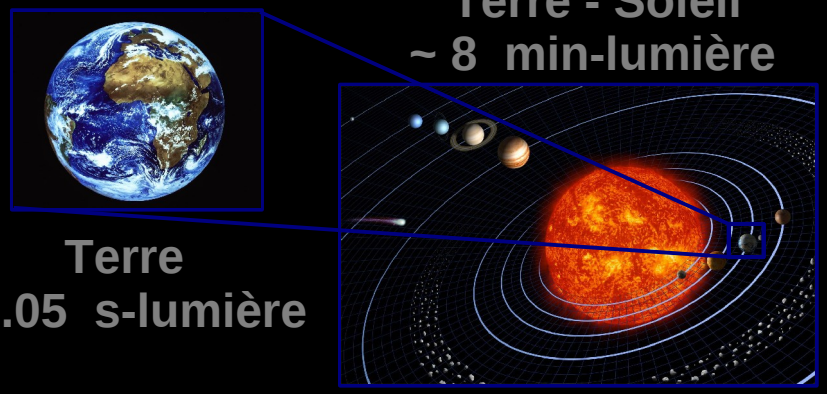
H.E.S.S. et les sources extragalactiques au TeV

Jonathan Biteau – 05/12/2011 – JRJC 2011

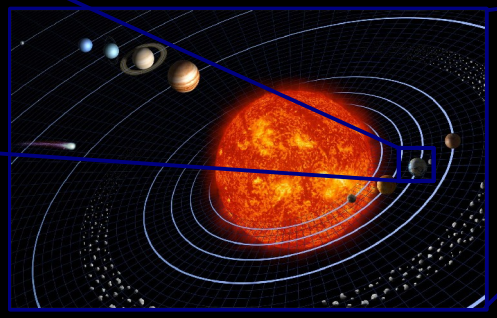
De la Terre à l'Univers local

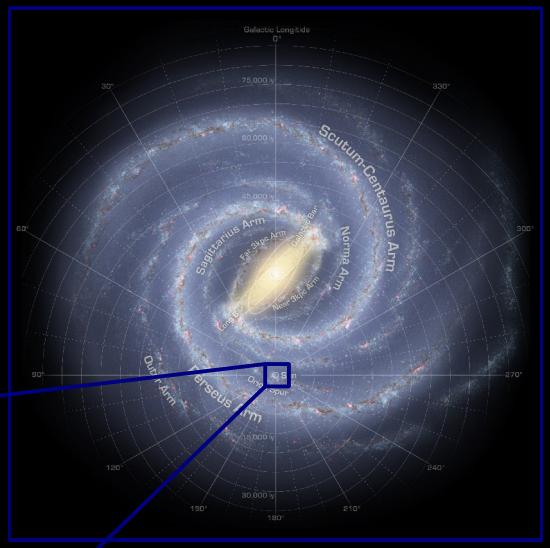


De la Terre à l'Univers local

Terre
~ 0.05 s-lumière

Terre - Soleil
~ 8 min-lumière

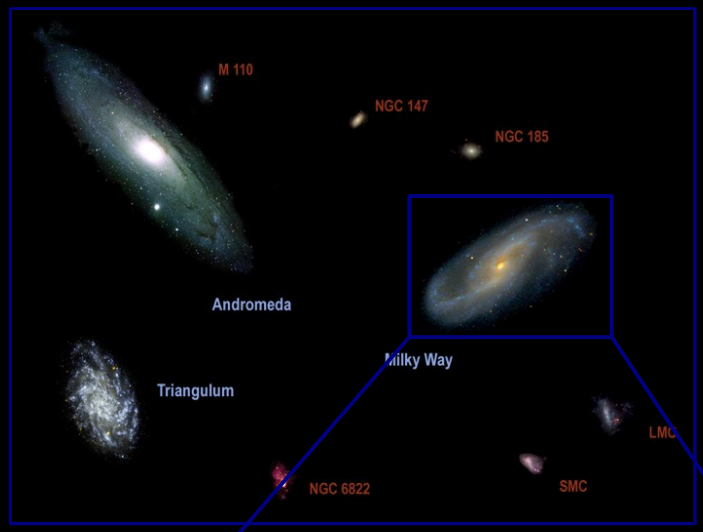


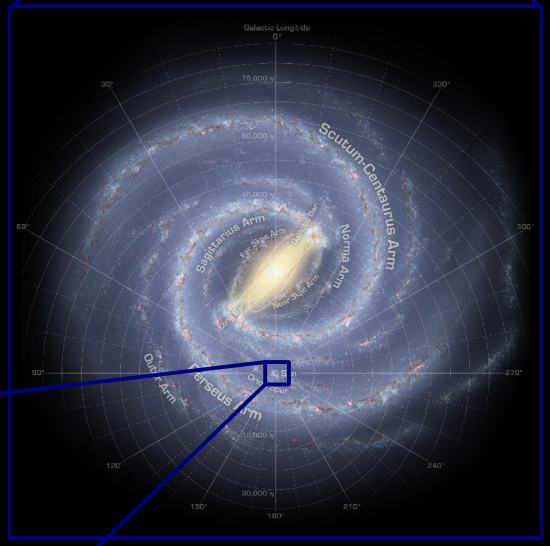


Voie lactée
~ 100 000 année-lumière

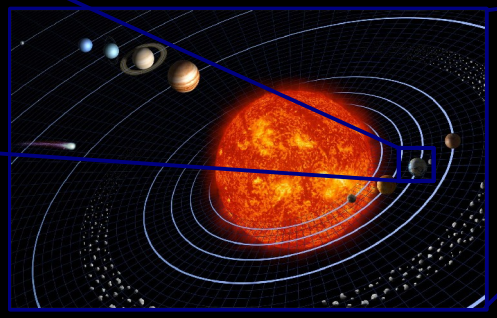
De la Terre à l'Univers local

Voie lactée - Andromède
~ 3 millions d'année-lumière





Terre - Soleil
~ 8 min-lumière



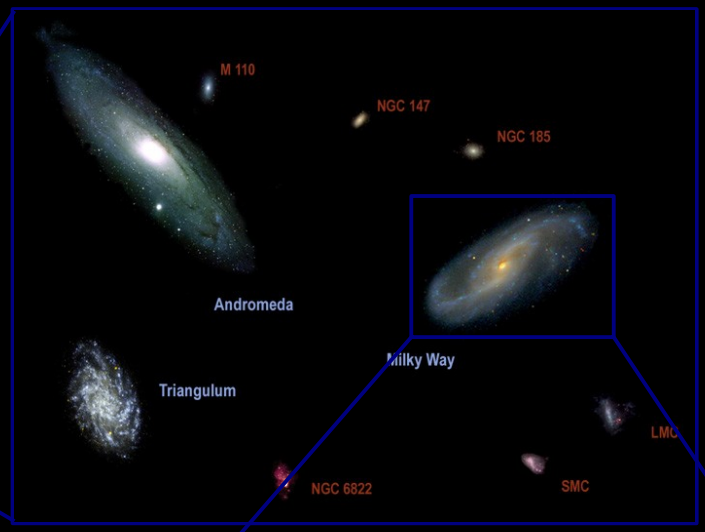
Terre
~ 0.05 s-lumière

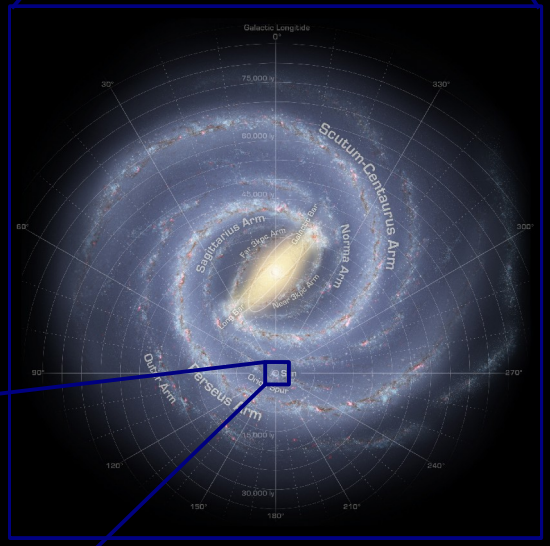
Voie lactée
~ 100 000 année-lumière

De la Terre à l'Univers local

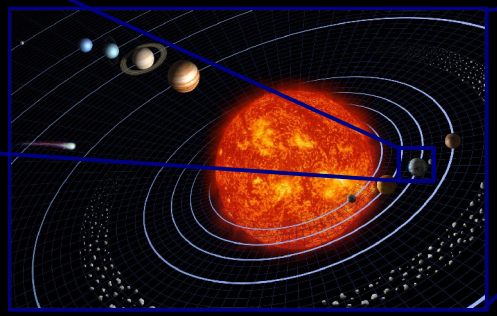
Univers local
~ milliards d'année-lumière

