



De la Terre au Ciel

**Fête de la science
10 octobre 2012**

**Arache Djannati-Ataï
Laboratoire d'Astroparticule et Cosmologie-APC
CNRS, Université P7, Observatoire de Paris, CEA**

Du ciel à la Terre : Lumière visible

Lumière Visible : depuis l'aube de l'humanité : étoiles et planètes.

Ballet continu et régulier des étoiles dans le ciel :

Considéré comme l'origine de la philosophie de Platon (Cercles parfaits, mouvement uniforme sur orbites circulaires!)

Zigzags irréguliers
des planètes :
épicycles, équant...
Pour maintenir la
consistance du
modèle géocentrique

1511-1513 Copernic
puis

1602-1609 Kepler :
Astronomia Nova

19 siècles après
Aristarque de Samos



Du ciel à la Terre : Comètes

“Etoiles chevelues”! Reliées aux planètes par les premiers philosophes mais ...
Aristote (Météorologiques) : chaleur de la haute atmosphère, gaz éclatant en flammes
Influença la pensée occidentale pendant ~20 siècles !
Comète de 1577: corps célestes! absence de parallaxe démontrée par Tycho Brahé

Galilée (1604)
William Lower (1610)
Isaas Newton (1685)
Edmond Halley (1705)
1531-1607-1682
Confirmation 1758 !



Du ciel à la Terre : Supernovae

Chinois : “Etoiles invitées”!

Leur apparition va à l'encontre de la sphère immuable d'Aristote

N'est pas un phénomène atmosphérique :

SN 1572 Tycho Brahé *De Stella Nova*: corps céleste, car pas de parallaxe

SN 1006 Chinois

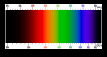
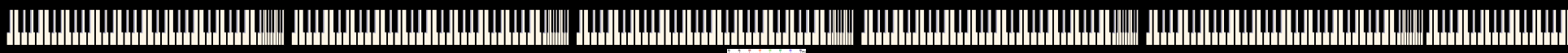
SN 1054 Crabe

SN 1604 Kepler

*Le ciel n'est pas
Immuable!*



Notre vision du ciel avant la 2ème Guerre



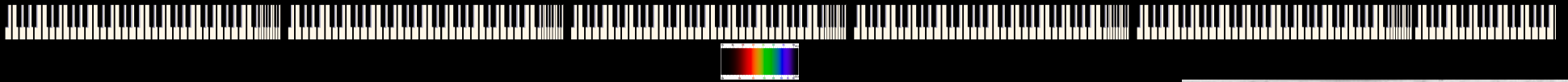
Visible

Etoiles
gaz
poussières

3000-10000° k



Il y a d'autres lumières ... invisibles !



Visible

1895, W. Röntgen : Découverte des Rayons X :

Découverte de la radioactivité

1896 : H. Becquerel (uranium) puis

1898 : P. et M. Curie (radium) :

Rayons alpha, beta, gamma

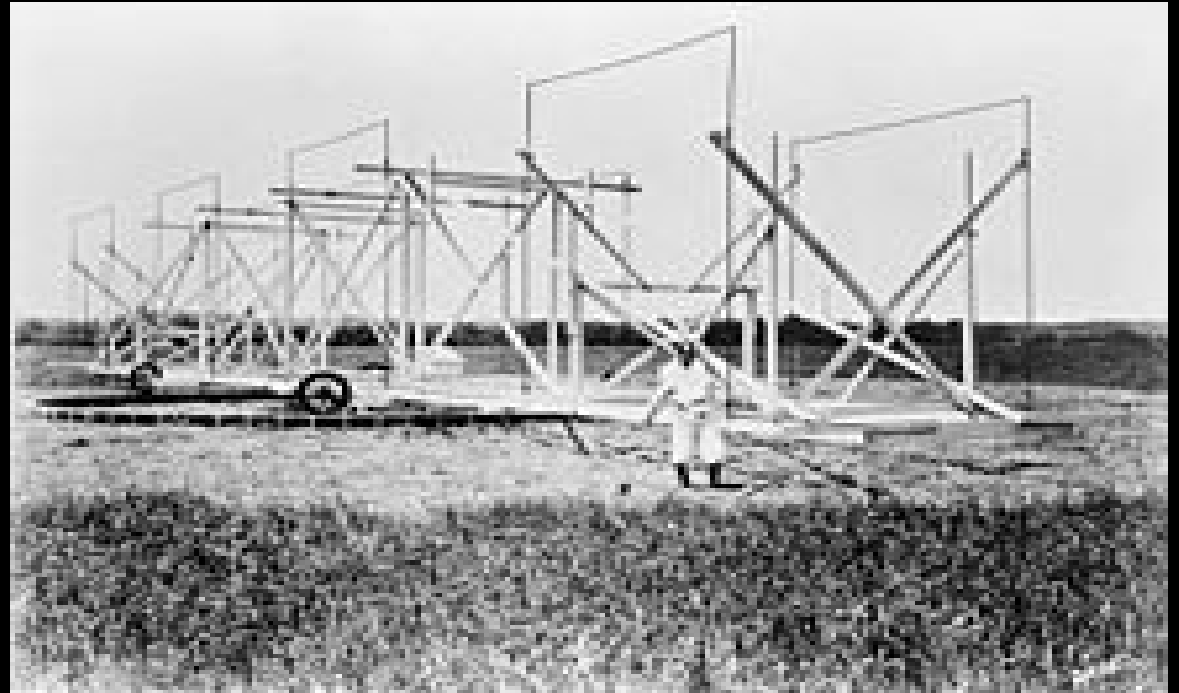
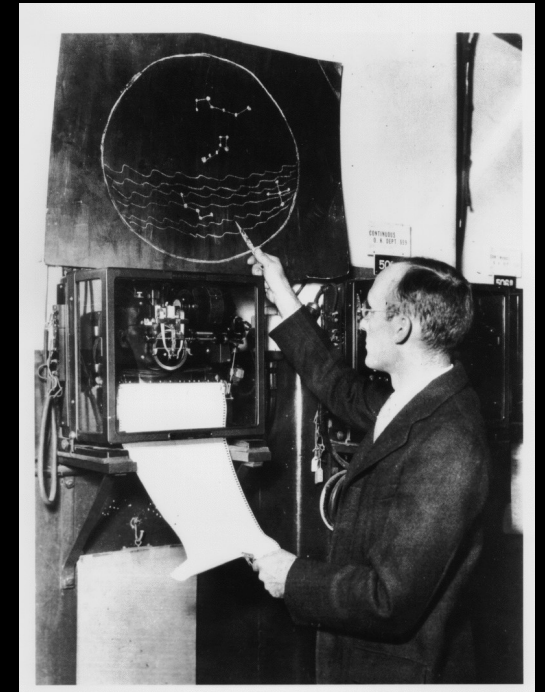
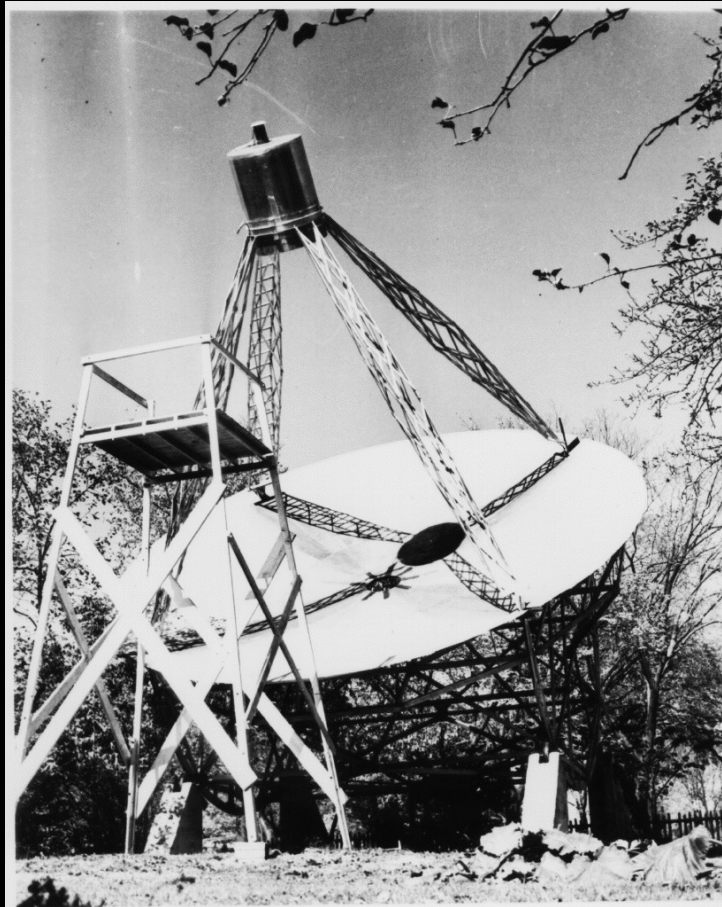
→ la « radio » activité



Naissance de la radio-astronomie

1933-37 : Karl Jansky (USA) :
Découverte d'ondes radio extraterrestres

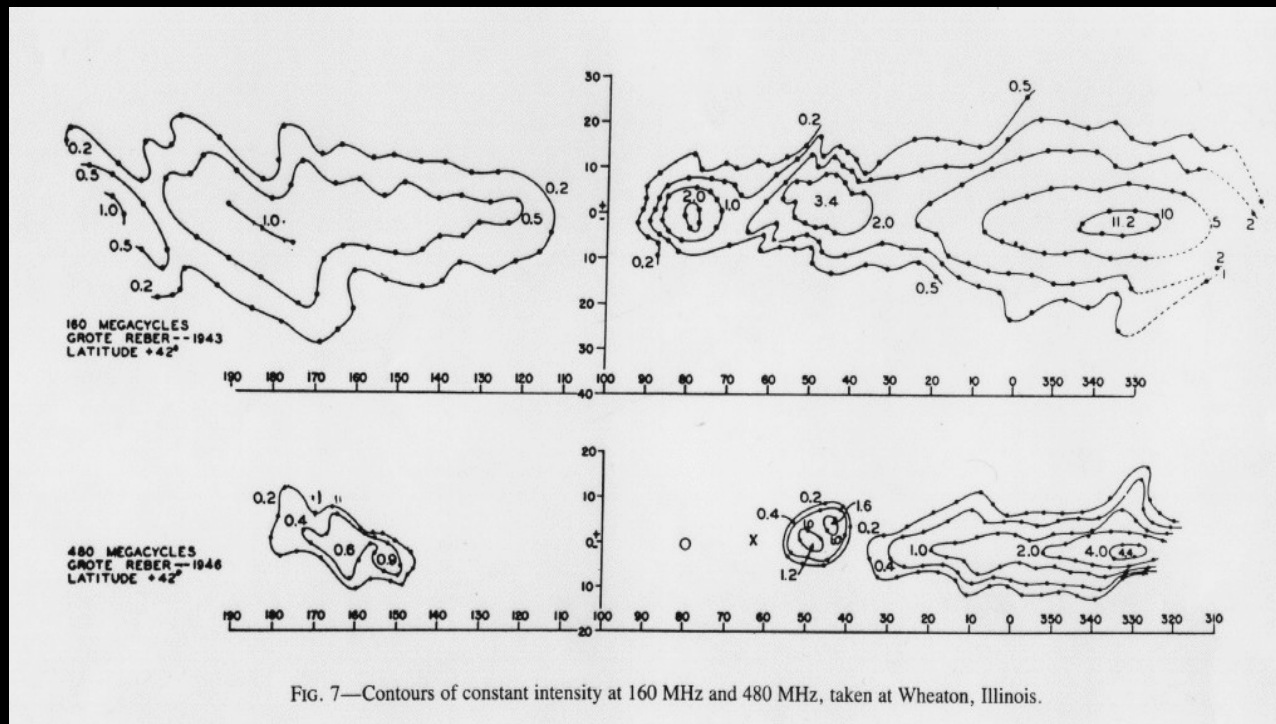
1943-46 : Grote Reber (USA) :
Première cartes du ciel @ 160 et 480 MHz



