

COSMOS à l'École

Un plan d'équipement et une offre de formation à destination des professeur-es en physique nucléaire et en physique des particules

par **Étienne MARTEL**

pour « Sciences à l'École »

Observatoire de Paris - PSL - 75014 Paris

etienne.martel@observatoiredeparis.psl.eu

et **Nicolas ARNAUD**

CNRS Nucléaire & Particules

Institut de physique des 2 infinis (IP2I) - 69622 Villeurbanne Cedex

n.arnaud@ip2i.in2p3.fr

CET ARTICLE présente les actions pédagogiques menées par « Sciences à l'École » dans le cadre de son plan d'équipement « COSMOS à l'École » portant sur la physique nucléaire et la physique des particules. Il décrit les prêts de cosmodétecteurs (des détecteurs de particules adaptés/conçus pour une utilisation en classe) ainsi que son volet dédié à la formation des professeurs. Le plan propose en effet chaque année un stage sur la physique nucléaire au GANIL (Grand accélérateur national d'ions lourds) ainsi qu'un stage sur la physique des particules au CERN (Conseil européen pour la recherche nucléaire), tous deux à destination des professeur-es et professeurs enseignant en français.



INTRODUCTION

Le dispositif ministériel « Sciences à l'École »⁽¹⁾ pilote et anime plusieurs projets pédagogiques nationaux dédiés à la diffusion des connaissances et aux enseignements scientifiques et techniques dans le secondaire. Parmi ses actions, le plan d'équipement « COSMOS à l'École » fournit des établissements en cosmodétecteurs et propose chaque année des stages de formation à la physique des particules et à la physique nucléaire aux professeur-es. Ces stages de formation se déroulent au GANIL à Caen

(1) <https://www.sciencesalecole.org>

et au CERN en Suisse près de Genève et sont menés en partenariat avec CNRS Nucléaire & Particules⁽²⁾, le GANIL⁽³⁾ et le CERN⁽⁴⁾.

1. UN PLAN D'ÉQUIPEMENT

1.1. Une action de « Sciences à l'École »

Fondé en 2004 à l'initiative de l'académicien des Sciences Pierre Encrenaz et de l'Inspecteur général de l'Éducation nationale Jean-Yves Daniel, « Sciences à l'École »⁽⁵⁾ est un dispositif ministériel placé sous la tutelle des ministères chargés de l'Enseignement supérieur et de la recherche, et de l'Éducation nationale. Il assure une mission de promotion de l'enseignement et de la culture scientifiques et techniques dans le secondaire, notamment par le biais de deux types d'actions : des concours et des plans d'équipement.

« Sciences à l'École » organise et pilote quatre concours, à portée nationale ou internationale : le concours C.Génial⁽⁶⁾ et la préparation française aux Olympiades internationales de chimie (IChO), de géosciences (IESO) et de physique (IPhO) [1].

Par ailleurs, le dispositif assure le fonctionnement de six plans d'équipement qui visent à mettre à disposition de classes du secondaire du matériel axé sur une thématique scientifique, accompagné d'un soutien pédagogique pour permettre aux professeurs d'explorer les démarches scientifiques avec leurs classes. On retrouve les plans :

- ◆ « EXPERTS à l'École » (prêts de kit de criminalistique pour découvrir les sciences forensiques) ;
- ◆ « GÉNOME à l'École » (étude de fragments d'ADN) ;
- ◆ « MÉTÉO à l'École » (envoi de stations météorologiques fonctionnant en réseau) ;
- ◆ « SISMOS à l'École » (mise à disposition de sismomètres) ;
- ◆ « ASTRO à l'École » (envoi de matériel astronomique).

« COSMOS à l'École » est un de ces plans d'équipement, dédié à l'étude de la physique des particules et de la physique nucléaire par le biais de prêts de cosmodétecteurs et de stages de formation [2].

