

# **COSMIQUE'S NEWS**

**Nous, élèves de MPI de seconde 9, avons travaillé plusieurs semaines sur les rayons cosmiques. Devenus incollables en la matière, nous présentons ce journal de façon à ce que les rayons cosmiques ne soient plus un mystère pour vous...**

- **Histoire des rayons cosmiques. P2**

*Nicolas Dété et Nicolas Gauthier.*

- **Qu'est ce qu'un rayon cosmique ? P4**

*Guillaume Danguy et Charles Bricout.*

- **Leur origine ? P6**

*Nicolas Havard, Nabil El Ouadi, et Javid-Jean Lofti.*

- **Comment les détecte-t-on? P8-14**

-Anaïs Bonaventure, Sylvie De Brito et Floriane Breton.

-Adel Bouabellou, et Antoine Mariette.

- **Les rayons cosmiques et la santé. P17**

*Ambre Schneider, Clémentine Bachelier et Lola Peyrichoux.*

- **Découvertes de nouvelles particules. P20**

*Guillaume Fourmond et Antoine Fréjean et Abdessatar Kerkeni*

- **Etude expérimentale: la roue cosmique. P23**

*Guillaume Danguy et Charles Bricout.*

- ***Lexique. P27***

Mise en page : *Ambre Schneider, Clémentine Bachelier et Lola Peyrichoux.*

Rédactrice en chef : *Christine Ehanno.*

# **L'HISTOIRE DES RAYONS COSMIQUES.**



**1900-** L'histoire des rayons cosmiques commence en 1900, lorsque *Charles Thomson Rees Wilson* découvre à l'aide de son électroscope que l'atmosphère est continuellement ionisée. Il pense que cet effet d' ionisation est dû au rayonnement naturel de la terre.



**1909-** Le physicien *Théodore Wulf* construit un électroscop ultra stable et l'installe en haut de la tour Eiffel. En effet, il pense que si les rayons cosmiques sont d'origine terrestre, alors en altitude il en trouvera moins qu'à la surface du sol.  
Or il mesure bien une diminution du taux d'ionisation, mais moindre que prévu. Pour confirmer cela il faudrait monter plus haut. C'est *Victor Franz Hess* qui reprendra la suite de ces expériences quelques années plus tard



**1912-** *Victor Franz Hess* qui veut pousser plus loin l'expérience de *Théodore Wulf*, emmène son électroscop dans une montgolfière, et mesure le taux d'ionisation en fonction de l'altitude. Il découvre qu'à partir de 700 mètres d'altitude le taux d' ionisation augmente de façon spectaculaire, et est même supérieur à celui présent à la surface du sol. Il en déduit donc que les rayons viennent du ciel et pas du sol.



**1928-**Lors d'une conférence *Robert Millikan* et *Arthur Compton* s'affrontent.



*Robert Millikan* affirme qu'à leur entrée dans l'atmosphère, le rayonnement était constitué de photons. *Arthur Compton*, lui, pense que ce rayonnement est constitué de particules chargées électriquement. Le débat est tellement virulent qu'il fait la UNE du New-York- Time.



**1933-** Deux physiciens : *Bruno Rossi* et *Thomas Jhonson* confirment l'hypothèse d'*Arthur Compton* grâce à des expériences.

Ils démontrent que les particules sont chargées positivement et donc qu'il s'agit de protons.

The New York Times  
Vol. LXXXIII - No. 27,390  
December 21, 1933

MILLIKAN RETORTS HOTLY TO COMPTON IN COSMIC RAY CLASH	
Debate of Rival Theorists Brings Drama to Session of Nation's Scientists.	
THEIR DATA AT VARIANCE	
New Findings of His Ex-Pupil Lead to Thrust by Millikan at 'Less Cautious' Work.	

**1935-** *Pierre Auger* découvre les gerbes cosmiques. Il découvre qu'elles sont dues à l'impact de particule venant de l'espace avec les atomes de la haute atmosphère.



# *LES RAYONS COSMIQUES, C'EST QUOI?*

Les rayons cosmiques sont des particules qui nous viennent du cosmos. Ils bombardent la Terre en permanence.

Ce sont des flux de particules relativistes présentes dans tout l'Univers. Souvent on les appelle rayons mais ce sont des flots de particules. Ce mauvais terme de « rayon » est conservé pour des raisons historiques.

Ces flux de particules ionisent les molécules de l'atmosphère terrestre quand ils la traversent.

Les particules primaires sont surtout des protons (85%), des noyaux d'hélium (14%), des électrons (1%) et d'autres noyaux atomiques.

Les particules secondaires produites par les collisions avec les particules de l'atmosphère terrestre sont : les pions, les muons, les électrons et positrons, les photons (gamma), neutrinos et anti-neutrinos (électroniques et muoniques)

Le rayonnement cosmique primaire est principalement constitué de protons. Quand ces protons heurtent les particules de la haute atmosphère (azote et oxygène : molécules de diazote N<sub>2</sub> et dioxygène O<sub>2</sub>), cela produit des mésons qui se désintègrent eux-mêmes en muons qui se désintègrent en électrons et en neutrinos (voir schéma).

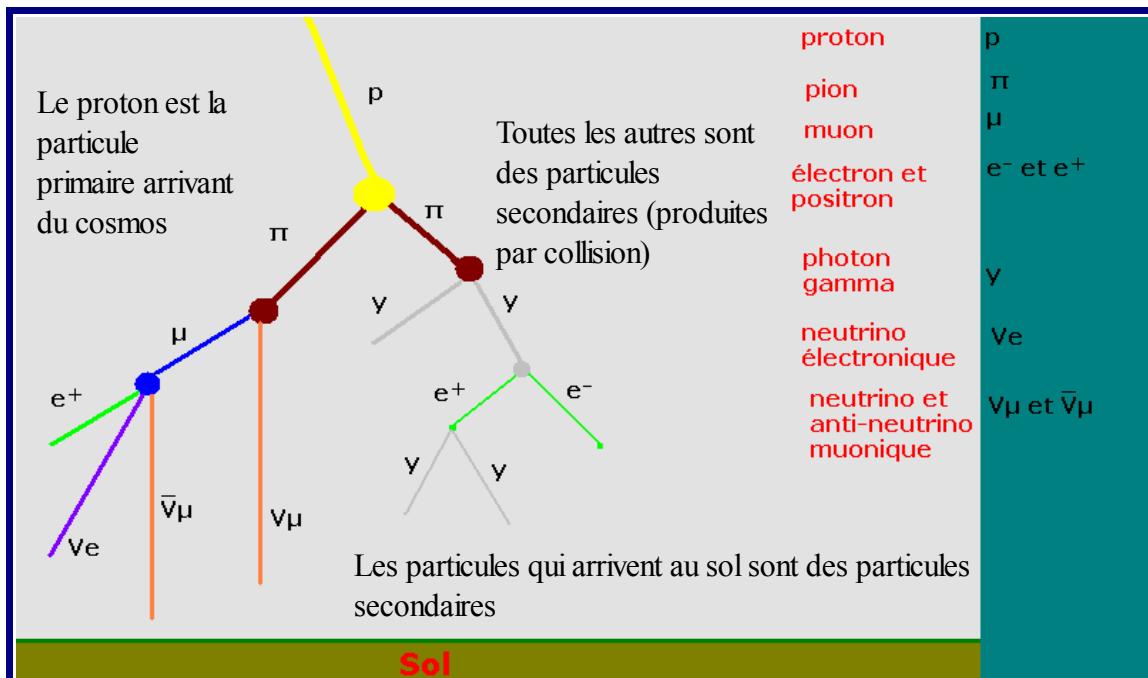
Ce sont ces particules secondaires (donc celles qui sont nées des collisions des particules primaires) qui sont détectées au sol.

Au sol nous recevons principalement des photons, mais aussi des électrons (et positrons) et un peu de muons.

C'est ce qu'on appelle une gerbe de rayons cosmiques.



