

A sunset landscape with a radio telescope and a small building. The sun is low on the horizon, casting a golden glow over the sky and the ground. The sky is filled with scattered clouds, some of which are illuminated by the setting sun. In the foreground, there is a large radio telescope dish on a metal frame, and a small white building with a red door. The overall scene is peaceful and serene.

Marie-Hélène Grondin
Marianne Lemoine

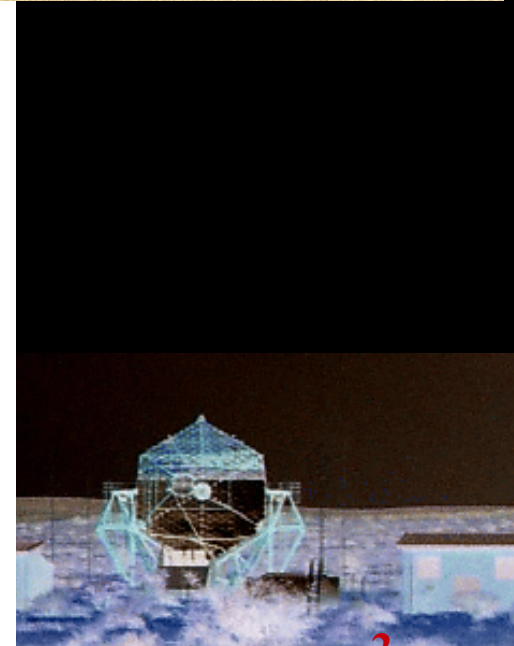
Laboratoire de Physique des 2 Infinis
Université de Bordeaux

Qui sommes nous ?

M-H Grondin: maître de conférences à l'Université de Bordeaux

M Lemoine: Directrice de recherches au CNRS

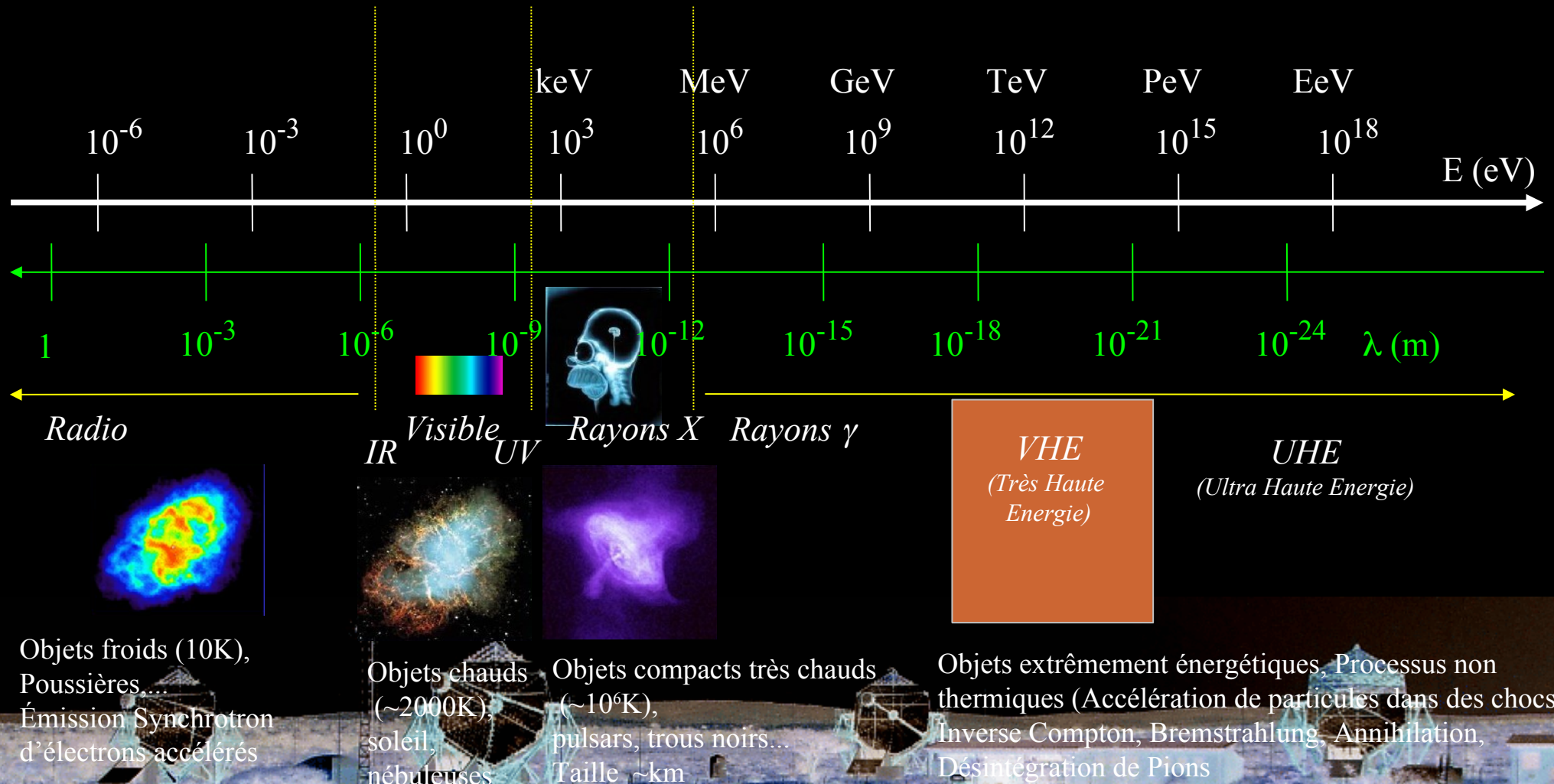
Affectées au Laboratoire de Physique des 2 Infinis Bordeaux



La lumière invisible !



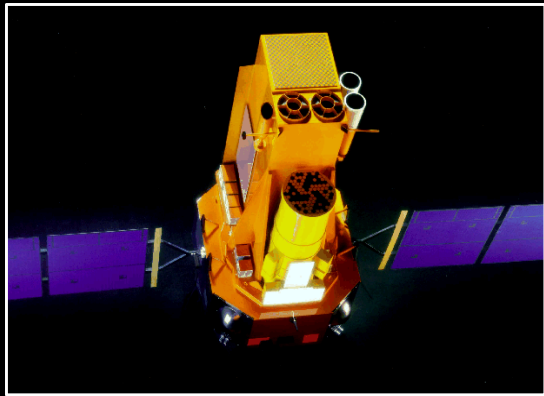
La lumière visible représente une octave sur près de 70 !
Le rayonnement gamma couvre 20 octaves à lui seul



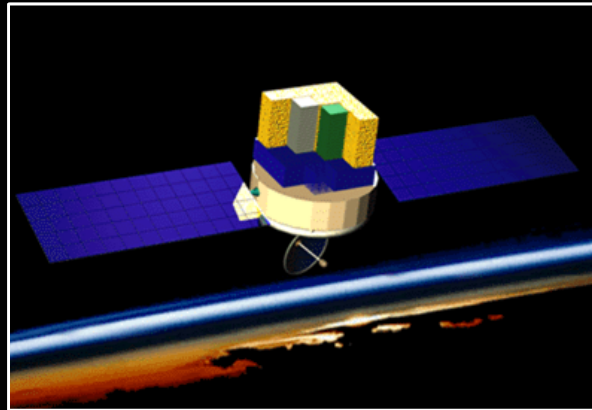
Les instruments en Astronomie gamma

γ mous: $E < 10$ MeV

INTEGRAL



γ de haute énergie:
 10 MeV $< E < 100$ GeV
EGRET, AGILE, Fermi



γ de très haute énergie
 $E > 100$ GeV
HESS, VERITAS...



Le Large Area Telescope (LAT) à bord du Fermi Gamma-Ray Space Telescope

Large Area Telescope (LAT):

Grand domaine d'énergie: 20 MeV - >300 GeV
(incluant la région inexplorée 10-100 GeV)

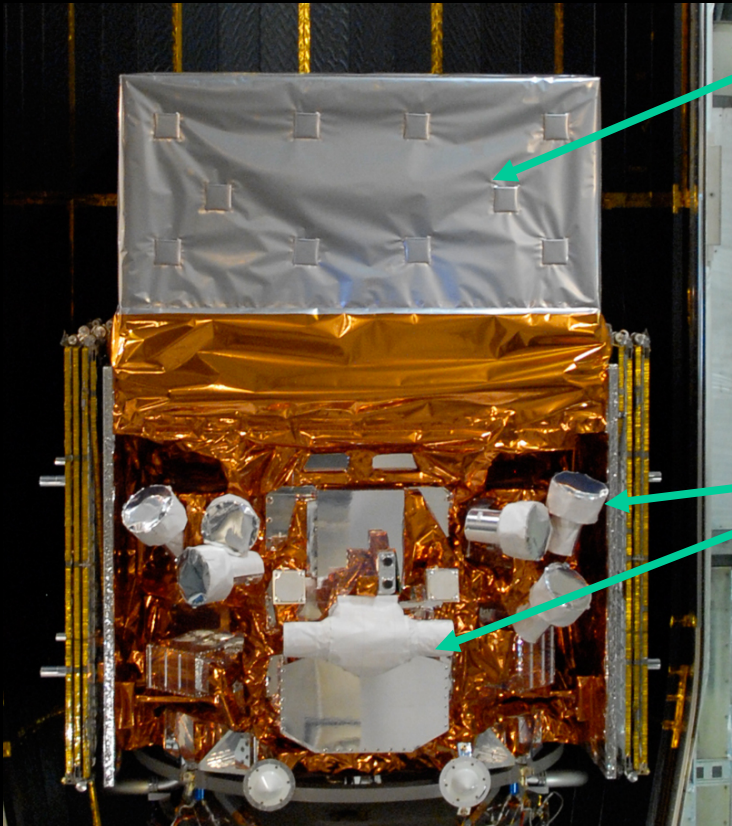
Grand champ de vue 2.4 sr (voit l'ensemble du ciel en ~3hrs)

