



LES RAYONS COSMIQUES

Fabien Casse

Laboratoire AstroParticule & Cosmologie
Université Paris Diderot

M2 Astronomie & Astrophysique

PLAN DE CE CHAPITRE

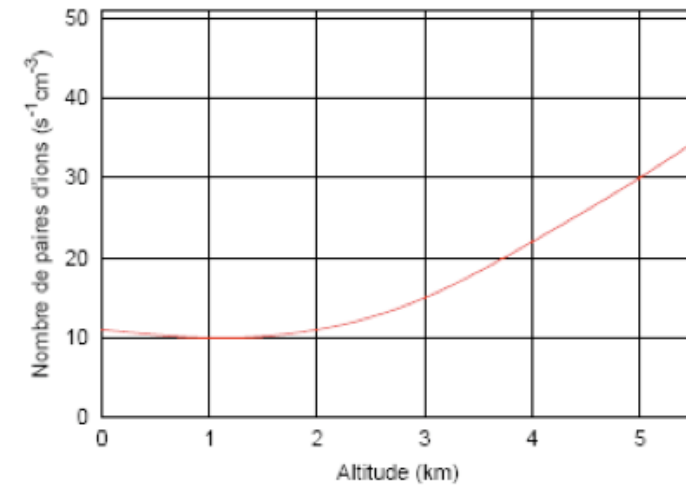
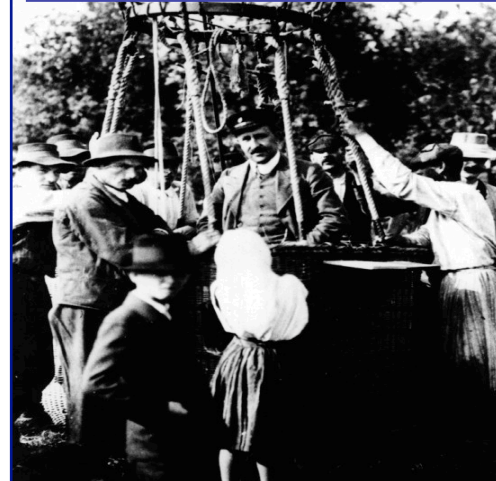
- Histoire de la découverte des rayons cosmiques
- Présentation des connaissances actuelles sur les rayons cosmiques.
- Accélération de Fermi: principe de base, spectre en énergie, etc ...
- Questions ouvertes sur le rayonnement cosmique.

HISTORIQUE: QUELQUES DATES

- 1910: Premières mesure par Th. Wulf au sommet de la Tour Eiffel.
- 1911-1913: Mesures par vol en ballon par Victor Hess (Nobel 1936)
- ➔ Découverte des « ultra-radiations »



Route des Entdeckungsfluges der kosmischen Strahlung



Altitude max > 5300m

- 1912 : V.Hess découvre le rayonnement cosmique
- 1925 : R. Millikan introduit le terme « rayons cosmiques »

R.Millikan défend le fait que les RC sont des particules neutres (des photons) qui arrivent jusqu'au sol.

- 1928 : Découverte de l'effet en latitude:

-> Sir A.Compton: le rayonnement est variable suivant la latitude où il est mesuré (plus faible à l'équateur qu'aux pôles) du fait de l'influence du champ magnétique terrestre [mesures effectuées par J.Clay] -> particules chargées.

