

# TELESCOPE A MUONS

## 2016

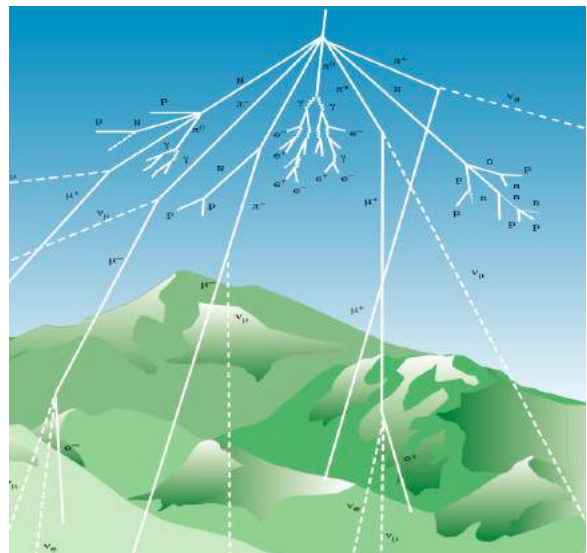
### LES RAYONS COSMIQUES A LA PORTEE DE TOUS...

Il s'agit de faire découvrir la science sous son aspect expérimental au plus grand nombre, de mettre en place une véritable opération scientifique, à la fois ludique et rigoureuse, susceptible de témoigner de ce qu'est réellement une démarche de recherche, tout en s'attachant à interpeller tout un chacun à partir de ses centres d'intérêt d'aujourd'hui, secrets de l'Univers, radioactivité naturelle, etc.

#### LA GENESE DU PROJET

Le projet RELYC est né il y a plusieurs années avec un groupe de physiciens et d'ingénieurs du laboratoire APC (Astroparticule et Cosmologie). Après la définition d'un cahier des charges pédagogique, scientifique, technique et financier, la construction du prototype a été mise en chantier.

L'ensemble de détection comprenait quatre valises, renfermant chacune un scintillateur et un photomultiplicateur. Une électronique d'acquisition et une interface permettent le traitement des données sur un PC (sous labview).



#### LES RAYONS COSMIQUES : KESSAKO ?

Le rayonnement cosmique est une manifestation de la radioactivité naturelle qui provient de l'espace. Nous « baignons » dans un véritable océan de particules qui bombardent la Terre en permanence et sont arrêtées par l'atmosphère, qui joue à cet égard le rôle d'un filtre protecteur. Il est du reste bien connu que plus l'on monte en altitude, plus l'on est exposé au rayonnement cosmique et plus la protection « naturelle » due à l'atmosphère diminue. Les astronautes, par exemple, sont exposés à des rayonnements qui peuvent poser problème, surtout dans la durée. C'est, du reste, l'un des problèmes majeurs qui restent à résoudre pour des vols spatiaux au long cours.

Les sources de rayonnement cosmique sont « extra-terrestres », comme les premières expériences de Franz-Victor Hess l'ont montré, dès 1912.

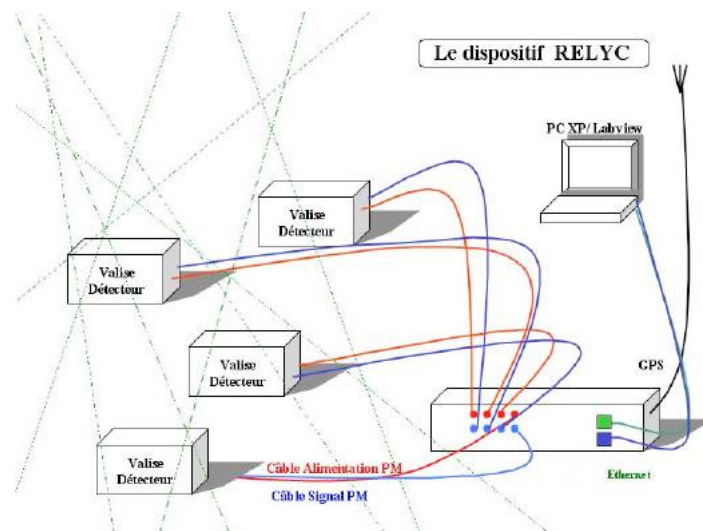
Les rayons cosmiques sont des noyaux atomiques et des particules élémentaires qui voyagent dans l'espace à des vitesses voisines de celle de la lumière. Certains d'entre eux

s'approchent suffisamment de la Terre pour être détectés par des instruments placés dans des satellites en orbite terrestre ou dans des sondes spatiales. D'autres pénètrent dans l'atmosphère terrestre, entrent en collision avec des noyaux d'oxygène ou d'azote, et produisent des générations successives de particules secondaires : les « gerbes atmosphériques ».