1.2. Mise à disposition des cosmodétecteurs

Le matériel mis à disposition par « COSMOS à l'École » est essentiellement affecté

(2) <https://www.sciencesalecole.org/plan-cosmos-a-lecole-formation>

(3) <https://www.ganil-spiral2.eu/fr>

(4) <https://home.cern/fr>

(5) <https://www.sciencesalecole.org>

(6) <https://www.sciencesalecole.org/concours-c-genial-presentation>

auprès de lycées et a été créé à partir de la «Roue Cosmique», un détecteur de particules pédagogique développé par José Busto, chercheur et professeur des universités au CPPM (Centre de physique des particules de Marseille). Il comprend une Roue Cosmique (le «Cosmodétecteur», cf. figure 1) accompagnée d'un module permettant la mesure du temps de vie des muons et d'un autre dédié à la détection de l'effet Cherenkov. Ce matériel se focalise autour de l'étude des muons atteignant la surface de la Terre, après avoir été créés dans les couches supérieures de l'atmosphère par des rayons cosmiques.



Figure 1 - Le cosmodétecteur.

Le Cosmodétecteur est composé de trois scintillateurs installés les uns au-dessus des autres. Lorsqu'un muon cosmique traverse le dispositif, des photons sont émis dans ces scintillateurs. Des photomultiplicateurs convertissent alors le signal lumineux détecté en signal électrique, tout en l'amplifiant. Enfin, un boîtier électronique numérise les signaux électriques qui sont ensuite traités par ordinateur.

L'interface d'enregistrement des données, basée sur LabVIEW, permet la visualisation en direct du nombre de muons détectés, tout en enregistrant les données au format texte pour des analyses ultérieures. L'acquisition de données ne concerne que les signaux dépassant un seuil en amplitude et arrivant simultanément sur au moins deux scintillateurs. On s'affranchit ainsi du bruit de fond des scintillateurs individuels.

Le module de mesure du temps de vie des muons est un scintillateur supplémentaire dans lequel un muon peut s'arrêter (premier signal), puis émettre un électron lors de sa désintégration (second signal). Pour chaque muon ainsi stoppé, on peut mesurer le temps écoulé entre les deux signaux. Une analyse statistique permet alors de déterminer la durée de vie moyenne du muon au repos, de l'ordre de la microseconde.

Le second module, dédié à la détection de l'effet Cherenkov, est également composé d'un scintillateur créant un cône de lumière le long de la trajectoire d'un muon (dont la vitesse dépasse celle de la lumière dans le matériau), entouré de parois réfléchissantes pour certaines et absorbantes pour d'autres. La lumière ainsi créée est détectée seulement si le détecteur est orienté dans la direction de propagation des muons (du « haut » vers le sol), laquelle peut alors être mise en évidence.

L'ensemble de ce matériel compose les kits qui ont été attribués lors de plusieurs vagues d'équipement entre 2009 et 2017.

1.3. Le réseau pédagogique

Une quarantaine d'établissements ont rejoint le réseau pédagogique « COSMOS à l'École » au fil des années et des vagues d'équipement (cf. figure 2, page ci-contre). Chaque établissement se voyant prêter du matériel signe une convention de prêt pour trois ans. La sélection des lycées bénéficiant d'un prêt se fait lors de vagues d'attribution, sous le contrôle d'un comité scientifique composé de membres du corps enseignant, de l'inspection et de chercheuses et chercheurs.

Une fois intégré au réseau, un établissement a accès aux listes de diffusion du plan et participe aux actions menées et relayées par « Sciences à l'École » et ses partenaires. On peut ainsi citer la plateforme pédagogique e-PÉRON⁽⁷⁾ basée au Pic du Midi⁽⁸⁾ ainsi que l'événement annuel « International Cosmic Day »⁽⁹⁾ qui est un événement international de mesure coopérative qui se déroule chaque année en novembre.