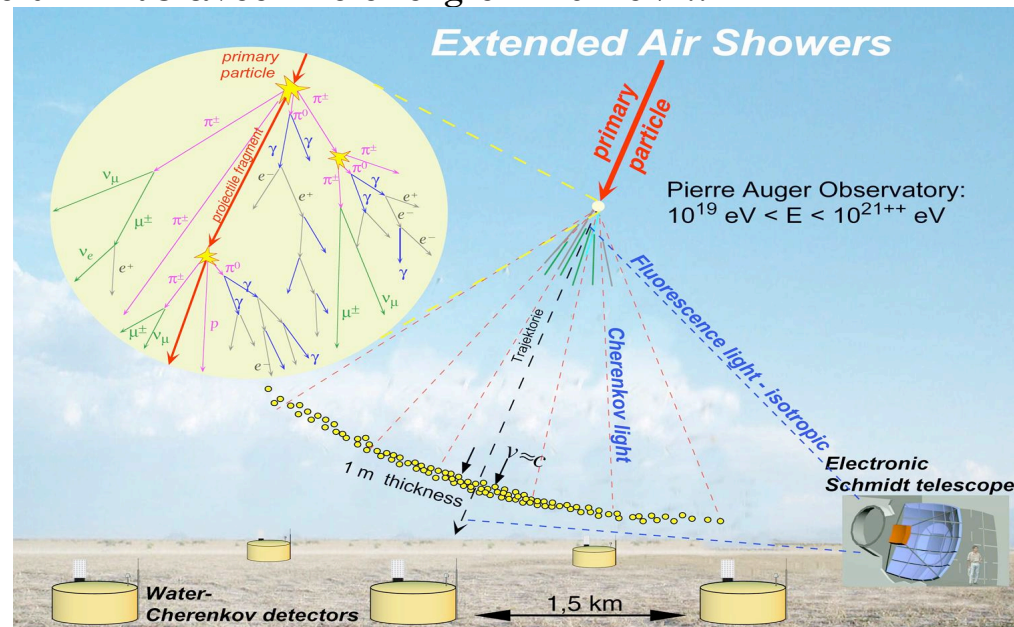
- 1932 : Débat Millikan-Compton: sur la nature du rayonnement cosmique photons ou particules chargées.