Voie lactée - Andromède
~ 3 millions d'année-lumière





Terre - Soleil
~ 8 min-lumière



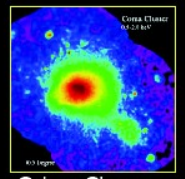
Terre
~ 0.05 s-lumière

Voie lactée
~ 100 000 année-lumière

Les sources HE et THE

- Extragalactic targets

Active Galactic Nuclei

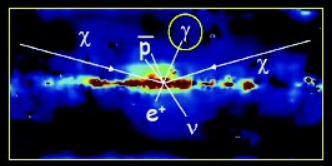

Galaxy Cluster

Starburst galaxies

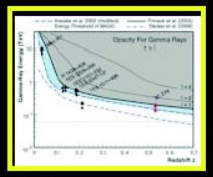
Merging Galaxies

Gamma-ray Bursts

- Fundamental physics

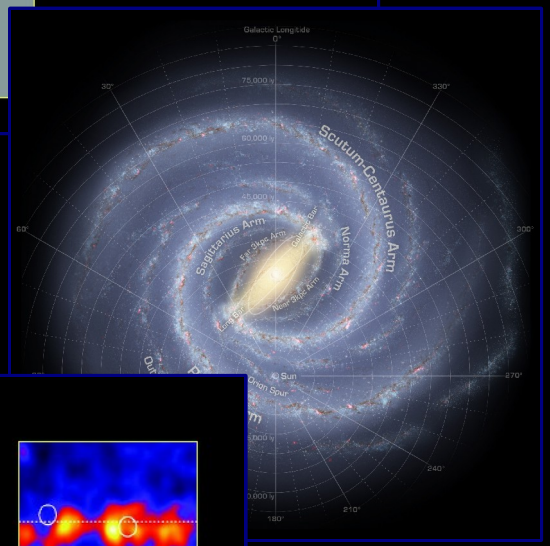


Dark Matter annihilation

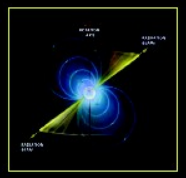

Universe transparency

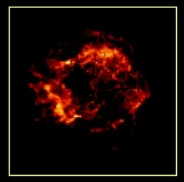
- CR physics
- Lorentz invariance
- Quantum gravity
- Axion-photons obsc

.....

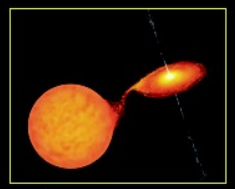


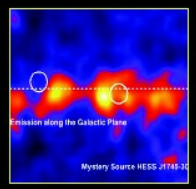
- Galactic targets


Pulsar


Supernova Remnants

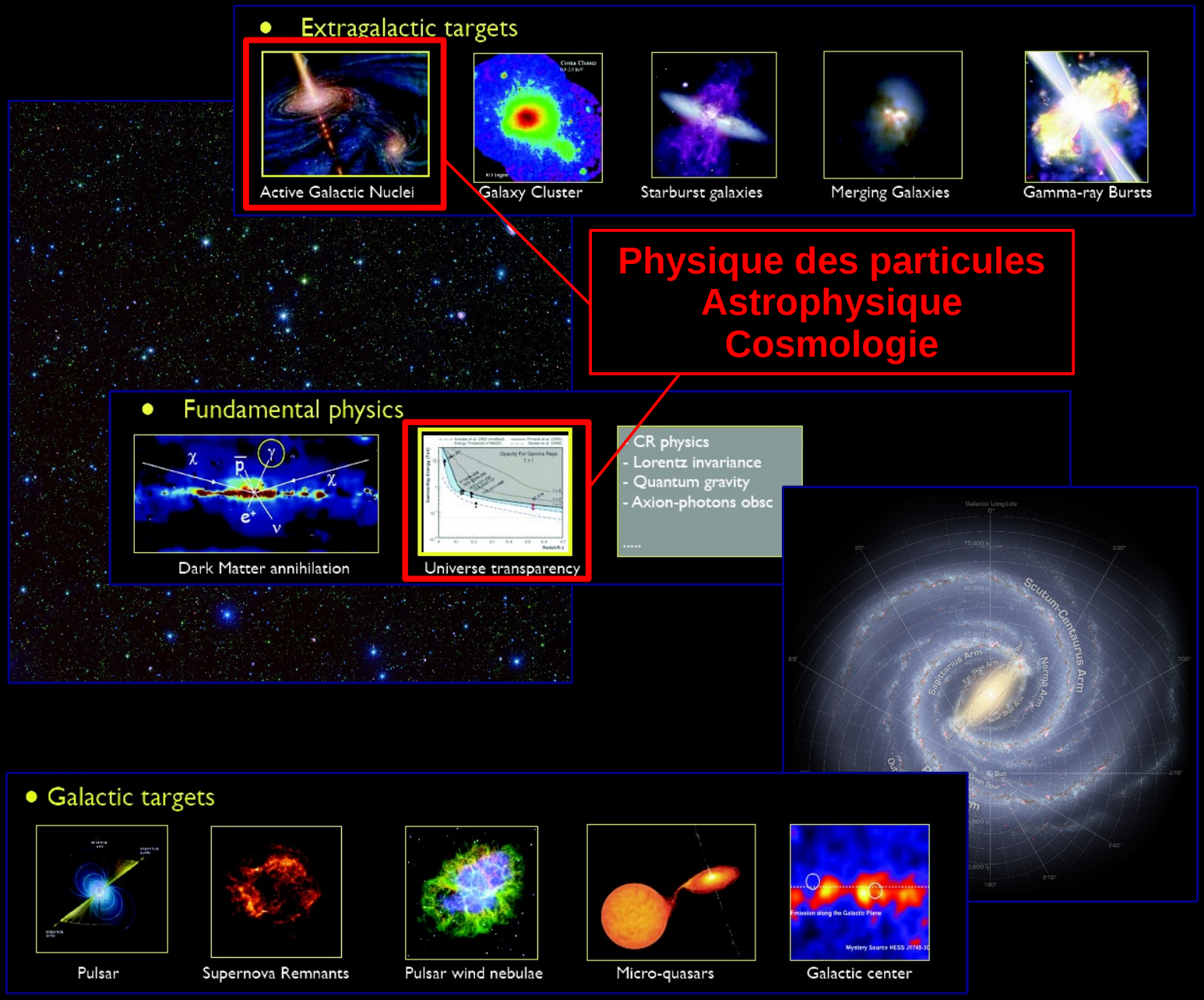
Pulsar wind nebulae


Micro-quasars



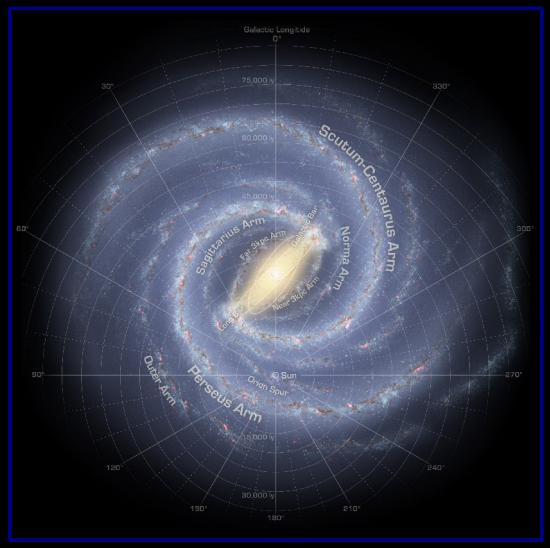
Galactic center

Les sources HE et THE



Architecture des galaxies

Notre galaxie abrite un trou noir massif

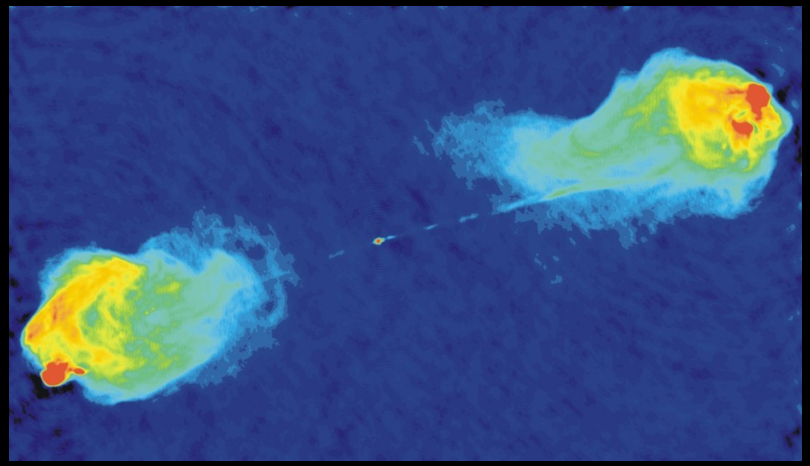


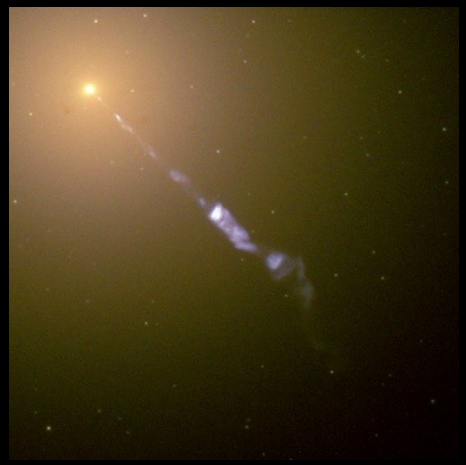
Architecture des galaxies

Galaxies actives (~ 10 % en nb)

i.e. dont le coeur est anormalement brillant

~ 10 % d'entre elles émettent fortement en radio ... et sont associées à des structures en jets.