## Exemple de gerbe de rayons cosmiques :

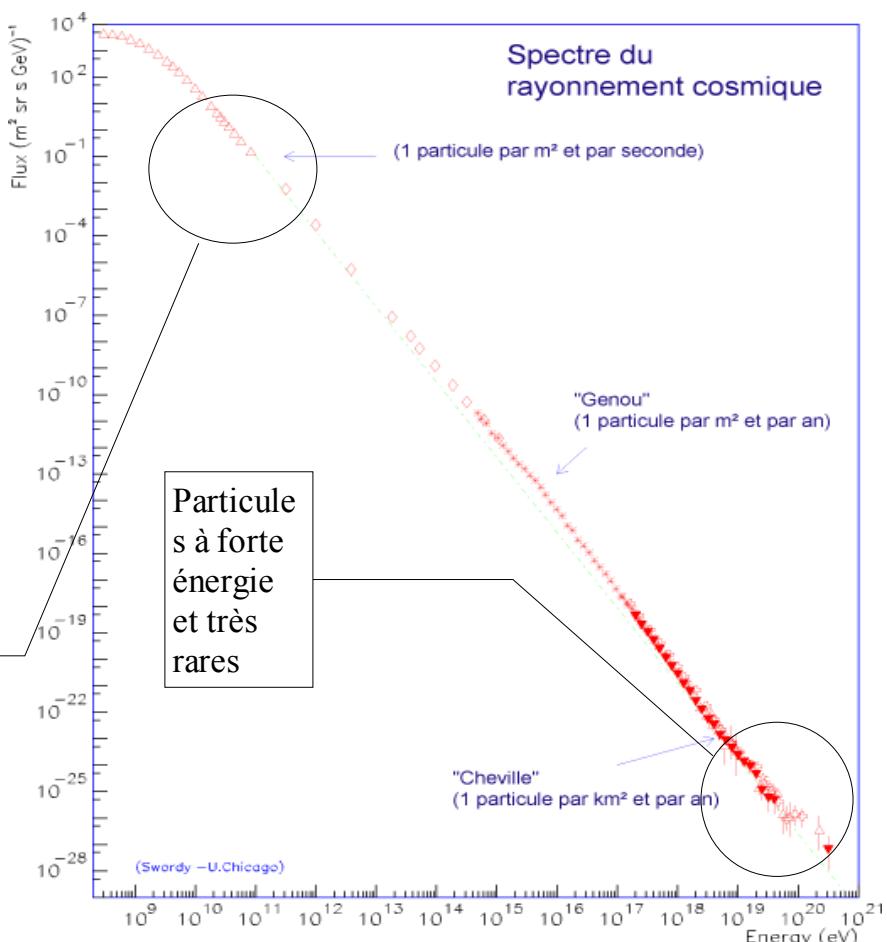


## Spectre d'énergie :

Le spectre du rayonnement cosmique est représenté sur un graphique donnant les flux de particules selon leur énergie.

Particules à faible énergie et très abondants

Particules à forte énergie et très rares



Plus les particules ont une faible énergie plus elles sont abondantes.  
A l'inverse plus elles ont une énergie forte plus elles sont rares.

# ***ORIGINE, D'OU VIENNENT LES RAYONS COSMIQUES?***

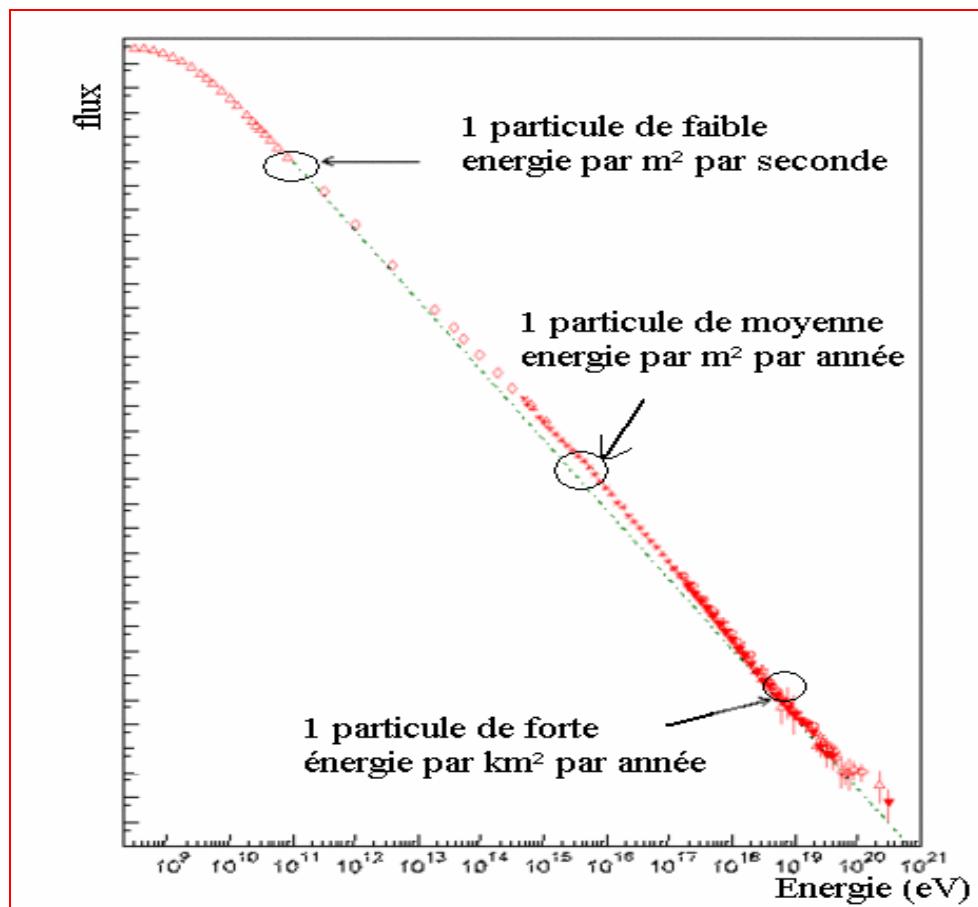
## **L'origine déterminée par leur énergie:**

Il existe plusieurs sortes de rayons cosmiques. En effet les scientifiques ont découvert que les rayons cosmiques peuvent avoir des énergies très différentes (mesuré en Volt et Électrovolt). Ils ont pu les classer et définir leur provenance en fonction de leur énergie.

En effet, l'énergie des rayons cosmiques s'étend sur une gamme allant de  $10^7$  à presque  $10^{20}$  eV.

- $10^8$  eV soit de basse énergie sont produits par le Soleil
- $10^{15}$  eV sont produits par les supernovas\*
- $10^{17}$  eV sont produits par les pulsars\*
- $10^{18}$  eV sont produits par les galaxies à noyau actif\*
- $10^{20}$  eV sont produits par des astres inconnus

Ces différentes gammes correspondent donc à des origines et des mécanismes d'accélération très différents.



## Le mystère des rayons à haute énergie :

La provenance des rayons cosmiques est donc encore en partie un mystère. Le but des scientifiques d'aujourd'hui est d'interpréter les rayons de forte énergie et en particulier leur provenance.

Pour les particules les plus énergétiques, les zetta-particules, les scientifiques sont encore dans l'incapacité de trouver leurs origines, mais ils supposent les pulsars , les galaxies à noyaux actif et des astres inconnus d'être à leur origines.

Cette interprétation devrait bientôt s'éclaircir avec la mise en service (2004) de l'observatoire Pierre Auger en Argentine.

## Les aurores boréales :

Les aurores boréales forment un spectacle lumineux dans le ciel.

Ce spectacle est très changeant et peut débuter par la formation d'un arc (arc auroral). On observe parfois des lueurs ressemblant à un rideau ou une draperie agitée par la brise. Le phénomène peut s'accompagner de rayons, parfois animés d'une pulsation plus ou moins rapide.

### **L'origine :**

L'activité du Soleil (éruption, explosion...) forme des vents solaires. Lorsque ces rayons arrivent au niveau de la terre, ils sont guidés par les lignes de champs magnétiques terrestre ( car ils sont électriquement chargés) et attirés vers les pôles.

### **L'origine lumineuse:**

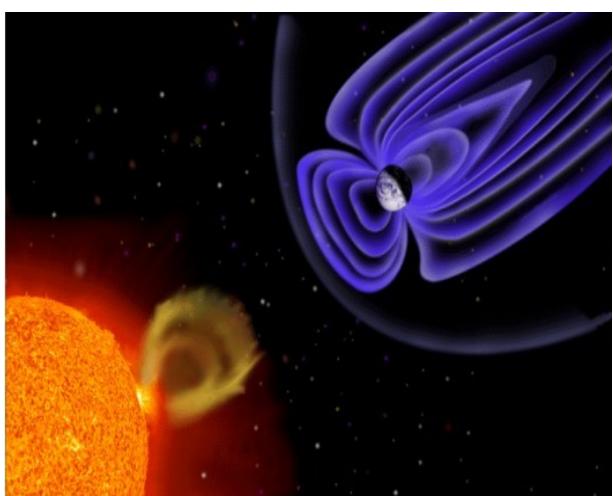
Les particules cosmiques, électrons, protons et ions positifs, excitent ou ionisent les atomes d'oxygène et d'azote de la haute atmosphère. L'atome excité ne peut rester dans cet état, il revient à son état initial, libérant au passage un peu d'énergie sous forme de lumière.

Les phénomènes auroraux prennent plusieurs teintes différentes : l'azote donne des couleurs bleues et rouges et l'oxygène des teintes vertes et rouges.