Bonne surface efficace (9500 cm² à 1 GeV, incidence normale)

Gamma-ray Burst Monitor (GBM)

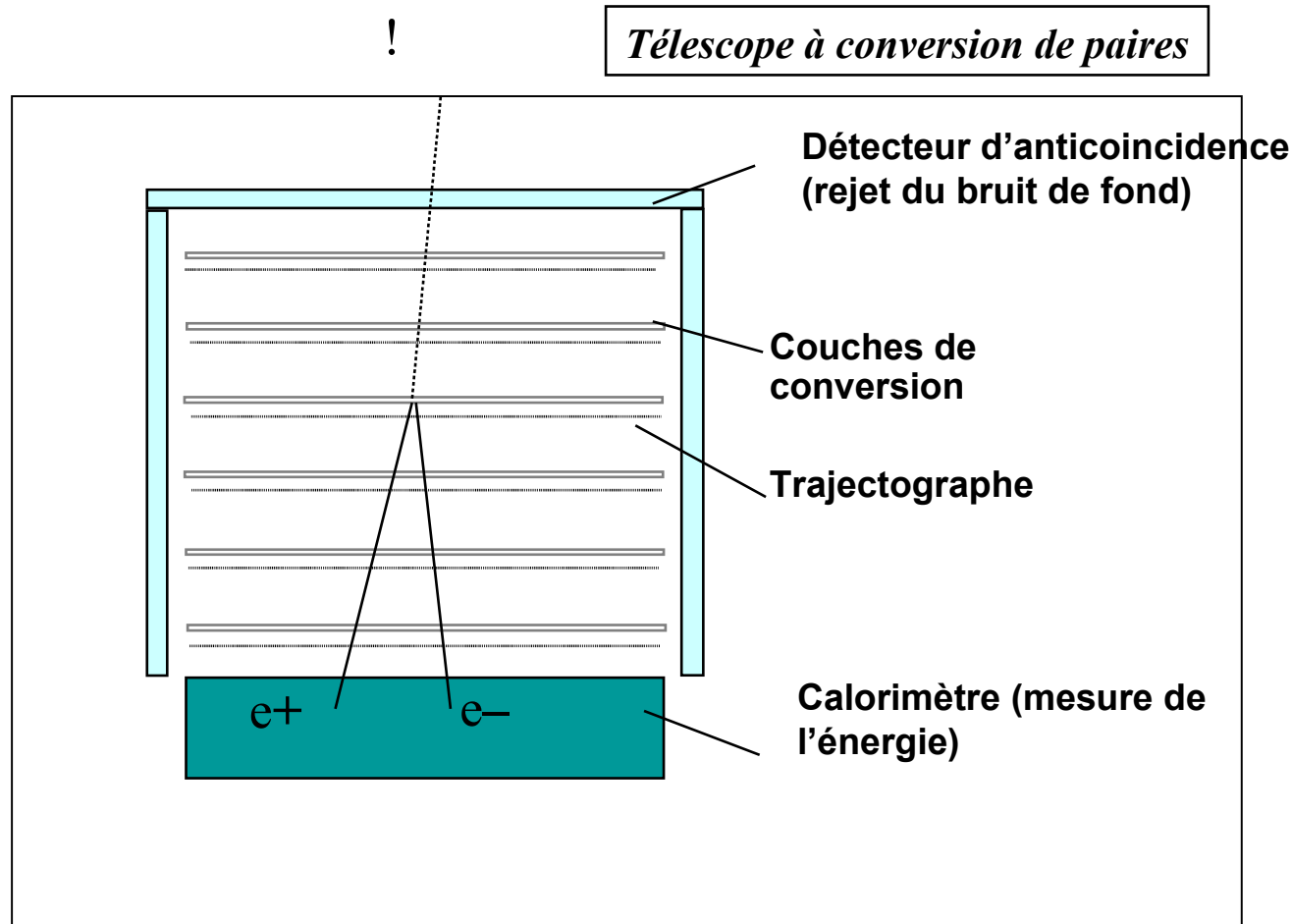
8 keV - 40 MeV

voit l'ensemble du ciel inocculté



Lancement 11 Juin 2008

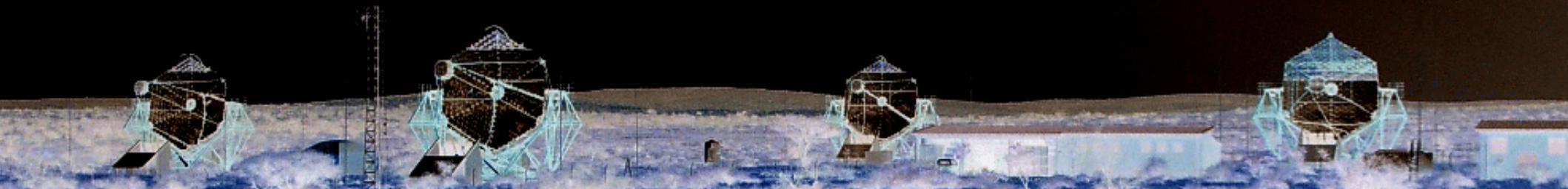
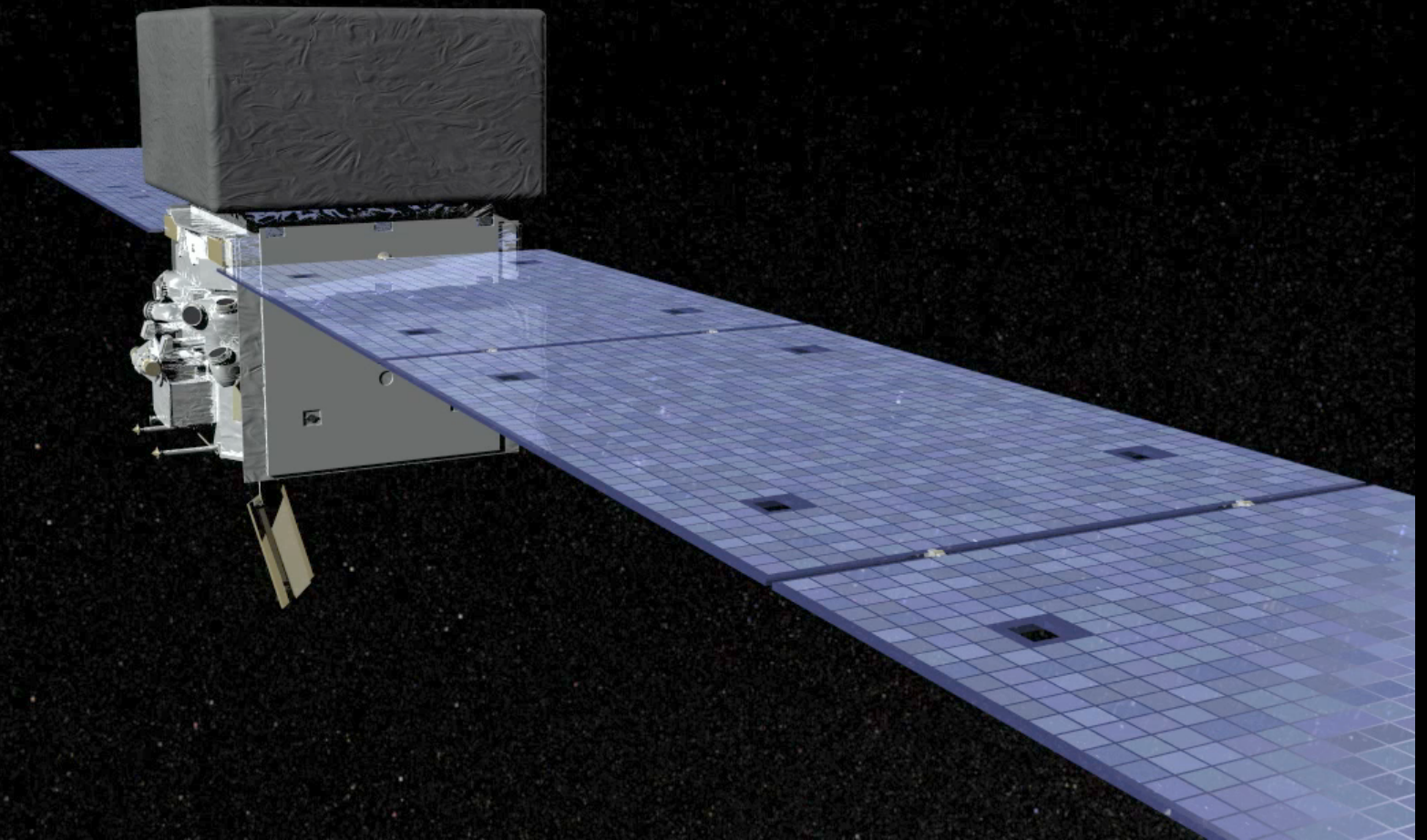
=> Potentiel de découverte extraordinaire !