Ces gerbes sont ainsi le résultat de l'interaction des rayons cosmiques (le plus souvent des protons), avec des particules de la haute atmosphère (par exemple un noyau d'hydrogène). Les particules « chargées » qui en sont issues et qui vont parvenir au niveau du sol (et seront donc détectables) sont essentiellement des muons.

Les particules sont bien trop petites pour être observées directement (elles ne peuvent être produites que dans des réactions nucléaires). On ne peut que les observer indirectement par l'interaction de leur charge électrique avec un champ électromagnétique ou les électrons de la matière. Leur instabilité les rend encore plus difficiles à détecter.

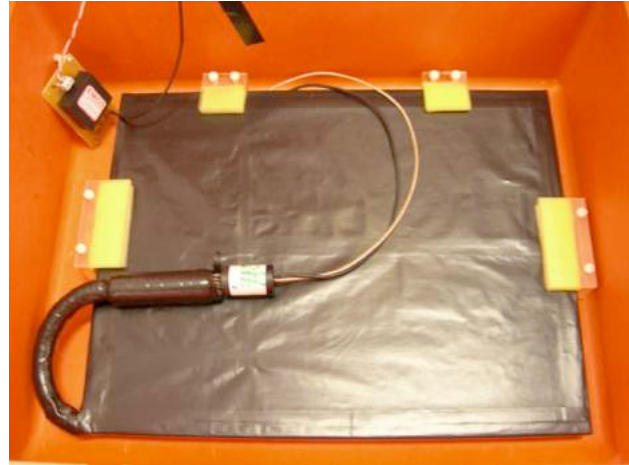
Les appareils du projet RELYC, qu'on peut considérer comme des « télescopes à muons », sont donc des détecteurs passifs, qui n'émettent rien par eux-mêmes, et ne font que détecter des particules atmosphériques issues de la désintégration des particules qui constituent les rayons cosmiques. Il ne s'agit donc que de l'observation, quantitative et statistique, d'un phénomène naturel. Tout l'intérêt pédagogique de cet instrument est qu'il permet, au delà de l'acquisition de données, de faire un véritable travail scientifique sur leur traitement.



**LES MUONS :** Dans le modèle standard de physique des particules, c'est donc le nom donné à deux particules élémentaires de charge positive ou négative. Le muon appartient à la famille des leptons. Les muons ont une masse 207 fois plus grande que celle de l'électron (105,6 MeV). Leur masse est de  $105,6 \text{ MeV} \cdot c^{-2}$  ( $1,88 \cdot 10^{-28} \text{ kg}$ ) et leur charge de  $1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ . Sa durée de vie est de 2,2 s.

## LE DETECTEUR

Un détecteur complet comporte quatre valises reliées à un contrôleur qui alimente les valises en basse tension (BT) et collecte les signaux émis par chaque valise pour les analyser. Un ordinateur connecté au contrôleur permet d'en modifier les paramètres l'acquisition des données mesurées .



## LES VALISES.

Chaque valise est composée :

- D'une plaque de plastique scintillant, appelé « scintillateur », émettant une très faible quantité de lumière lorsqu'elle est traversée par une particule élémentaire chargée électriquement.
- D'un photomultiplicateur (PM) qui convertit en signal électrique les photons émis par le scintillateur. C'est ce signal qui est transmis au contrôleur. Le photomultiplicateur est alimenté, à travers un convertisseur BT/HT par une haute tension (HT) comprise entre 0 et 2000 Volts. Le gain en courant du photomultiplicateur est directement proportionnel à cette tension d'alimentation.

La PHOTOLUMINESCENCE : Le principe de la détection repose sur un scintillateur, chargé d'émettre des photons au passage d'une particule. Pour cela il utilise le principe de la photoluminescence, processus pendant lequel un composé chimique (ici une plaque de plastique « dopée » au bore) absorbe une particule (le muon) et passe à un état d'énergie supérieur. Puis il ré-émet un photon afin de retourner à un état d'énergie stable. La période entre l'absorption et l'émission est en général de l'ordre des 10 nanosecondes ( $10^{-8}$  secondes). Cependant ce système ne fait pas la différence entre un rayon cosmique et une interférence, c'est pourquoi il faut utiliser un discriminateur avant le traitement des données

## LE CONTROLEUR.

Le contrôleur est constitué de sous-ensembles permettant le contrôle de HT du PM l'analyse des signaux. Il est équipé de :