Naissance de la radio-astronomie

1933-37 : Karl Jansky (USA) :
Découverte d'ondes radio extraterrestres

1943-46 : Grote Reber (USA) :
Première cartes du ciel @ 160 et 480 MHz





VLA: 6 cm

Radio lobe size ~ 200 kpc!

The radio lobes are fed by relativistic jets; we see only one sided jet due to relativistic beaming.

Cen A

(distance ~ 2.5 Mpc)

HST & 6 cm VLA



Crab nebula (Plerion)

Blue: x-ray

Red: optical

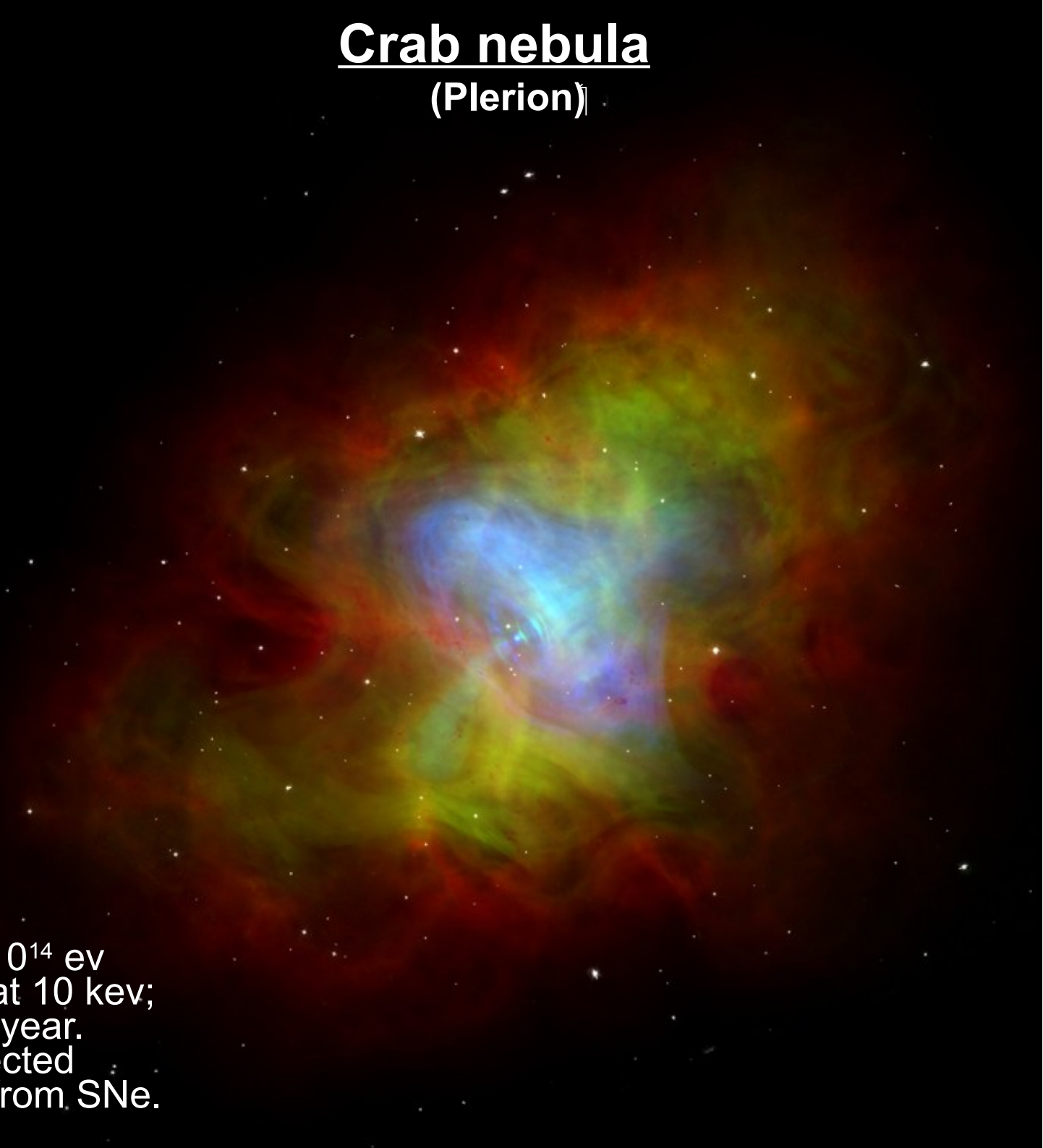
Green:radio

**Luminosity $\sim 10^{38}$ erg/s
(mostly x-ray & gamma)**

Synchrotron radiation:

(linear polarization of 9%
averaged over nebula).

Electrons with energy $> 10^{14}$ eV
are needed for emission at 10 keV;
lifetime for these e's < 1 year.
So electrons must be injected
continuously & not come from SNe.



SN remnant: Cas A (3-70 keV; Chandra)
(Plerion)

SNe II remnant

Age 300 yr
(1670 AD)



X-ray luminosity:
 3.8×10^{36} erg/s

Mass of x-ray gas
10-15 solar mass.

Lumière mais aussi matière !

Jean-Antoine Nollet (l'abbé)

Electroscope (sureau 1747- feuilles d'or 1750)

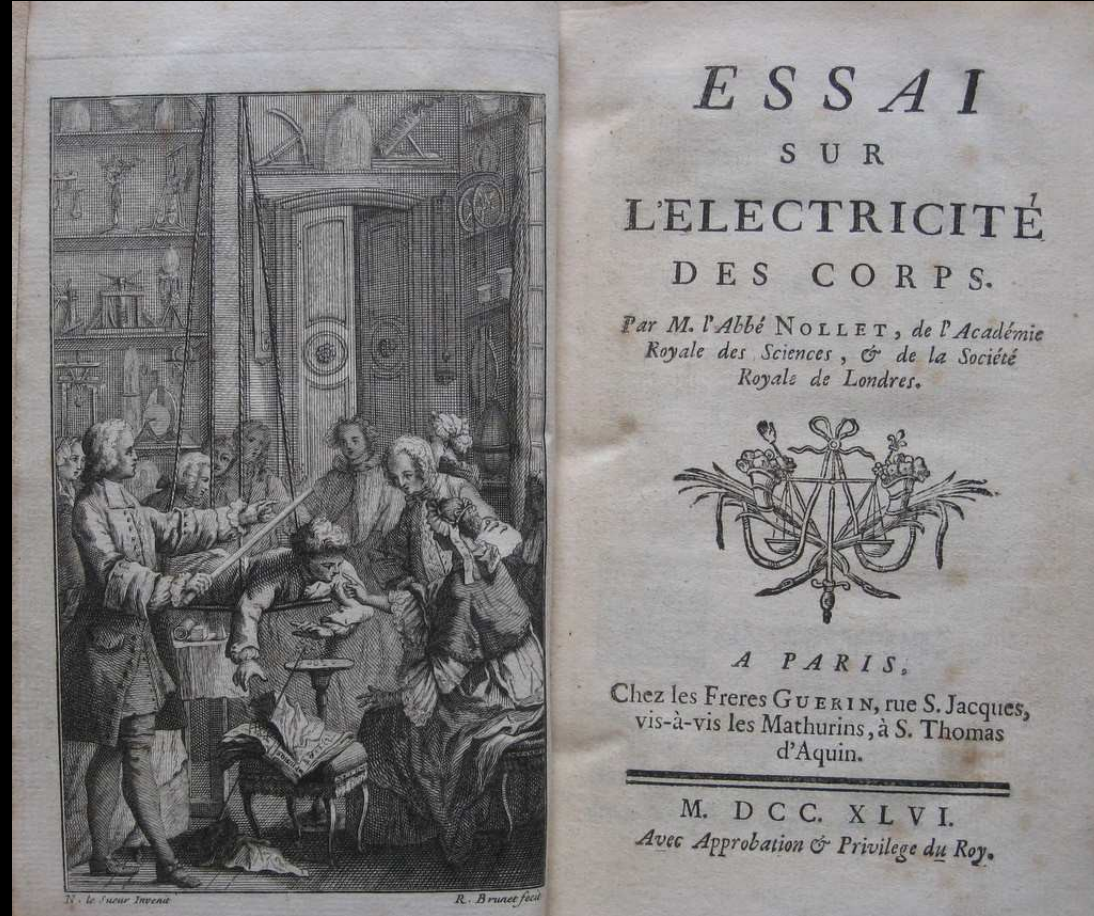
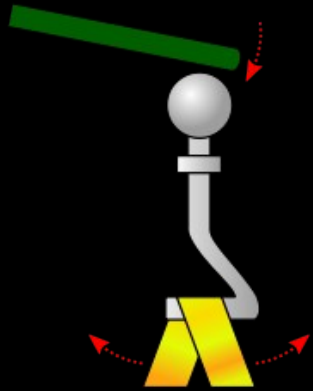


Etudes sur le « fluide électrique »

à la suite de Dufay :

→ électricité vitrée (verre, laine, ...)

→ électricité résineuse (ambre, soie, papier, ...)



1743 :
Leçons de physique expérimentale

Charles-Augustin de Coulomb

Balance de torsion 1785



Première loi :

Les répulsions et les attractions entre deux corps électrisés, varient en raison inverse du carré de la distance.