Les photons gamma interagissent avec la matière par production de paires électron-positon ($E=mc^2$). Le LAT est un détecteur de particules.

Energies : de 100 MeV (1.6×10^{-13} J) à 2 TeV (3.2×10^{-7} J) soit ~4 décades !





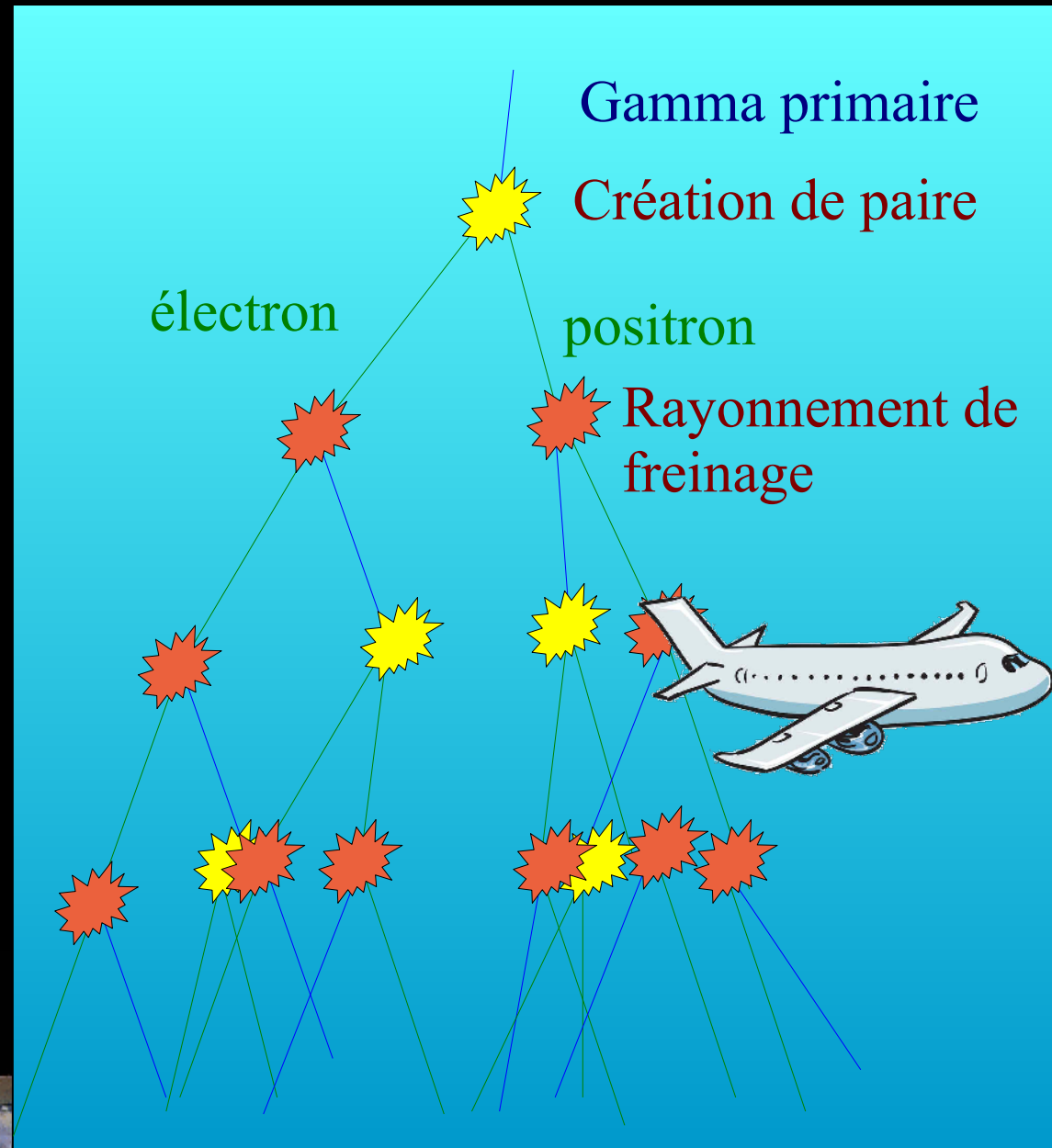
Cascades atmosphériques

Interaction du photon primaire avec un noyau de l'atmosphère

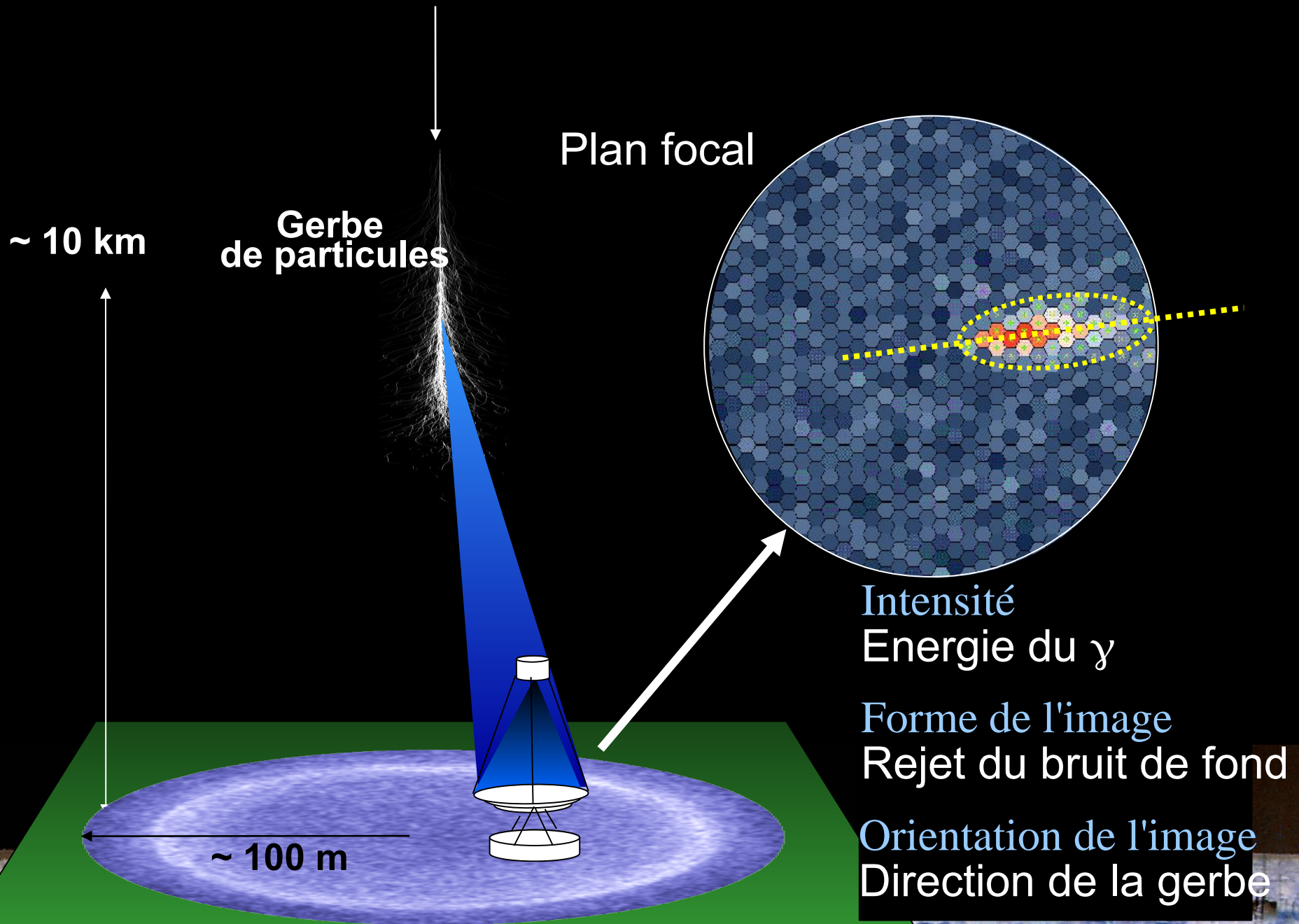
Succession de créations de paire et de rayonnement de freinage

L'énergie est ainsi peu à peu redistribuée en un grand nombre de particules et absorbée dans l'atmosphère

Les cascades issues de protons (et de noyaux) comportent en sus des fragments nucléaires et des particules pénétrantes (muons, ...)



