1500 mètres sur une grille triangulaire. L'observatoire se situe en Argentine, dans la plaine de *Pampa Amarilla*.

L'effet Tcherenkov est analogue à l'onde de choc émise lorsqu'un objet dépasse la vitesse du son, mais avec la vitesse de la lumière. Comme vous le savez sûrement, la vitesse de la lumière dans le vide,  $c \cong 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ , est en théorie indépassable. Toutefois, dans certains milieu la lumière peut se déplacer à une vitesse  $c' < c$ . Si une particule vient à se propager à une vitesse supérieure à  $c'$  dans ce milieu, elle provoque l'apparition d'un front d'onde, sous la forme d'un cône de lumière, après interaction avec les atomes du milieu. L'intensité de la lumière récoltée par le détecteur communique une information sur l'énergie de la particule captée au sol. Cette dernière devant dépasser un seuil de tolérance énergétique suffisant pour avoir une vélocité supérieure à celle de la lumière dans le milieu utilisé par les détecteurs, tous les détecteurs ne s'activeront pas.

La reproduction de l'observatoire couvre un peu moins de 2,3 m<sup>2</sup> et, si on compte son support, 3,1 m<sup>2</sup>, soit 9 ordres de grandeur en dessous du format réel. Elle est construite à partir de 45 circuits imprimés (ou PCB de l'anglais *printed circuit board*) de 21 centimètres sur 24. Les détecteurs sont représentés par des diodes électroluminescentes (ou LED de l'anglais *light-emitting diode*) dont les intensités varient relativement les unes par rapport aux autres lors de la simulation d'un évènement, en relation avec les intensités des signaux captés par les détecteurs correspondants. L'enchaînement temporel de l'activation et de la désactivation des détecteurs y est également représenté à une échelle suffisamment allongée que pour bien observer le mouvement de propagation de la gerbe.

La reproduction de l'observatoire est contrôlée au moyen d'un Raspberry Pi, un petit ordinateur sur lequel un code informatique a été écrit en langage Python. Le code contient un dictionnaire qui attribue à chaque détecteur de l'observatoire la LED correspondante sur la reproduction, ainsi que la séquence d'allumage que chaque LED doit suivre pour accomplir la simulation d'un évènement. Un évènement peut être choisi aléatoirement parmi 24 285 évènements qui s'étendent de janvier 2004 à août 2018, disponibles en données ouvertes sur le site de l'observatoire Pierre-Augere (<https://www.auger.org/>).