2. STAGES DE FORMATION AU GANIL ET AU CERN

2.1. Un volet de formation des professeur-es

Le plan « COSMOS à l'École » ne se limite pas à une gestion logistique de matériel prêté aux établissements. Il propose chaque année une offre de formation à la physique des particules et à la physique nucléaire par le biais de deux stages de formation, au GANIL et au CERN. Environ vingt professeur-es participent à chacun de ces deux stages, sélectionné-es suite à un appel à candidatures commun. Pour les stages de 2026, les appels à candidatures sont ouverts jusqu'au 5 mai 2026 et toutes les informations sont disponibles sur le site de « Sciences à l'École »⁽¹⁰⁾.

(7) e-PÉRON est l'acronyme de Plateforme Éducative sur les Rayons cosmiques et les muONS

(8) <https://eperon.omp.eu>

(9) <https://icd.desy.de>

(10) <https://www.sciencesalecole.org/plan-cosmos-a-lecole-formation>

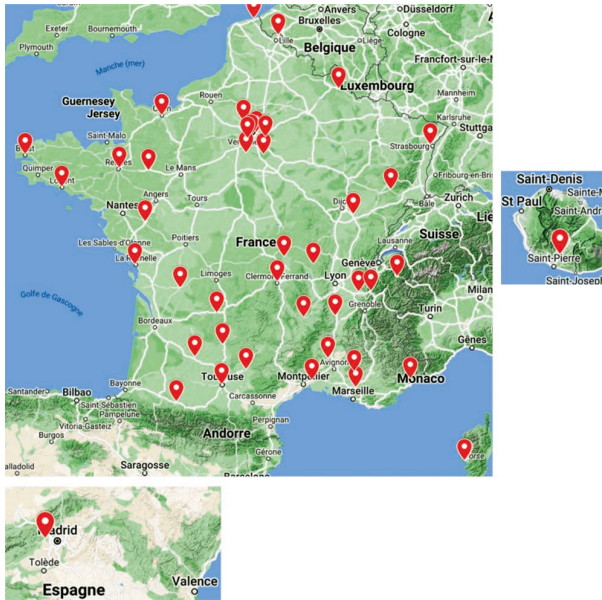


Figure 2 - Le réseau pédagogique du plan d'équipement « COSMOS à l'École ».

2.2. Un stage sur la physique nucléaire au GANIL

Depuis août 2024, à la toute fin de « l'Année scolaire de la physique 2023-2024 », « COSMOS à l'École » propose en partenariat avec CNRS Nucléaire & Particules et le GANIL⁽¹¹⁾ un stage de formation « Profs au GANIL » qui a lieu sur le site même du GANIL à Caen, la dernière semaine des vacances d'été. Le stage porte sur la physique nucléaire et se déroule sur trois jours (du lundi après-midi au jeudi midi). Il permet aux stagiaires sélectionnés de visiter ce laboratoire de recherche (le plus grand complexe accélérateur de noyaux atomiques en France) et d'assister à des cours, des conférences, des ateliers, ainsi que des travaux pratiques sur des installations du GANIL. Véritable mise en contact du monde de l'enseignement avec celui de la recherche, ce stage est une excellente opportunité pour échanger avec des collègues motivés sur les thématiques de recherche du GANIL. Les frais liés au stage (logement, repas, trajet de et vers un lieu en France métropolitaine) sont entièrement couverts, ce qui le rend accessible à toutes et tous.

Le stage au GANIL propose des activités variées (cf. figure 3, page ci-après) et inclut également une session posters présentant les nombreux corps de métiers œuvrant

(11) <https://www.ganil-spiral2.eu/fr>

au GANIL (là comme dans tous les grands laboratoires internationaux du domaine, le personnel est majoritairement composé d'ingénieurs et de techniciens, bien plus nombreux que les chercheurs) ainsi que des retours d'expérience de professeur-es ayant participé aux actions de « COSMOS à l'École » et ayant développé des projets originaux par la suite. On peut notamment citer les travaux de Cédric Vanden Driessche, qui ont fait l'objet de publications dans *Le Bup* [4-5].



© Magalli Tencé - GANIL/CEA - CNRS

Figure 3 - Stage au GANIL 2025 :

(A) visite du GANIL et (B) premiers cours pour les stagiaires.