Principe de l'imagerie Tcherenkov



High Energy Stereoscopic System

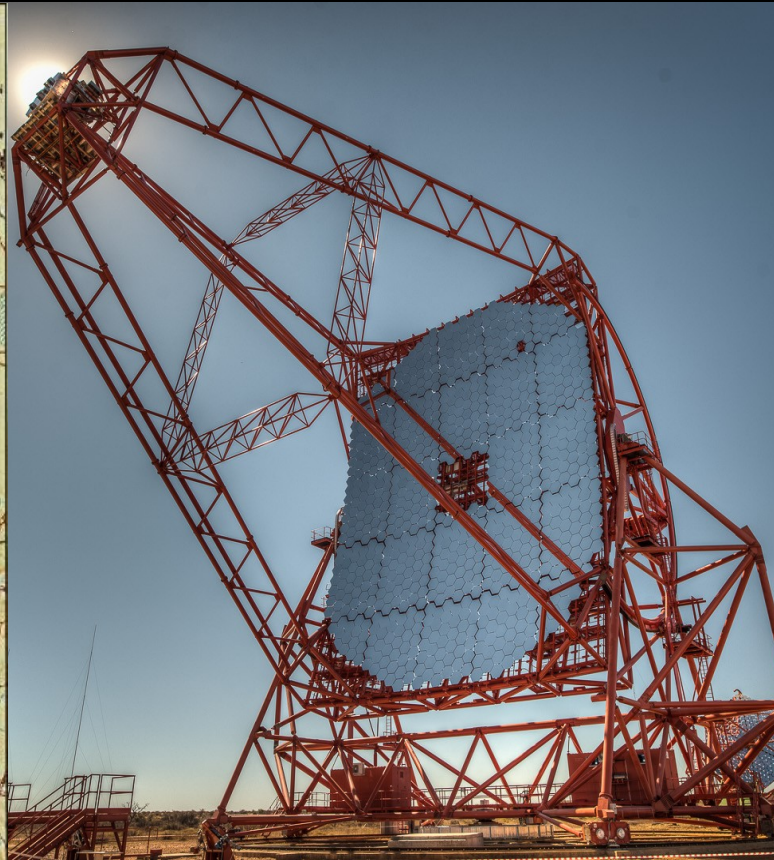
Consortium international, mené par Allemagne + France

Site: 23°16' S, 16°30' E, 1800 m asl, 100 km de Windhoek (Namibie)

très bonne qualité optique du ciel

hémisphère peu observé, grande partie du plan galactique observable

MPI Kernphysik, Heidelberg
Humboldt Univ. Berlin
Ruhr-Univ. Bochum
Univ. Hamburg
Landessternwarte Heidelberg
Ecole Polytechnique, Palaiseau
APC Paris
LPNHE Univ. Paris VI-VII
CEA Saclay
CESR Toulouse
LPTA Montpellier
LAOG Grenoble
LAPP Anecy
CENBG Bordeaux
Observatoire de Paris
Durham Univ.
Dublin Inst. for Adv. Studies
Charles Univ., Prag
Yerewan Physics Inst.
North-West Univ., Potchefstroom
Univ. of Namibia, Windhoek
DESY, Zeuthen
Linne University, Sweden
Leicester University, UK
Nicolaus Copernicus Astronomical Center, Warsaw
University of Warsaw (UW)
Jagiellonian University, in Cracow
Institute of Nuclear Physics, Cracow
Nicolaus Copernicus University, Torun



Réunion, 2022

H.E.S.S.-II



H.E.S.S. Phase 1:

Installation en 2002-2003

4 télescopes: \varnothing 12 m, 107 m²

Reconstruction stéréoscopique

Observations : \sim 1000h/an

H.E.S.S. Phase 2:

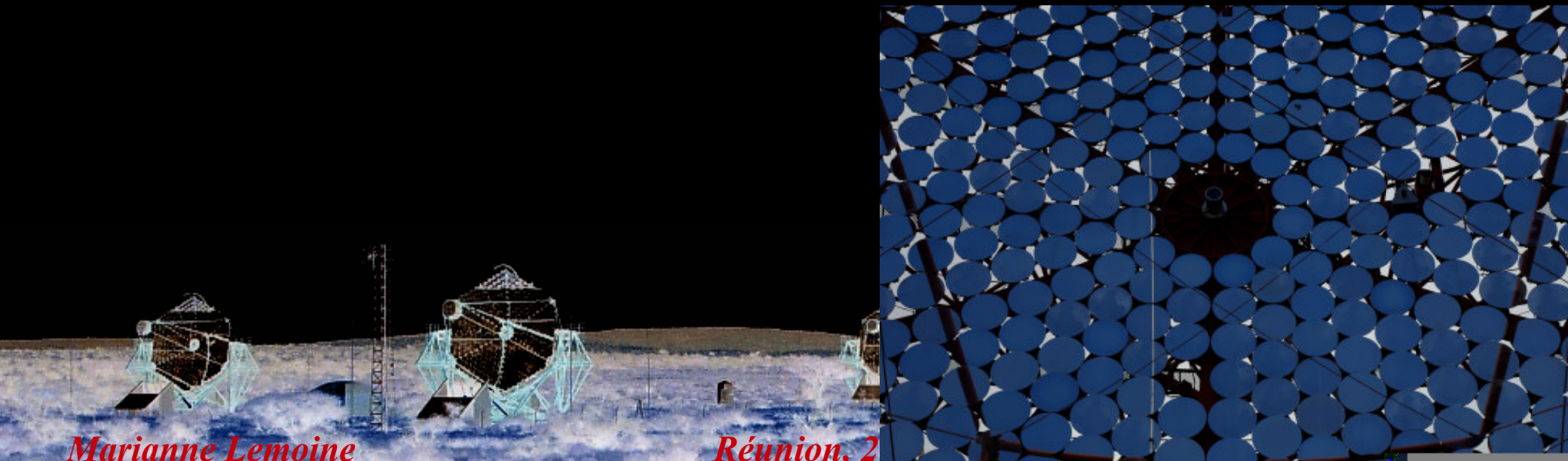
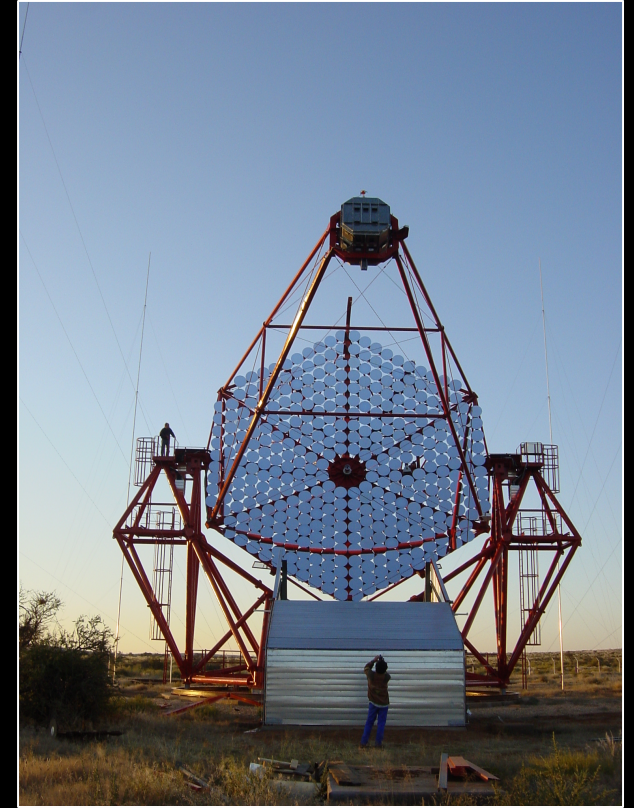
Installation en 2012

5^{ème} télescope, \varnothing 28 m, 600 m²

Pointé en $<$ 1 min sur 50 % du ciel

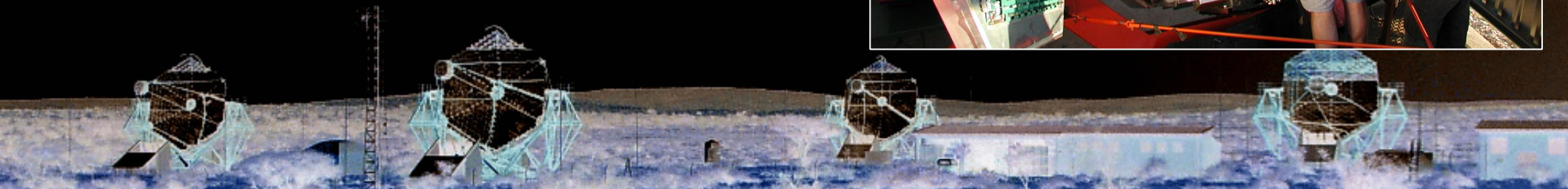
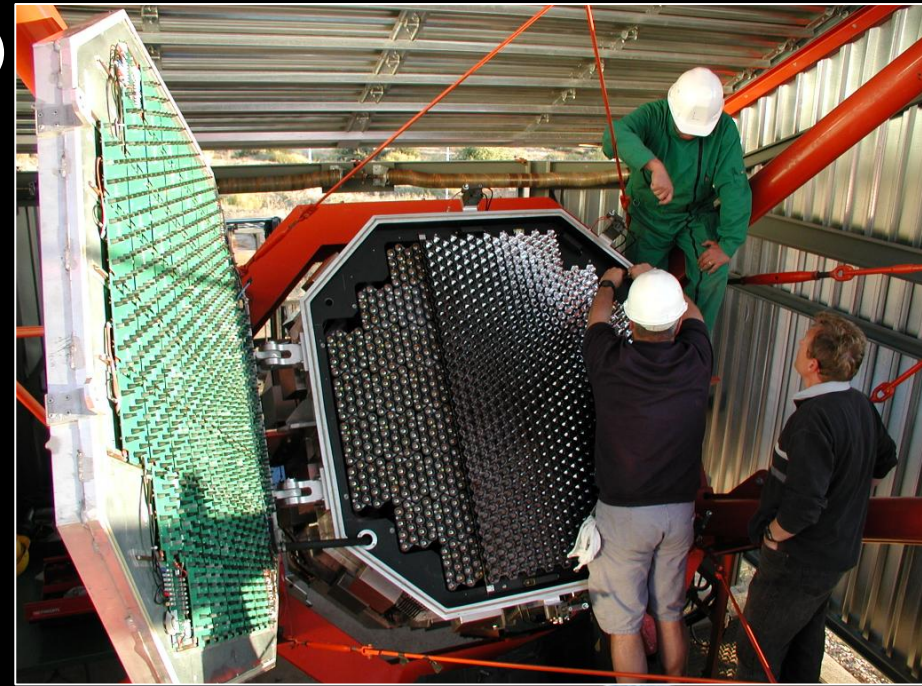
Les petits télescopes H.E.S.S.