Noyaux actifs de galaxies (AGN)

seraient composés d'un trou noir, d'un disque d'accrétion et de jets

Architecture des galaxies

Les **blazars** :

AGN dont le jet est quasi aligné avec la ligne de visée

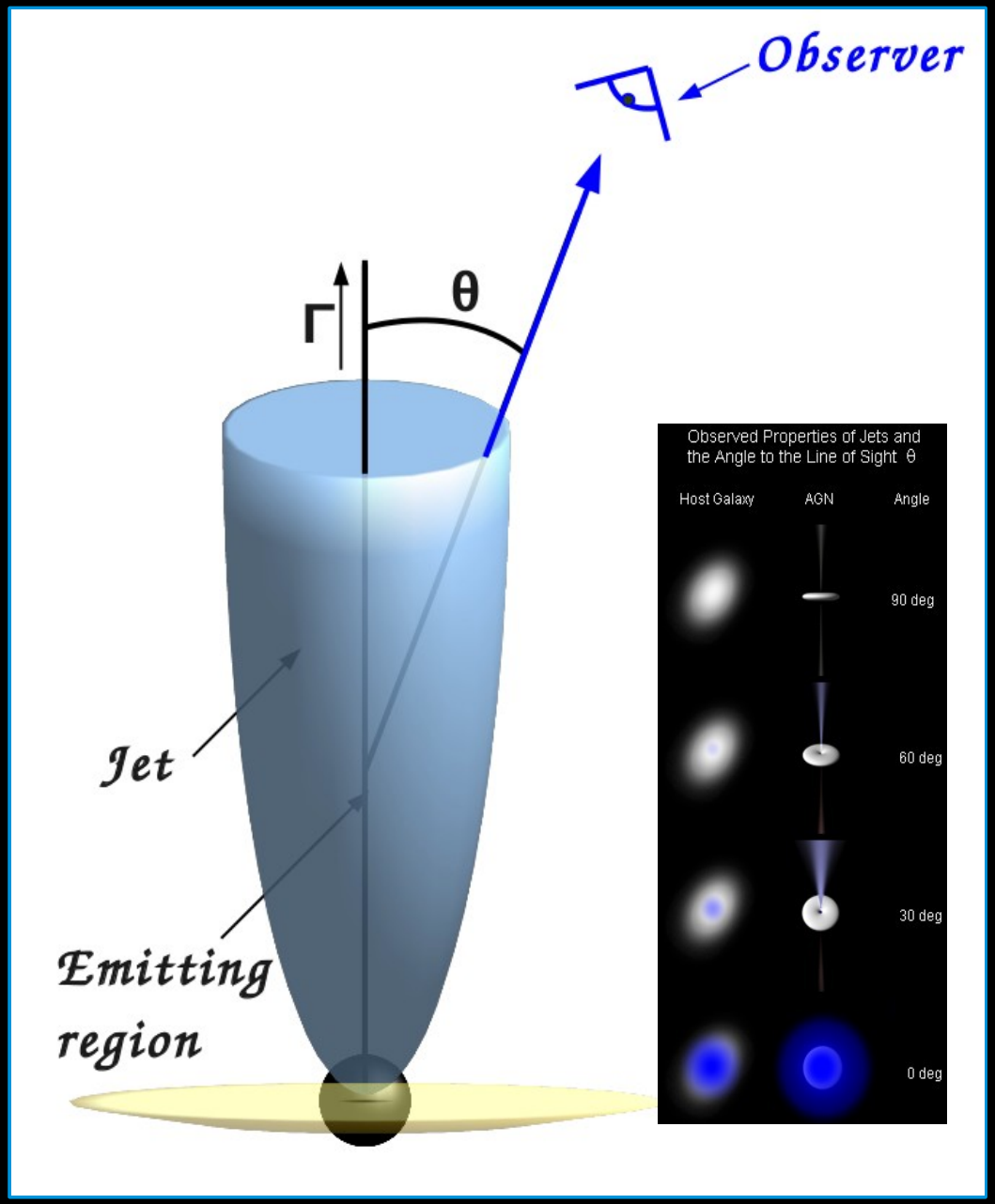
Emission "boostée" par effet Doppler relativiste :

$$\delta = 1/\Gamma(1 - \beta \cos\theta)$$

Dans le référentiel de l'observateur :

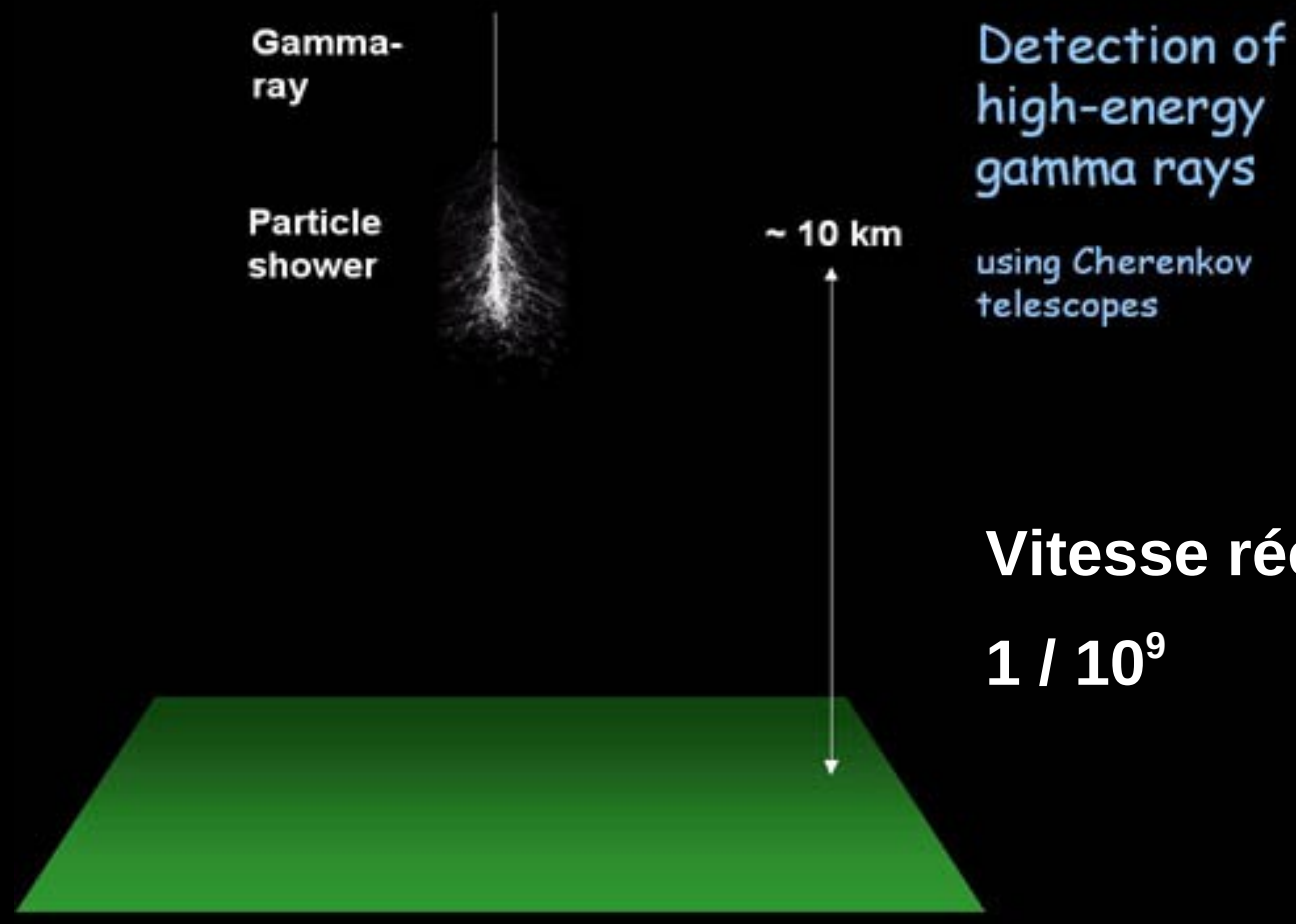
Énergie	x	δ
Temps	/	δ
Luminosité	x	δ^4

→ ÉMETTEURS DE PHOTONS DE TRÈS HAUTE ÉNERGIE (THE : 100 MeV – 100 TeV)



Émission de très haute énergie

Comment observer ces photons au TeV ?