## Attraction des vents solaires vers les pôles par les lignes de champs magnétique.

Ligne du  
champ  
magnétique  
terrestre

Vents  
solaires





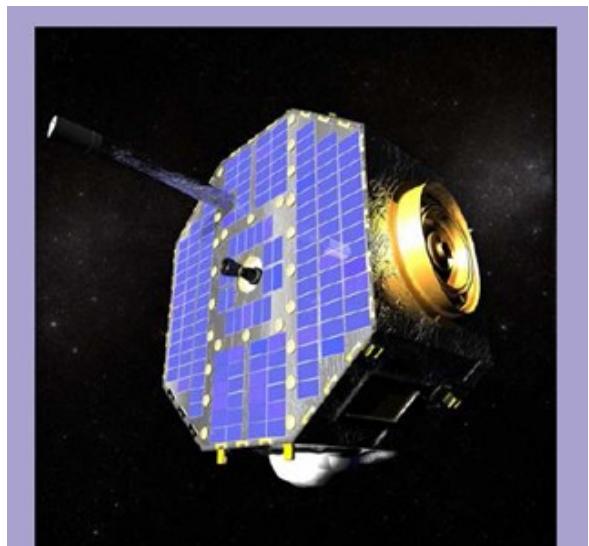
# ***COMMENT DETECTE-T-ON LES RAYONS COSMIQUES?***

## ***I.***

On peut séparer les techniques de détection des rayons cosmiques en deux catégories:

### **Les expériences embarquées sur des satellites (comme le satellite IBEX):**

On peut détecter directement les rayons cosmiques en se plaçant hors de l'atmosphère. On doit donc placer les détecteurs dans une station orbitale ou un satellite pour être dans l'espace : l'intérêt de cette technique est de détecter directement les particules primaires, ce qui rend leur identification plus simple. L'inconvénient de cette technique est la taille limitée des détecteurs qu'on peut utiliser (les charges embarquées doivent rester faibles à cause du coût des lanceurs). Elle est donc réservée à des domaines où le flux de rayons reste élevé (la limite est de quelques rayons cosmiques par  $m^2$  et par an) donc des particules d'énergie de l'ordre de  $10^{15}$  eV.

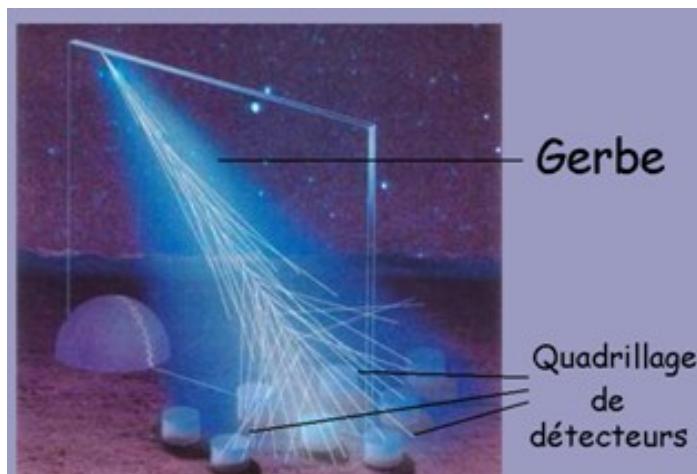


Expérience embarquée : satellite IBEX

## Les détecteurs au sol :

Ce ne sont plus les particules primaires qui sont détectées mais les particules secondaires. Pour les énergies les plus élevées (  $10^{20}$  eV et plus ), le flux des rayons cosmiques est extrêmement faible (un rayon cosmique par  $\text{km}^2$  et par siècle au-dessus  $10^{20}$ eV. Par exemple si l'on veut détecter un rayon en une année il faut donc une surface 100 fois plus grande :  $100 \text{ km}^2$ ), d'où la nécessité d'utiliser des détecteurs couvrant de très grandes superficies.

Ils couvrent donc plus de surfaces que les satellites mais, comme ils mesurent les particules secondaires, il faut faire une multitude de calculs afin de retrouver la particule primaire d'origine avant son entrée dans l'atmosphère.



## Effet Chérenkov

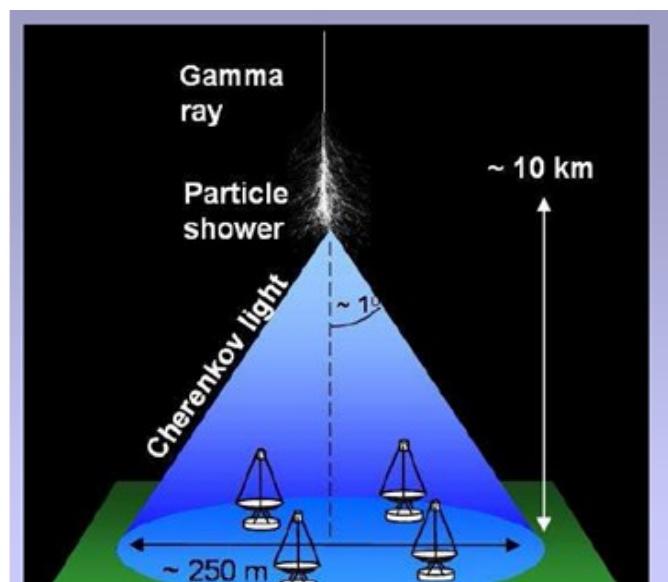
Les détecteurs observent non pas directement les rayons cosmiques eux-mêmes mais les effets que ceux-ci provoquent en pénétrant dans l'atmosphère terrestre. Ces effets sont dus à une sorte de réaction en chaîne que le rayon cosmique primaire provoque en interagissant avec les molécules de l'atmosphère et en produisant un nombre gigantesque de particules secondaires. Ce sont ces grandes gerbes atmosphériques qui sont observées par les détecteurs. Les rayons cosmiques en arrivant dans l'atmosphère produisent une cascade de particules très énergétiques qui émettent un très bref éclair de lumière : l'effet Cherenkov.

C'est cet effet que les télescopes HESS (High Energy Stereoscopic System) vont détecter.

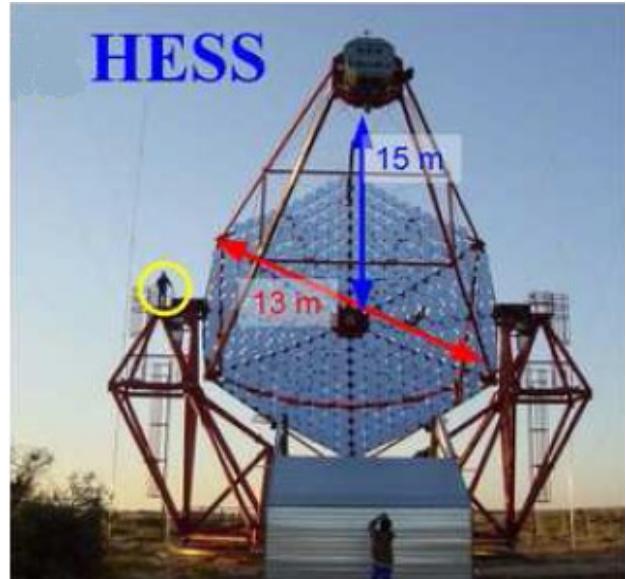
La lumière est collectée par les grands miroirs des télescopes et les caméras ultra-sensibles de HESS, permettant de créer des images des objets astronomiques tels qu'ils apparaissent en gamma.

Ces rayons gamma de très haute énergie sont peu nombreux : même pour une source relativement intense, le flux de photons gamma pénétrant dans l'air est d'environ un par mois et par mètre carré parvenant jusqu'à la Terre d'où la grande taille.

Par exemple pour avoir 100 protons détectés en un mois, il faudrait un détecteur de  $100\text{m}^2$ , pour 200 protons un détecteur de  $200\text{ m}^2$  ...



## HESS



Le HESS porte ce nom en hommage au physicien autrichien Victor HESS qui découvrit en 1912 le rayonnement cosmique, de plus ce sont les initiales de High Energy Stereoscopic System.

HESS est situé en Namibie, au sud-ouest de l'Afrique sur un plateau de 1800 mètres d'altitude, près de la montagne Gamsberg une région bien connue pour son excellente qualité optique.

Il est composé de 4 télescopes qui ont été officiellement inaugurés le 28 Septembre 2004. H.E.S.S. sert à détecter des rayons gamma de très haute énergie, atteignant un million de million d'eV (Tera--).

Les quatre télescopes font 13 mètres de diamètre. Chacun est identique et est constitué de 380 disques miroir de 60 cm de diamètre. Il dispose d'une focale de 15 mètre, et d'une caméra de 1,6m de diamètre composée de 960 tubes photomultiplicateurs (pour augmenter la sensibilité) qui pèse en tout 900 kilos. Le télescope a une structure en acier de 60 tonnes. Ces quatre télescopes forment actuellement le détecteur de rayons gamma ( voir lexique ) le plus sensible de très hautes énergies du monde (rayonnement un milliard de fois plus énergétique que les rayons X).

Les télescopes HESS sont le résultat de plusieurs années d'efforts de la part d'une collaboration internationale comprenant plus de 100 scientifiques et ingénieurs venant d'Allemagne, de France, de Grande-Bretagne, d'Irlande, de République Tchèque, d'Arménie et d'Afrique du Sud. Le CNRS avec l'Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules (IN2P3) et l'Institut National des Sciences de l'Univers (INSU), et le CEA participent à leur financement à hauteur d'un tiers. Les premières données enregistrées ont conduit à un grand nombre de découvertes, dont la première image de l'onde de choc d'une supernova aux énergies les plus élevées.