- une liaison ethernet, permettant de dialoguer avec l'ordinateur
- une mesure de la pression atmosphérique (Baromètre)
- un GPS (mesure précise du temps d'arrivée des évènements)
- 

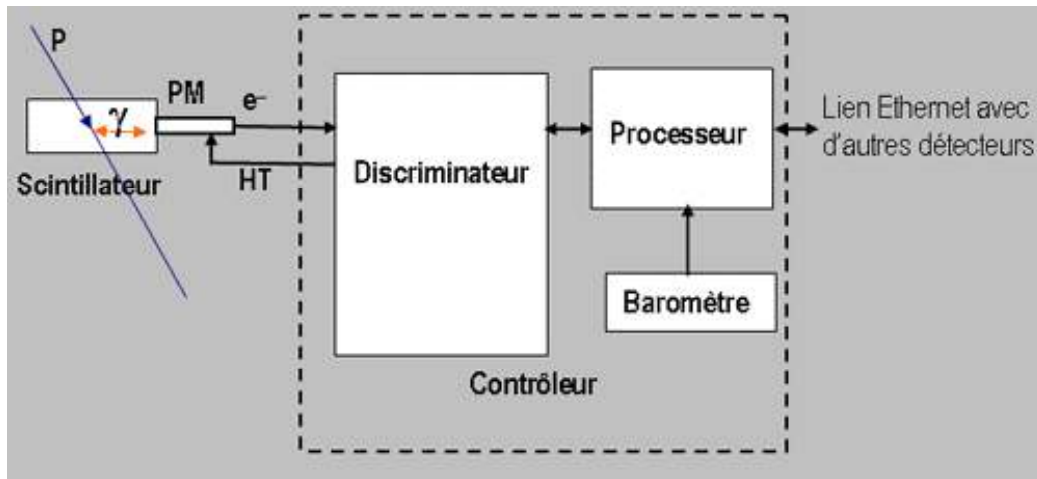
Le contrôleur a pour objet de « discriminer » les signaux qu'il reçoit : La discrimination est une méthode de sélection, qui permet de distinguer le signal réel du bruit. Si un rayon rentre dans l'atmosphère terrestre, une quantité importante de muons est produite. Ces muons peuvent être détectés simultanément par les différents scintillateurs. Donc, on ne considère comme étant des



rayons cosmiques, que les événements détectés simultanément sur deux scintillateurs ou plus. C'est ce qu'on appelle une coïncidence.

Pour détecter ces coïncidences, le détecteur dispose d'une carte électronique dédiée. Lorsqu'un signal en provenance de l'un des photomultiplicateurs (PM) arrive, le discriminateur lance un « chronomètre ». Si dans un laps de temps appelé fenêtre de discrimination, un deuxième PM reçoit lui aussi un signal, on considère que l'on a détecté un rayon cosmique. Si aucun signal n'arrive d'un autre PM, on considère que c'est du bruit.

Malgré ce système très sélectif, on détecte encore du bruit. C'est pourquoi il faut faire des statistiques sur de nombreuses mesures pour estimer le pourcentage de bruit recueilli, et avoir une estimation fiable du nombre de particules détectées.



L'ordinateur utilise un logiciel d'acquisition et de traitement des données (exécutable sous windows) qui permet :

- D'envoyer au contrôleur les valeurs des différents paramètres du détecteur (valeur des hautes tension des PM, valeur des seuils des discriminateurs, largeur de la porte temporelle définissant les coïncidences).
- De choisir différentes combinaisons de coïncidences (détecteurs touchés simultanément) que l'on souhaite observer (2, 3 ou 4 parmi 4)
- D'acquérir les données à chaque déclenchement (identification des valises touchées, temps GPS)

Une dizaine de lycées dans toute la France ont été équipés de détecteurs (RELYC), dans le cadre d'ateliers pédagogiques ou comme instrument dans le contexte de filières spécialisées (MPI). Par ailleurs, les détecteurs RELYS ont aussi été utilisés dans le cadre de projets scientifiques pour tester des isolations ou des blindages contre les rayons cosmiques.

## Schéma de TP développé par C. DELACOUR (classe de 2de MPI)

### Premières mesures

Comptage des taux moyens de déclenchement par photomultiplicateur.

✍ Les valeurs indiquées sont-elles les mêmes pour tous les détecteurs ? Proposer une explication.

### Fonctionnement du détecteur

✍ Qu'est-ce que la photoluminescence ?

✍ Quels sont les deux rôles du photomultiplicateur ?

✍ Le scintillateur fait-il la différence entre une particule cosmique et le « bruit de fond » dû à d'autres particules ?