Deuxième Loi :

A distance égale, ces mêmes forces "sont en raison composée des quantités d'électricité que possèdent les deux corps", c'est-à-dire, proportionnelles au produit des quantités d'électricité répandue sur les deux corps.

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u}$$

Question : causes de la décharge progressive d'un corps électrisé ?

- Support
- Air (et son humidité)



© Daniel Lebée, 1997 © Ministère de la Culture, Inventaire général / Collections Ecole polytech

Theodor Wulf

Expériences 1907-1910

→ **Electroscope à base de quartz
plaqué platine**

→ Expériences (avec P. Langevin) uy
compris sous terre (Belgique) :
rayonnement ionisant : de la Terre ?

→ Et en altitude : Tour Eiffel !

→ Baisse légère de l'ionisation, alors
que l'extrapolation des mesures à 80m
impliquait une baisse de $> 90 \%$.

→ Conclusions : rayonnement d'en haut
ou alors atténuation très faible de l'air.



Victor Hess

Vols en ballon 1911-1912

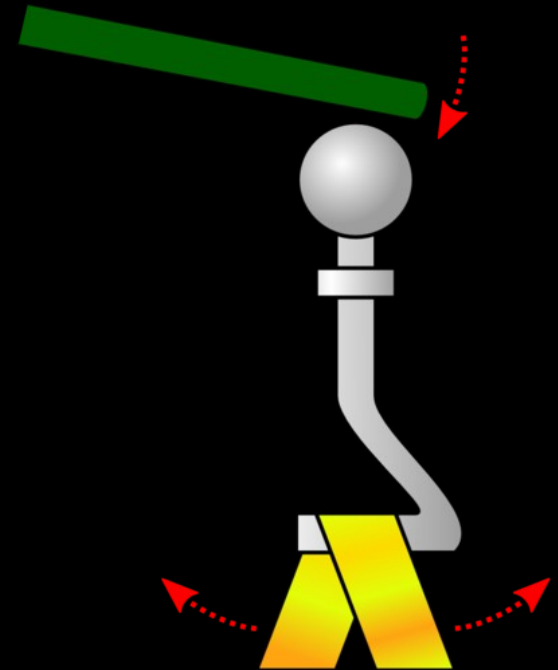
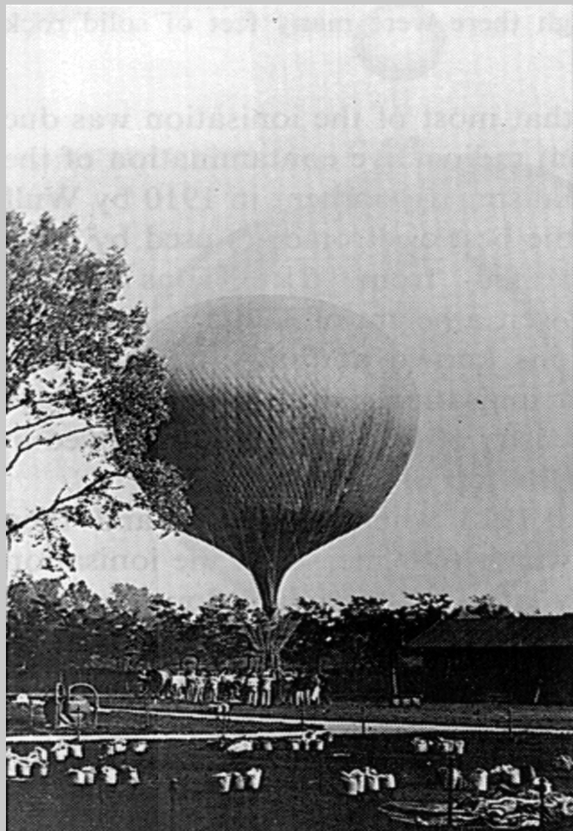
1911-12 : Vols en ballons de Victor HESS à > 5 km

1912-13 : Werner Kolholster > 9 km

→ pas de doute sur le fait que cela vient du ciel...

Mais débats : effets prenants place dans les couches supérieures de l'atmosphères (... comètes, supernovae !) admise seulement en 1927

Nom "Cosmic Rays" → R. Milikian (USA) en 1925 : convaincu qu'il s'agissait de photons...

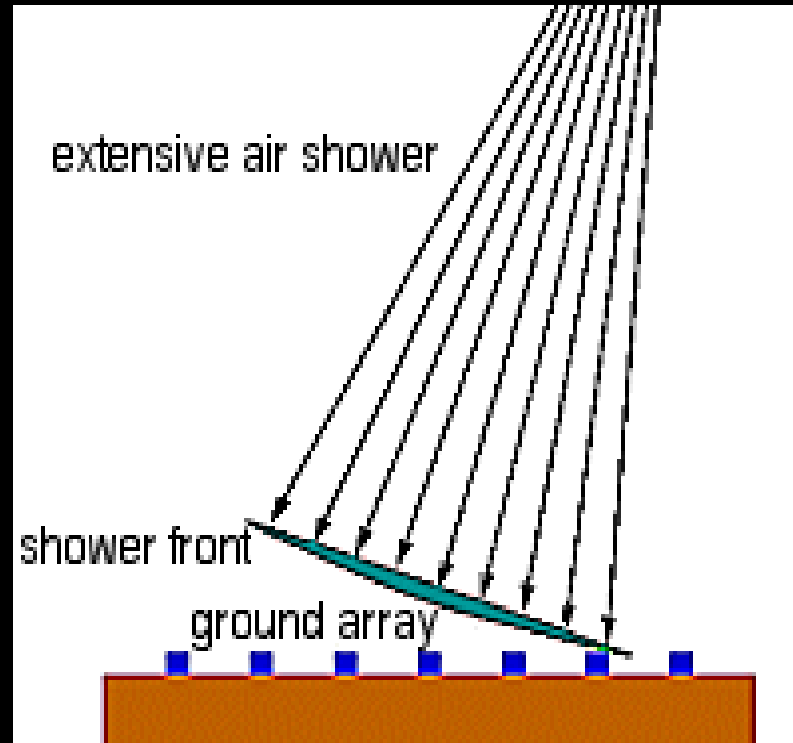


Pierre Auger

Expériences gerbes cosmiques 1930's

1934 Bruno Rossi : Compteurs Geiger

1937-38: Pierre Auger : Particules avec $E > 10^{15}$ eV existent dans la nature



Comment trouver les accélérateurs cosmiques?

- Image accelerators with neutral secondaries
- Gamma-ray and Neutrino Astronomy
- UHE Cosmic Ray Astronomy
- A Quest since 1912 ! (nucleonic)



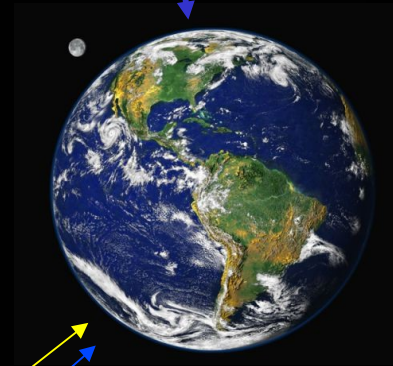
Tau Ceti

Epsilon Eridani

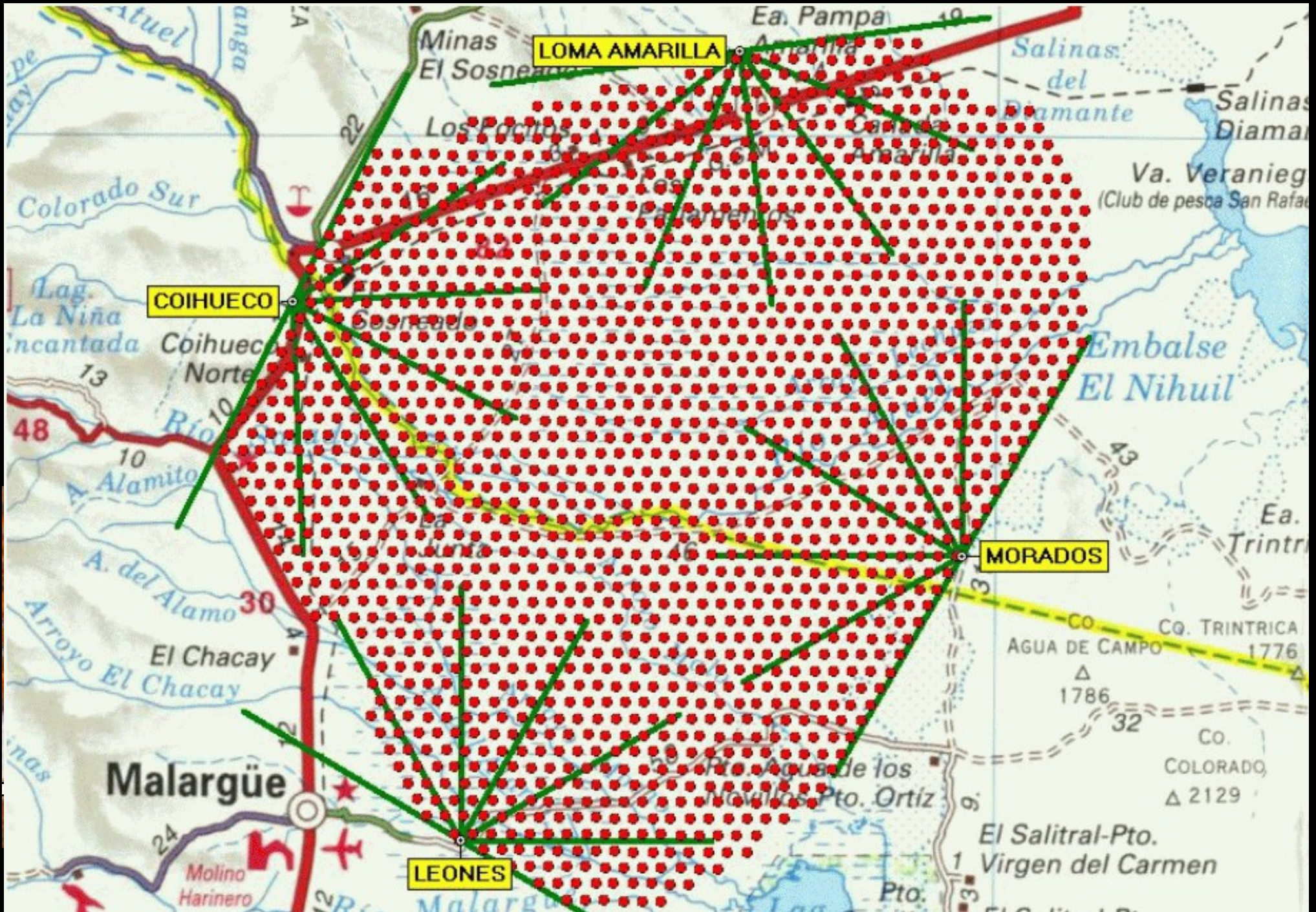
Procyon

Sirius

Wolf 359



Past and present experiments



The Energy spectrum of cosmic rays

Many questions pending...