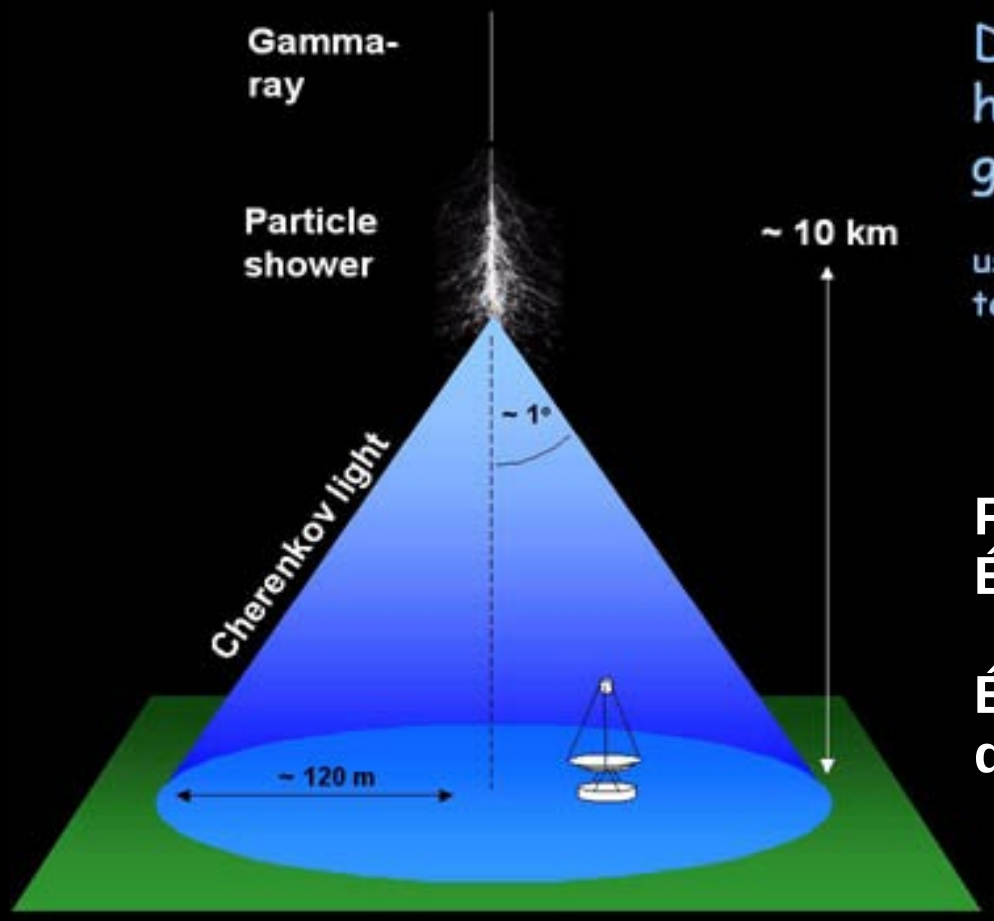


Vitesse réelle :

$1 / 10^9$

Émission de très haute énergie

Comment observer ces photons au TeV ?



Detection of high-energy gamma rays

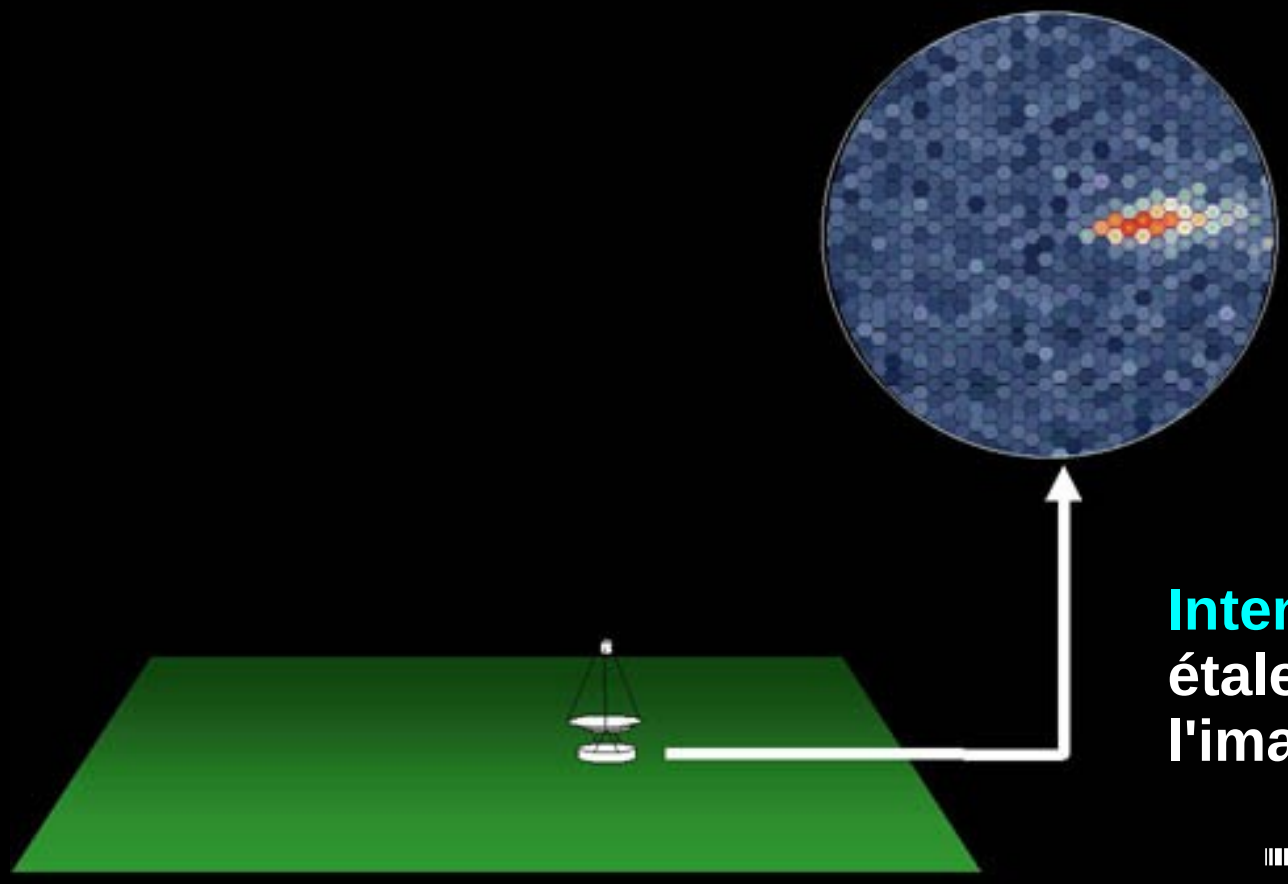
using Cherenkov telescopes

Flash Cherenkov :
Émission bleuté de qq ns

Électronique de déclenchement ultra-rapide

Émission de très haute énergie

Comment observer ces photons au TeV ?