## LES PHOTOMULTIPLICATEURS:

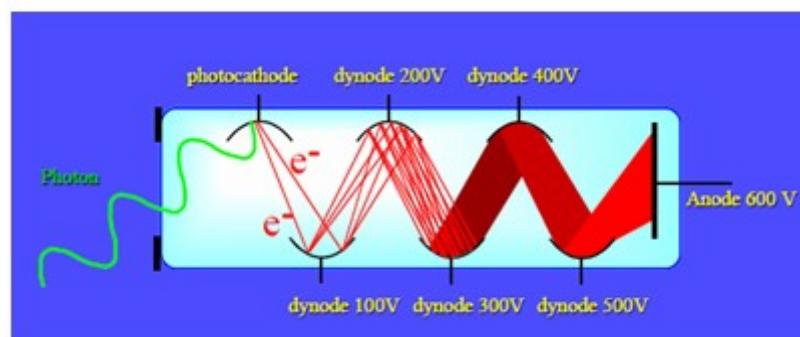
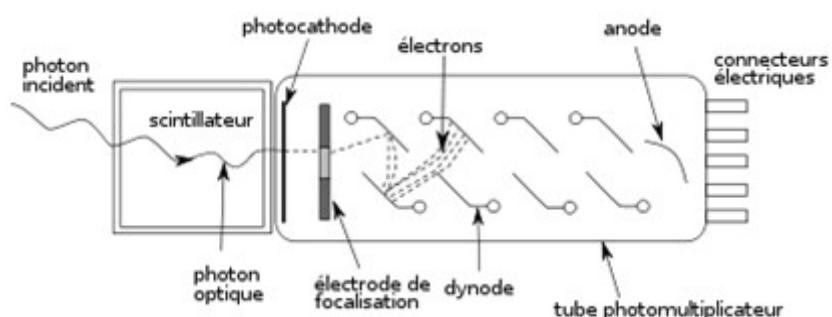
Un photomultiplicateur est constitué d'une photocathode qui convertit les photons (lumière Chérenkov) en signal électrique amplifié par une succession de dynodes.

Les photomultiplicateurs (transformation de la lumière en signal électrique) sont constitués d'un tube à vide en verre contenant une , plusieurs dynodes, et une anode. Les photons incidents sont interceptés par la photocathode, formée par une fine couche de métal ou de semi-conducteur déposée sur la fenêtre d'entrée du dispositif. Des électrons sont alors produits par effet photoélectrique. Les électrons sont dirigés vers le multiplicateur d'électrons par l'électrode de focalisation.

Ce détecteur (Un détecteur est un moyen technique (instrument, substance, matière) qui change d'état en présence de l'élément ou de...) permet de compter les photons individuellement. Il est sensible de l'ultraviolet (Le rayonnement ultraviolet (UV) est un rayonnement électromagnétique d'une longueur d'onde intermédiaire entre celle de...) à l'infrarouge (Le rayonnement infrarouge (IR) est un rayonnement électromagnétique d'une longueur d'onde supérieure à celle de la...) proche, le temps (Le temps est un concept développé pour représenter la variation du monde: l'Univers n'est jamais figé, les...) de réponse est de l'ordre de la nanoseconde ( $10^{-9}$  seconde)

Il a pour inconvénients son coût et sa fragilité (Fragilité Une substance solide est dite "fragile" si, lorsqu'on lui impose des contraintes mécaniques ou qu'on lui fait...).

Le photomultiplicateur mesure donc un flux lumineux (flux de photons).



## RESULTATS

Les chercheurs du CNRS (laboratoires IN2P3 et INSU et du CEA-Dapnia, dans le cadre d'une collaboration internationale, ont pu observer avec précision, grâce aux télescopes H.E.S.S., des rayons gamma de très haute énergie en provenance de nuages de gaz géants, particulièrement nombreux au centre de notre galaxie. L'émission gamma, produite par collision des rayons cosmiques avec ces nuages, était prédictive et attendue. Ce que H.E.S.S. vient d'apporter de nouveau, c'est la mesure précise de son intensité et de sa répartition énergétique. Celle-ci montre que les rayons cosmiques sont bien plus nombreux et plus énergétiques au centre de la Voie Lactée qu'au voisinage de la Terre. Deux hypothèses sont avancées pour expliquer ce phénomène : une accélération massive de rayons cosmiques qui s'est produite il y a quelques milliers d'années et qui aurait pour origine soit un sursaut d'activité du trou noir supermassif situé au centre de la Voie Lactée, soit l'explosion d'une supernova proche de celui-ci. Ces résultats font l'objet d'une publication dans la revue Nature à paraître le 9 février.



Miroirs du télescope

## II.

Pour détecter les rayons cosmiques nous pouvons aller à l'observatoire Pierre Auger. Son but est d'étudier les rayons cosmiques de très haute énergie, dont la compréhension échappe encore largement à la science actuelle.

Cet observatoire comporte 2 sites, un au nord et un au sud, car nous ne pouvons pas voir la totalité du ciel dans un seul hémisphère.

L'hémisphère sud se situe en Argentine dans la ville de Malargüe.

La construction du site sud a commencé dans la seconde moitié de 1999 et a duré 4 à 5 ans. La construction du site nord a débuté en 2003. Il y a 17 pays et 350 scientifiques.

On a lui attribué le nom de Pierre Auger en hommage car il a été le premier en 1938 à prédire l'existence des grandes gerbes atmosphériques.

L'observatoire Pierre Auger contient 1600 détecteurs de surface espacés sur une surface de 3 000 km<sup>2</sup> disposés sur un intervalle de 1,5 km les uns des autres, car les rayons cosmiques arrivent en petite quantité et ainsi pour avoir le plus de chance d'en trouver les scientifiques utilisent une grande surface

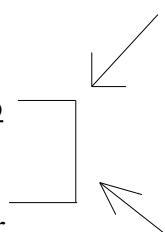
Ces détecteurs se composent de trois photomultiplicateurs, à l'intérieur d'un ballon gonflable rempli d'eau.

Les photomultiplicateurs sont alimentés par deux panneaux solaires de 50 W et deux batteries de 12V et sont équipés d'un GPS pour localiser le lieu de l'information et d'une radio pour envoyer les données au centre de calcul.

Les détecteurs ne détectent que les rayons secondaires, grâce à ses informations et par des calculs peuvent trouver les rayons primaires.



Les **photomultiplicateurs** qui composent les détecteurs servent à détecter les muons. Lors de la réception de muons, les photomultiplicateurs transforment la lumière en électricité et l'amplifient.



L'**effet Tcherenkov** est un phénomène qui produit un flash de lumière lorsqu'une particule chargée traverse un milieu à une vitesse plus grande que celle de la lumière dans ce milieu.

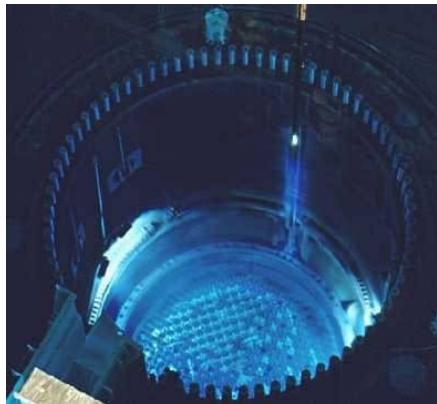
### Photomultiplicateur



### Détecteur de surface



### Effet Tcherenkov



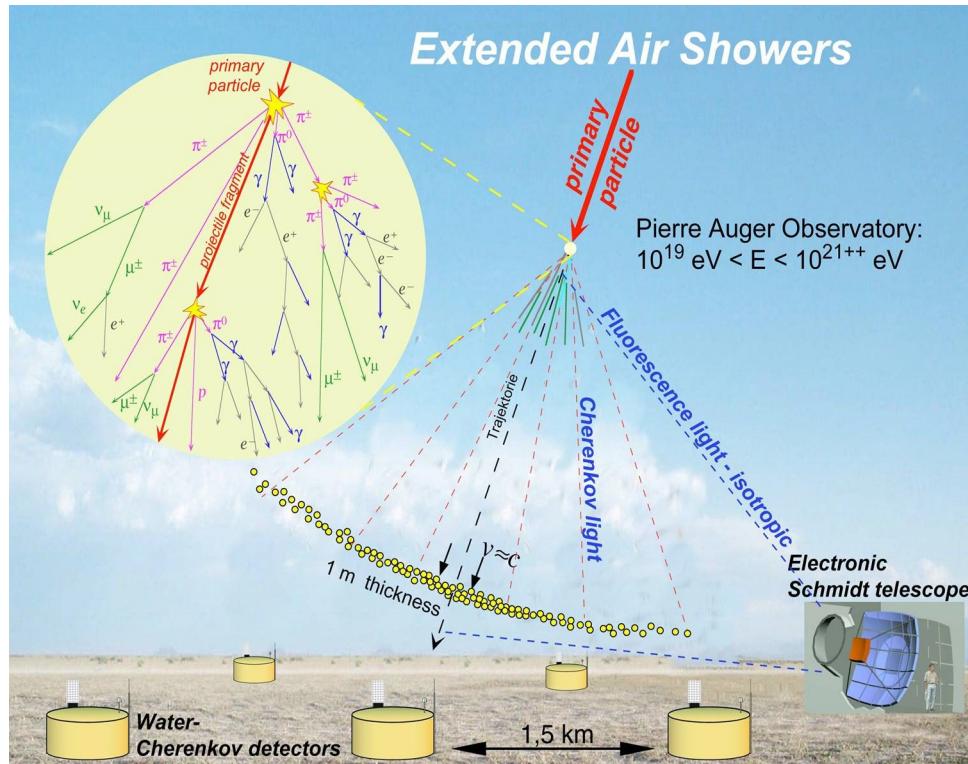
On voit une cuve d'eau avec de la lumière bleu qui est l'effet Tcherenkov .