Acceleration mechanisms?

Origin of highest energy CR's ?

Galactic-extragalactic transition?

Propagation effects?

Measure:

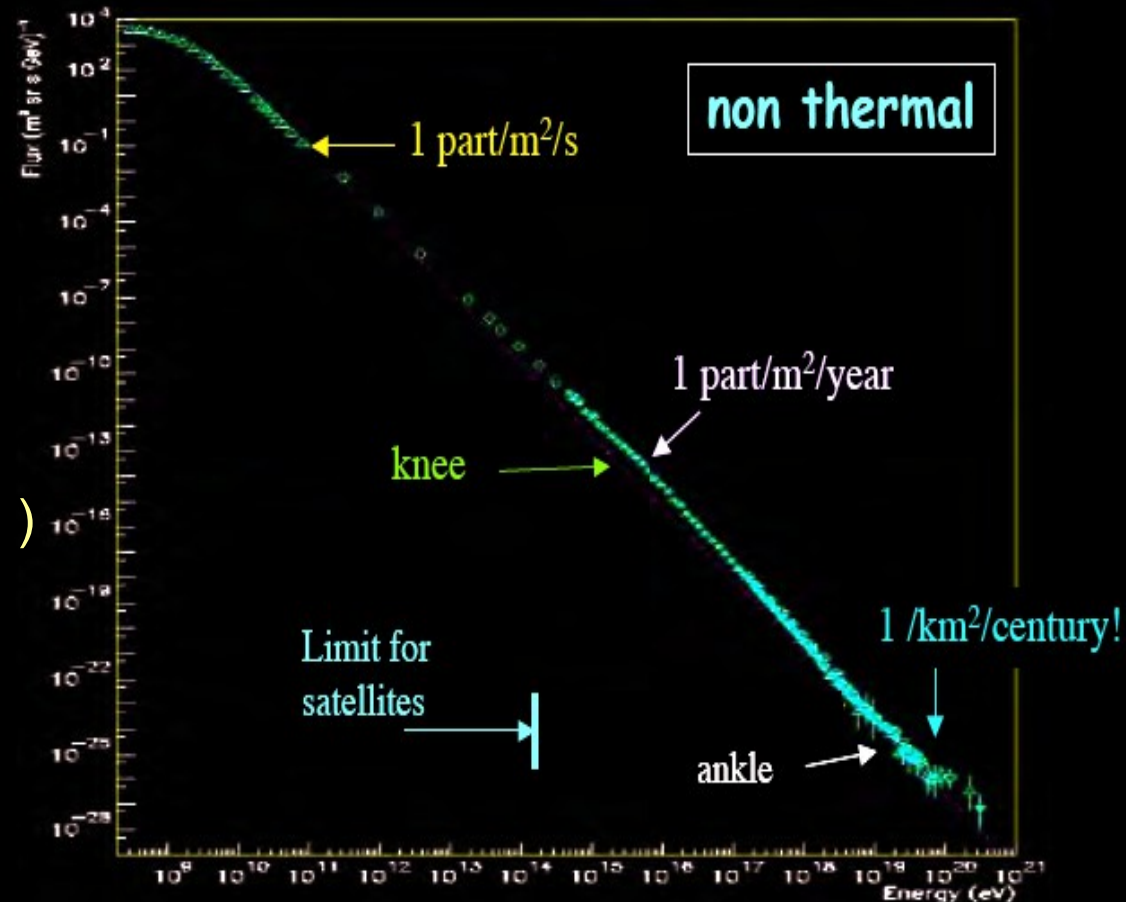
Energy Spectrum

Mass Spectrum

Angular spectrum

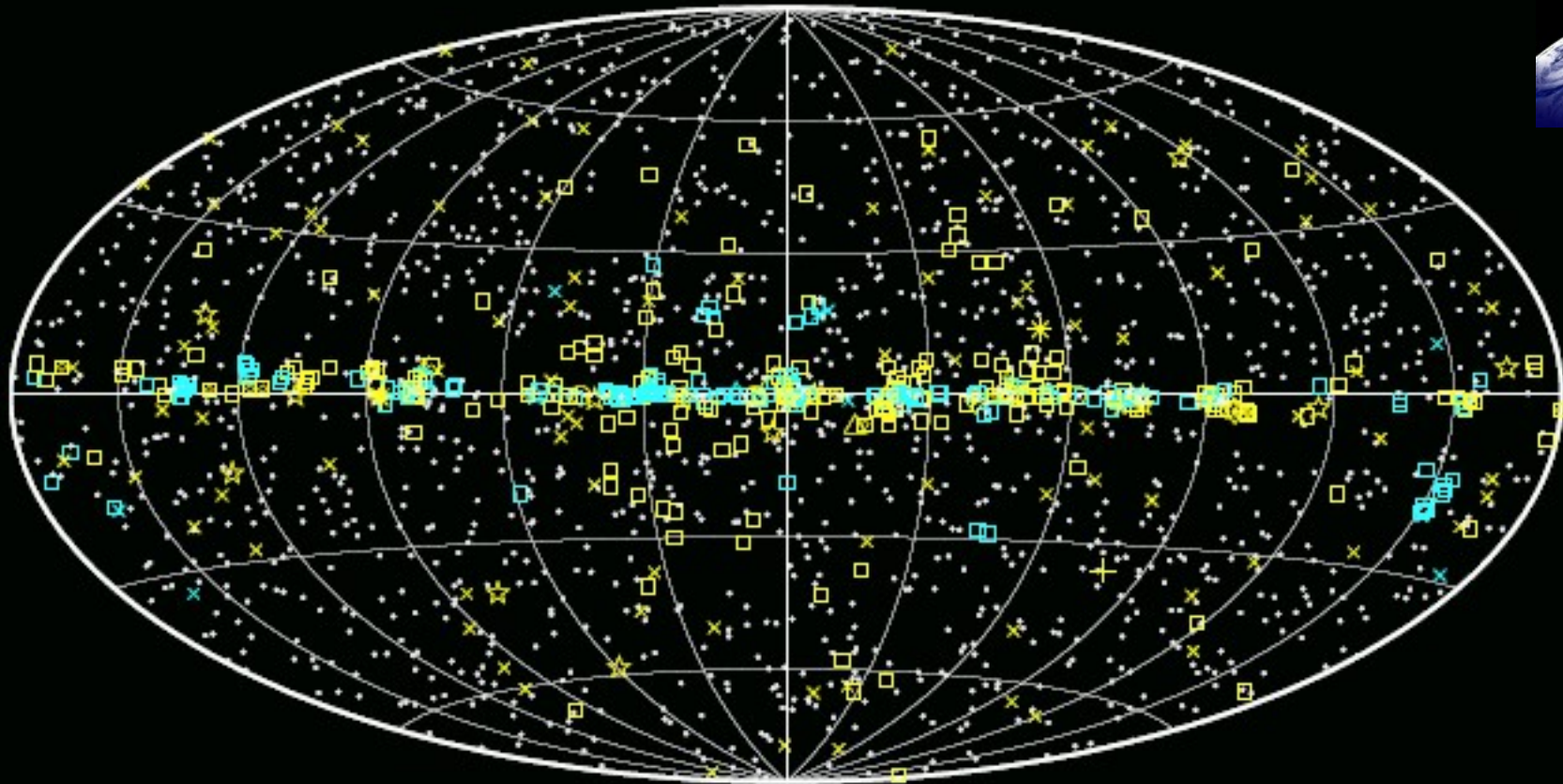
Use multi-messenger astronomy (γ , ν)
to point to sources
to understand propagation effects

Go to highest energies to overcome
magnetic deflection



Depuis la Terre mais aussi de l'espace !

Second Fermi Catalog



□ No association	▣ Possible association with SNR or PWN	
× AGN	☆ Pulsar	△ Globular cluster
* Starburst Gal	◇ PWN	▣ HMB
+ Galaxy	○ SNR	* Nova