2.3. Un stage au CERN sur la physique des particules

Action emblématique de « COSMOS à l'École », « Sciences à l'École » propose chaque année depuis 2008 (hors pandémie de COVID) un stage de formation sur la physique des particules en partenariat avec CNRS Nucléaire & Particules et le CERN⁽¹²⁾. Ce stage s'inscrit dans les « Teachers programmes » du CERN⁽¹³⁾ : chaque pays membre du ou associé au CERN bénéficie d'une semaine réservée pour organiser un stage de formation à destination de professeur-es. Le stage au CERN de « COSMOS à l'École » correspond au créneau français de ce programme international et il est traditionnellement organisé chaque année pendant la première semaine des vacances d'automne (cf. figure 4, page ci-contre). Environ vingt professeur-es sont sélectionné-es suite à un appel à candidatures mené conjointement avec celui du stage au GANIL. Toutes les informations sont également disponibles sur le site Internet de « Sciences à l'École »⁽¹⁴⁾.

Ce stage se déroule du dimanche soir au vendredi midi et permet aux professeurs de vivre une semaine intense. Cours, conférences, ateliers, travaux pratiques et nom-

(12) <https://home.cern/fr>

(13) <https://teachers.cern>

(14) <https://www.sciencesalecole.org/plan-cosmos-a-lecole-formation>

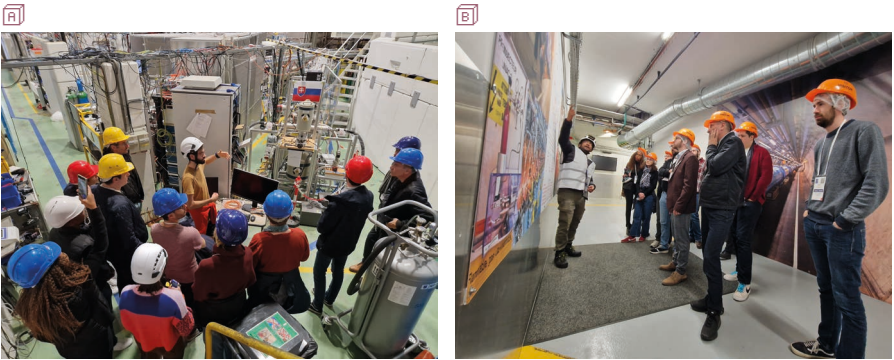


Figure 4 - Stage au CERN 2025 :

(A) Visite d'ISOLDE⁽¹⁵⁾ et (B) du détecteur CMS, le « grand final » du stage.

© « Sciences à l'École »

breuses visites permettent aux stagiaires, logés sur le site même, à l'hôtel du CERN, d'arpenter ce haut lieu de la recherche scientifique internationale, avec notamment une visite de la caverne de service du détecteur CMS (*Compact Muon Solenoid*) à une centaine de mètres sous terre. Le logement et les trajets de et vers un lieu en France métropolitaine sont également pris en charge. Seule la restauration sur place est à la charge des stagiaires.

Comme pour « Prof's au GANIL », tous les exposés du stage « Prof's au CERN » sont mis à disposition sur une page Internet publique et permanente. Une liste de diffusion permet de garder le contact avec les participants et de les informer de projets et d'opportunités en lien avec les thématiques de ces formations. Cerise sur le gâteau, le grand accélérateur de particules du CERN, le Grand collisionneur de hadrons (LHC pour *Large Hadron Collider*), va s'arrêter pour plusieurs années dans le cadre d'un programme d'amélioration prévu de longue date. Cela devrait permettre aux prochaines promotions du stage de voir certains des détecteurs « en vrai » – ce qui est totalement impossible quand le LHC est en fonctionnement.