- ◆ Réseau de 4 petits télescopes
 - Séparation des télescopes: 120 m
- ◆ Structure des télescopes
 - Surface totale des miroirs: $4 \times 10^7 \text{ m}^2$
 - Diamètre: 12 m, Longueur focale: 15 m
- ◆ Miroirs
 - 380 × 60cm petits miroirs circulaires



Les « petites » caméras

- ◆ 960 photomultiplicateurs
- ◆ Très grand champ de vue de 5°
- ◆ Fenêtre d'intégration de 16ns,
- ◆ Electronique *intégrée* dans la caméra
- ◆ 3 cables (1 puissance, 2 fibres optiques)
- ◆ Loge dans un cube de 2 m
- ◆ Poids \sim 900 kg



Le grand télescope

- ◆ Camera: 3800 images/secondes

Loge dans un carré de 2,5m

Consommation de 8kW !

Poids total de 2.8 Tonnes ! (longueur focale: 36m)

- ◆ Structure du télescope

Dimension de la surface réfléchissante: 24m × 33m

- ◆ Miroirs

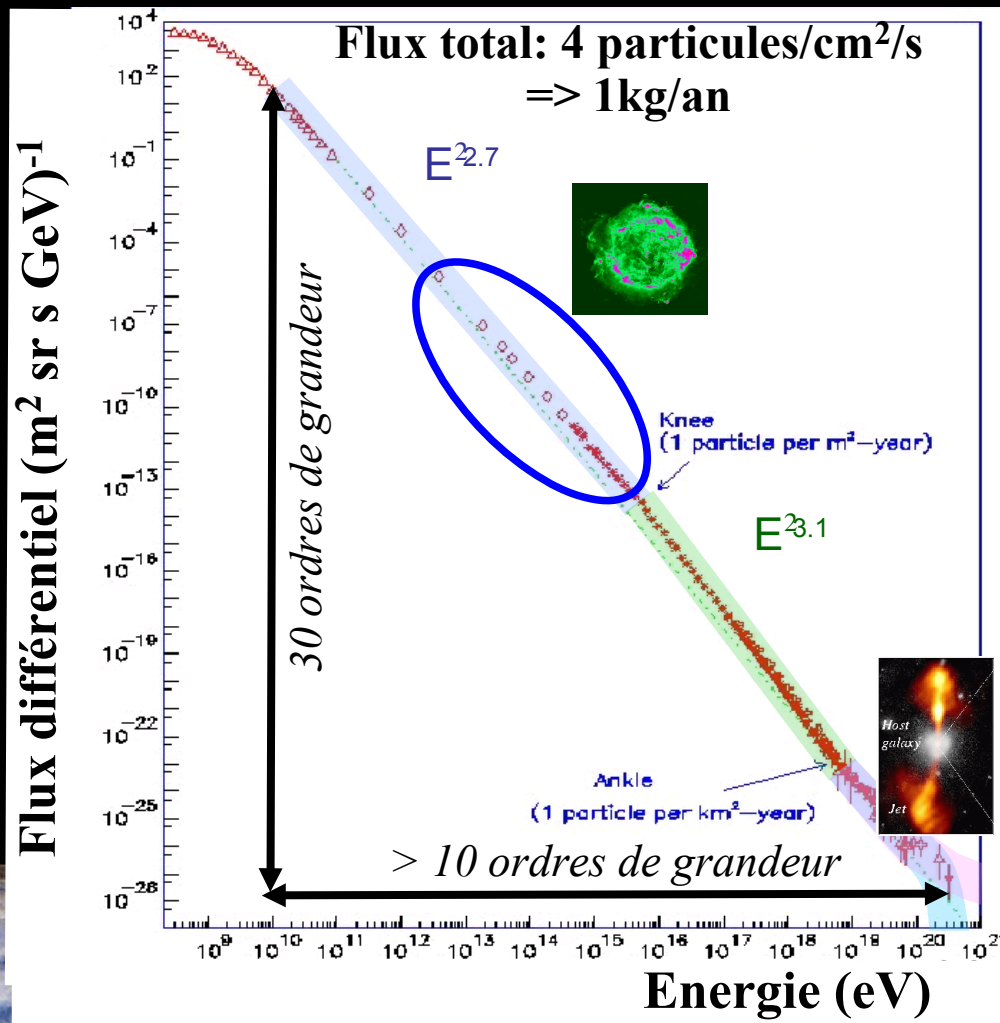
875 × 90cm petits miroirs hexagonaux

Poids total du télescope: 580 Tonnes !

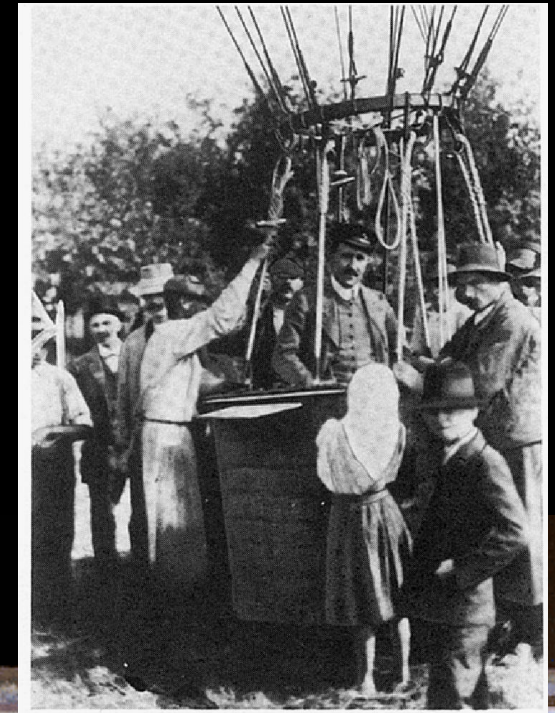


Le rayonnement cosmique

- ❑ Découvert en 1912 (Victor HESS)
- ❑ 10 ordres de grandeur en énergie, 30 en flux
- ❑ Composition: 99% de noyaux & 1% d'électrons
- ❑ Origine toujours inconnue



Vol en ballon
Victor Hess, 1912

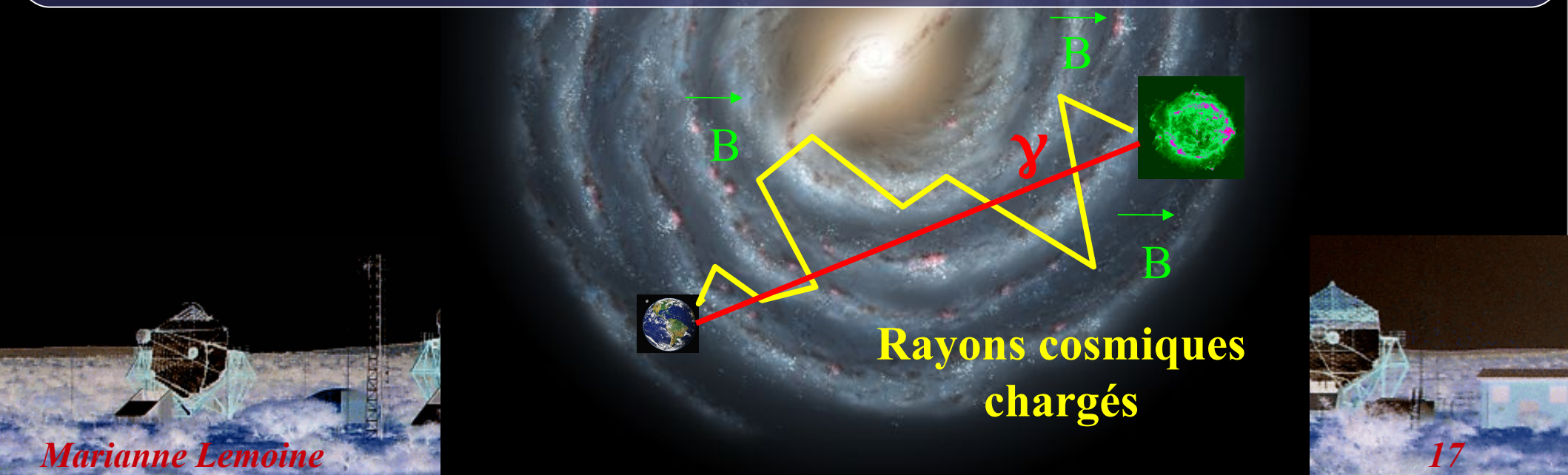


Les vestiges de supernovae : accélérateurs cosmiques

- **Rayons cosmiques chargés**: diffusion sur les champs magnétiques galactiques
=> **perte de l'information directionnelle**
- **Rayons gamma**: produits sur les sites d'accélération des RCs
=> **information sur le site d'accélération**

Un candidat excellent :
Les vestiges de supernovae

Problème non résolu depuis 1912 !