### Détecteur de surface et télescope à fluorescence



En arrière plan on voit le télescope à fluorescence et en avant plan on voit le détecteur de surface .

# Observatoire Pierre Auger.



Une particule d'un rayon cosmique très énergétique produit une gerbe de particules secondaires en cascade. Ce processus est représenté sur le schéma ci-dessus. On voit au sol les détecteurs Tcherenkov et les télescope observant les rayons ultraviolets émis par fluorescence.

En plus des détecteurs de surface l'observatoire Pierre Auger contient 24 télescopes à fluorescence qui sont disposés à sa périphérie . Lors des nuits claires et sans lune les télescopes à fluorescence observent directement dans le ciel . Ils utilisent l'effet Tcherenkov et observent dans l'ultraviolet. Ce télescope observe le profil longitudinal de la gerbe en captant la **lumière de fluorescence émise par le passage des particules chargées dans l'atmosphère** .

# ***LES RAYONS COSMIQUES ET LA SANTE.***



## **Conséquences des rayons cosmiques sur l'organisme.**

Les rayons cosmiques contiennent des particules ionisantes\*.

Les cellules des êtres vivants, étant elles-mêmes formées de molécules, sont donc affectées par ces rayonnements. Heureusement, nos cellules possèdent plusieurs gènes de surveillance et de réparation de l'ADN, et des cellules touchées, qui sont efficaces à condition que la dose reçue ne soit pas trop importante.

La dose moyenne reçue dû aux rayonnements cosmiques est de 0,4 mSv/an (Sievert\*). Cette dose devient dangereuse a partir de 500 mSv/an . Si la dose est trop forte, la cellule restera mutée, ou même sera amenée à mourir. En fait tout va dépendre :  
- du type de rayonnement reçu  
- de l'énergie de ces rayonnement  
- de la durée de l'exposition et du type de cellules touchées. (Les organes reproducteurs sont 20 fois plus sensibles que la peau ).

## **Les Unités**

GRAY (GY)): correspond à la quantité d'énergie (joule) ionisante absorbée par kilogramme de matière.  
1GY=1J/KG.

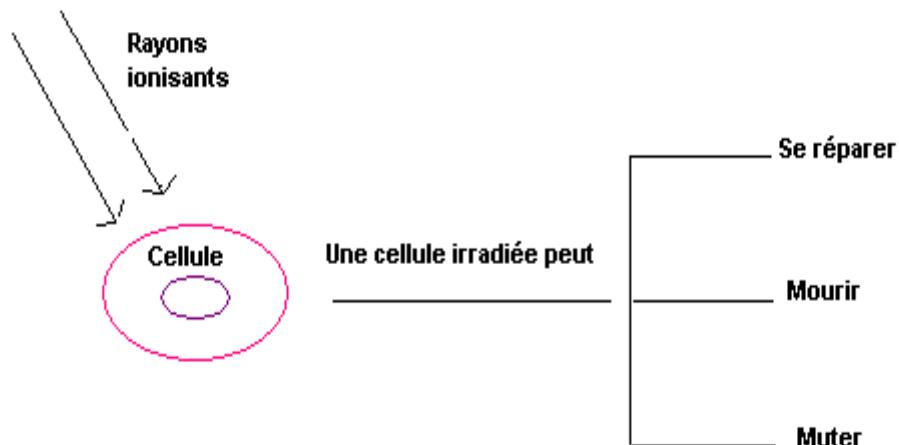


Le SIEVERT (SV) donne l'effet biologique de la dose reçue, qui est différent selon le tissus qu'il touche: il sera plus ou moins fort en fonction de l'organe irradié et du type de particule.

On multiplie le Gray a un coefficient selon le tissus, ce qui donne le Sievert (par exemple un coefficient de 0,5 pour le foie).

# Effets sur l'organisme

Les cellules qui vont poser problème sont celles qui sont mortes, et celles qui ont muté.



**cas des cellules mortes:** Si elles sont peu nombreuses, le fonctionnement de l'organe irradié\* ne sera pas affecté, et les cellules mortes seront petit-à-petit évacuées et remplacées par l'organisme. Si elles sont plus nombreuses, l'organisme irradié va souffrir de symptômes persistants : brûlure, perte de cheveux, cataracte, troubles digestifs, affaiblissement des défenses immunitaires...

Si elles sont encore plus nombreuses, l'organe irradié peut être biologiquement détruit, ou cesser de fonctionner, entraînant éventuellement la mort de l'organisme tout entier.

Ces effets sont à relativement court terme.

**cas des cellules mutées:** Si elles sont éliminées par le système immunitaire, l'organe irradié ne sera pas affecté. Si elles ne sont pas éliminées, il peut se développer une tumeur cancéreuse (principalement : de la thyroïde, des os, du sang, du poumon, du sein). Dans le cas de cellules reproductrices, des anomalies génétiques peuvent être transmises à la descendance, avec risques de malformations, de troubles mentaux et de retards de croissance (effets avérés chez l'animal, en question chez l'homme).

Ces effets sont à relativement long terme.

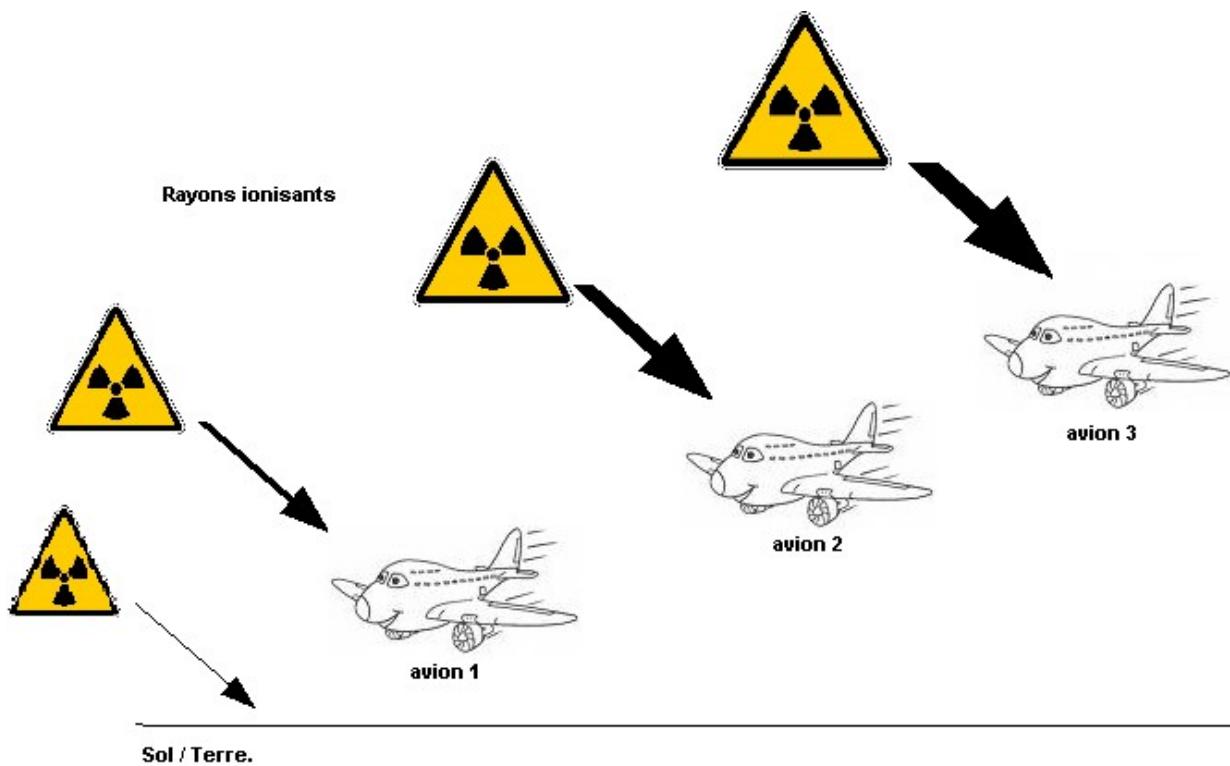


# La dose reçue est-elle la même si on est sur Terre ou dans un avion ?

Au fur et à mesure que l'altitude augmente, la couche protectrice de l'atmosphère diminue en épaisseur et en densité.

