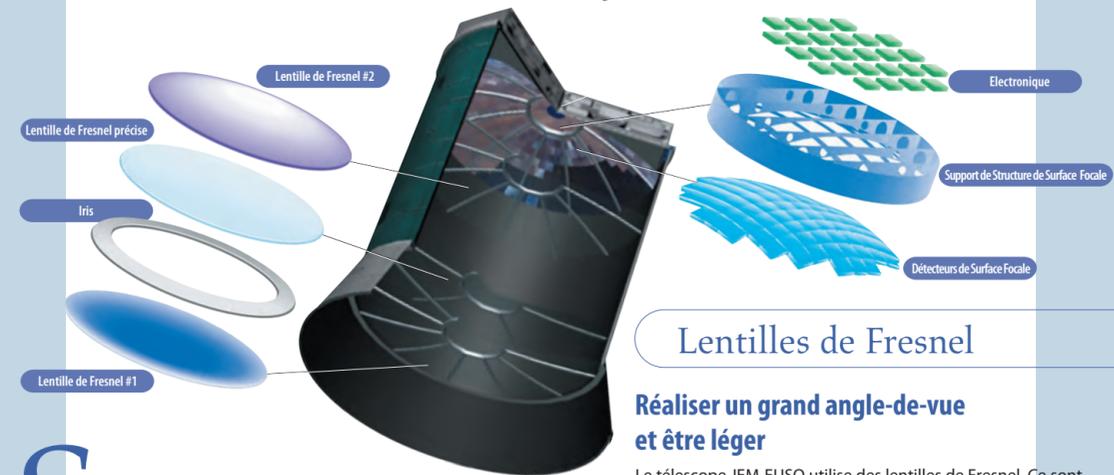


# Les Hautes Technologies au service de JEM-EUSO



## Lentilles de Fresnel

### Réaliser un grand angle-de-vue et être léger

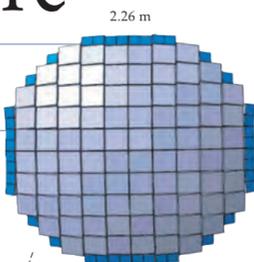
Le télescope JEM-EUSO utilise des lentilles de Fresnel. Ce sont des lentilles d'épaisseur constante gravées en sillons circulaires qui éliminent la masse élevée des lentilles standard, convexes ou concaves. Le problème de la masse à envoyer dans l'espace impose ce type de lentille. Contrairement à un miroir, elles rendent l'instrument peu sensible aux petits mouvements de l'ISS. JEM-EUSO utilise deux lentilles de Fresnel, double face et bombées, et une lentille plate à micro-réseau. Elles sont en plastique transparent aux UV. Cette conception donne la meilleure efficacité pour le plus grand champ de vue. Ces lentilles ont un diamètre de 2.5 m, composées d'un disque central de 1.5 m et d'un anneau circulaire divisé.

# Structure

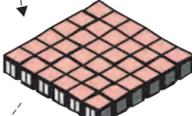
## Détecteurs de la Surface Focale

### 6,000 photomultiplicateurs

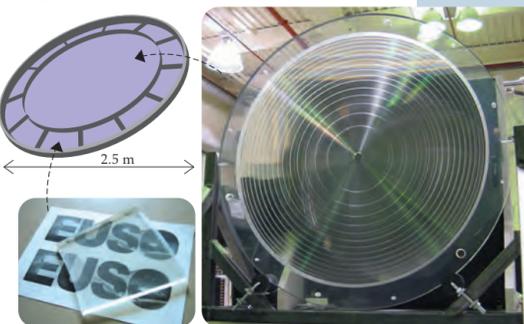
La surface focale est une calotte sphérique de 2.26 m de diamètre. 6000 tubes photomultiplicateurs (PMTs) multianodes de 1-inch<sup>2</sup> détectent la lumière émise dans le champ de vue. Les PMTs précédents avaient une surface photosensible limitée à 45%. JEM-EUSO et Hamamatsu Photonics ont développé conjointement des PMTs avec une surface effective de 85%.



▲ Surface Focale  
Consiste en 164 modules, le nombre total de PMTs étant de 5904.



▲ Chaque module comprend 6 x 6 PMTs, et chaque PMT a 36 anodes, pour un total de 212544 pixels indépendants.



▲ Une lentille centrale et des lentilles annulaires autorisent une taille de lentille plus grande que ce qui peut être fabriqué en une fois.



▲ Photomultiplicateurs  
La surface du PMT est de 26.2 mm<sup>2</sup>. Sa surface sensible effective est de 85%.