**Rayons cosmiques
chargés**

Lorsqu'une étoile géante disparaît...

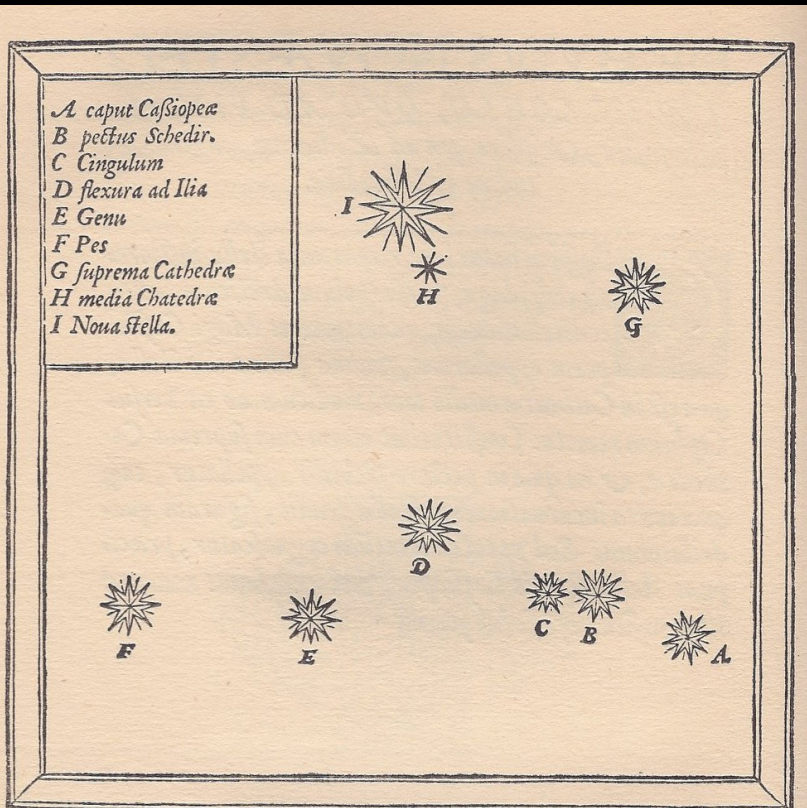


Supernova

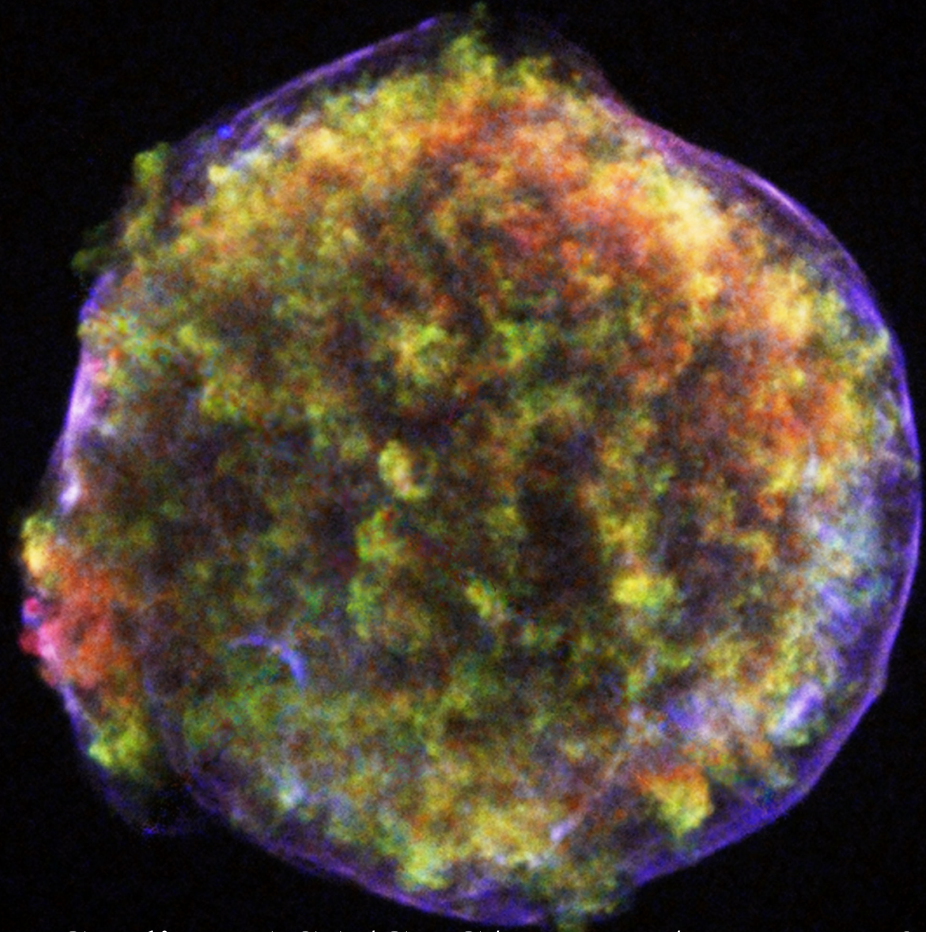
Un reste de supernova historique

SN 1572 (également appelée Supernova de Tycho)

=> Révolution en Astronomie; développement des catalogues

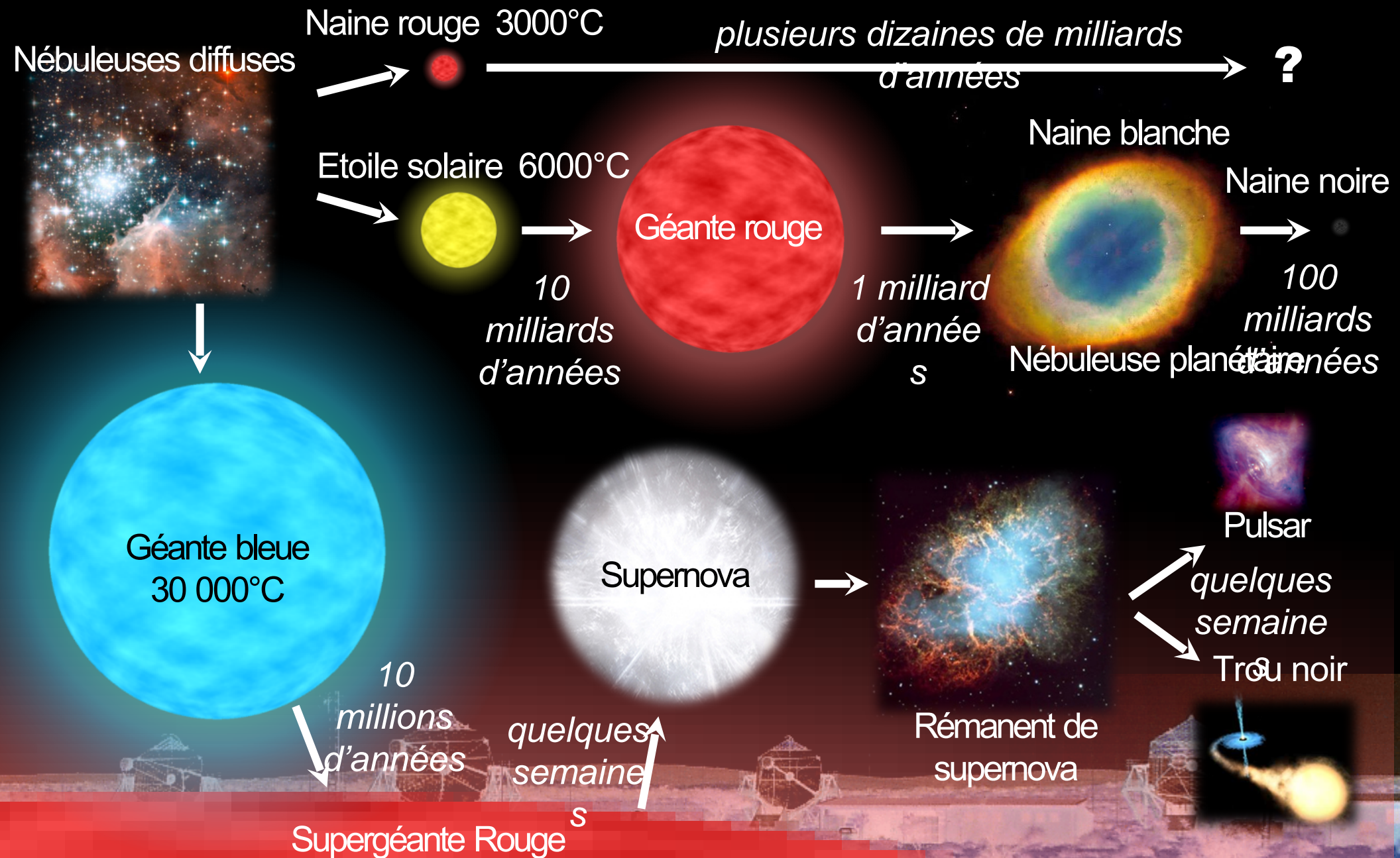


Distantiam verò huius stellæ à fixis aliquibus in hac Cassiopeiæ constellatione, exquisito instrumento, & omnium minorum capacj, aliquoties obseruavi. Inueni autem eam distare ab ea, quæ est in pectore, Schedir appellata B, 7. partibus & 55. minutis: à superiori verò



Credit: NASA/CXC/Rutgers/J. Warren & J. Hughes et al.