Dans la plupart des avions de ligne, qui volent à 10 000 ou 12 000 mètres, le rayonnement cosmique est 100 à 300 fois plus élevé qu'au sol. Le Concorde, qui volait à 18 000 mètres, recevait un rayonnement 2 fois plus intense que les avions subsoniques\*, mais comme la durée du trajet est plus courte la durée d'exposition au rayonnement est moins importante. La dose reçue lors d'un vol du Concorde est quasi identique à celle reçue lors d'un vol subsonique pour une route donnée.

Par exemple, le risque de survenue d'un cancer fatal serait approximativement de 1 % après 30 ans de vol, à un rythme de 1 000 heures par année. Étant donné que la plupart des gens font beaucoup moins d'heures de vol, le risque de cancer fatal est également bien moindre. Comme le risque de cancer fatal est de 25 % pour tous, le rayonnement cosmique ne représente qu'un faible excédent par rapport au risque initial de cancer dû à toutes les causes.



Plus la flèche est épaisse, plus la dose reçue est importante.

# ***LA DECOUVERTE DE NOUVELLES PARTICULES GRACE AUX RAYONS COSMIQUES.***

Dès le début des années 1930, les rayons cosmiques passèrent du rang de curiosité scientifique à celui d'outil indispensable au développement de la physique des particules.

Pour comprendre les secrets intimes de la matière il fallait percuter les noyaux atomiques avec des projectiles très énergétiques.

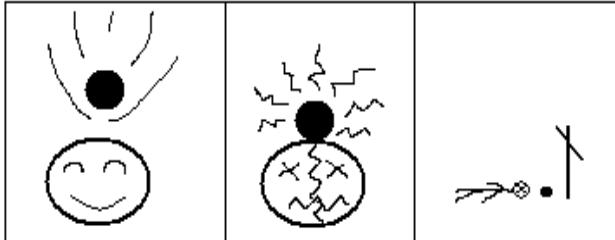
Il y avait bien une solution : construire des machines propres à accélérer les particules, comme le **cyclotron** conçu en 1929 et réalisé trois ans plus tard par le physicien américain **Ernest Lawrence**.

Mais jusqu'au début des années 1950, ces accélérateurs ne furent pas en mesure de fournir aux particules les énergies propres à satisfaire les exigences des physiciens.

Avec les rayons cosmiques, pas de problème d'énergie !

En mesurant la densité des gerbes de particules détectées avec son réseau du **Jungfraujoch**, **Auger** avait pu remonter à l'énergie des particules primaires et avait déjà identifié des spécimens dont l'énergie dépassait le **PeV\*** (petaélectronvolt), alors que les plus grands accélérateurs peinent encore aujourd'hui à dépasser le **TeV\*** (teraélectronvolt).

<b>1 électron volt = <math>1,60217646 \times 10^{-19}</math> joules</b>	
<b>1 keV = <math>10^3</math> eV</b>	<b>kilos Électron-volt</b>
<b>1 MeV = <math>10^6</math> eV</b>	<b>Méga Électron-volt</b>
<b>1 GeV = <math>10^9</math> eV</b>	<b>Giga Électron-volt</b>
<b>1 TeV = <math>10^{12}</math> eV</b>	<b>Tera Électron-volt</b>
<b>1 EeV = <math>10^{18}</math> eV</b>	<b>Exa Électron-volt</b>



En fait, les rayons cosmiques les plus énergétiques emportent plus de **100 EeV\*** (Exaélectrons), soit l'énergie qu'acquiert une boule de pétanque tombant d'une hauteur de 20 m.

## Quelles ont été les nouvelles particules?

En étudiant les contenus des rayons cosmiques les scientifiques découvrirent que la matière était bien plus riche et diverse que le trio «électrons-protons-neutron» ne le laissait présager.

Apparut tout d'abord le *positron*, la première particule d'antimatière jamais observer et dont l'existence fut enfaite prédicta théoriquement avant sa découverte expérimentale puis vinrent le *muons*, un «cousin» très lourd de l'électron et deux particules d'un genre nouveau le *pion* et le *kaon* :

**-Le positron** ( électrons positif ) a une charge positive. Découvert en 1932 par *Carl Anderson*

**-Le muon** a une masse 200 fois plus importante que celle de l'électron:

**-Les pions** sont les mésons les plus léger il jouent un rôle important dans l'explication des propriétés à basse énergie de la force nucléaire forte. Notamment, la cohésion du noyau atomique est assuré par l'échange de pions entre les nucléons ( protons et neutron ).

**-Kaon** a une masse 964 fois supérieure a celle de l'électron. Il est composé de deux quarks «up» et «strange»



Aurores boréales vu au Groenland



*Aurores boréales vu au Quebec*

# ***ETUDE EXPERIMENTALE : LA ROUE COSMIQUE.***

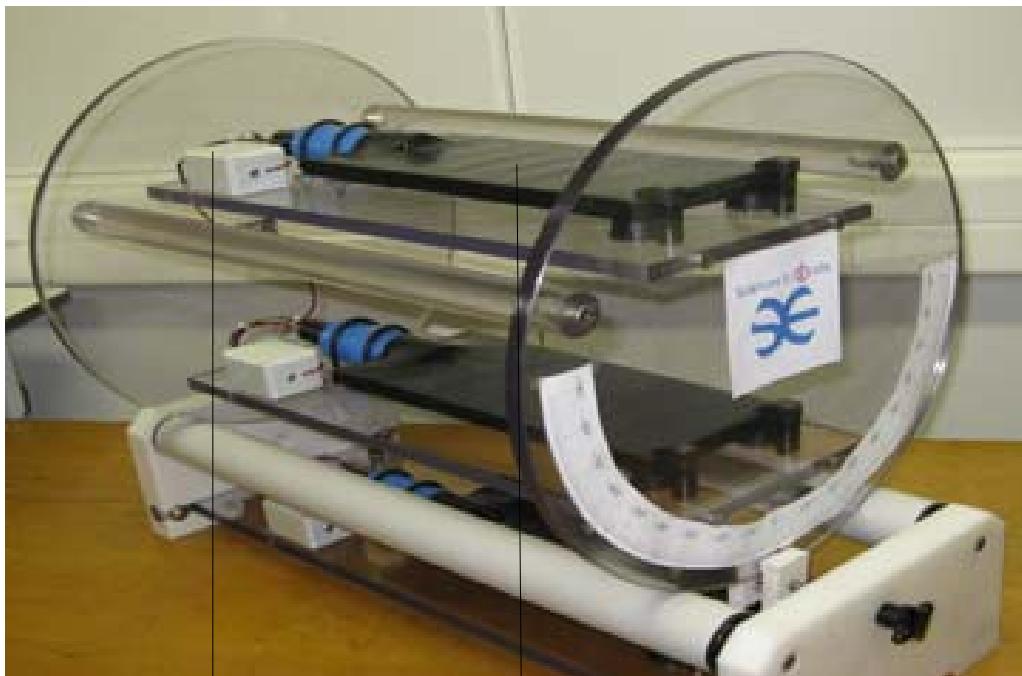
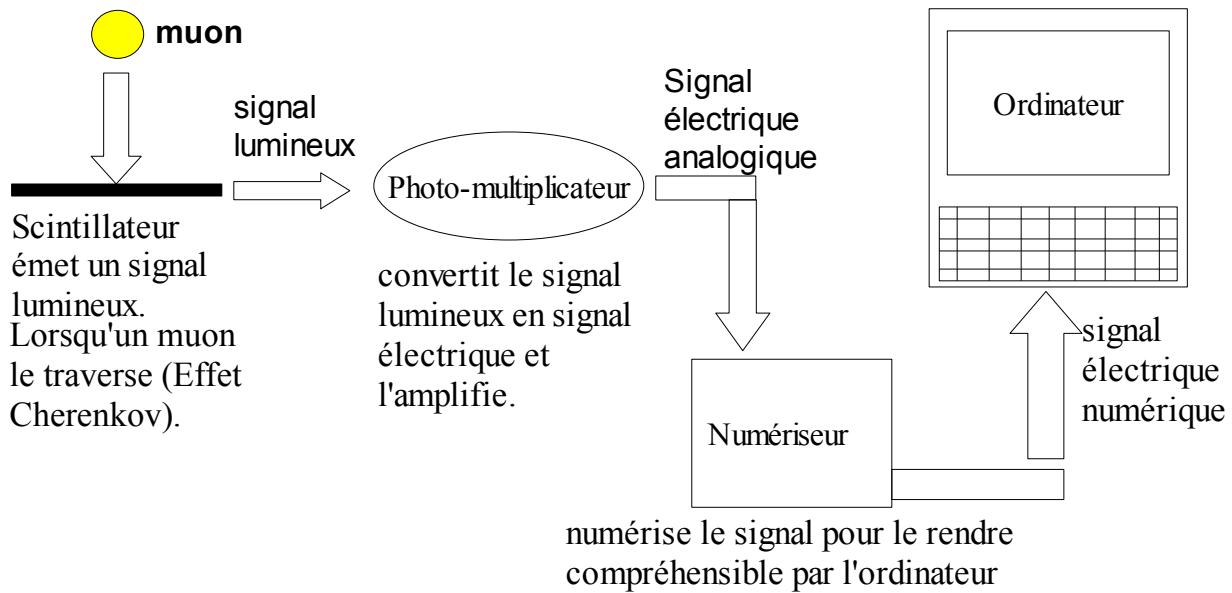