1873 sources, 575 unassociated, >1000 AGNs, ... >100 pulsars

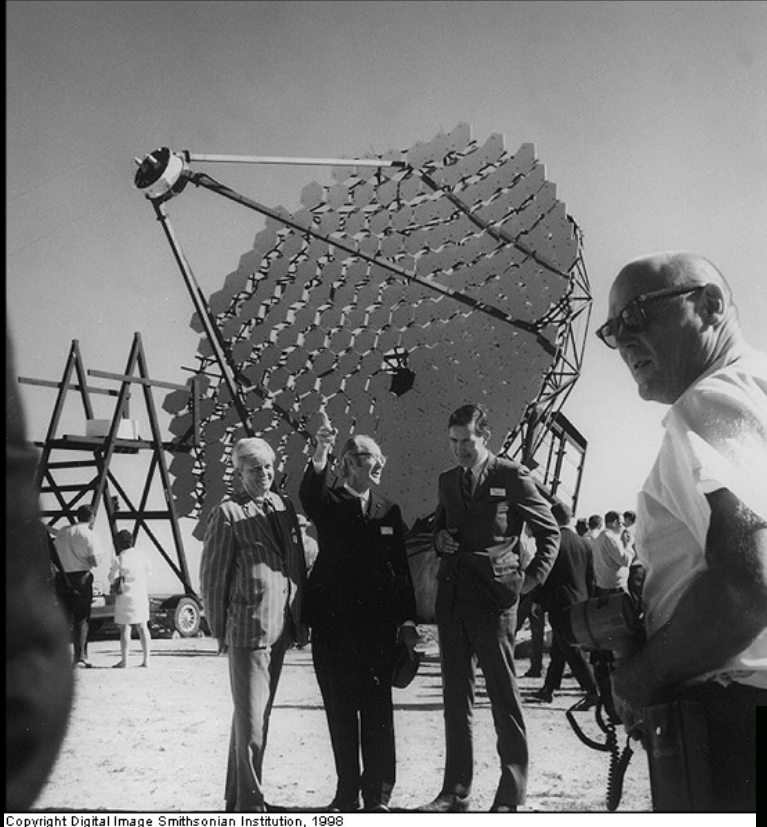
Nebuleuse du Crabe

Supernova de 1054

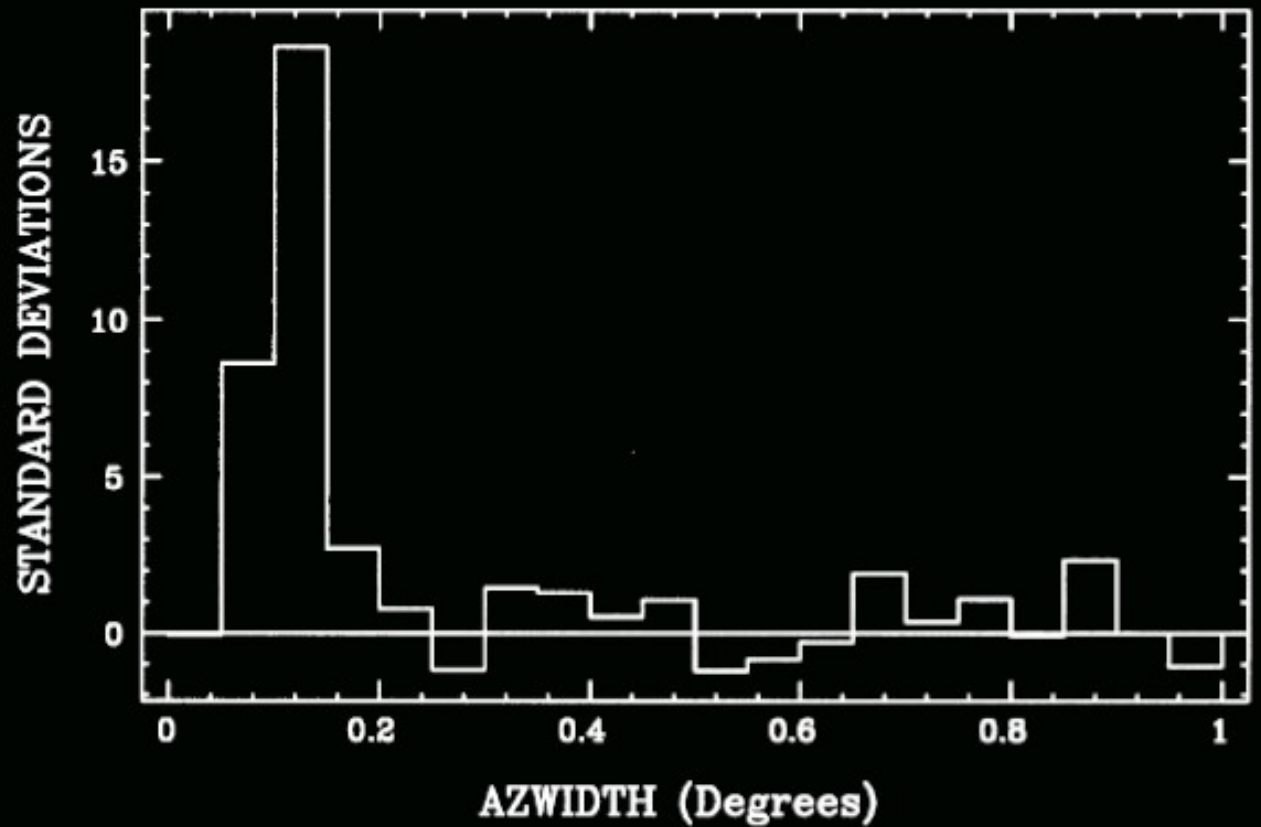


Whipple detection of the Crab nebula

[1996-1998]



Copyright Digital Image Smithsonian Institution, 1998



Chasing the Crab nebula VHE emission with Cherenkov telescopes

Experiment	Epoch	Signif.	E_{th} (TeV)	E_{up} (TeV)	$\Phi(E > E_{\text{th}})$ ($\times 10^{-12}$)	α	Reference
Whipple	1986–88	9.0σ	0.7		18		[74]
γ^*	1988	5.8σ	0.2		170		[187]
Whipple ^a	1988–89	20.0σ	0.4	4.0	70 ± 4	-1.4 ± 0.3	[188]
ASGAT	1991–92	5.7σ	0.6		27 ± 5		[71]
Themistocle ^a	1990–92	5.8σ	3.0	15.0	8.0 ± 1.1	-1.5 ± 0.2	[72]
CANGAROO ^a	1992–93	4.0σ	7.0		0.76 ± 0.19		[189]
GT-48	1992–94	5.2σ	1.0		13 ± 4		[190]
Themistocle	1990–94	6.5σ	2.0	20.0	4.3 ± 0.8	-1.4 ± 0.2	[191]
HEGRA-CT1 ^a	1994–95	10.0σ	1.0	3.0	$8.0 \pm 1.0 \pm 2.4$	-1.7 ± 0.3	[192]
ARTEMIS	1992–94	6.3σ	1.25		$14^{+3.0}_{-2.5} \pm 7$		[193]
HEGRA-CT1	1994–95	9.3σ	1.0		$15^{+2}_{-2} \pm 10$	-1.7 ± 0.3	[194]
CANGAROO	1992–95	8.0σ	7.0	50.0	0.84 ± 0.10	-1.53 ± 0.15	[195]
Whipple	1988–89		0.5	8.0	$48 \pm 5 \pm 9$	-1.49 ± 0.06	[196]
	1995–96						
CAT	1996–97	14.2σ	0.3	8.3	89 ± 8	-1.55 ± 0.09	[199,200]

^aIndicates a measurement superseded by a later result from the same group.

European confirmation of the Crab nebula TeV signal

Themistocle [1990-1994]

HEGRA CT-1 [1994-1995]



Past & Current VHE γ -ray Instruments

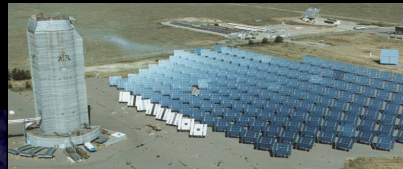


Fermi

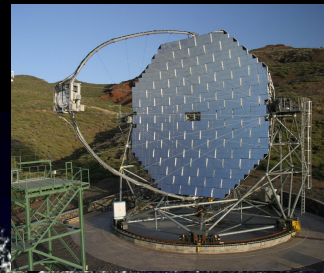
MILAGRO



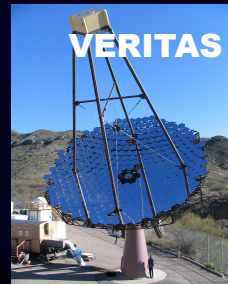
STACEE



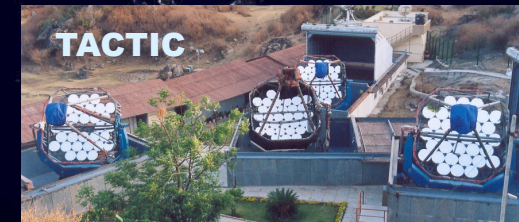
MAGIC



TIBET



VERITAS



TACTIC



HESS



CANGAROO

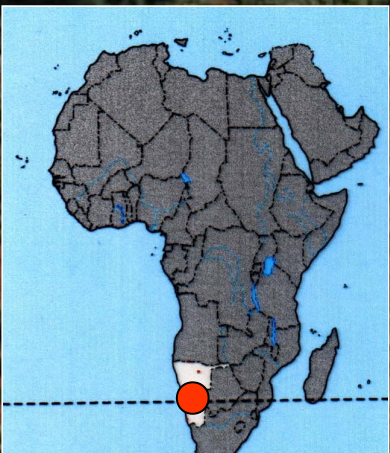
H.E.S.S. (High Energy Stereoscopic system)

Réseau de 4 télescopes de $\Phi = 12$ m

En Namibie

Collaboration européenne :