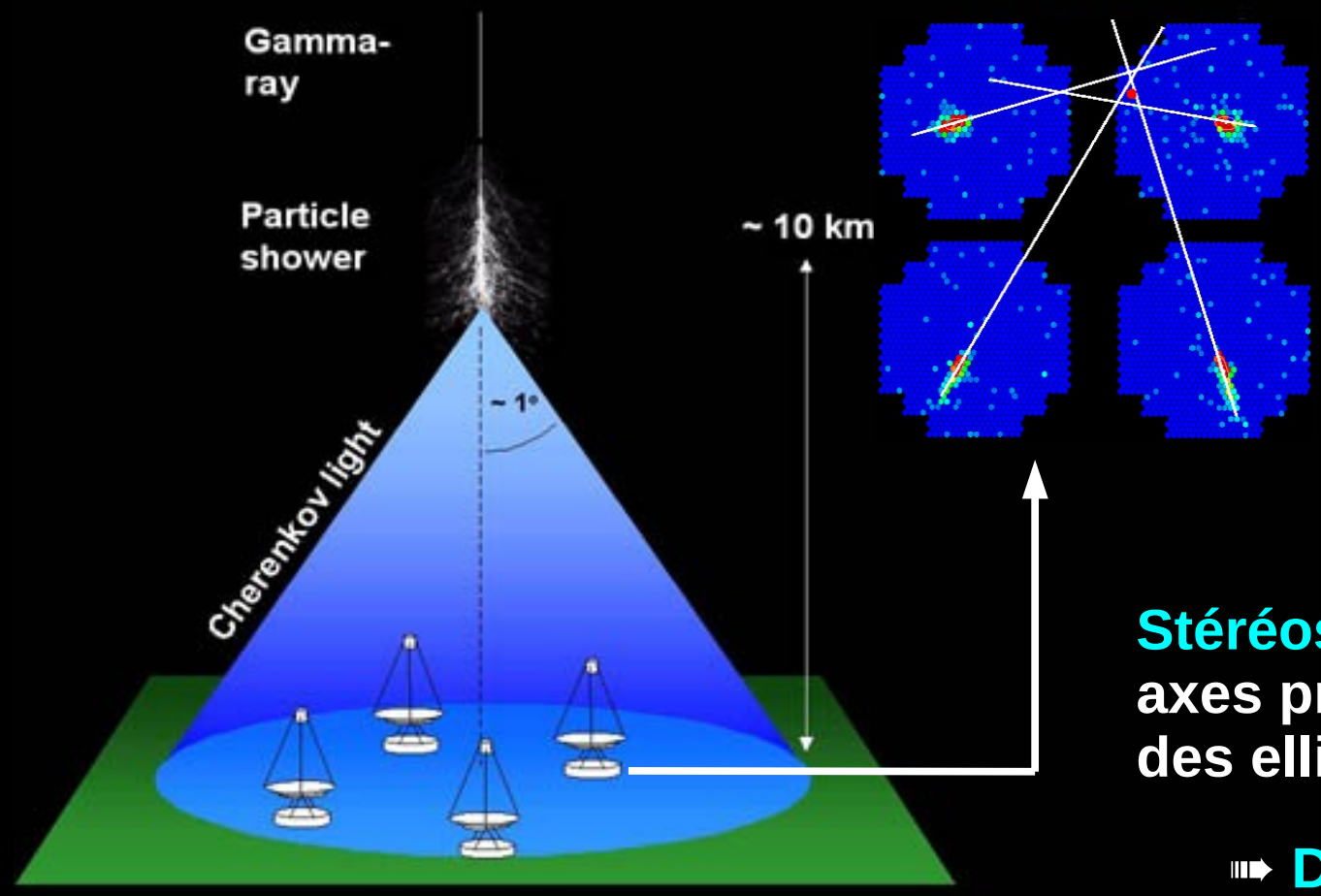


Intensité et étalement de l'image

➠ **Énergie**

Émission de très haute énergie

Comment observer ces photons au TeV ?

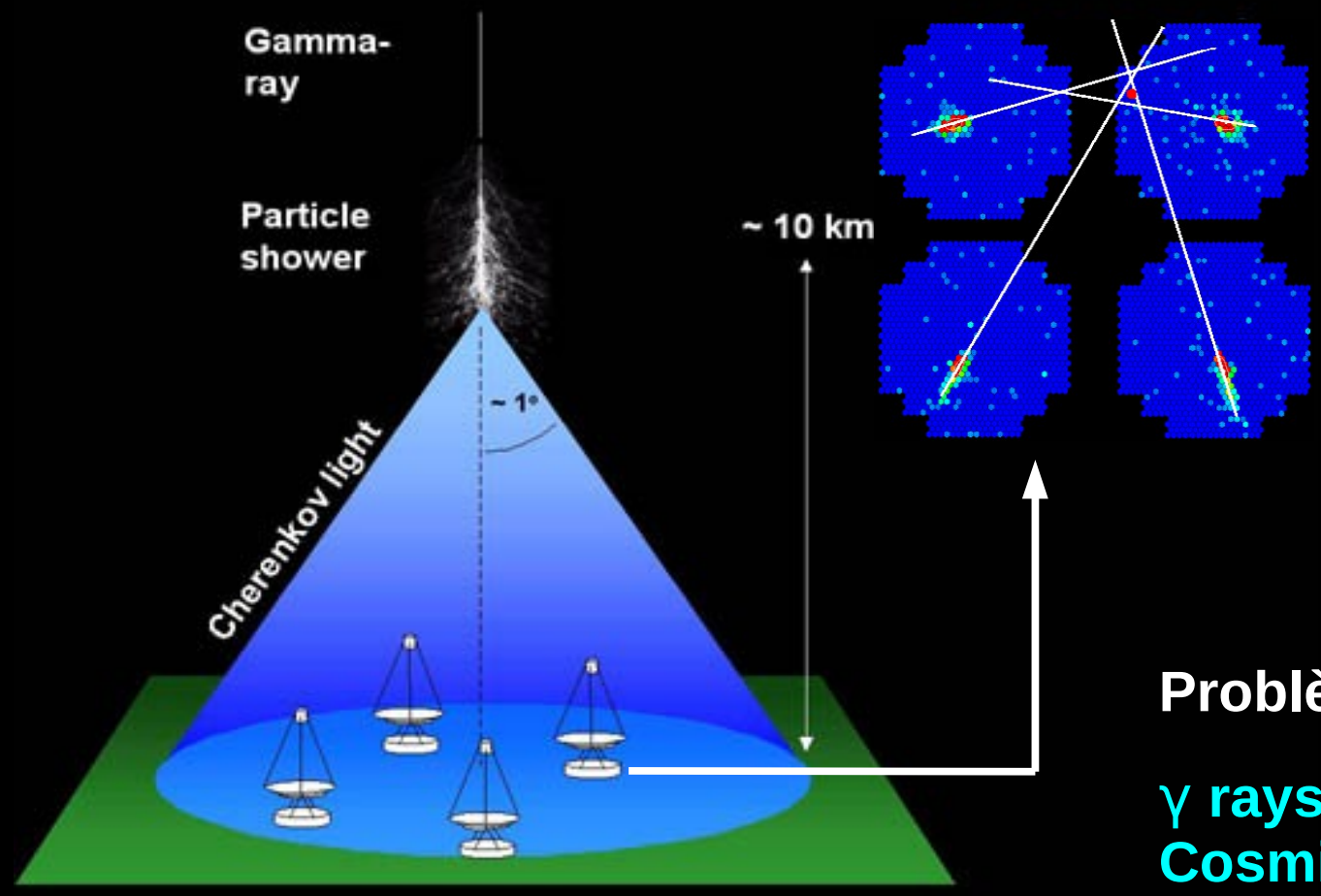


Stéréoscopie et axes principaux des ellipses

➠ **Direction**

Émission de très haute énergie

Comment observer ces photons au TeV ?



Problème :

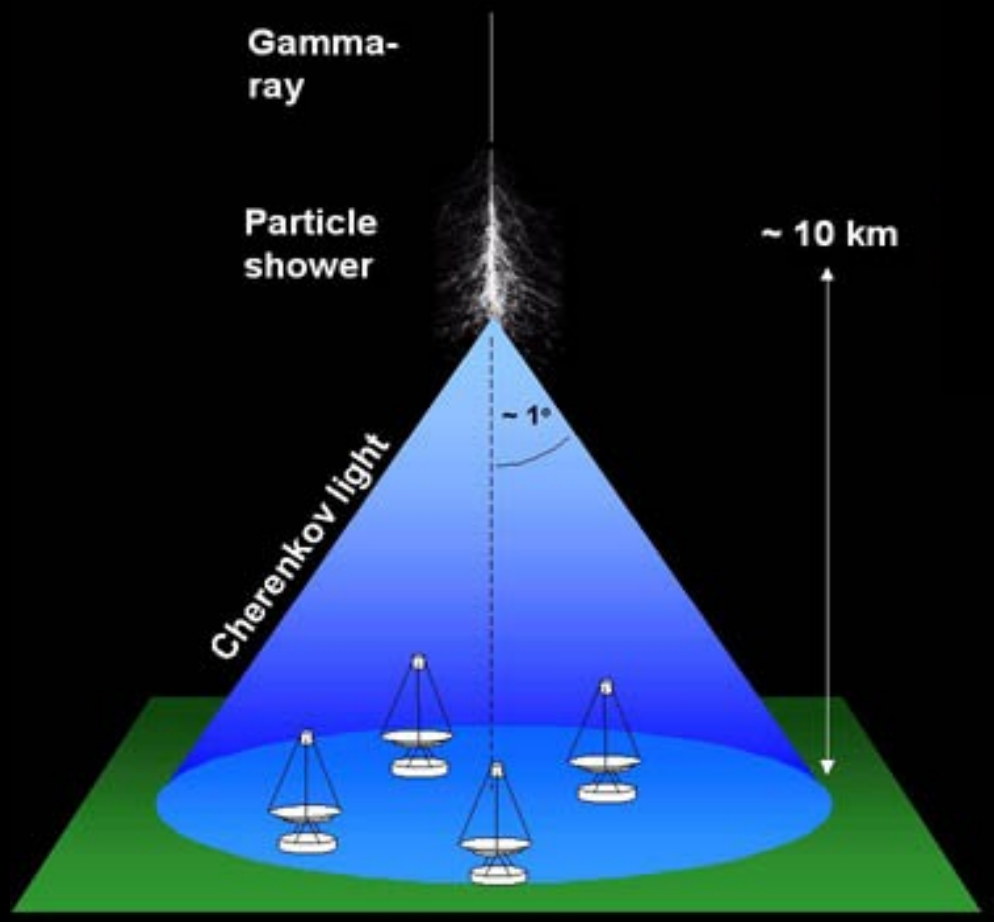
γ rays ~ 1/1000 Cosmic Rays

Les rayons cosmiques constituent notre principale source de bruit !