✍ Quelle partie du détecteur permet de ne garder que les rayons cosmiques ?

**Le gain du PM :** - est réglé par une haute tension d'alimentation.

- est le nombre d'électrons en sortie pour un photon entré.

**La tension de discrimination :**

- Le courant sortant du PM alimente une résistance aux bornes de laquelle on mesure la tension ; c'est la tension lue par le discriminateur.

- La valeur de la tension du discriminateur est choisie de sorte que toute valeur inférieure à celle-ci est éliminée.

Les schémas ci-dessous représentent trois cas de discrimination :

a) La tension de discrimination est nulle (fig.1)

b) La tension de discrimination est inférieure au bruit (fig.2)

c) La tension de discrimination est supérieure au bruit et inférieure aux pics dus aux rayons cosmiques (fig.3)

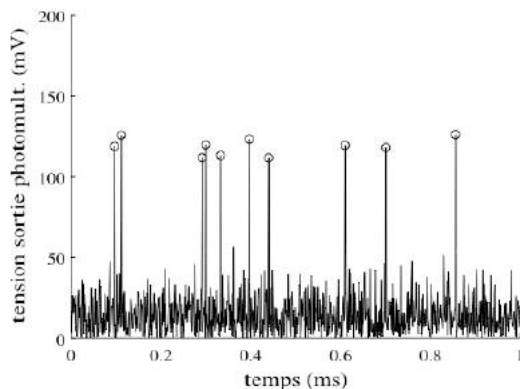


fig.1

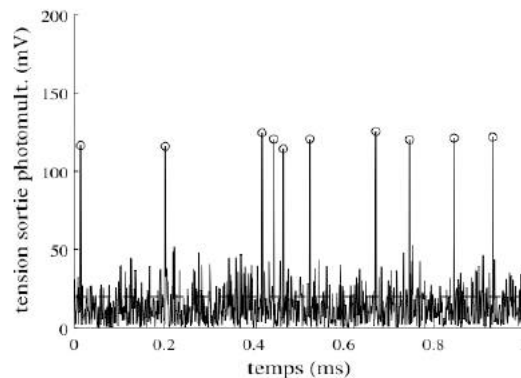


fig.2

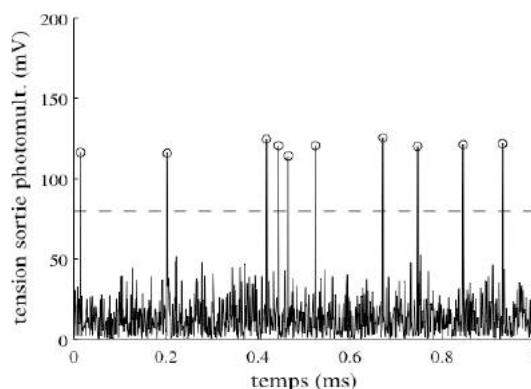


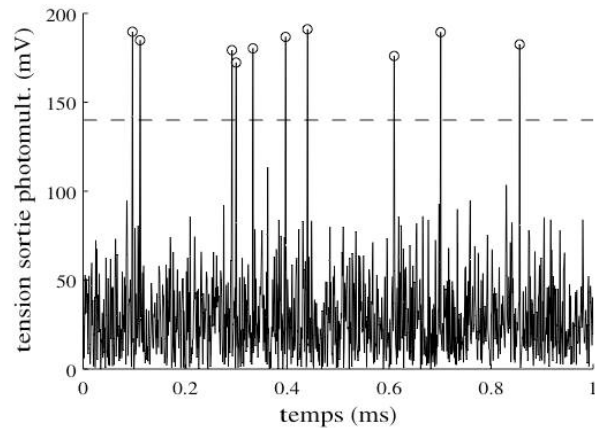
fig.3

## Influence de la tension de discrimination sur les taux de détection

- Etude du changement de la tension de discrimination sur une valise.

## Influence du gain (idem)

Fig.4



✍ Commenter la figure ci-contre



### ✍ QUESTION :

Quels réglages faut-il réaliser pour que les taux de déclenchement moyens soient équivalents d'une valise à l'autre ?

## >> ET MAINTENANT ?

*Compte tenu des évolutions technologique et des enseignements qu'il est possible de tirer des projets (Roue Cosmique par ex.) développés à la suite de RELYC, il serait opportun de définir et de finaliser un nouveau télescope à muons, plus précis, plus léger, plus aisé à manipuler et d'un coût moindre (électronique d'acquisition et de coïncidence), tout en préservant les possibilités expérimentales de l'instrument. C'est tout l'objet de TscopMu V2-2016.*