

Mesure du rendement de fluorescence de l'azote atmosphérique

Delphine Monnier Ragaigne¹ Camille Moretto¹
Francois Wicek¹ Sylvie Dagoret Campagne¹ Hiroko Myiamoto¹
Philippe Gorodetzky² Carl Blaksley² l'équipe de PHIL¹

¹LAL - Université Paris sud, Orsay, France

²APC, Paris, France

Journee PHIL, 30 Janvier 2013

Plan

Les rayons cosmiques au LAL

Rendement de fluorescence

Résultats actuels

Projet Fluo-PHIL

Bilan

Les rayons cosmiques au LAL

2 (3) principales expériences

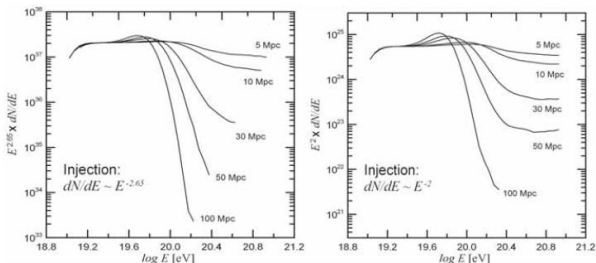
- L'Observatoire Pierre Auger
- Le futur telescope JEM EUSO (EUSO Ballon)

Les premiers résultats de l'Observatoire P. Auger ont mis en avant (entre autre) une diminution du flux au delà de GZK (quelques 10^{20} eV) ainsi qu'un possible alourdissement de la composition des rayons cosmiques.

Ces résultats soulignent l'importance de pouvoir extraire l'énergie des rayons cosmiques avec la plus grande précision possible notamment pour la recherche de sources.

Une mesure de l'énergie plus précise : pourquoi ?

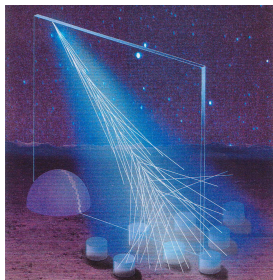
- Meilleure estimation du X_{max} (maximum de développement de la gerbe) = étude sur la composition
- Etude de la coupure GZK : la forme du "bump" et de la coupure renseigne sur la distance des sources comme le montrent les figures ci dessous



La mesure de l'énergie dans l'étude des rayons cosmiques

2 types de mesures actuellement utilisés

- mesure de l'énergie basée sur **le réseau de détecteurs de particules secondaires**
- mesure de l'énergie basée sur **les télescopes de fluorescence** qui détectent les photons issus de l'interaction entre les électrons de la gerbe atmosphérique et l'azote de l'atmosphère



La méthode de fluorescence.

La mesure de la lumière de fluorescence produite par l'azote de l'air au passage de la gerbe est la méthode la plus précise pour estimer l'énergie des rayons cosmiques, cette technique est (sera) utilisée par l'observatoire Pierre Auger et le futur télescope JEM-EUSO .

Pour connaître l'énergie de la gerbe, on somme des photons reçus par chaque pixel du télescope (N_{pe}) corrigé du rendement de fluorescence (Y) ainsi que des effets atmosphériques, géométriques et du détecteur.

$$E = \sum_{i=1}^{N_{pixel}} \frac{N_{pe}}{Y} f(\text{geom}, \text{atm}, \text{tel})$$

Le rendement de fluorescence est défini comme le nombre de photons de fluorescence émis par unité d'énergie déposée dans l'atmosphère par la gerbe issue du rayon cosmique primaire .

Précision sur la mesure de l'énergie

P. Auger : Précision de 22%

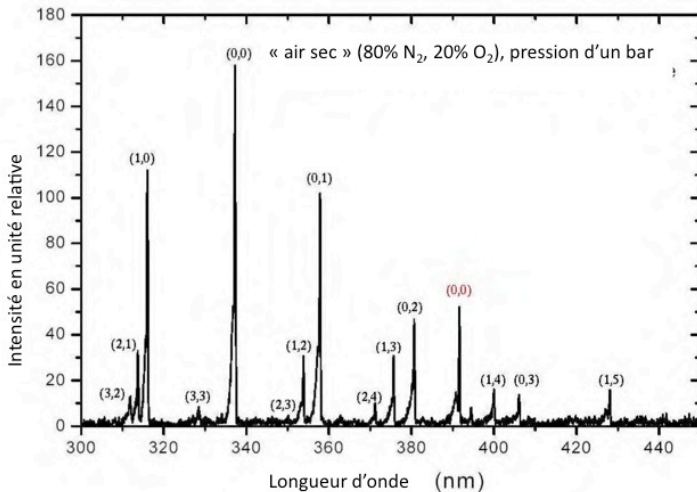
- Rendement de fluorescence connu avec une précision de 14%
- Reconstruction de la gerbe : 10%
- Calibration du telescope 9.5%
- Effets atmosphériques 6 à 8%
- Energie "invisible" 4%