Émission de très haute énergie

Gerbe électromagnétique

Comment s'affranchir du bruit ?



Gerbe hadronique

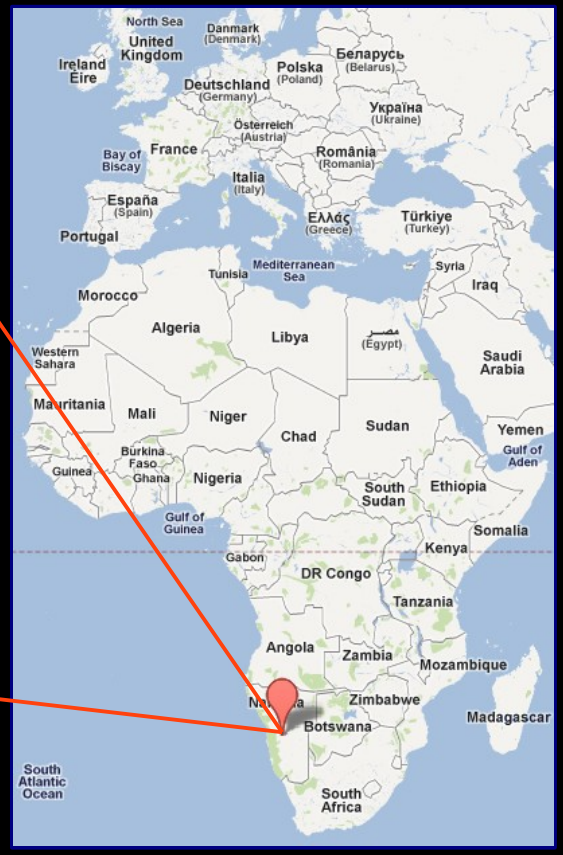
Différence de forme entre les gerbes électromagnétiques / hadroniques

Observations à THE par H.E.S.S.

H.E.S.S. : 4 télescopes à 1800m d'altitude en Namibie

Champ de vue : ~ 5° (10 x diamètre de la Lune)

Temps d'observation
~ 1000h par an

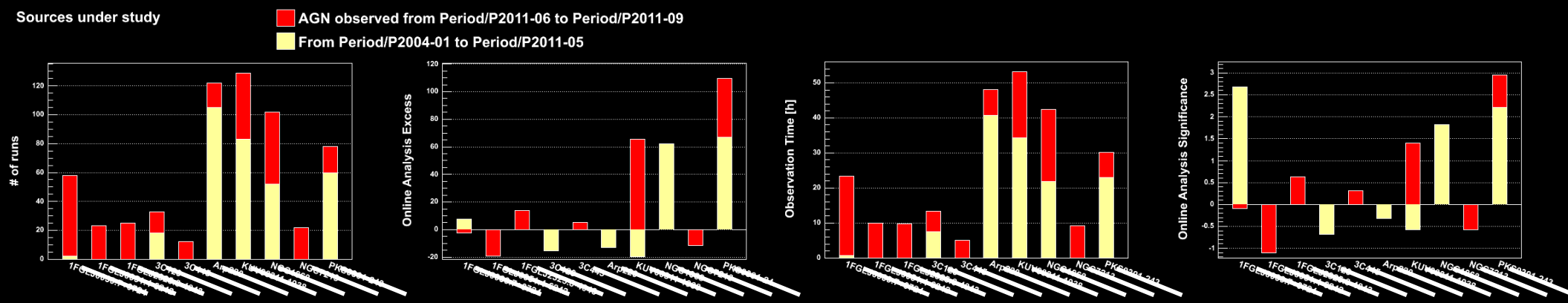


En dehors de la Voie Lactée :

Observations dédiées

Mon premier job :

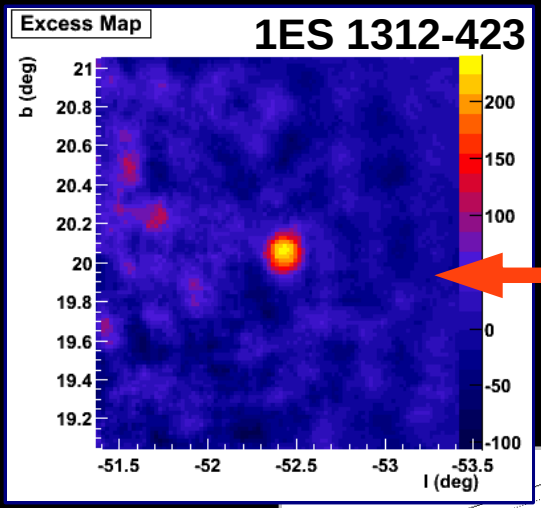
"Round up AGN" : analyser et synthétiser les observations dédiées aux blazars et autres AGN

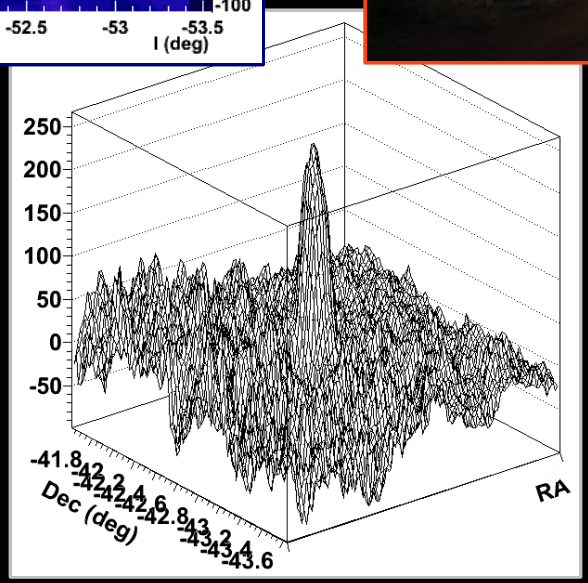


Observations à THE par H.E.S.S.

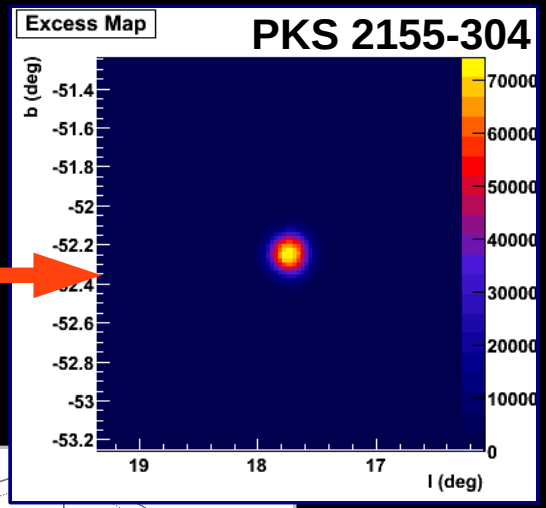
Analyser les données ... c'est à dire ?