# Transport

## Le Véhicule de Transfert de la JAXA transporte JEM-EUSO vers l'ISS

Le HTV sera lancé par une fusée H-IIB (JAXA) et transportera JEM-EUSO à l'ISS. Le bras robotique de l'ISS déploiera JEM-EUSO sur le module JEM de "Kibo".



▲ Le Véhicule de Transfert (HTV) s'approchant de l'ISS ©JAXA

## Comparaison de JEM-EUSO avec les plus grands observatoires au sol

|   | AGASA                 | HiRes                          | Auger  | Telescope Array                                  | JEM-EUSO                        |
|---|-----------------------|--------------------------------|--|--|---------------------------------|
| Organisation                              | Université de Tokyo   | Université de l'Utah           | Consortium International                         | Université de Tokyo et Université de l'Utah      | Consortium international        |
| Lieu                                      | Yamanashi, Japon      | Utah, USA                      | Argentine  | Utah, USA  | Station Spatiale internationale |
| Type de Détecteurs                        | Réseau terrestre      | Fluorescence Télescope au sol  | Réseau terrestre + Télescope Fluorescence au sol | Réseau terrestre + Télescope Fluorescence au sol | Télescope Fluorescence Spatial  |
| Période d'opération                       | 1990~2004             | 1997~2006                      | 2005~  | 2007~  | Lancement attendu en 2013       |
| Ouverture effective (km <sup>2</sup> .sr) | 150                   | 500                            | ~7000  | 760  | 125000                          |
| Événements UHE (Nombre/an)                | 1 expérience terminée | moins de 1 expérience terminée | 50 (attendus)                                    | 10 (attendus)                                    | 350 - 1700 (attendus)           |

## Operation de la mission JEM-EUSO

|                                       |   |                                       |                      |
|---------------------------------------|---|---------------------------------------|----------------------|
| Altitude                              | environ 400 km  | Nombre de pixels de la Surface Focale | environ 0.2 millions |
| Latitudes et longitudes d'observation | N-51°- S-51° x toutes les longitudes  | Résolution au sol                     | environ 0.8 km       |
| Champ de Vue                          | 60°   | Cycle utile                           | 12~25%               |
| Ouverture (surface au sol)            | 0.2 million km <sup>2</sup>   | Durée de la Mission                   | 3 (+2) ans           |
| Diamètre du télescope                 | 2.5 m   | Masse totale                          | ~1.9 ton             |
| Système optique                       | Deux lentilles de Fresnel double-face et une lentille de Fresnel de haute-précision | Puissance utilisée                    | < 1 kW               |

## Partenaires Internationaux

|  |                            |   |
|--|----------------------------|---|
|  | <b>Japon</b>               | RIKEN Konan Univ. Fukui Tech. Univ. Aoyama Gakuin Univ. Saitama Univ. NIRS Univ. Tokyo Tohoku Univ. ICRR, Univ. Tokyo KEK Chiba Univ. NAOJ ISAS/JAXA Kanazawa Univ. Nagoya Univ. STE Lab., Nagoya Univ. Yukawa Inst., Kyoto Univ. Kyoto Univ. Kobe Univ. JAERI Kinki Univ. Hiroshima Univ. Hokkaido Univ. |
|  | <b>Etats-Unis</b>          | NASA/MSFC UAH LBL, UCB UCLA Univ. Vanderbilt Univ. d'Arizona  |
|  | <b>France</b>              | APC LAL Univ. Paris 7 & 11/CNRS/IN2P3/CEA/Obs.Paris   |
|  | <b>Allemagne</b>           | MPI Munich Univ. Tuebingen MPI Bonn Wuerzburg Univ. Erlangen  |
|  | <b>Italie</b>              | Univ. Florence Univ. Palerme Univ. Rome "Tor Vergata" Univ. Turin Univ. Naples CNR-INOA IAS-PA/INAF IFSI-TO/INAF INFN   |
|  | <b>Mexique</b>             | ICN-UNAM BUAP UMSNH   |
|  | <b>Republique de Corée</b> | Univ. Ehwa W. Univ. Ajou Univ. Yonsei Univ. Nationale Chonnam   |
|  | <b>Russie</b>              | SINP MSU Dubna JINR   |
|  | <b>Suisse</b>              | Observatoire de Neuchatel   |