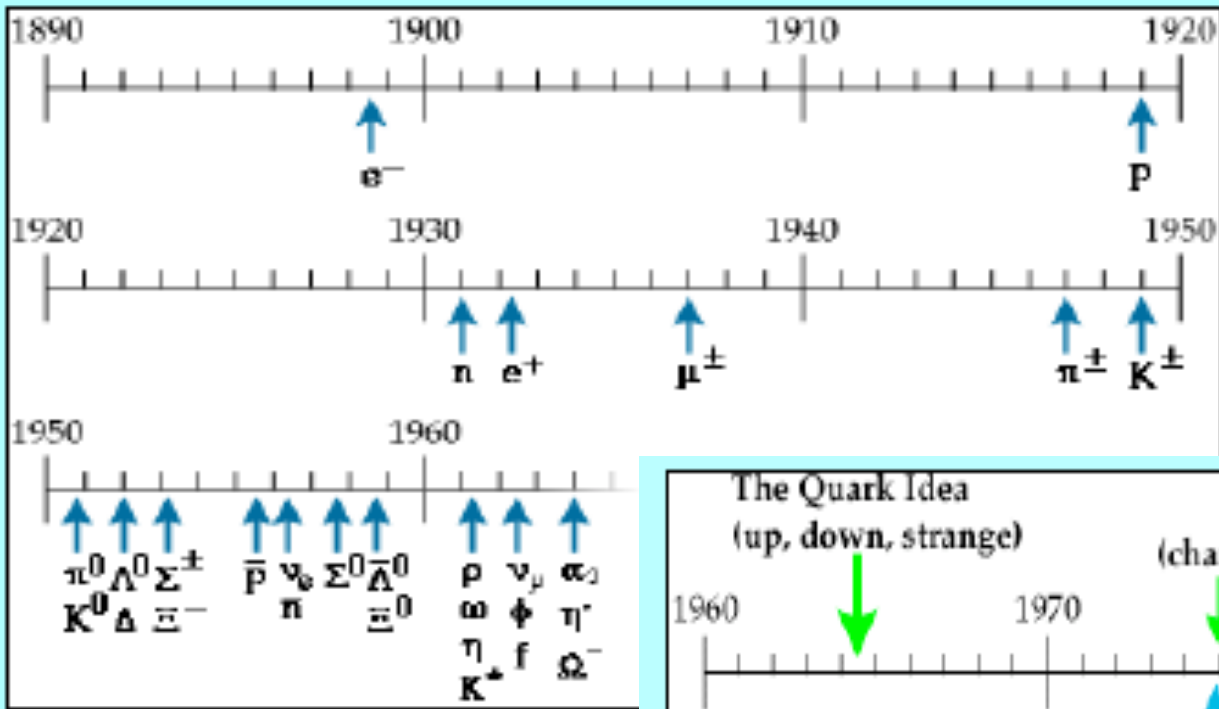


- 1912 : Hess découvre le rayonnement cosmique
- 1925 : Millikan introduit le terme « rayons cosmiques »
- 1928 : Découverte de l'effet en latitude
- 1932 : Débat Millikan-Compton
- 1933-34 : Les supernovas comme source des RC ? (Baade et Zwicky)
- 1937 : Découverte du muon dans le rayonnement cosmique
- 1938 : Découverte de l'effet est-ouest: les particules de charge + viennent d'ouest [B.Rossi & T.Johnson] -> ***Compton a raison !!***
- 1938 : Auger découvre les « grandes gerbes »
- 1949 : Fermi propose un mécanisme d'accélération des RCs
 - ➔ Travaux de E. Parker (1954) ...

PIERRE AUGER

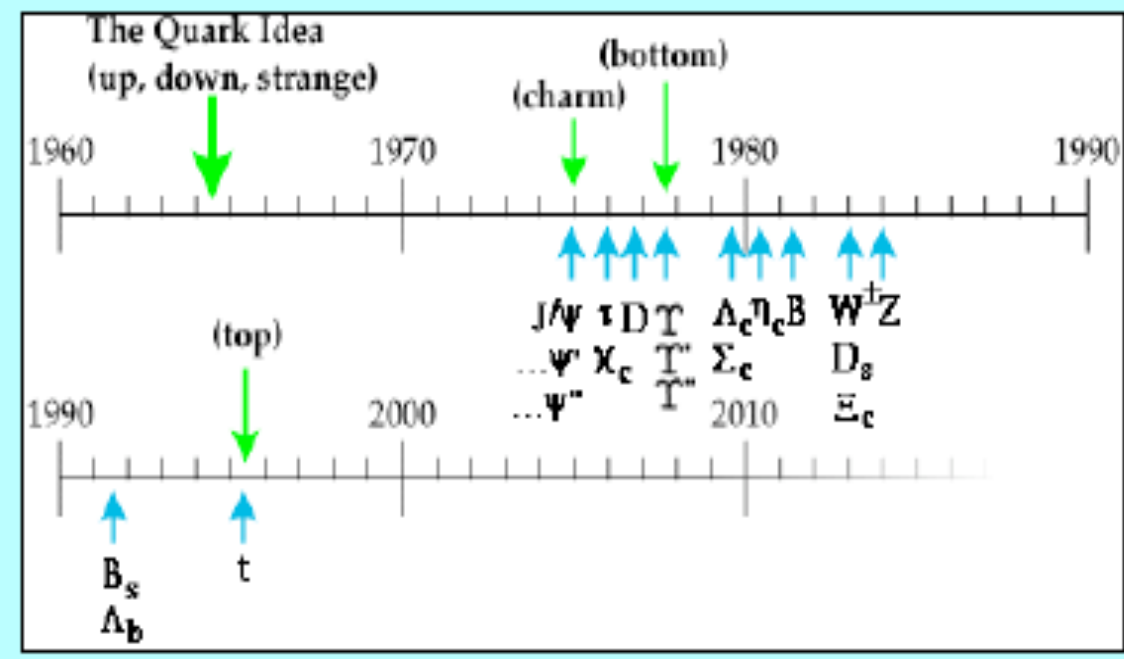
- Technique du comptage par coïncidence [W. Bothe] par compteur Geiger.
- *B. Rossi* => coïncidences fortuites plus élevées que la valeur théorique dans le RC...
- *P. Auger* => mesures systématiques (IPG, pic du midi puis à l'observatoire de la Jungfrau): compteurs couvrant une surface $\sim \text{km}^2$ => gerbes de particules (1938).
- Appuis théoriques: études des cascades de particules secondaires (Bhabha, Oppenheimer, Heitler ...) => particules découvertes dans le RC positrons (1932), muons (1937), pions (1947)
- Ces études ont ouvert la voie aux études des grandes gerbes atmosphériques:
 - Volcano Ranch (1962): découverte d'un RC avec une énergie $> 10^{20}$ eV !!