Pour JEM-EUSO : valeur estimée à 20%

Pour des gerbes d'énergie $10^{19.5}$ eV avec un angle zenithal de plus de 45° , mais répartition différente.

Passer de 15% à 5% sur la précision du rendement de fluorescence améliore de 22% à 17% la précision sur l'énergie de l'observatoire P. Auger

Rendement de fluorescence : spectre de raies



Rendement de fluorescence : points importants

1. Les photons de fluorescence sont produits dans le proche UV (300 - 430 nm) par de-excitation des molécules d'azote atmosphérique elles même excitées par les électrons de la gerbe.
2. Les molécules excitées peuvent aussi se de-exciter par collisions avec les autres molécules (collisional quenching). Cet effet croît donc avec la pression. La température et la composition (humidité) interviennent aussi.
3. Les électrons secondaires issus des processus d'ionisation sont les principaux acteurs de la lumière de fluorescence, la section efficace d'excitation étant fortement décroissante avec l'énergie de l'électron.
4. On définit le volume fiduciel comme étant la zone à l'intérieur de laquelle l'ensemble de la lumière de fluorescence est produite.

Mesures existantes du rendement total en fonction de l'énergie de l'électron primaire (résultats à 1013 hPa)

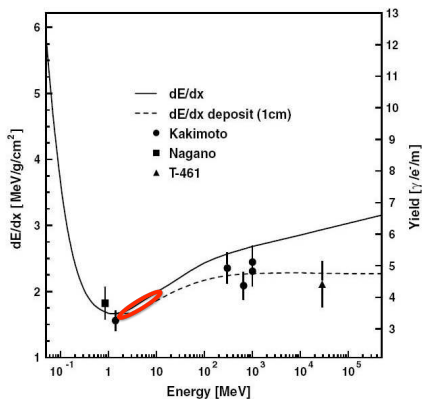


FIGURE: Résultats avec une précision de 15%, l'ellipse rouge correspond à la zone de résultats couverte par les mesures, la courbe en pointillés est un effet du volume d'observation trop petit (1 cm).

Bilan des mesures existantes

Experiance	source	energie (MeV)	$\Delta\lambda$ (nm)	P (hPa)	T(K)	Erreur
Nagano	^{90}Sr	0.85	337	1013	293	13%
Kakimoto	^{90}Sr	1.4	337	800	288	10%
Kakimoto	^{90}Sr	1.4	300-400	1013	288	10%
FLASH	elec	28.5GeV	300-420	1013	304	7.5%
MACFLY	elec	20 et 50 GeV	290-440	1013	296	13%
Lefeuvre	^{90}Sr	1.1	300-430	1005	296	5%

La grande majorité des mesures a été calibrée par la lumière cerenkov qui n'est pas assez précise.

Pas de mesures tenant compte des variations atmosphériques, peu de spectres complets et précis, et variations sur les valeurs trouvées !

Bilan des mesures

Les mesures utilisées aujourd'hui sont encore incomplètes et reposent sur la simulation pour reproduire les effets atmosphériques. Ce qui manque actuellement dans ce domaine :

- des mesures précises du rendement de fluorescence du spectre complet
- la validation des modèles reproduisant les effets atmosphériques par des mesures de chaque raie
- des mesures de la totalité du signal de fluorescence émis, c'est à dire tenant compte du volume fiduciel