## Collaboration JEM-EUSO

Computational Astrophysics Laboratory, RIKEN  
2-1 Hirosawa, Wako, Saitama 351-0198 Japan  
Tel : +81-48-467-9417 Fax : +81-48-467-4078  
E-mail : jem-euso-staff@riken.jp URL : http://jemeuso.riken.jp/



Une Nouvelle Astronomie utilisant l'Atmosphère Terrestre comme un Observatoire Gigantesque

Observatoire Spatial de l'Univers Extrême à bord du Module d'Expériences Japonais

# JEM-EUSO

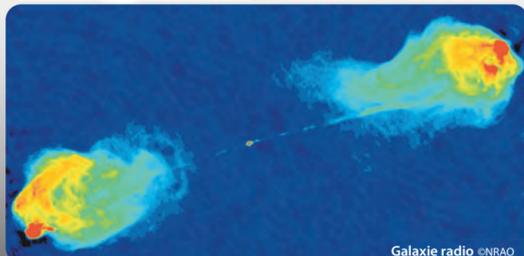
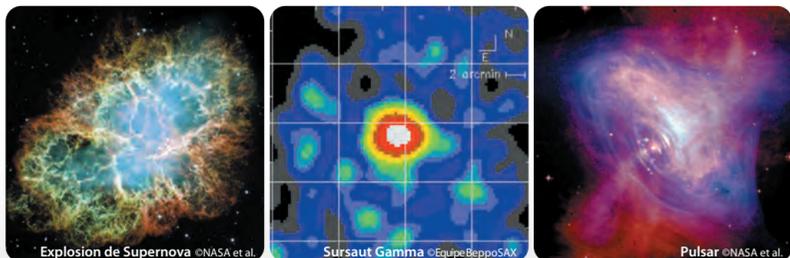
# Genèse

L'énergie la plus élevée (> 10<sup>20</sup> eV) jamais observée dans l'univers

Toutes les secondes, des milliers de particules chargées bombardent chaque m<sup>2</sup> de la terre. Elles sont appelées "Rayons Cosmiques". Leur flux décroît quand l'énergie augmente. Le nombre de celles dont l'énergie est > 6 x 10<sup>19</sup> eV doit être très diminué en raison de leurs collisions avec le fond micro-ondes qui baigne uniformément l'univers.

Après la découverte d'un événement à 10<sup>20</sup> eV (ci-après baptisé UHE) en 1963 par Linsley, une douzaine de nouveaux événements furent observés dans les années 90 par l'instrument Akeno-Giant-Air-Shower-Array (AGASA) de l'université de Tokyo et par l'expérience Fly's Eye / Hi-Res de l'université de l'Utah. L'origine de ces particules de la plus haute énergie est inconnue et fascinante, et suscite un intérêt scientifique considérable.

\*10<sup>20</sup>eV : Une énergie de 16 Joules égale à celle d'une masse de 100 g tombant de 1,60 m.



▲ Les sources possibles de Particules d'Énergie Extrême incluent des corps célestes inconnus

# Puzzle

La relativité est-elle vraie à toutes les échelles? Y a-t-il des objets et des mécanismes inconnus?

La suppression des particules de Ultra Haute Énergie a été prédite théoriquement par Greisen, Zatsepin et Kuz'min (effet GZK) car l'univers est rempli du fond cosmique micro-ondes (CMB) qui est le résidu le plus observable du Big Bang. Les rayons cosmiques UHE font des collisions avec les photons du CMB et perdent de l'énergie sur une distance de 150 millions d'années-lumière (50 Mega parsecs), jusqu'à ce que cette énergie soit réduite à 6 x 10<sup>19</sup> eV (aussi longtemps que la Relativité Restreinte d'Einstein reste valide pour toute énergie et tout endroit dans l'univers).

Le fait que l'on ait observé des particules dont l'énergie est bien plus grande que celle de la coupure GZK défie notre compréhension de la physique et de l'astrophysique. Il se pourrait que des sources importantes de particules très énergétiques existent près de notre galaxie, à moins de 500 Mpc. Les sources pourraient inclure les radio-galaxies les plus brillantes bien connues (Centaurus-A et Virgo M-87), ou pourraient être des objets inconnus. Mais leur capacité à accélérer des particules à si haute énergie demeure inconnue. Ces énigmes méritent des explorations plus précises.

# Espace

Observer la terre depuis la Station Spatiale Internationale

JEM-EUSO a été conçu pour s'attaquer au domaine d'énergie de la suppression GZK et identifier l'origine astronomique de ces particules UHE. JEM-EUSO peut détecter 1000 particules avec E > 7x10<sup>19</sup> eV pendant une mission de 3 ans. Leurs énergies et directions seront mesurées avec précision pour comprendre leur origine.