photo-multiplicateur

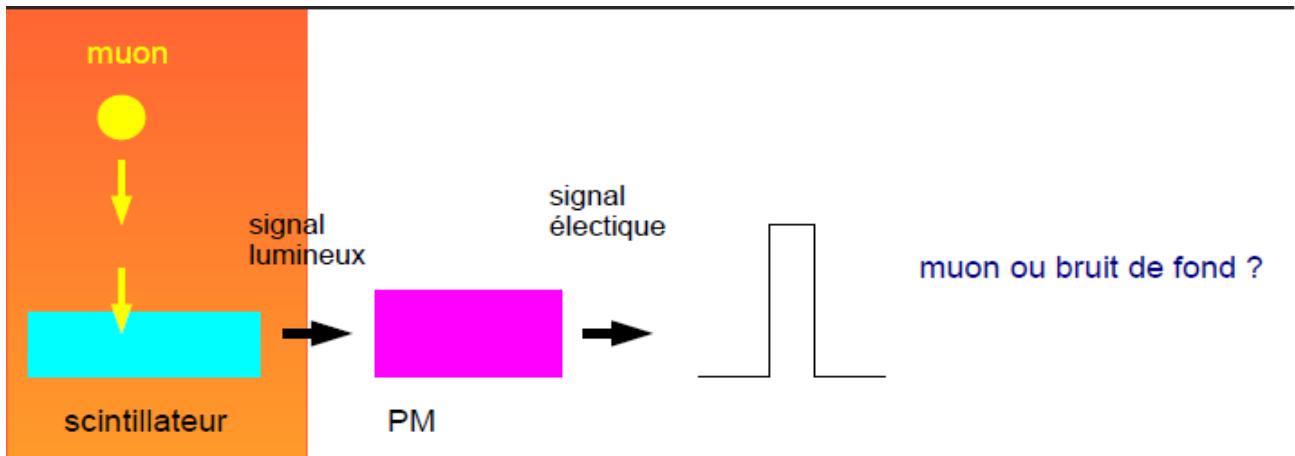
scintillateur

compte les « coups » grâce à un logiciel de comptage.

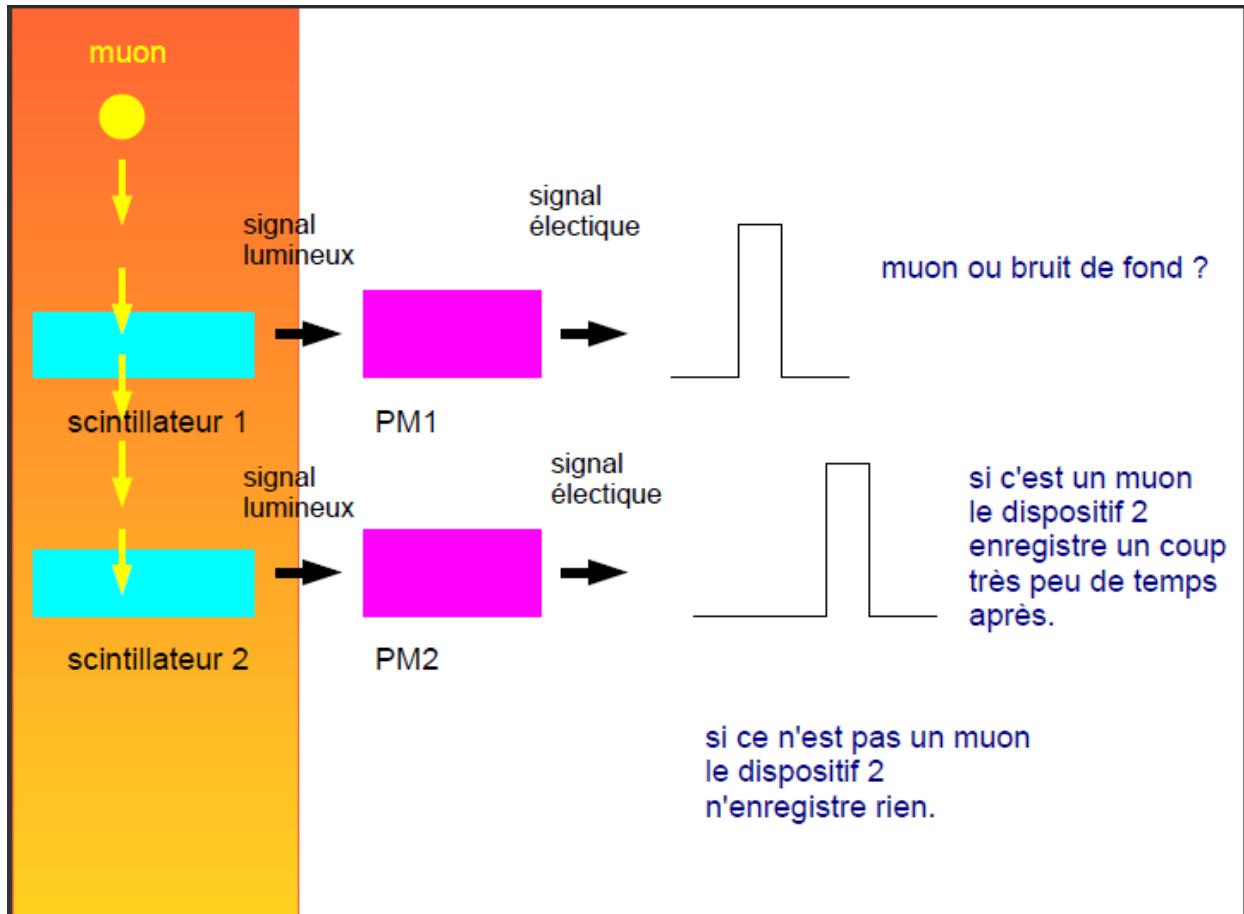
## **Fonctionnement:**



## Pourquoi utilisons-nous deux voies pour compter les muons?



Avec une voie, le signal électrique envoyé à l'ordinateur ne lui transmet pas que le nombre de muons mais aussi le bruit de fond. Le bruit de fond est dû à l'agitation thermique : plus la température est élevée, plus l'agitation est importante, il y aura donc plus de bruit de fond. Mais nous pouvons remédier à ce problème en faisant coïncider les deux voies (2 capteurs). Les muons passent par deux scintillateurs en quelques nanosecondes. Les deux scintillateurs détectent du bruit de fond mais l'ordinateur n'enregistrera que si les signaux coïncident donc si seul des muons sont enregistrés, si seul du bruit de fond est détecté, les signaux émis ne coïncideront pas.



### Exemple de manipulation :

Nous avons fait le test de compter les muons avec la voie 1 seulement, puis avec les voies 1 et 2 en coïncidence.

Les résultats sont :

Avec une voie : 8104 muons détectés

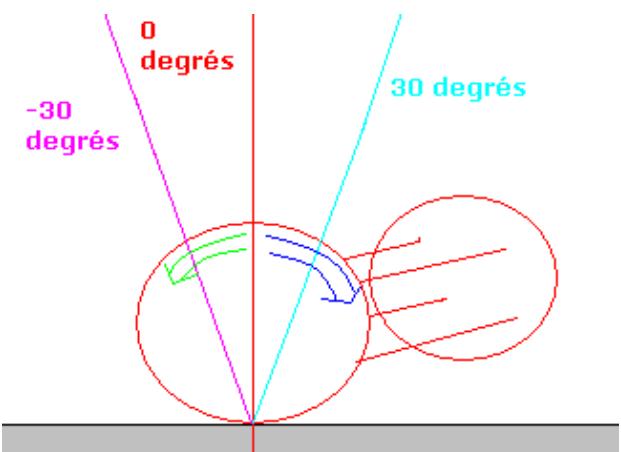
Avec deux voies : 430 muons détectés

Donc nous avons un bruit de fond d'environ 8000 coups ce qui est énorme! L'utilité d'utiliser deux voies en coïncidence est indéniable pour obtenir des résultats correctes.