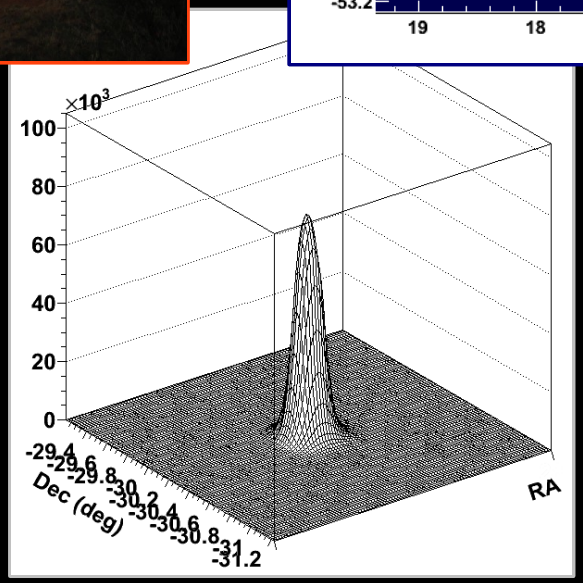
Exemple d'une source faible





Exemple d'une source forte

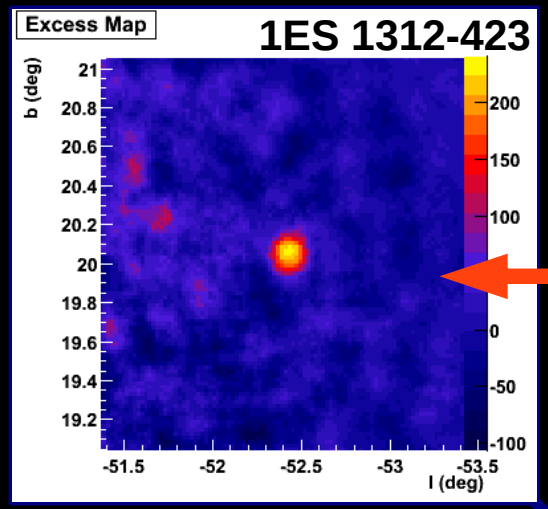




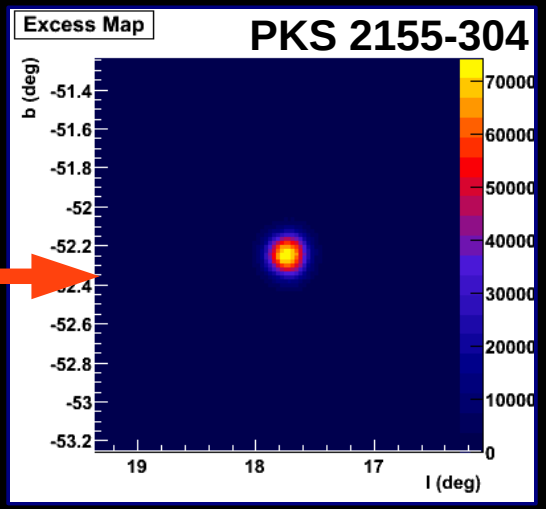
Observations à THE par H.E.S.S.

Analyser les données ... c'est à dire ?

Exemple d'une source faible



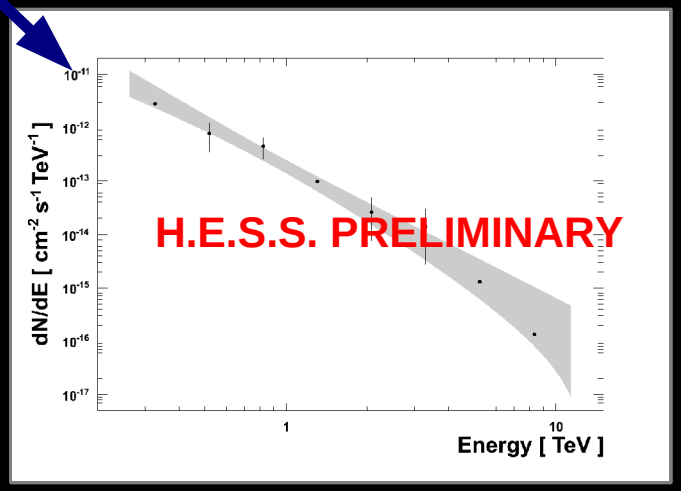
Exemple d'une source forte



Étude spectrale :

Spectre = Flux VS Energie

Distribution des γ en fonction de l'énergie, déconvoluée de la "fonction détecteur"

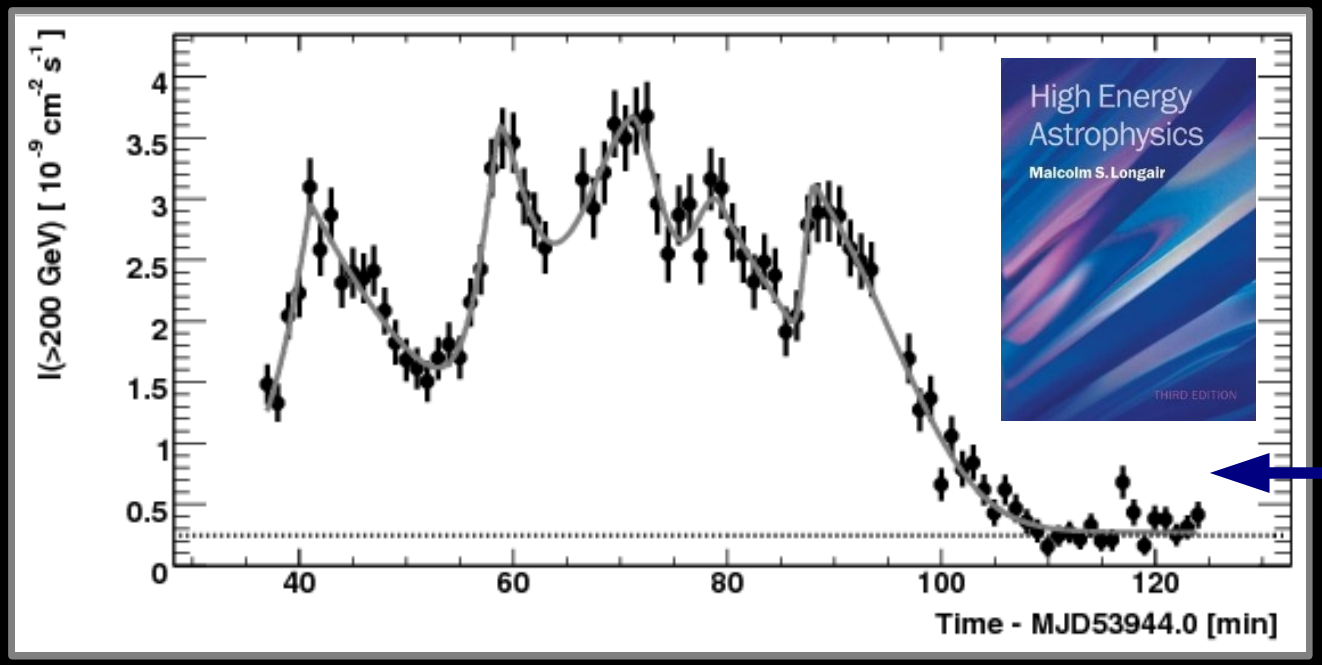


Reconstruction de lois de puissance (i.e. droites en log-log)

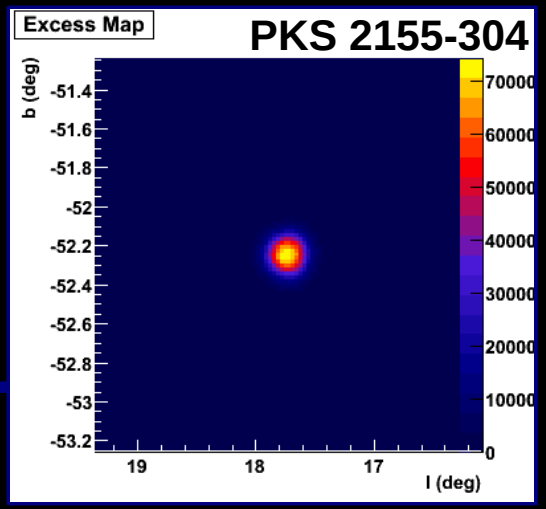
$$dN / dE \propto E^{-\Gamma}$$

Observations à THE par H.E.S.S.

Analyser les données ... c'est à dire ?



Exemple d'une source forte



Étude de variabilité :

Courbes de lumière = Flux VS temps

Distribution des γ en fonction du temps, déconvoluée de la "fonction détecteur"

Les blazars peuvent être hautement et rapidement variables à THE.