Le Module d'Expériences Japonais (JEM) sur la Station Spatiale Internationale (ISS) abritera JEM-EUSO. Ce télescope astronomique n'est pas dirigé

vers l'univers, mais au contraire, regarde la surface de la Terre, vers le bas : l'atmosphère terrestre est le plus gros détecteur jamais employé dans notre quête pour comprendre les origines de ces particules insaisissables venant de l'univers. JEM-EUSO est un nouveau type d'observatoire astronomique, à savoir un télescope astronomique "observant la terre".

# Observation

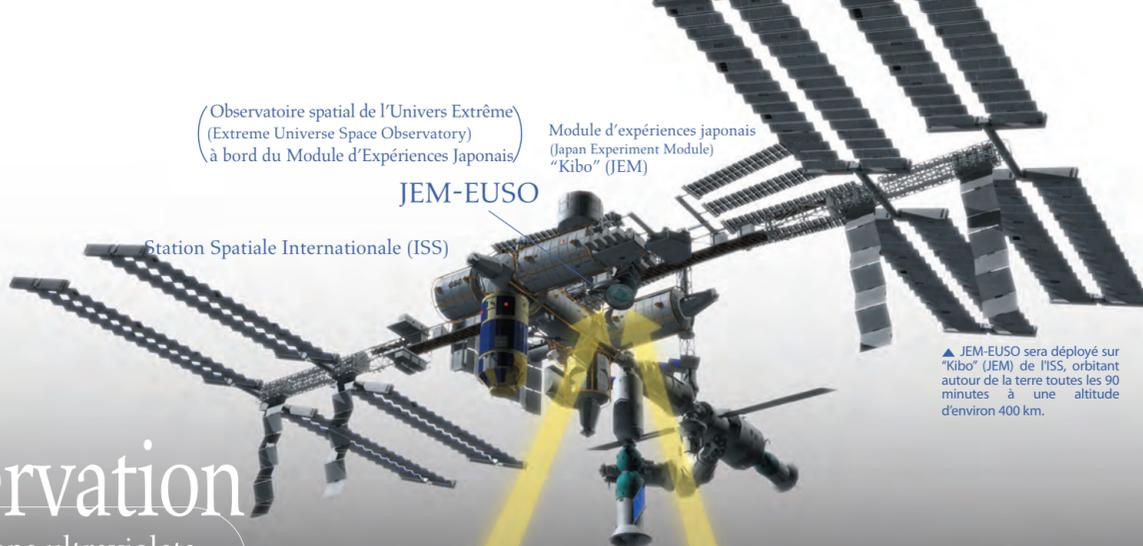
Détecter des rayons ultraviolets d'une gerbe atmosphérique

Les rayons cosmiques traversant l'atmosphère de la terre font des collisions avec les noyaux présents dans l'air et génèrent de multiples électrons, mésons et rayons gamma. Les particules secondaires, le long de leur passage dans l'atmosphère, produisent une nouvelle génération de particules. Toutes ces particules constituent ce que l'on appelle une "Gerbe Atmosphérique". Un événement cosmique d'énergie 10<sup>20</sup> eV génèrera environ 100 milliards de particules dans un cône de 6 km de diamètre au niveau de la terre.

Les électrons de la gerbe atmosphérique excitent les molécules d'azote de l'atmosphère, qui émettent instantanément des photons ultraviolets de fluorescence le long de la trace. JEM-EUSO détecte cette lumière et construit l'image du mouvement de la trace toutes les quelques microsecondes (millionièmes de seconde), comme une caméra digitale ultra-rapide. La croissance et la décroissance de l'intensité du signal lumineux le long de la trajectoire d'une gerbe donneront l'énergie et la direction du rayon cosmique incident.

(Observatoire spatial de l'Univers Extrême) (Extreme Universe Space Observatory) à bord du Module d'Expériences Japonais/ JEM-EUSO

Module d'expériences japonais (Japan Experiment Module) "Kibo" (JEM)



▲ JEM-EUSO sera déployé sur "Kibo" (JEM) de l'ISS, orbitant autour de la terre toutes les 90 minutes à une altitude d'environ 400 km.

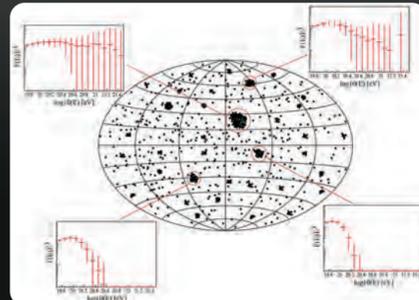
# Défi

Qu'attend-on du télescope spatial JEM-EUSO?