→ 12 pays, 32 institutions, 170 chercheurs



γ -ray

Particle shower

~ 10 km

Detection of TeV gamma rays

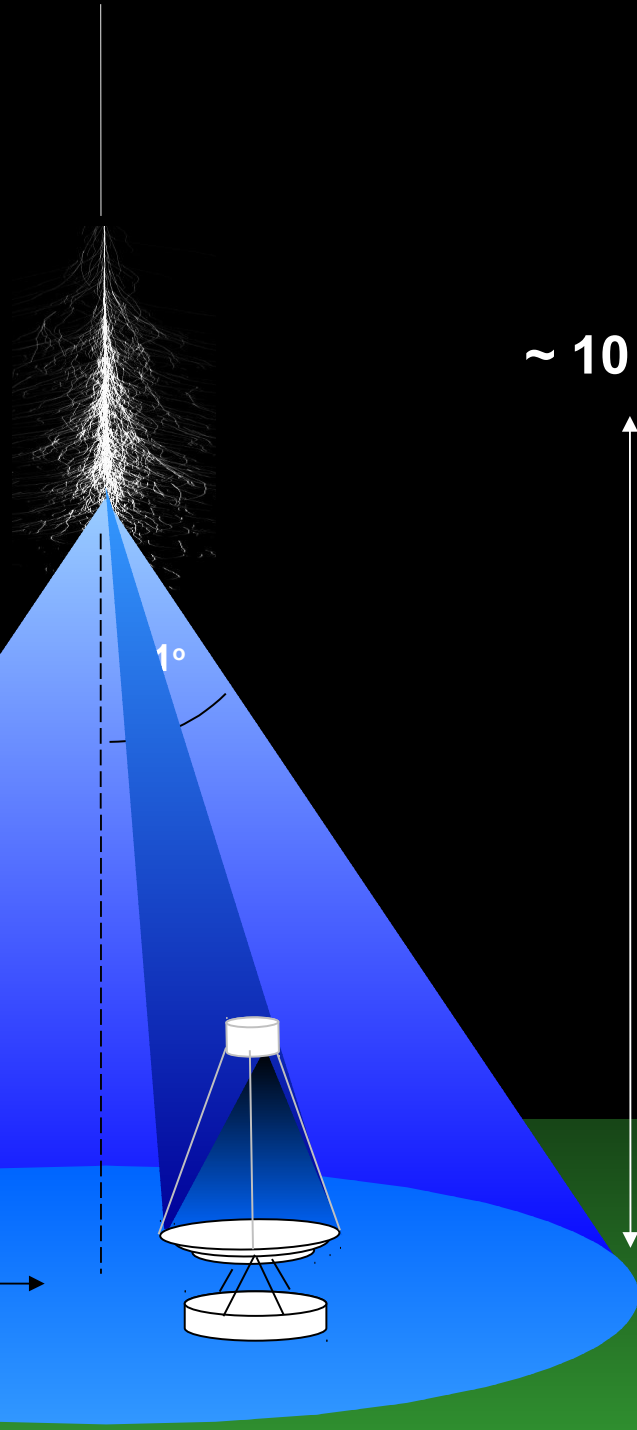
using Cherenkov telescopes

Cherenkov light

1°

~ 120 m

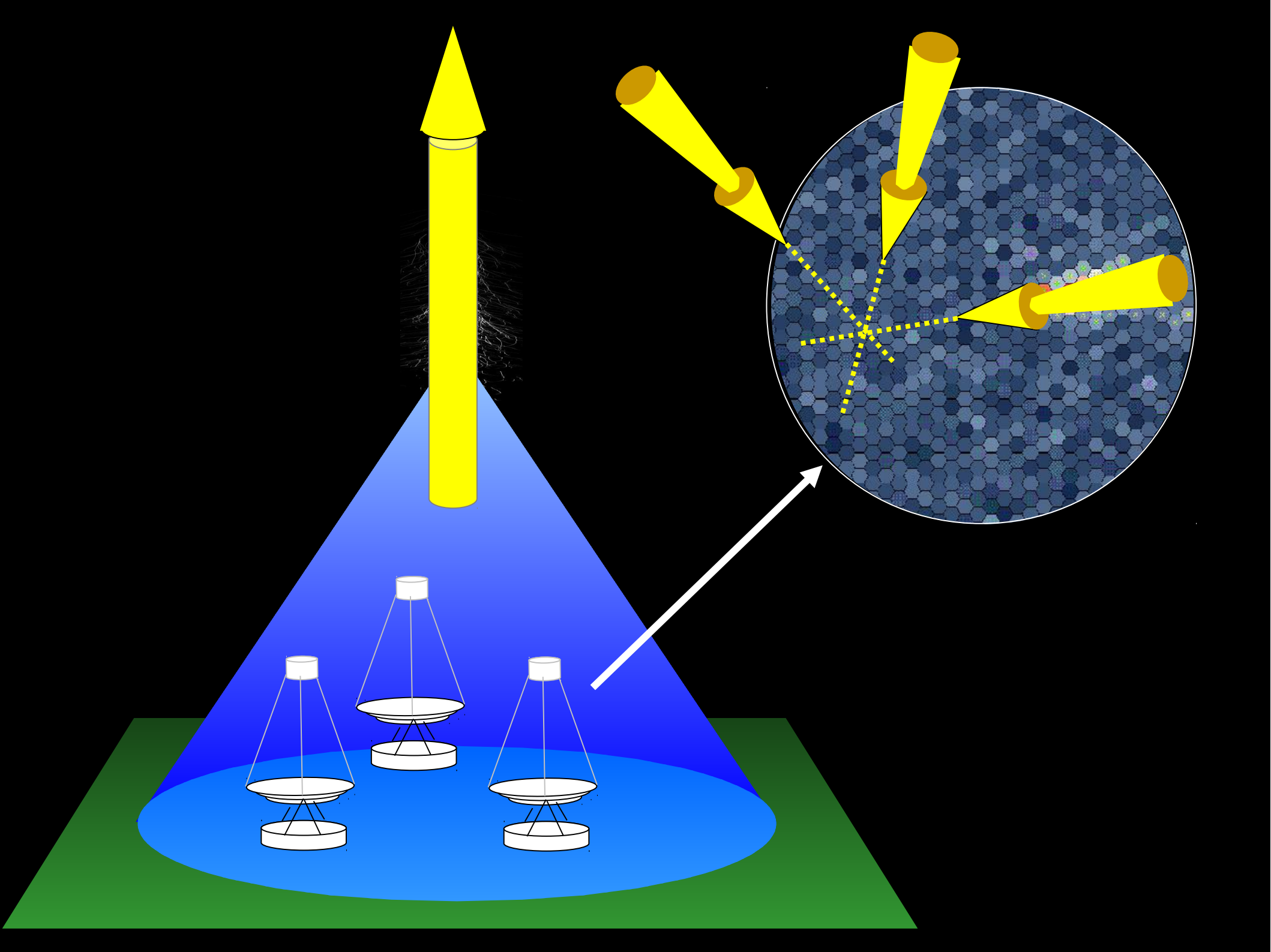
Key issue:
huge detection area
 $\sim 10^5$ m²



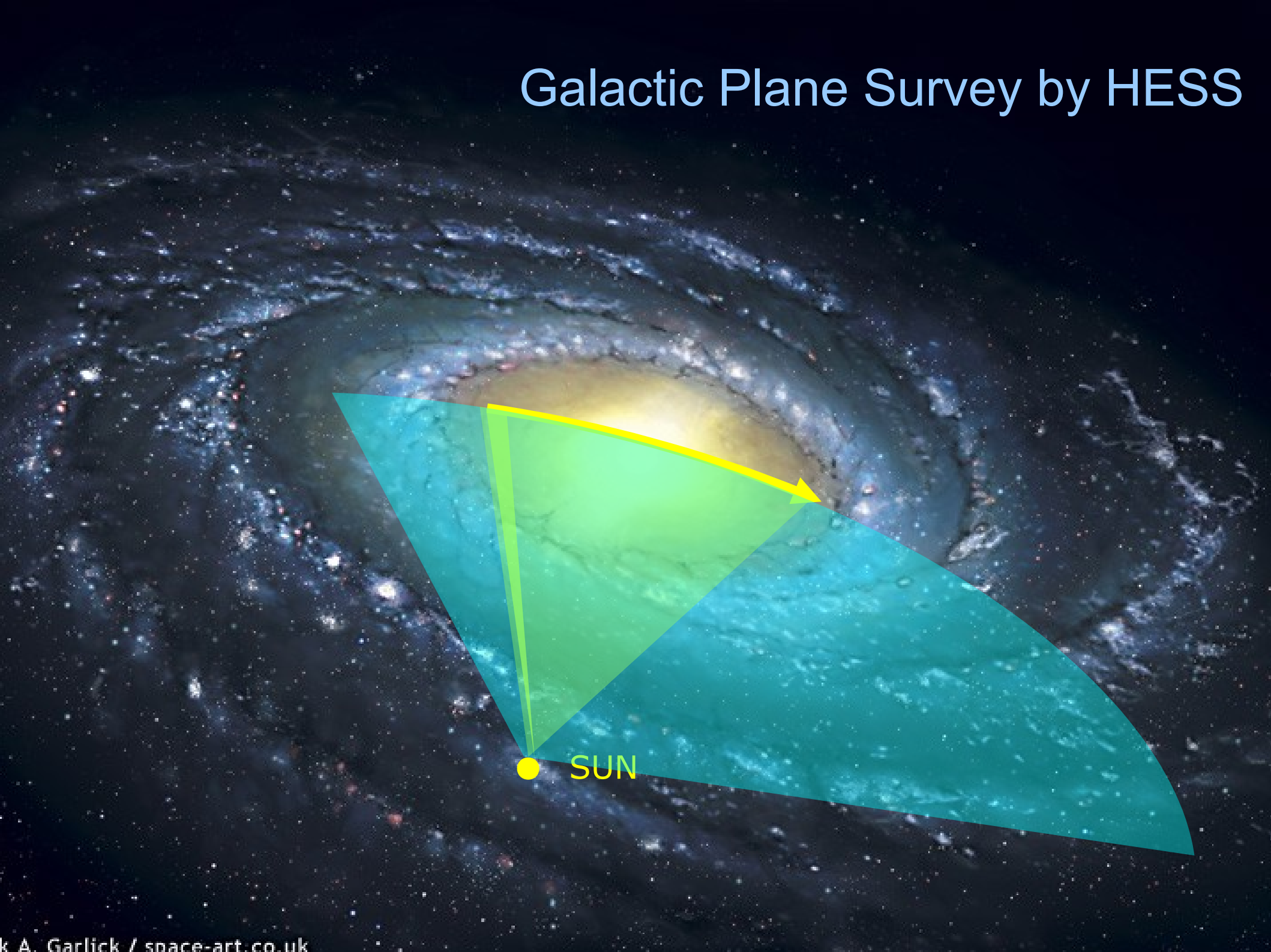
Air showers look a bit like meteors

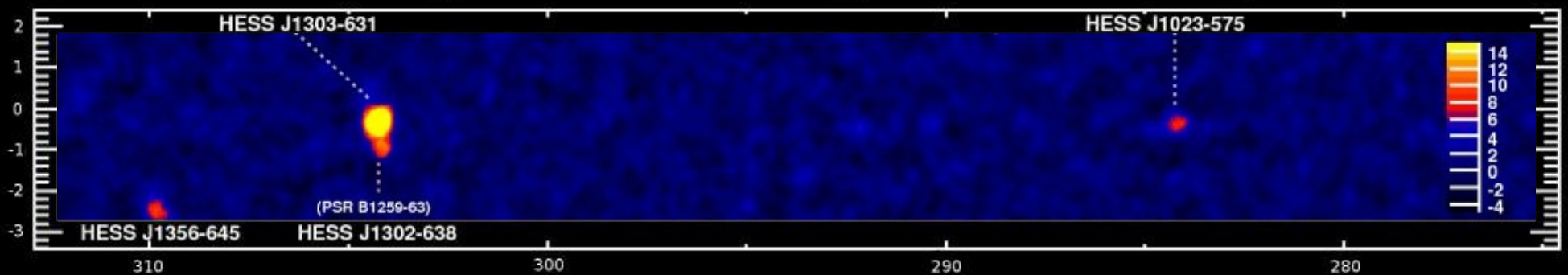
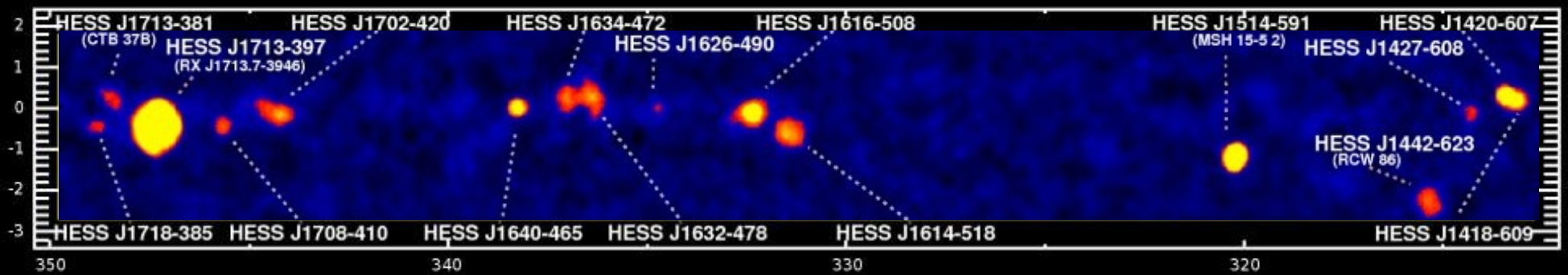
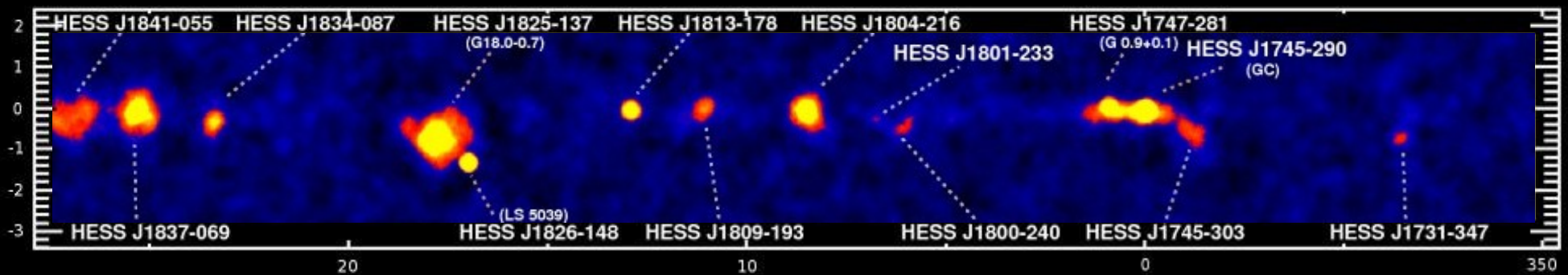
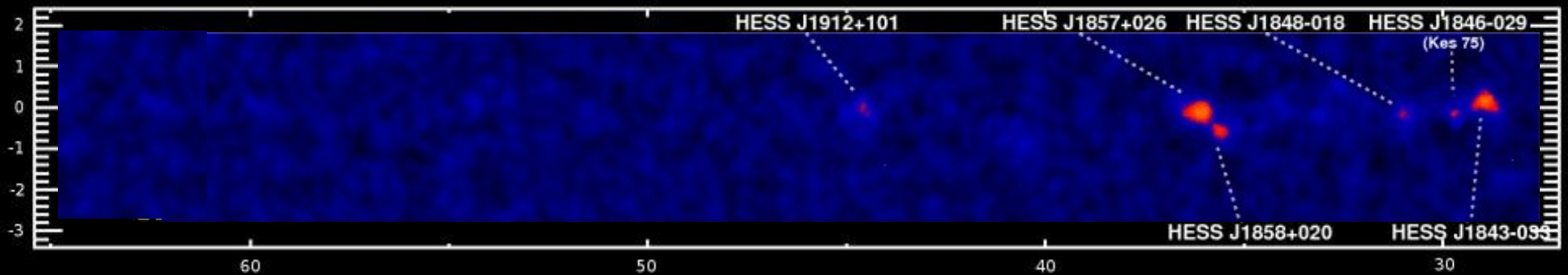