Les étoiles de la naissance à la mort



Les Pulsars

Découverte surprise en 1967 par Jocelyn Bell

Aujourd'hui : > 2000 pulsars connus

Pulsar = « étoiles à neutrons, hautement magnétisées, en rotation rapide »

=> Comparable à un phare (faisceau balayant le ciel périodiquement)

Les étoiles à neutrons naissent de l'explosion d'étoiles massives.

Objets les plus denses de l'univers, après les trous noirs.

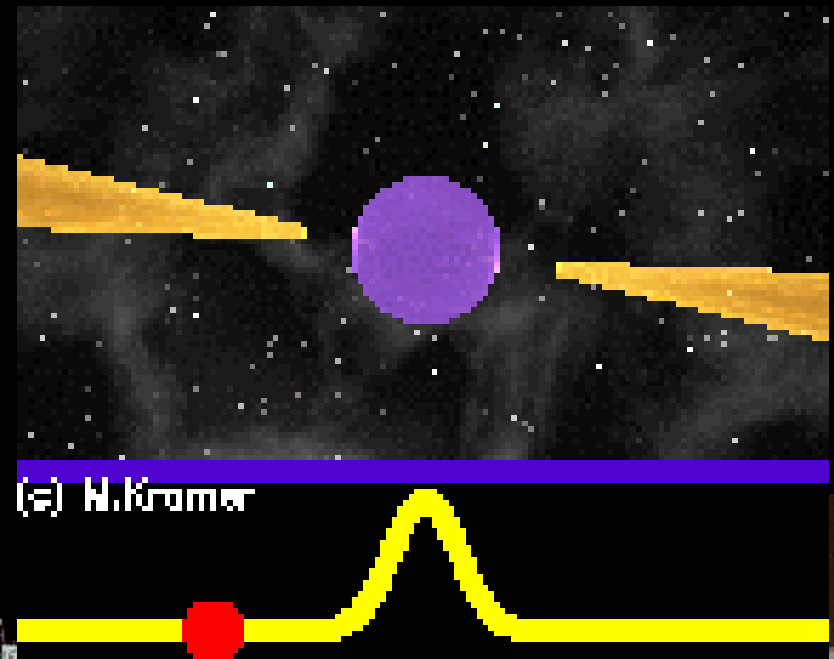
$M \sim 1.2 - 1.4 M_{\text{sol}}$

$R \sim 10 \text{ km}$

$B \sim 10^{12} \text{ Gauss}$ (sur Terre $B \sim 0.5 \text{ Gauss}$!)

$2 \text{ ms} < \text{Period} < 10 \text{ s}$

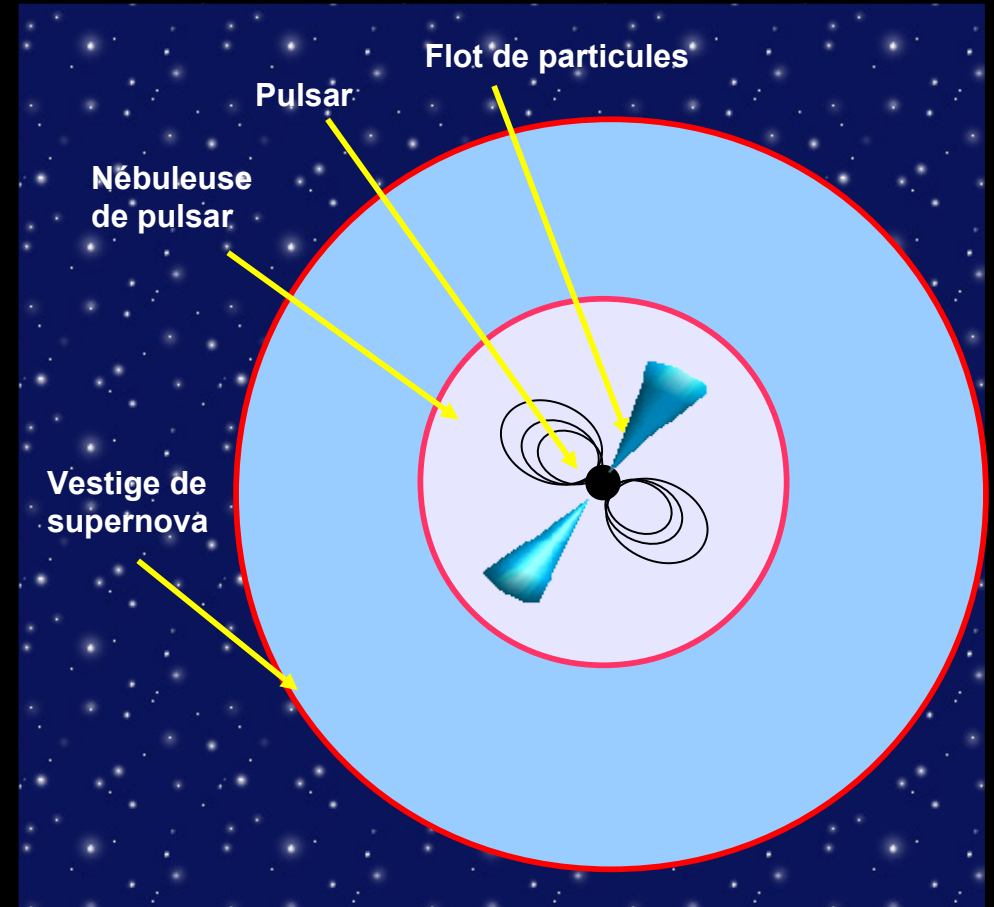
=> densité $\sim 10^{17} \text{ kg/m}^3$



La nébuleuse de pulsar : une deuxième onde de choc !

Après l'explosion en supernova, le pulsar émet un vent de particules chargées (e^\pm) à des vitesses très importantes.

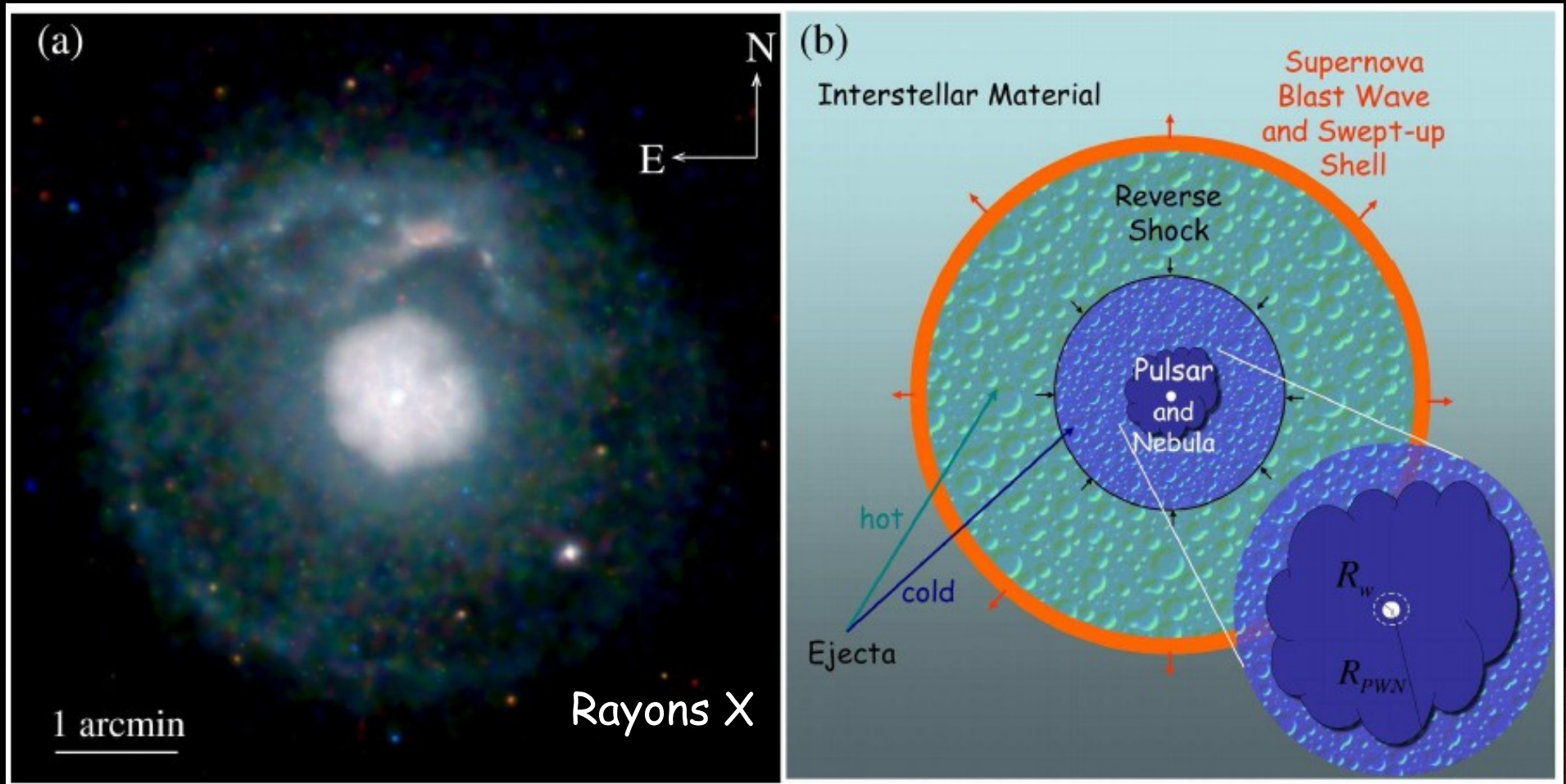
Une onde de choc se forme à proximité du pulsar, zone d'accélération des particules.