Ce que nous voulons faire sur PHIL

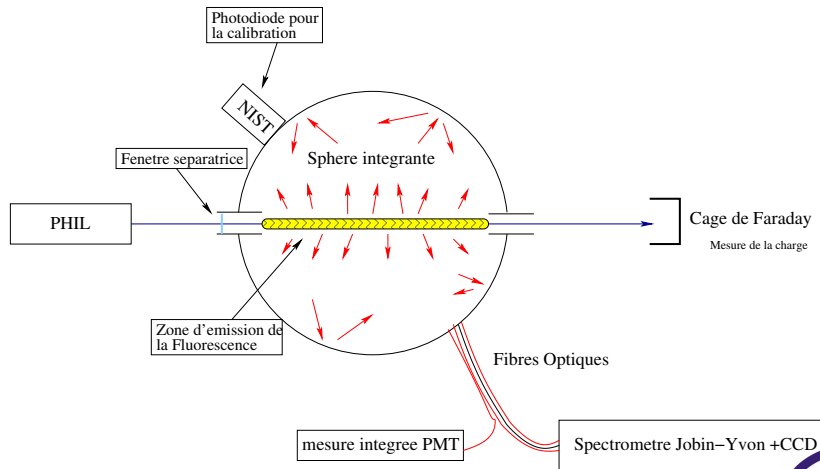
Mesure du **spectre complet** en variant :

- La pression (1 à moins de 0.1 atm) correspondant à une altitude de 0 à 40 km
- La température (+50 à -70°C)
- la composition (humidité, méthane...)

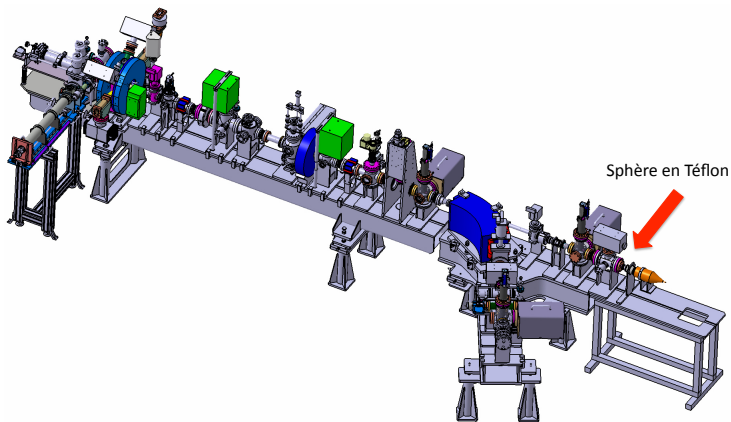
matériel

- faisceau d'électrons avec une énergie autour de 3-5 MeV (extensible à 1 -10 MeV)
- Sphère intégrante (position du détecteur indépendante de la zone de production de la lumière) reproduisant les conditions atmosphériques (cryostat) et assez grande pour contenir le volume fiduciel
- Spectromètre, détecteur CCD, PMT calibrés à quelques %

Principe de la mesure



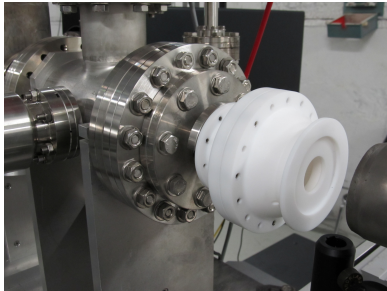
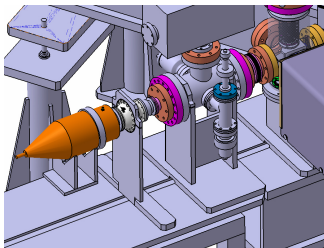
PHIL



PHIL

Sphère en téflon de 6 cm de diamètre interne

Fenêtre d'entrée en aluminium de 16mm de diamètre et de 18 μm d'épaisseur



Déroulement de l'expérience

Première étape (en cours)

- Calibration des détecteurs (PMT et CCD) en utilisant deux photodiodes calibrées à 1.5% (NIST). Les PMT sont calibrés, une boîte noire est en construction pour calibrer le système sphère + fibre + spectro + CCD
- Mesure avec une sphère intégrante de 6 cm de diamètre à pression atmosphérique pour valider l'ensemble du dispositif. Les premières mesures ont été faites fin 2012

Déroulement de l'expérience

Deuxième étape

- Fabrication d'une sphère isolée (lumière, température, pression)
- adaptation du faisceau ou de la sphère pour observer l'ensemble du volume fiduciel. **Meilleure focalisation déplacement sur la ligne, changement de fenêtre d'entrée, augmentation de la taille de la sphère...**
- Mise en place d'un système de variation de la température, pression composition pour couvrir une gamme entre 1 atm (ou au delà) et 0.1 atm et 50° C à -70°C, étude de l'humidité.
- L'utilisation de 2 voir 3 sphères sera nécessaire pour couvrir la gamme en pression (volume fiduciel augmentant avec la pression).