(from Sky & Telescope)

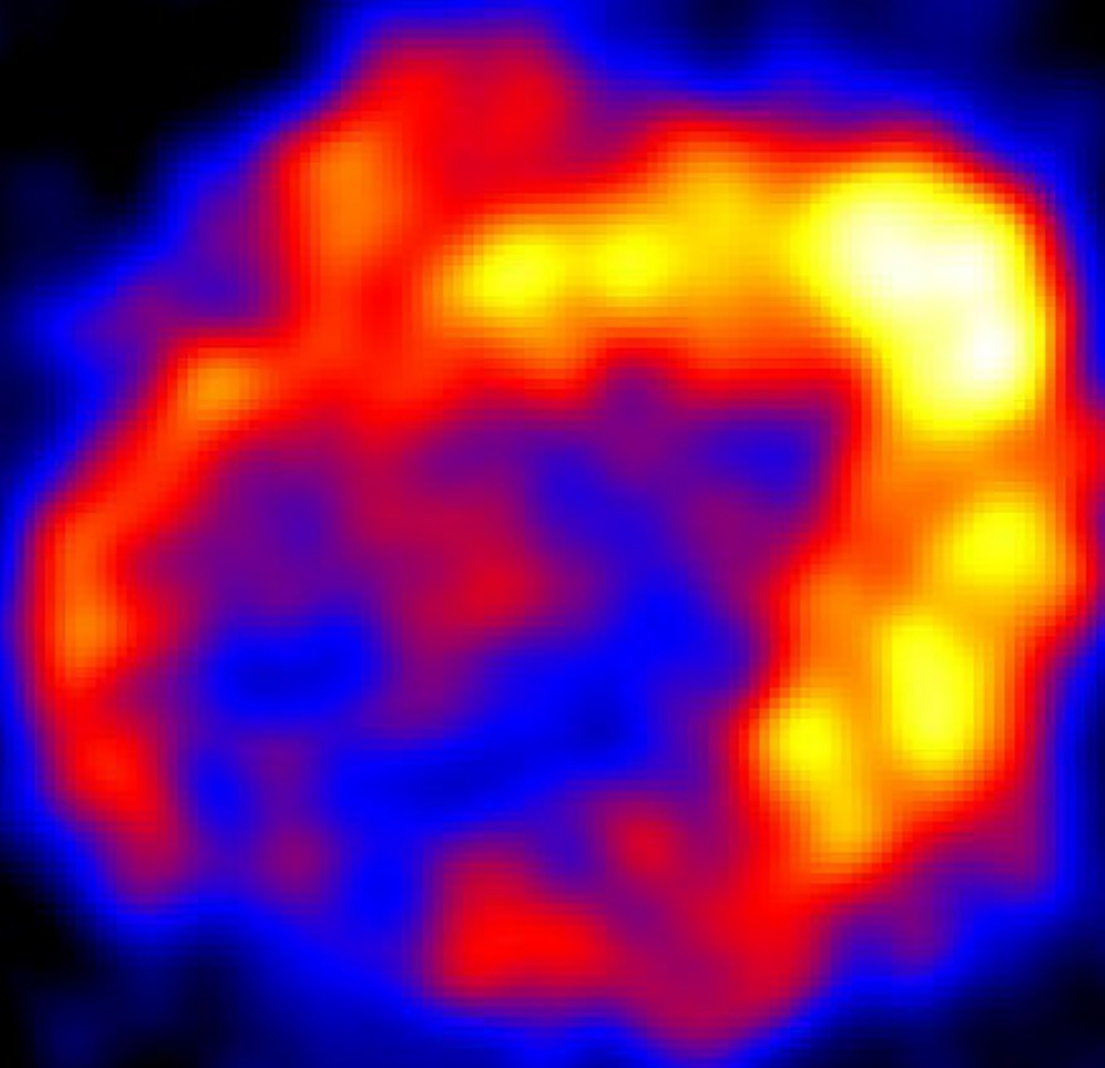


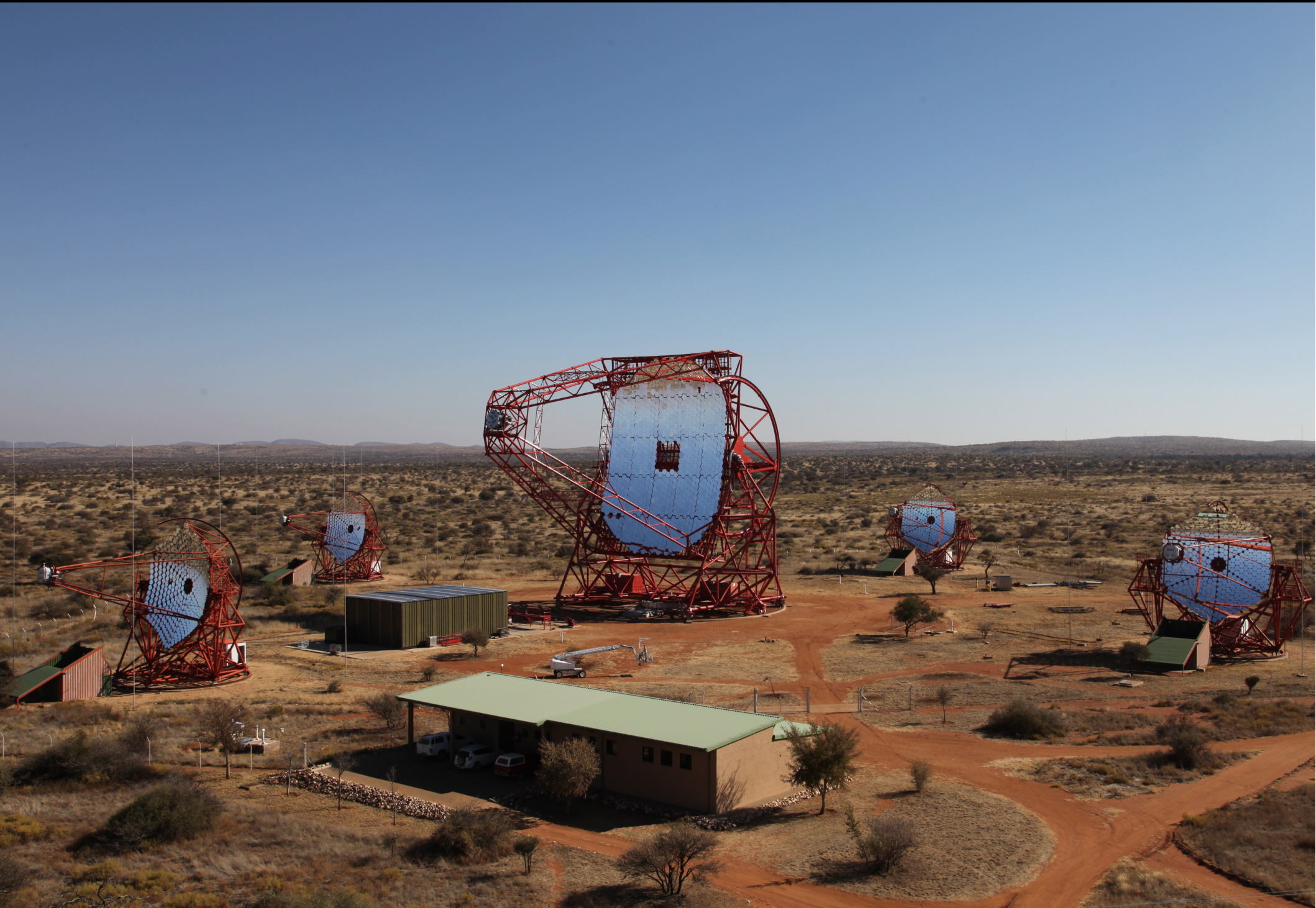
Galactic Plane Survey by HESS





VHE γ -ray Astronomy

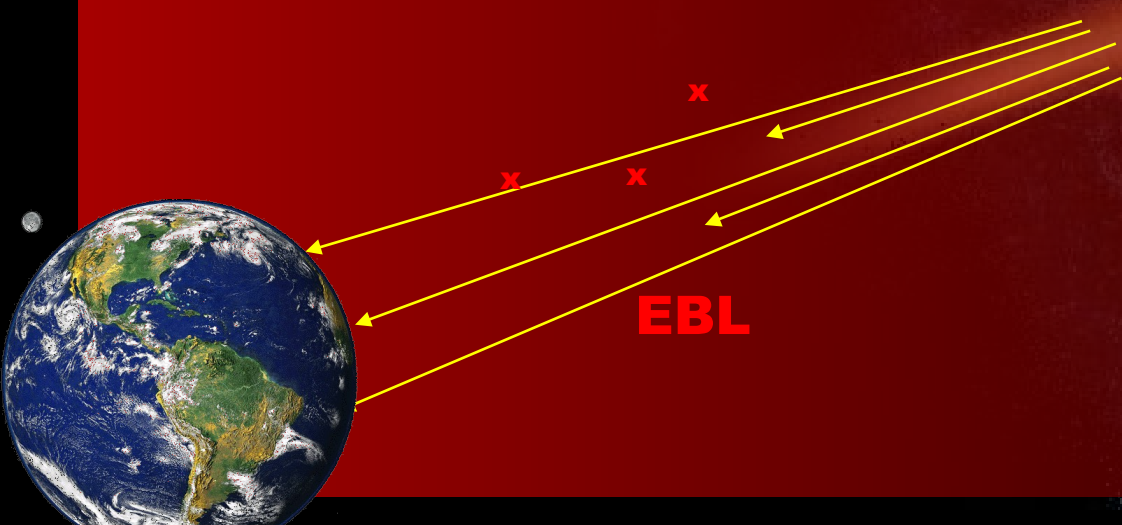




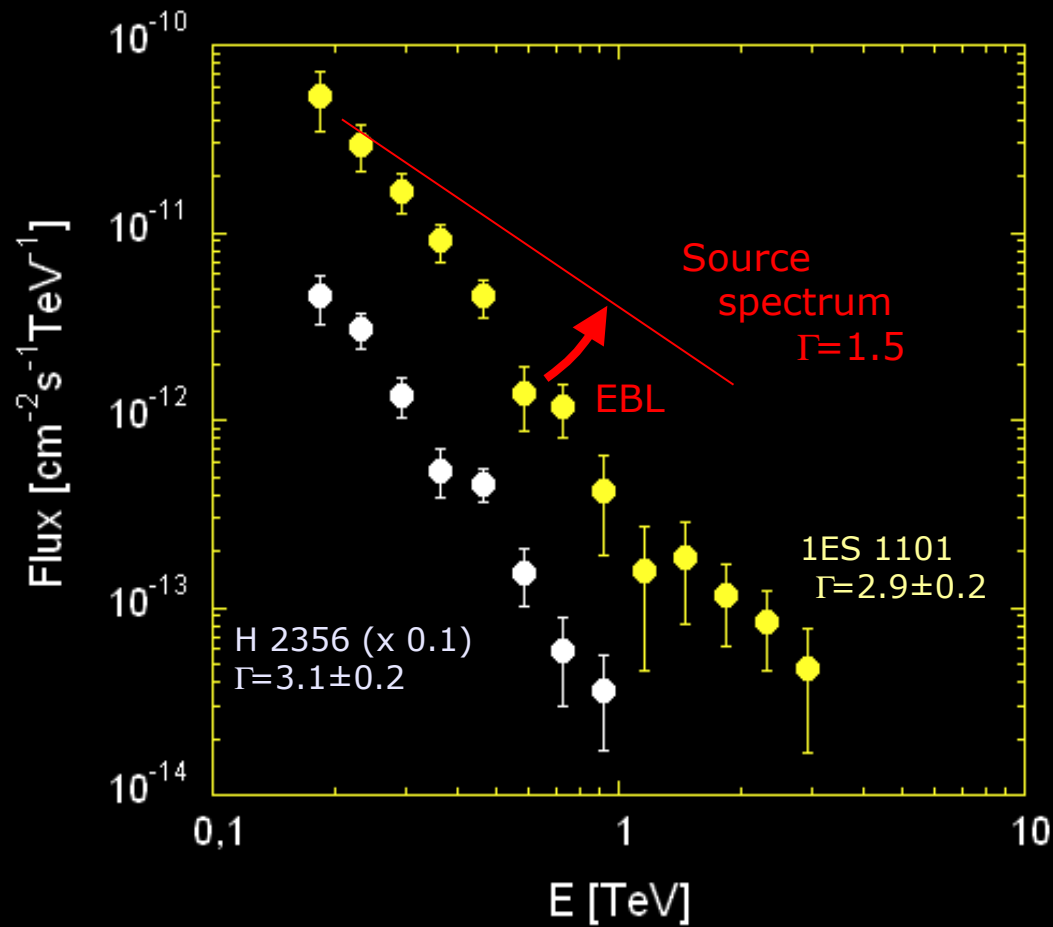
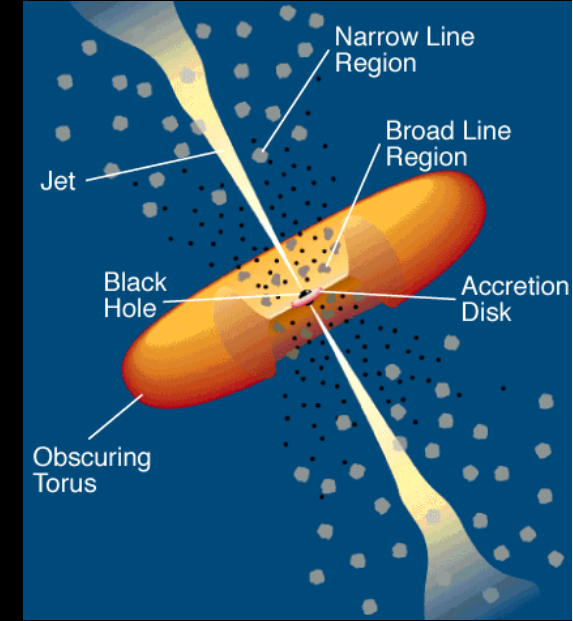
Sondage de l'espace intergalactique

Physique et compréhension des noyaux actifs de Galaxies