Les nébuleuses de pulsars (II)

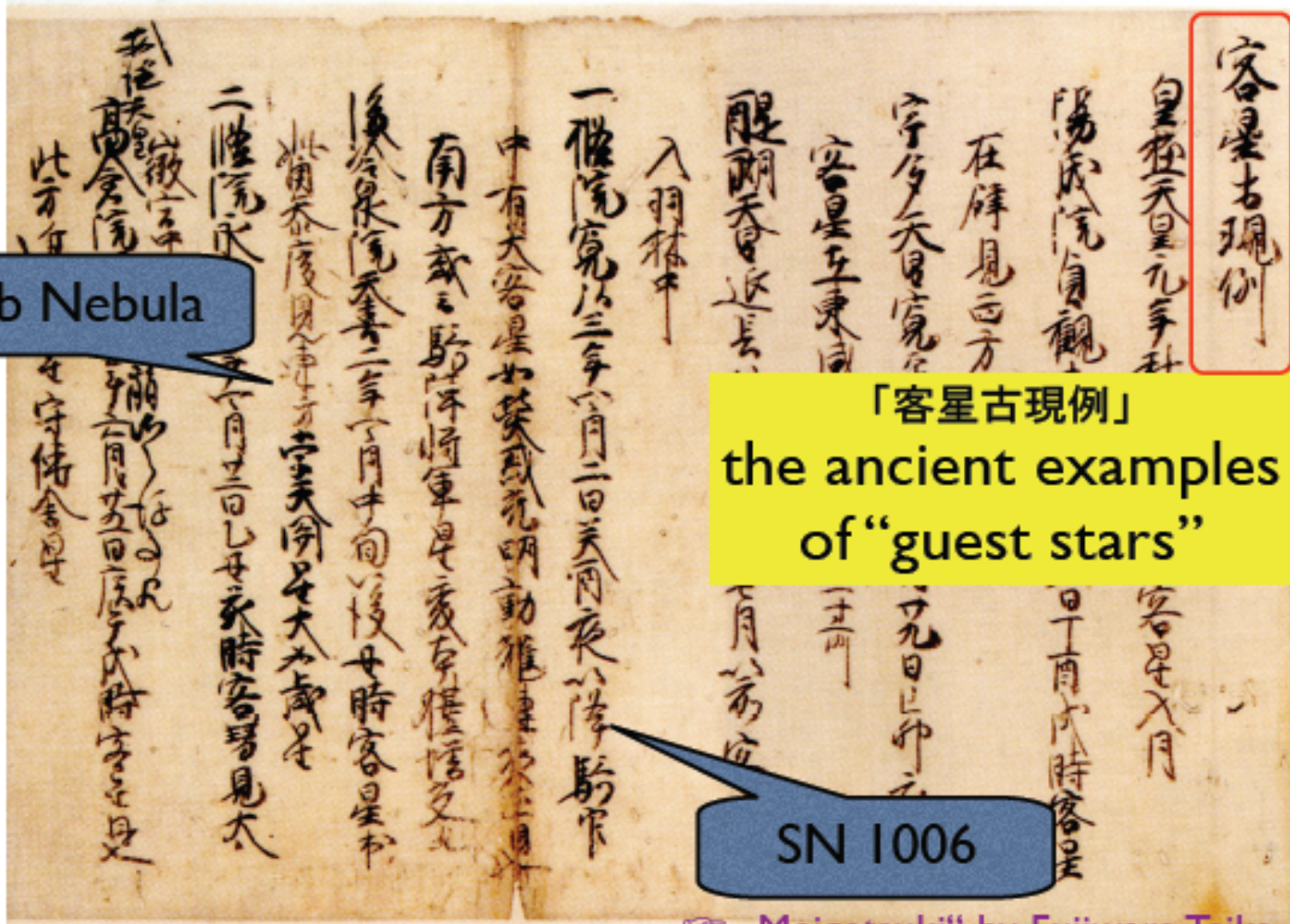
G21.5-0.9: une nébuleuse composite

Au centre, émission étendue d'une nébuleuse alimentée sans cesse par le pulsar J1833-1034



La nébuleuse du Crabe

Vestige de l'explosion en supernova observée par les chinois en 1054
Eloignée de 6 523 années-lumière; contient en son centre le pulsar du Crabe



„Meigetsuki“ by Fujiwara Teika (1162-1241)

Le Future

- Plus d'événements

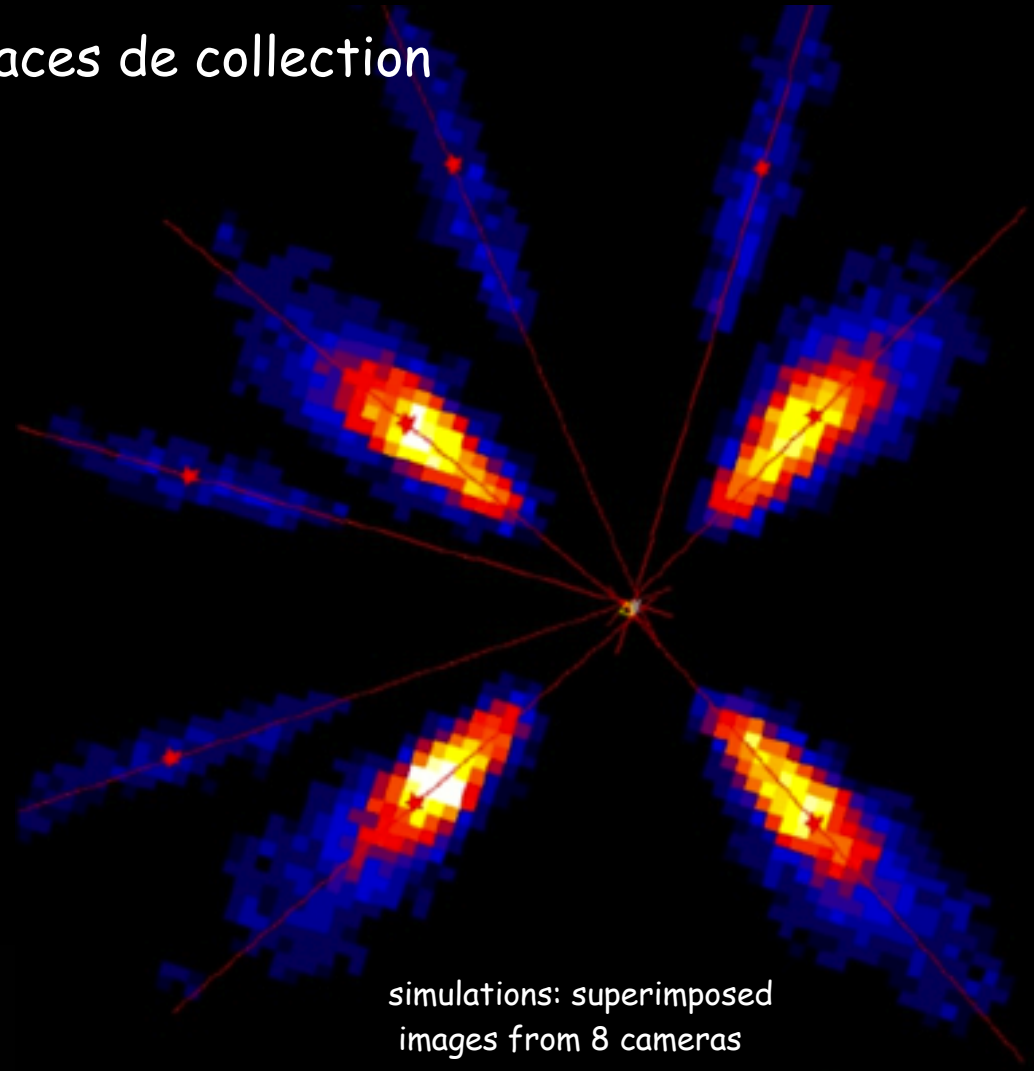
 - Plus de photons grâce à des surfaces de collection plus grandes

- Meilleurs événements

 - Meilleure reconstruction

- Nouveaux événements

 - Domaine d'énergie étendu



CTA: Cherenkov Telescope Array

> 1400 membres

208 instituts provenant de 32 pays

2 sites sélectionnés:

Nord (La Palma, Canaries)

Sud (Paranal, Chili)

3 tailles de télescopes

~100 télescopes prévus en tout

Nord



Sud