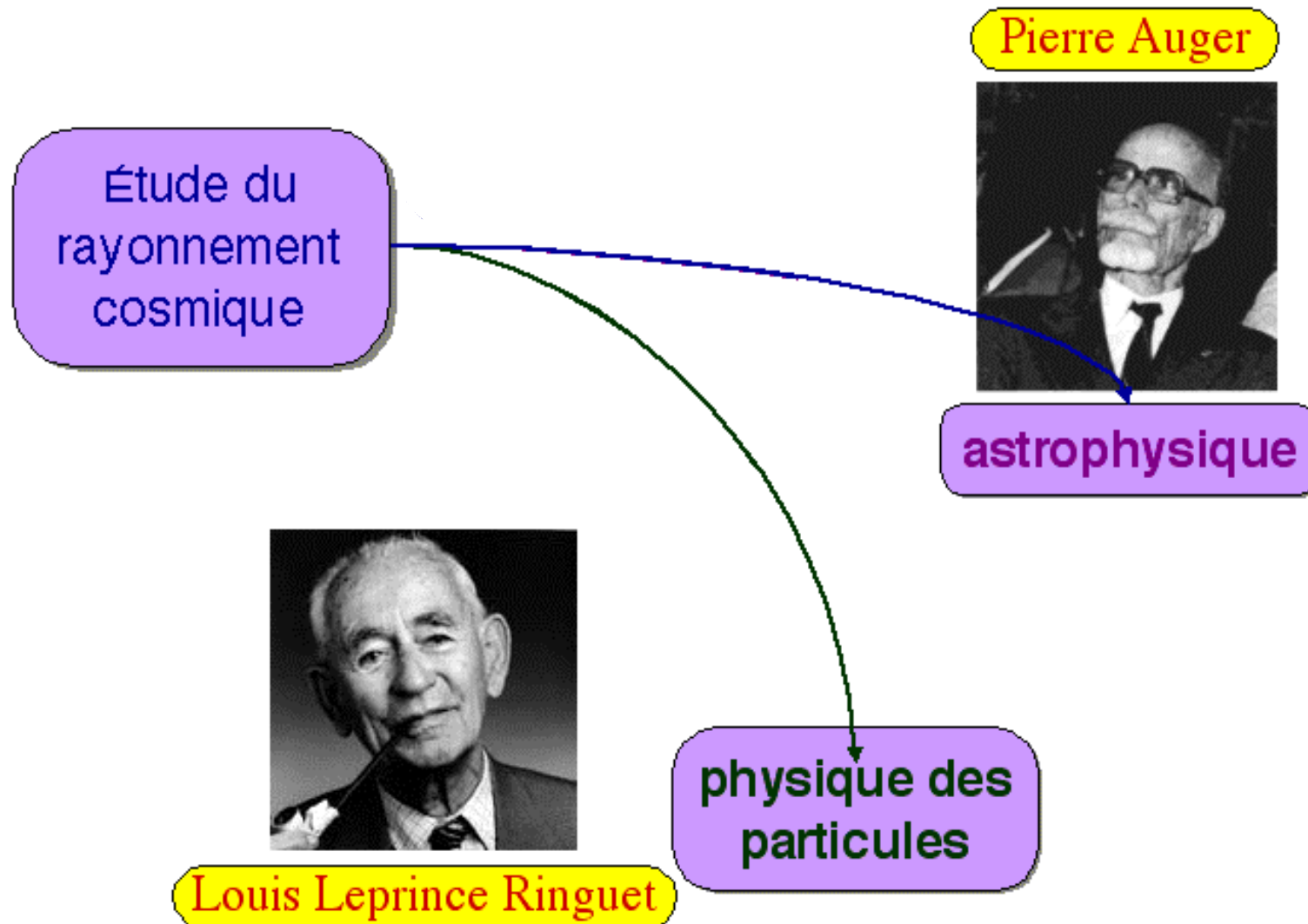


Etude du rayonnement cosmique

Les particules élémentaires découvertes



La croisée des chemins...