Précisions sur la procédure

La calibration

- La calibration du PMT est basée sur la comparaison du signal pour une même source (LED) observée par le PMT et 2 NISTs
- La calibration du CCD se fait via un miroir dans le spectromètre par le même signal observé par le CCD et le PMT calibré

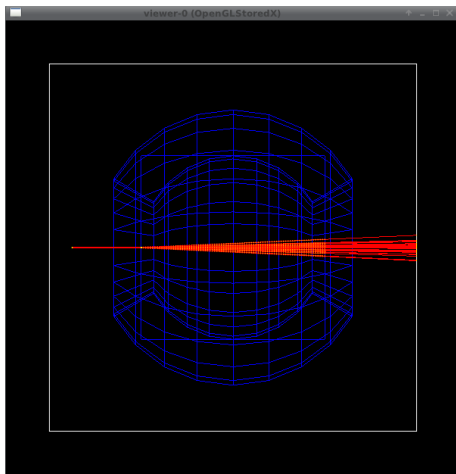
La mesure

- Le PMT mesure directement le spectre intégré, il aura les mêmes filtres que JEM-EUSO et l'observatoire Pierre Auger
- le CCD mesure l'ensemble du spectre
- un run (conditions atmosphériques définies) dure une ou deux journées

Où en sommes nous ?

La simulation : Geant4

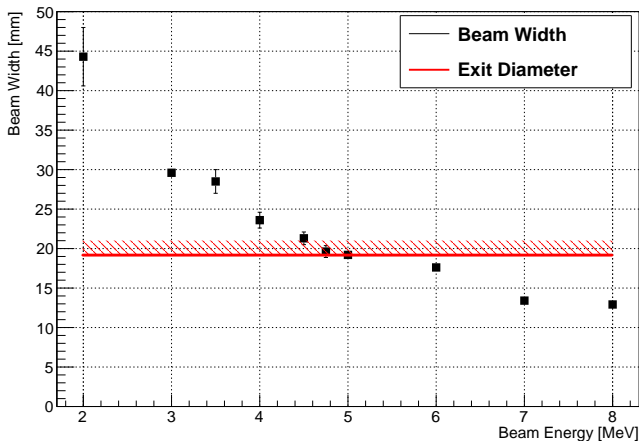
Travail de Carl Blacksley (APC) : taille du faisceau en fonction de l'énergie, épaisseur et nature de la fenêtre...



Où en sommes nous ?

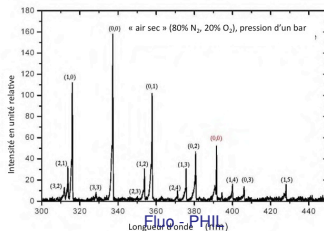
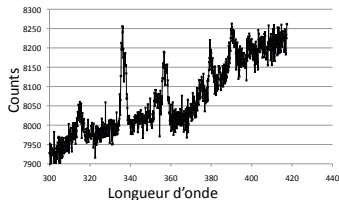
La simulation : Geant4

Taille critique du faisceau de sortie à ± 4 sigma



Où en sommes nous ?

fin 2012 : mise en place de l'expérience, test de la méthode, mesure sous conditions standards de pression/température, sphère en Teflon de 6 cm de diamètre Exemple d'une somme de 8 mesures de 5s chaque, charge 90pC énergie 3 MeV.



Pour 2013

- Installation d'une nouvelle version logiciel
- isolation de la sphère (autre taille ?)
- Optimisation du faisceau (taille, energie)
- Calibration du système complet (boite noire)
- mise en place des PMT (manque encore du matériel)
- Présentation des premières lumières de fluo at PHIL à l'ICRC en juillet

Collaboration

- LAL JEM-EUSO groupe : D. Monnier Ragaigue ,F. Wicek, C. Moretto (thèse EUSO Ballon), H. Myiamoto, S. Dagoret
- APC groupe : P. Gorodetzky, C. Blaksley (thèse JEM-EUSO)
- équipe de PHIL, équipe de la mécanique, équipe du vide

Principe de la calibration