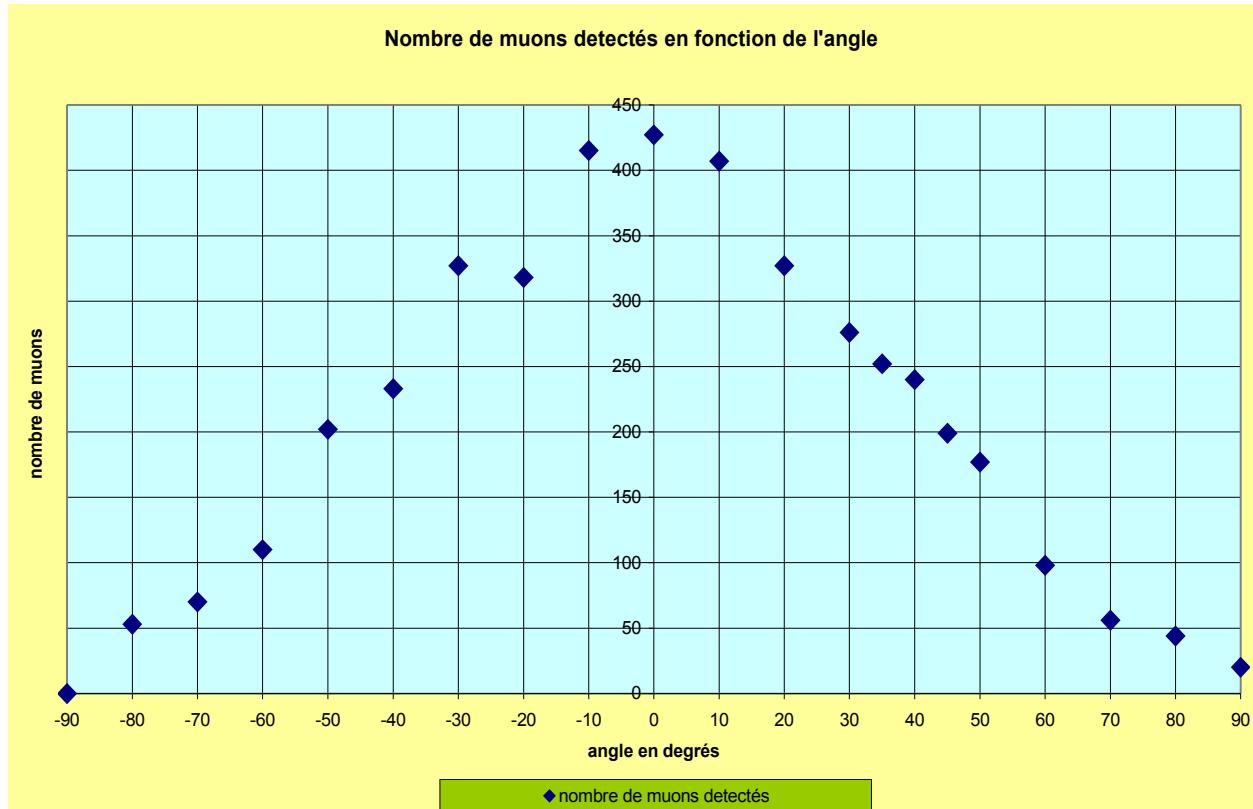
Nous avons mesuré les muons venant du cosmos pendant 5 minutes à l'aide de la roue cosmique inclinable des deux cotés.

Nous obtenons des résultats symétriques pour un angle avec son opposé (ex: nb de muons à  $60^\circ$  = nb de muons à  $-60^\circ$ ).

Nous obtenons donc le graphique ci-dessous.



## Nombre de muons détectés en fonction de l'angle.



Nous constatons que le nombre de muons en fonction de l'angle est symétrique par rapport à l'axe des ordonnées. Il nous faut donc trouver une relation entre l'angle et le nombre de muons détectés.

La relation suivante est testée:

$\text{nb de muon} = \text{nb de muon max}(\text{à } 0^\circ = 450\text{muons}) \times \cos^2(\text{angle})$  donne une symétrie par rapport à l'axe des ordonnées. Nous l'avons représentée sur le graphique suivant:

Nous observons que la courbe verte coïncide avec les points bleus donc nous pouvons conclure que l'équation est vérifiée.

# ***LEXIQUE.***

Cyclotron: Un type d'accélérateur circulaire inventé par Ernest Orlando Lawrence en 1931.

Distance focale: La distance focale est la caractéristique de base d'un objectif : elle détermine le champ qu'il couvrira associé à un capteur donné.

Elle s'exprime en millimètres : c'est la distance qui sépare le centre optique de l'objectif de l'image d'un sujet situé à l'infini.

Électron: Une particule élémentaire de la famille des leptons et possédant une charge électrique de signe négatif. Il est un des composants de l'atome.

Électroscop e: Un électromètre ( aussi appelé électroscop e ) qui est un appareil de mesure scientifique permettant la mesure ou la mise en évidence de la charge électrique.

Électron-volt: L'électron-volt (eV) est l'unité d'énergie utilisée en physique des particules : c'est l'énergie acquise par un électron soumis à un potentiel électrique de 1V.

Ainsi, on a  $1\text{eV}=1,6 \cdot 10^{-19}\text{Joule}$ , c'est donc une unité très faible. Les multiples sont le keV= $10^3$  eV, le MeV= $10^6$  eV, le GeV= $10^9$  eV...

Gerbes atmosphériques: Gerbe engendrée dans la traversée de l'atmosphère par une particule de grande énergie provenant du rayonnement cosmique primaire qui va progressivement se diviser en plusieurs rayons.

L'effet Chérenkov: Les rayons cosmiques en arrivant dans l'atmosphère produisent une cascade de particules très énergétiques : l'effet Chérenkov qui ne marche que lorsque la particule est plus rapide que la vitesse de la lumière dans ce milieu ( ex : eau, air... ).

Muon: Il a une masse 207 fois plus grande que celle de l'électron. Sa charge électrique est négative et elle est de  $-1,6 \cdot 10^{-19}$  Coulombs. Il appartient à la même famille, les leptons qui sont des fermions comme les électrons.

Neutrino: Une particule élémentaire dont la masse est très faible.

Noyaux actif: Les Noyaux Actifs de Galaxie, en anglais AGN (Active Galactic Nucleus), sont des noyaux de galaxies particulièrement lumineux et qui doivent donc être le siège de processus de productions d'énergies sous forme de rayonnement à différentes longueurs d'ondes particulièrement importants.

Pion: Un méson qui est un hadron composé d'un quark et d'un anti-quark.

Rayonnements ionisants: Ces rayonnements ont une forte énergie et sont capables d'arracher des électrons aux atomes; c'est pourquoi on les appelle "rayonnements ionisants"

On distingue différents types de rayonnements ionisants :

Particules (neutrons, protons, rayons alpha, rayons bêta)

Ondes électromagnétiques (rayons g, rayons X, photons)

Photon: Un photon est un boson. C'est une particule élémentaire médiateuse de l'interaction électromagnétique.

Photo multiplicateur: Il sert à détecter des particules ( muons, photons...), lorsqu'il reçoit une particule cela produit un rayon lumineux qui va être numériser afin d'être calculer par l'ordinateur .

Positron: Une antiparticule associée à l'électron; c'est aussi un lepton. Il a une charge électrique positive et possède la même masse que l'électron.

Proton: C'est un nucléon, il forme le noyau de l'atome avec les neutrons. Il peut être lié avec ces neutrons pour l'interaction forte.

Pulsar: Étoile à neutron ( étoile en fin d'évolution, très dense et de très faible diamètre) en rotation rapide sur elle-même, et émettant des impulsions radio avec une période remarquablement constante comprise entre 1 milliseconde et quelques secondes. Les pulsars sont l'objet d'études et d'observations utiles à la détermination des échelles de temps.

Rayon gamma: Le rayonnement gamma est constitué de photons, comme la lumière visible ou le rayonnement X, mais il est beaucoup plus énergétique. La lumière visible a une énergie de l'ordre de un électron-volt (1 eV), une unité utilisée par les physiciens. Les rayons X ont une énergie de mille à un million d'eV.

Supernova: L'explosion cataclysmique d'une étoile qui peut pendant un temps briller plus vivement qu'une galaxie entière de milliards d'étoiles. Ceci arrive quand une étoile super géante épouse tout son combustible nucléaire, provoquant ainsi l'effondrement du cœur et le relâchement d'une grande quantité d'énergie qui éjecte les couches externes de l'étoile, pour ne laisser qu'une étoile à neutrons ou dans les cas extrêmes un trou noir.

Fluorescence: La fluorescence est une émission lumineuse provoquée par diverses formes d'excitation autres que la chaleur (on parle parfois de « lumière froide »). Elle peut entre autres servir à caractériser un matériau.

Trou noir: Le champ gravitationnel du trou noir est si intense qu'aucun corps ou rayonnements qui pénètrent dans celui-ci ne peut plus en sortir (en raison de la force gravitationnelle très importante de cet astre). Un trou noir possède toujours une masse non nulle. De plus il peut **déformer le tissu espace-temps**, selon la théorie de la *relativité générale d'Einstein*. Ainsi, au voisinage de l'horizon le temps *s'écoule différemment* pour un observateur situé à cet endroit par rapport à un autre observateur situé loin du trou noir. **Le temps s'écoule donc plus vite pour un observateur qui se trouve à proximité d'un trou noir que pour un autre plus loin.**

Vents solaire: Les vents solaires (ou jets de plasma) sont composés d'un ensemble de particules énergétiques, électrons et d'ions qui se déplacent à une vitesse comprise entre 300 et 1000 Km par seconde.