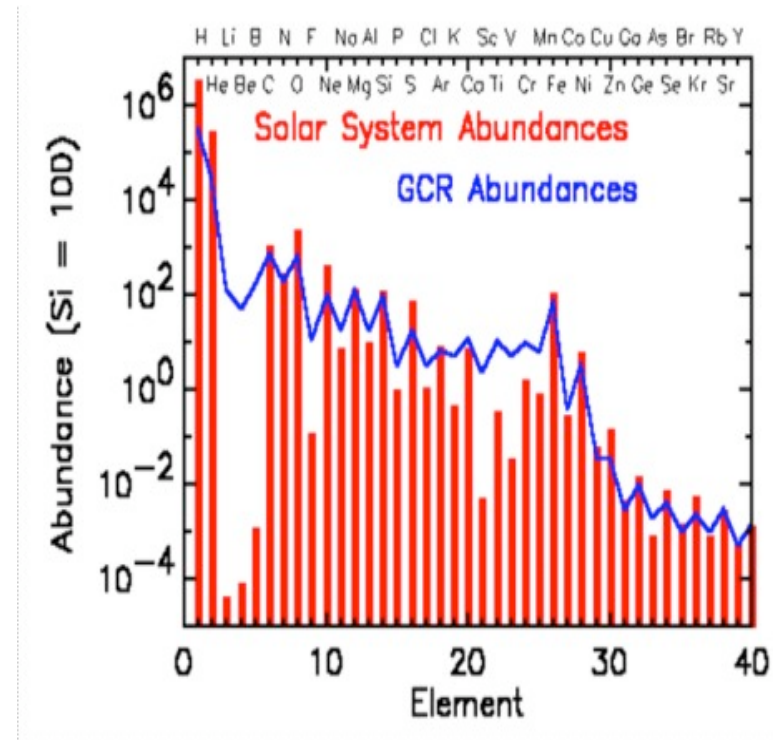


TROIS ASPECTS DU RAYONNEMENT COSMIQUE

- Le spectre de masse (composition)
- Le spectre en énergie (processus d'accélération)
- Le spectre angulaire (effet de l'environnement sur la propagation des RCs).