CONCLUSION

Le plan d'équipement « COSMOS à l'École » de « Sciences à l'École » propose un accompagnement pédagogique unique, axé sur la physique nucléaire et la physique des particules. Il mène une action de mise à disposition de matériel scientifique par le biais de Cosmodétecteurs. En parallèle, il offre la possibilité de visiter et de se former sur des sites emblématiques de la recherche scientifique que sont le GANIL et le CERN, avec des stages de formation organisés chaque année, à destination des professeur-es que

(15) Isotope Separator On-Line.

nous invitons à déposer leur candidature dès à présent ! CNRS Nucléaire & Particules, le partenaire historique de « COSMOS à l'École » dans le monde de la recherche, propose également de nombreuses ressources en vulgarisation scientifique et actions éducatives. Elles sont à retrouver sur les pages Internet dédiées de cet Institut du CNRS⁽¹⁶⁾.

BIBLIOGRAPHIE ET NETOGRAPHIE

- [1] E. Martel, «La délégation française aux 55^{es} Olympiades internationales de physique : préparation de la délégation pour les IPHO 2025», *Bull. Un. Prof. Phys. Chim.*, vol. 119, n° 1079, p. 1025-1032, décembre 2025.
- [2] N. Arnaud, C. Berat, P. Carret, N. Couchoud, D. Dumora, R. Gerschwitz, B. Lott, E. Martel, K. Moniez-Buttafoghi, B. Pagani, J.-Ch. Pelhate, M. Piezel, L. Serin, C. Vanden Driessche and S. Descotes-Genon, “Teachers and Students educational activities based on cosmic muons in France”, *Proceedings of Science*, vol. 501 ICRC2025, p. 1237, December 2025.
- [3] N. Arnaud, C. Berat, J. Busto, G. Chardin, D. Dumora, E. Kajfasz, A. Letessier-Selvon, B. Lott, A. Marsollier, J.-Ch. Pelhate, M. Piezel and G. Tristram, “Cosmic ray detectors for high schools in France”, *Nuclear and Particle Physics Proceedings*, vol. 273-275, p. 1233-1238, April-June 2016.
- [4] C. Vanden Driessche, «MicroCosmos – Partie 1 : un détecteur de particules à base d'Arduino», *Bull. Un. Prof. Phys. Chim.*, vol. 118, n° 1068, p. 907-1022, novembre 2024.
- [5] C. Vanden Driessche, «Micro(K)osmos – Partie 2 : étude expérimentale de la radioactivité du potassium (⁴⁰K) en classe à l'aide d'un Arduino et d'un compteur Geiger», *Bull. Un. Prof. Phys. Chim.*, vol. 118, n° 1069, p. 1033-1048, décembre 2024.

En complément du sujet, à lire dans Le Bup

- ◆ C. Lagoute, «Réalisation d'un détecteur de muons : une approche de physique du xx^e siècle au lycée», *Bull. Un. Prof. Phys. Chim.*, vol. 103, n° 911 (1), p. 143-183, février 2009.
- ◆ J.-Ch. Pelhate, M. Piezel, N. Arnaud et C. Bonnoit-Chevalier, «“COSMOS à l'École” : un réseau de détecteurs pédagogiques de muons cosmiques», *Bull. Un. Prof. Phys. Chim.*, vol. 112, n° 1001, p. 353-362, février 2018.
- ◆ S. Procureur, «Quand les muons cosmiques explorent le cœur de la matière», *Bull. Un. Prof. Phys. Chim.*, vol. 113, n° 1018, p. 1265-1274, novembre 2019.

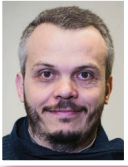
(16) <https://www.in2p3.cnrs.fr/fr/mediation-scientifique-et-communication>

- ◆ J. Marteau, « Du cosmos au centre de la Terre : voyage au cœur de la matière grâce à la muographie », *Bull. Un. Prof. Phys. Chim.*, vol. 117, n° 1057, p. 833-839, octobre 2023.



Étienne MARTEL

Professeur agrégé à la cellule de ressources de « Sciences à l'École »
Observatoire de Paris - PSL
Paris



Nicolas ARNAUD

Chercheur
CNRS Nucléaire & Particules
Institut de physique des 2 Infinis (IP2I)
Villeurbanne (Rhône)