

AVEC NOS ÉLÈVES

Comment bénéficier du prêt d'un détecteur/ compteur de muons ?

Jean-Michel Vienney

Tout savoir sur la manière d'acquérir un dispositif pour étudier les muons cosmiques et sur les principales manipulations que l'on peut réaliser.

Pour ceux qui souhaitent mettre en œuvre un détecteur de muons cosmiques, que ce soit dans le cadre du projet d'un groupe d'élèves, pour illustrer un cours à propos de la détection des muons, ou comme illustration dans une exposition, il existe au moins deux possibilités :

- la roue cosmique du dispositif ministériel « Cosmos à l'École » ;
- la mallette Cosmix mise au point par le CENBG (Centre d'études nucléaires de Bordeaux-Gradignan). Et en marge, un projet de « science collaborative » baptisé « Open Radiation ».

Cosmos à l'École¹

Le cosmodétecteur est un détecteur de muons cosmiques constitué de 4 parties :

- les raquettes de scintillateurs qui détectent le passage éventuel de muons ;
- des photomultiplicateurs qui amplifient le signal détecté par chaque scintillateur ;
- des circuits électroniques destinés à mettre en forme, numériser et discriminer les signaux en fonction de leur niveau ;
- un logiciel permettant de les enregistrer et les exploiter.

Le choix du scintillateur est basé sur la quantité d'énergie nécessaire pour créer un photon (elle ne doit pas être trop élevée pour pouvoir détecter les muons), le spectre d'émission des photons (celui-ci doit être compatible avec le photomultiplicateur), le temps de décroissance de la scintillation (il doit être le plus court possible pour éviter un temps mort trop long), le pouvoir d'absorption des rayonnements (selon que l'on souhaite arrêter le muon pour la mesure du temps de vie ou qu'on veut juste le détecter).

Le fait de disposer de plusieurs raquettes permet notamment, en détectant les coïncidences (événements pratiquement simultanés), de savoir si un même muon a traversé un ou plusieurs détecteurs. On peut ainsi

1 <http://www.sciencesalecole.org/plan-cosmos-a-lecole-presentation/>

remonter à leur distribution spatiale en fonction de la distance zénithale.

Ces détecteurs sont mis à disposition des enseignants et élèves (collèges, lycées et classes préparatoires), quelle que soit la voie (générale, technologique, professionnelle) sélectionnés sur appel à projet en 2009, 2012, 2014 et 2017 et qui ont suivi un stage de formation. L'ensemble de ces établissements (44 en 2020, répartis sur toutes les académies) constitue le réseau « Cosmos à l'école ».

Sur le site de l'opération « cosmos à l'école », on peut télécharger un cahier pédagogique² très détaillé, et on trouve une carte du réseau³ donnant la répartition actuelle des détecteurs.

Il est en principe possible à tout établissement de solliciter le prêt d'un cosmodétecteur en s'adressant à un des établissements du réseau, moyennant l'établissement d'une convention de prêt.



La mallette Cosmix du CENBG⁴

Moins sophistiquée et beaucoup plus facile à mettre en œuvre que le cosmodétecteur, cette mallette a été conçue à partir du recyclage des barreaux de scintillateurs d'iodure de césium (CsI) et les photodiodes utilisées pour les tests préliminaires au lancement du télescope FERMI lancé par la NASA en 2008.

Les détecteurs proprement dits sont deux barreaux parallélépipédiques (16 cm × 2 cm × 3 cm), chacun

2 <http://www.sciencesalecole.org/plan-cosmos-a-lecole-ressources-pedagogiques-ressources-scientifiques/>

3 <http://www.sciencesalecole.org/plan-cosmos-a-lecole-reseau/>

4 <https://www.cenbg.in2p3.fr/COSMIX-presentation-du-Detecteur>

associé à une photodiode au silicium. Le passage d'un muon dans le détecteur se traduit par une impulsion électrique qui après amplification et mise en forme peut, si on le désire, être visualisée sur l'écran d'un oscilloscope.

Le comptage et la datation précise des impulsions recueillies sont assurés par un microcontrôleur Arduino (récemment introduit dans les programmes de physique du lycée) associé à un récepteur GPS et un capteur barométrique (pour l'altitude). Ces événements sont enregistrés dans un fichier texte (csv) sur une carte SD et peuvent être récupérés pour analyse. On peut aussi se contenter d'afficher au fur et à mesure le nombre d'impulsions émises par chaque détecteur, et le nombre de celles qui ont été en coïncidence temporelle (quasi-simultanément).