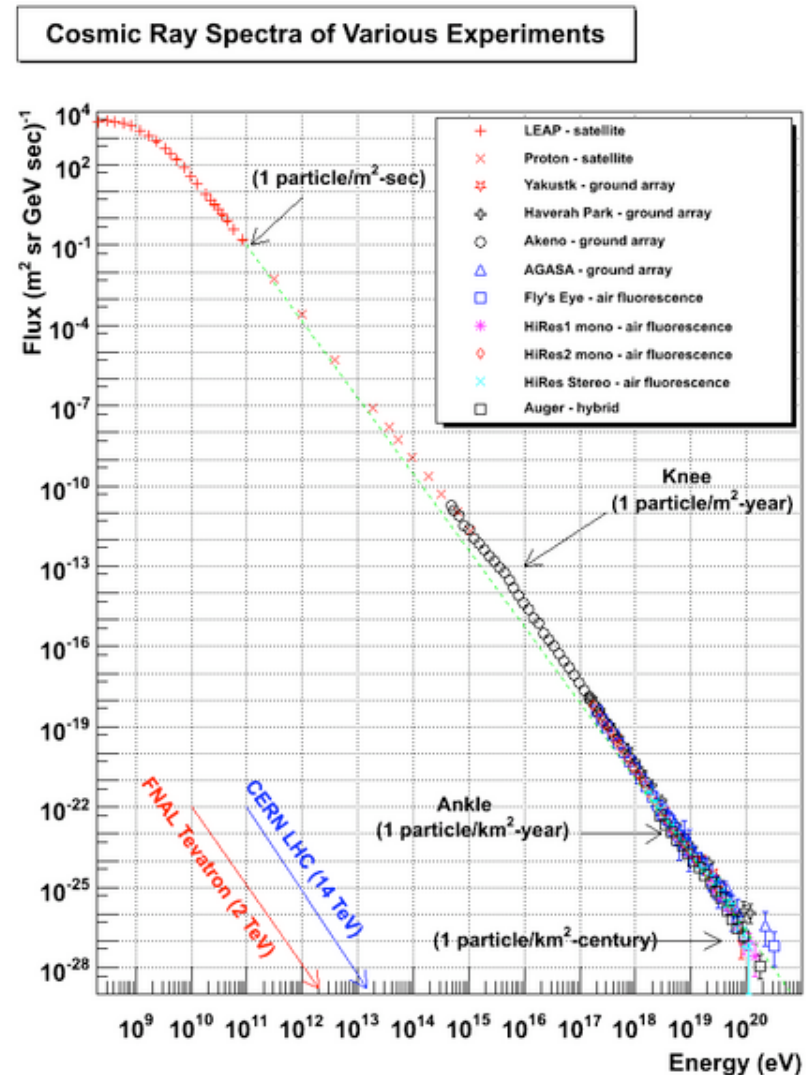
LE SPECTRE EN MASSE DES RAYONS COSMIQUES

- Le rayonnement cosmique est composé de 99% de nucléons et 1% d'électrons (% en nombre de particules).
- L'abondance des éléments est proche des abondances solaires sauf pour certains éléments (Li, Be, B, Sc, etc..).
- Différences viennent des effets du transport des RCs (spallation).



LE SPECTRE EN ÉNERGIE DES RAYONS COSMIQUES

- Le spectre se présente comme une succession de lois de puissance:
 - $F(E) \propto E^{-4.67}$; 10 GeV à $5 \cdot 10^{15}$ eV
 - $F(E) \propto E^{-5.05}$; $5 \cdot 10^{15}$ eV à $3 \cdot 10^{19}$ eV
 - $F(E) \propto E^{-4.7}$; au delà $3 \cdot 10^{19}$ eV
- Ce spectre couvre 10 ordres de grandeur en énergie et 32 ordres de grandeurs en flux !
- Les RCs ne sont pas détectés de la même façon suivant les énergies...

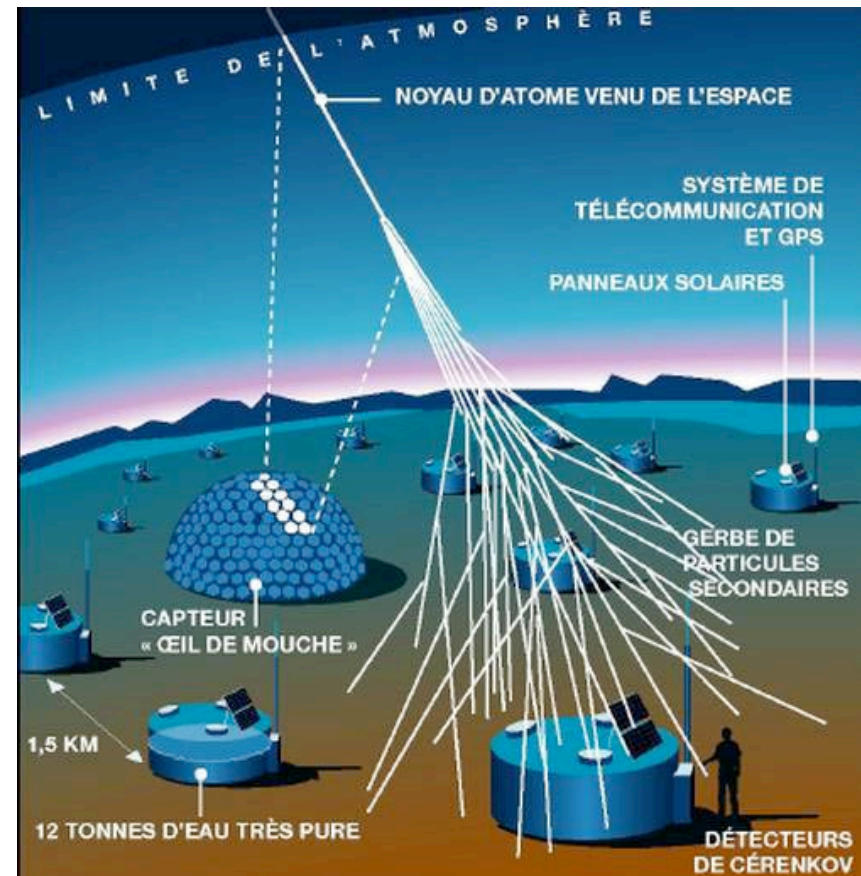


MÉTHODES DE DÉTECTION DES RCS



Pour les RC jusqu'à 10^{15} eV:

➔ Détection par ballons et satellites



Pour les RC au delà de 10^{15} eV:

➔ Détection par gerbes atmosphériques.