## Astronomie avec des Particules Chargées dans l'Univers

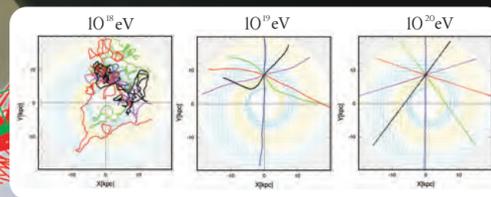
Les particules chargées de basse énergie voient leurs trajectoires courbées par les champs magnétiques de l'espace galactique et intergalactique. L'information directionnelle de leur origine est perdue. Toutefois, les particules UHE sont à peine courbées, et gardent donc l'information de la direction de leur origine. Les particules UHE sont donc qualifiées comme messagers cosmiques pour l'astronomie, au même titre que la lumière visible, les rayons X, les lumières visible, infrarouge et ultraviolette ainsi que les neutrinos.

Parmi les sources pouvant émettre des particules UHE, on peut penser aux Supernovæ, aux Sursauts Gamma, aux Noyaux Actifs de Galaxie, ainsi qu'aux collisions récentes de Radio Galaxies et leur trou noir central super massif. Ces objets cosmiques semblent cependant incapables d'accélérer des particules à plus de 10<sup>20</sup> eV si on se réfère aux mécanismes connus. Pour produire ces énergies extrêmes, il faut postuler l'existence de nouveaux mécanismes d'accélération, ou d'autres processus inconnus.



▲ Directions simulées des origines des particules UHE (1000 événements avec JEM-EUSO). De multiples événements se concentrent là où se situent des sources puissantes.

Dans les encarts: le flux en fonction de l'énergie pour chacune des accumulations donne ainsi des indications sur le mécanisme local de production des rayons cosmiques.



▲ Les trajectoires des particules chargées sont courbées par les champs magnétiques, mais, si E > 10<sup>20</sup> eV, elles restent presque rectilignes, conservant ainsi l'information de la direction originelle.

## Exploration des neutrinos de la plus haute énergie

Les neutrinos n'interagissent pratiquement pas avec la matière, et ne sont pas soumis à la coupure GZK. Ce rendement très faible ainsi que la masse limitée des détecteurs fait qu'aucun événement n'a pu être détecté jusqu'à présent. Quelques neutrinos de très haute énergie pourraient être observés chaque année par JEM-EUSO grâce aux 2x10<sup>12</sup> tonnes d'atmosphère terrestre observées par l'instrument.

## Energies ultimes – plus fort que le LHC

Le plus grand accélérateur construit sur terre, le "Large Hadron Collider" (LHC), entrera en fonction en 2008. Il générera des protons de haute énergie (E<sub>cm</sub> = 1.2 x 10<sup>13</sup> eV) pour explorer des lois fondamentales de la physique. Les rayons cosmiques les plus énergétiques déjà découverts ont des énergies plus élevées d'un facteur 1000. La frontière de l'énergie pour la physique fondamentale pourra être reculée par l'observation par JEM-EUSO de ces rayons cosmiques ultra-énergétiques.

## Examiner les phénomènes lumineux atmosphériques

JEM-EUSO peut détecter des événements transitoires illuminant l'atmosphère dans le ciel nocturne (éclairs, météorites, "air-glow"). Les éclairs ont lieu entre nuages et terre ainsi que de nuages à nuages. Les plus intéressants de ces événements surbrillants sont de longues décharges dans la haute atmosphère, appelées "blue-jets", "sprites" et "elfes". Ces événements se dirigent des nuages vers l'espace. Leur fréquence et position à la surface du globe seront examinées pour explorer les causes de ces phénomènes (rayons cosmiques?). Les météorites sont, eux, des petits solides plongeant depuis l'espace dans l'atmosphère terrestre. Observer leurs tailles et leurs spectres de fluorescence devrait permettre d'en savoir plus sur leurs astéroïdes-mères, ainsi que sur d'autres sources du système solaire.



▲ Un éclair intéressant: un phénomène "Carrot Sprite". Photo fournie par Koji Ito (Suginami-ku, Tokyo).

# JEM-EUSO sur la Station Spatiale Internationale explore l'origine des particules les plus énergétiques de l'Univers.

▲ L'atmosphère terrestre photographiée depuis la Navette Spatiale ©NASA