L'utilisation la plus simple consiste à effectuer des comptages de durées égales, en disposant les barreaux l'un à côté de l'autre, puis l'un au-dessus de l'autre. On a ainsi accès au nombre moyen de particules (essentiellement des muons) qui ont été vues par chaque détecteur pendant la durée du comptage, ce qui permet de mettre en évidence à la fois le caractère aléatoire de leur arrivée, mais aussi de montrer que la plupart ont une direction sensiblement verticale. En effet, lorsque les barreaux sont juxtaposés, on n'observe que très peu de coïncidences alors qu'elles sont beaucoup plus nombreuses (40 % des événements) lorsque les barreaux sont superposés.

Mais le fait de disposer du GPS et du capteur barométrique permet d'imaginer des expériences beaucoup plus sophistiquées, comme par exemple comparer le flux de muons pour différentes altitudes, positions géographiques, dates, au sol ou sous terre... Ce type de manipulations est d'autant plus facilement réalisable que la mallette est très facilement transportable, et qu'elle se contente d'une alimentation électrique très réduite (la prise USB d'un ordinateur ou d'un chargeur de téléphone). Ces possibilités ont inspiré plusieurs groupes de jeunes, notamment pour des TPE et des projets présentés aux Olympiades de physique⁵.

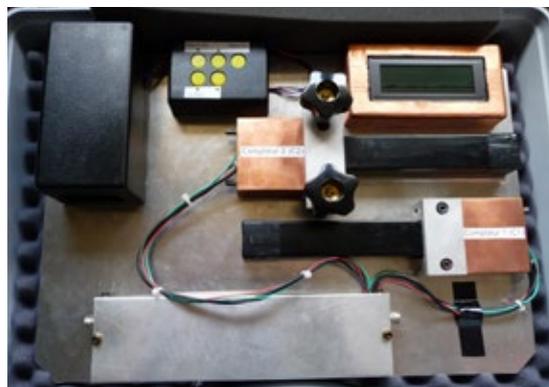
Sur le site du CENBG on trouve une notice détaillée (cf. note 4), une vidéo de présentation⁶ expliquant

5 https://odpf.org/images/archives_docs/24eme/memoires/EquipeY/memoire.pdf
https://odpf.org/images/archives_docs/26eme/memoires/EquipeE/memoire.pdf
https://odpf.org/images/archives_docs/23eme/memoires/EquipeT/memoire.pdf
https://odpf.org/images/archives_docs/23eme/memoires/EquipeT/memoire.pdf

6 https://www.cenbg.in2p3.fr/IMG/mp4/mde_2_2.mp4

le comptage de base, un programme⁷ permettant d'afficher les compteurs sur un ordinateur (pour projection en classe), et quelques exemples d'utilisation.

Au gré des dotations, cette mallette a été reproduite en une cinquantaine d'exemplaires. Une partie (une dizaine) a été distribuée dans des établissements de la région Aquitaine, une autre (3 par académie) en Île-de-France avec dans chaque cas un enseignant responsable par établissement, le reste étant distribué entre des laboratoires (IN2P3...) ou des établissements d'enseignement (universités, grandes écoles...). Contrairement au dispositif Cosmos à l'école, il n'y a pas de coordination nationale institutionnalisée, mais des mallettes sont régulièrement prêtées aux établissements qui en font la demande. Le mieux est dans ce cas de s'adresser aux initiateurs de ce projet⁸.



Le projet Open Radiation⁹

Initié par l'IFFO-RME (Institut français des formateurs aux risques majeurs et à l'environnement), l'IRSN (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire), Planète-Sciences et Sorbonne Université, ce projet consiste à mutualiser les mesures de radioactivité effectuées par « tout un chacun » en utilisant un capteur « bon marché » (une centaine d'euros tout de même) relié à un smartphone qu'il est éventuellement possible de se procurer en kit.

Ce projet s'intéresse à toutes les sources de rayonnement, naturel, artificiel, tellurique, mais aussi cosmique. Il propose entre autres de recueillir et mutualiser les mesures effectuées en altitude lors de voyages en avion, et de mettre en évidence des variations en fonction de l'altitude, de la latitude, et de l'activité solaire. ■

7 <https://www.cenbg.in2p3.fr/COSMIX-Compter-les-muons-avec>

8 Benoit Lott, cosmix@cenbg.in2p3.fr

9 <https://www.openradiation.org/fr>