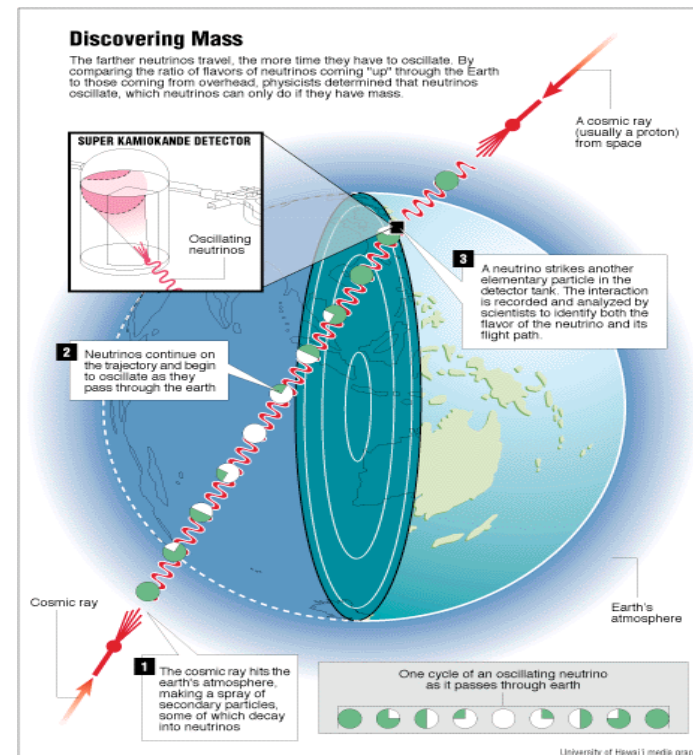
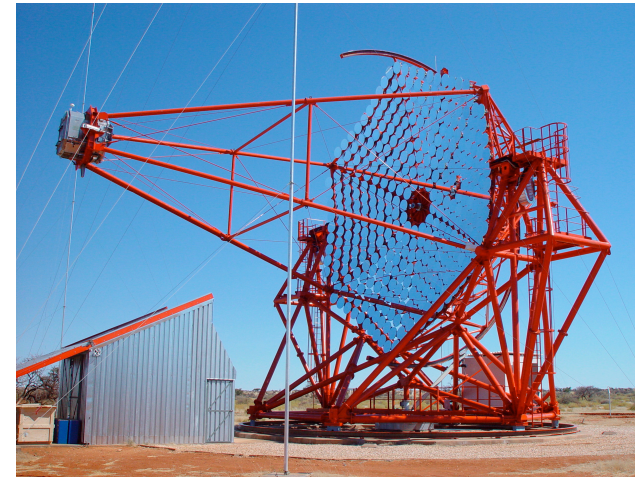
AUTRES MESSAGERS DES RCS

- Les photons peuvent informer sur la physique des RCS (processus d'accélération, transport, etc..)

→ Emission synchrotron, CI, collisions hadroniques, etc

→ Emission qui va de la radio (Lofar) jusqu'aux X et aux γ (Fermi, XMM, Hess, ..)

- Les collisions des RCS avec la matière composant la source accélératrice engendre des neutrinos de très haute énergie (Antares, km³net).



LE SPECTRE ANGULAIRE DES RAYONS COSMIQUES

- Le rayonnement cosmique est isotrope
 - L'isotropie n'est plus vraie à très haute énergie $> 10^{19}$ eV
- ➔ Corrélation observée avec les NAG (effet de déflexion ?..).