Mesure de la densité de lumière diffuse intergalactique

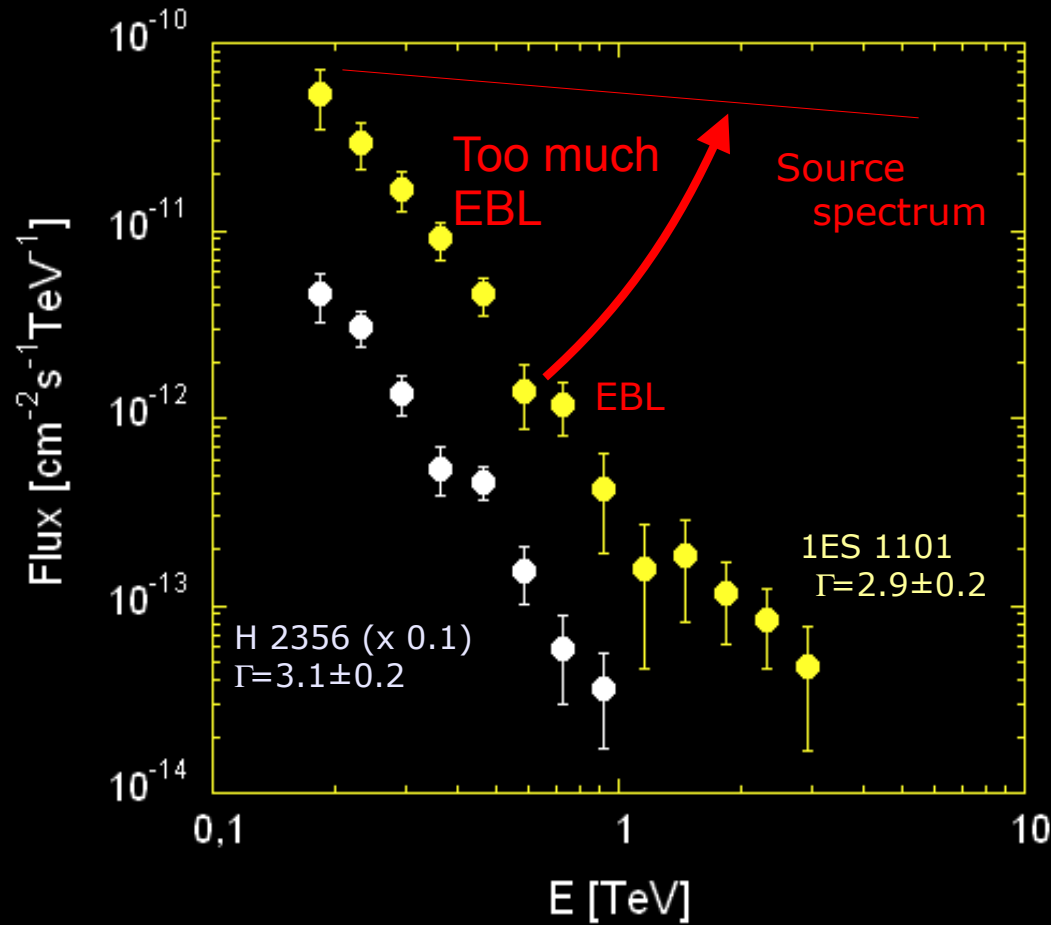
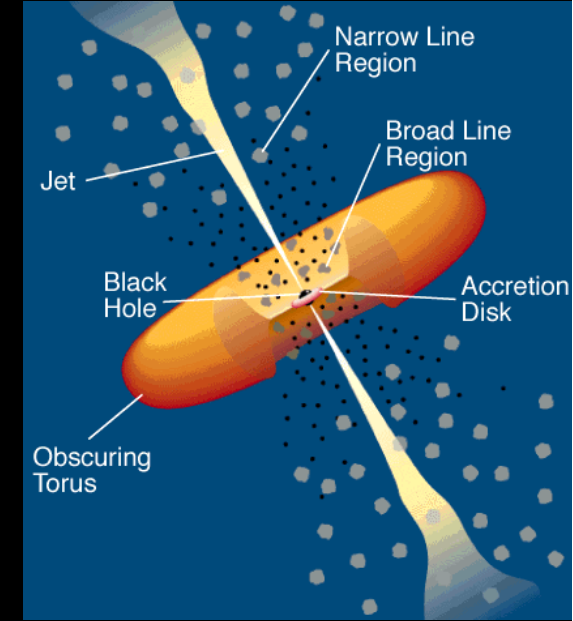
$$Y_{\text{VHE}} + Y_{\text{EBL}} \rightarrow e^+e^-$$



Signature sur le spectre gamma mesuré depuis la Terre



Signature sur le spectre gamma mesuré depuis la Terre



►► Upper limit on EBL