Un pas vers la phénoménologie

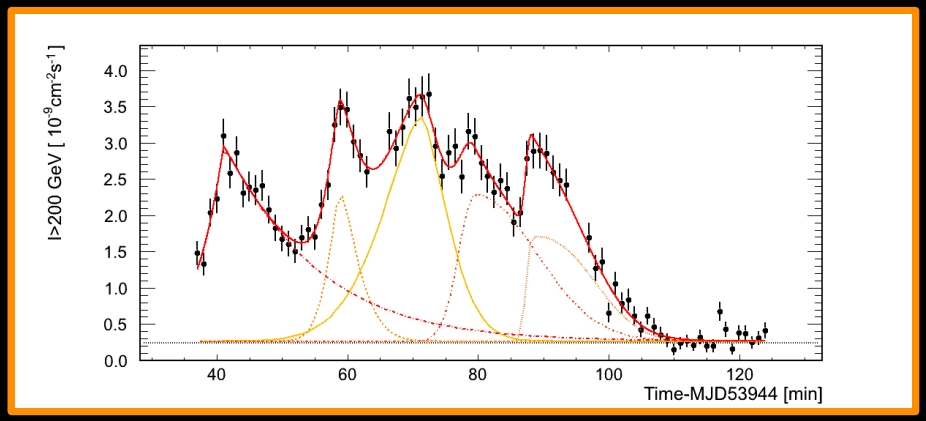
Analyser les données ... et aller un peu plus loin

Interprétation 1 : bursts

Temps de montée τ : contrainte par causalité de δ et R (Doppler et taille)

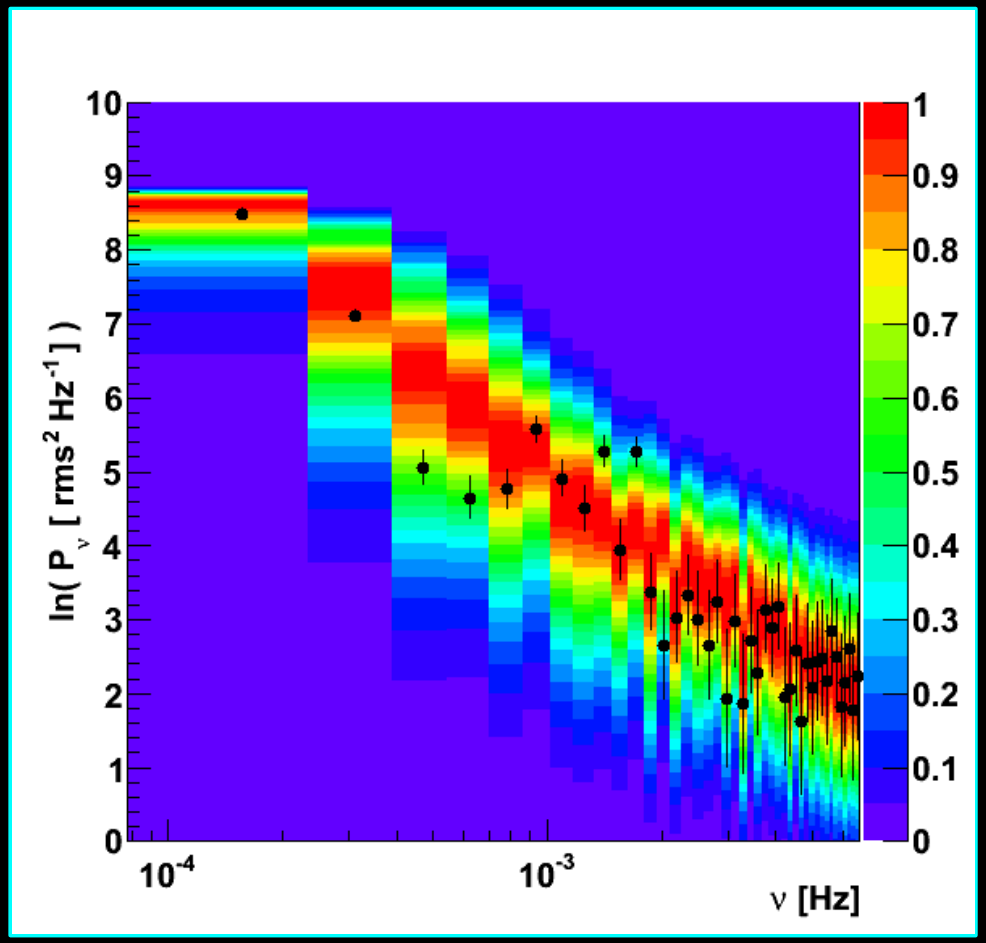
$$\tau > R/c \ (1+z)/\ \delta,$$

pour un redshift z



Interprétation 2 : processus stochastique "bruit rouge"

Reco du spectre de Fourier "non biaisé" par maximum de vraisemblance à partir de simulations de bruits rouges.

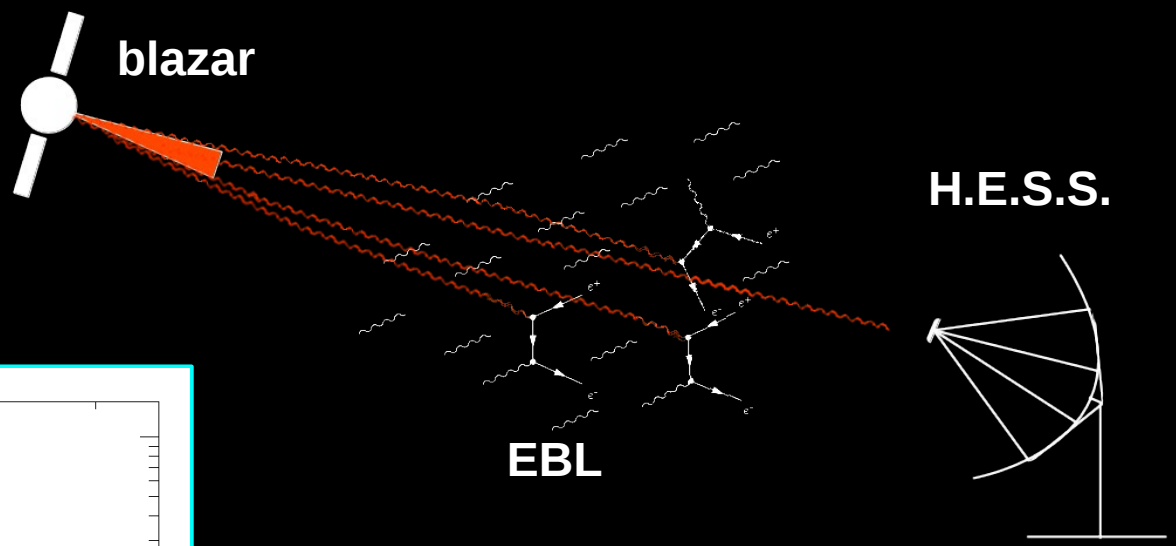


Un pas vers la phénoménologie

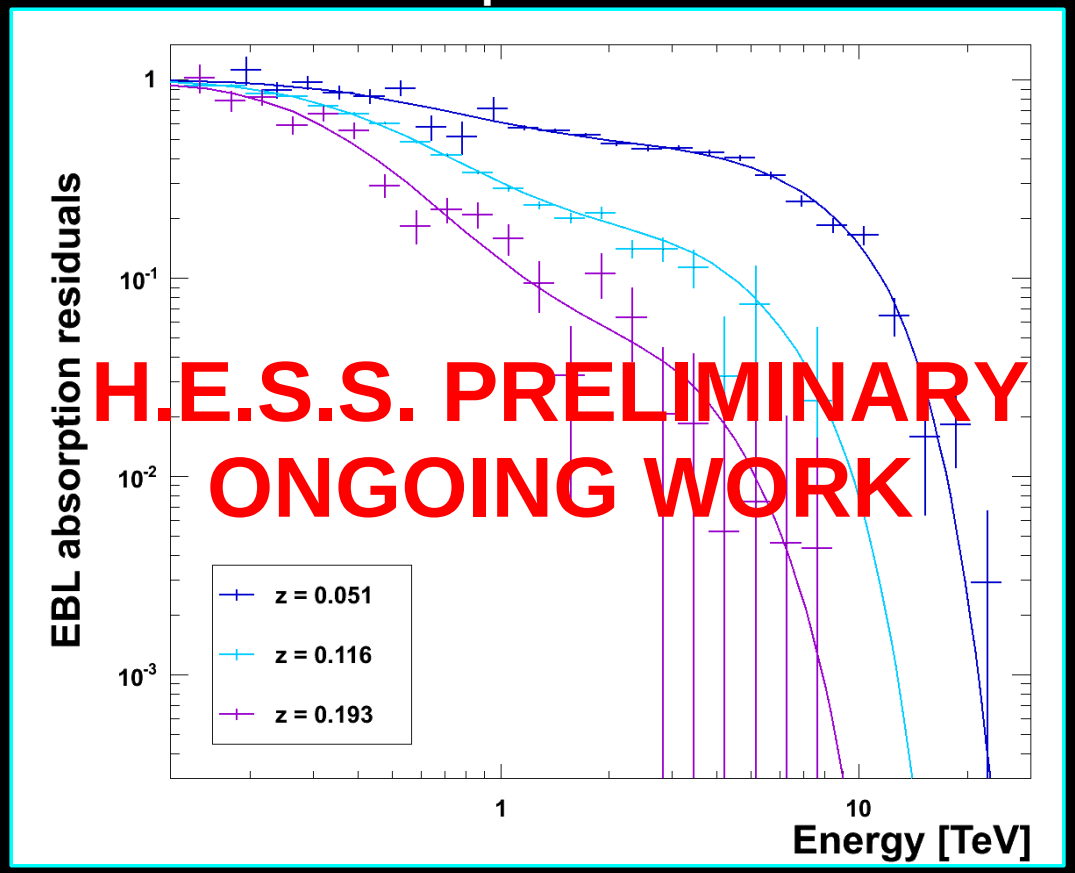
Analyser les données ... et aller un peu plus loin

Reconstruction spectrale fine

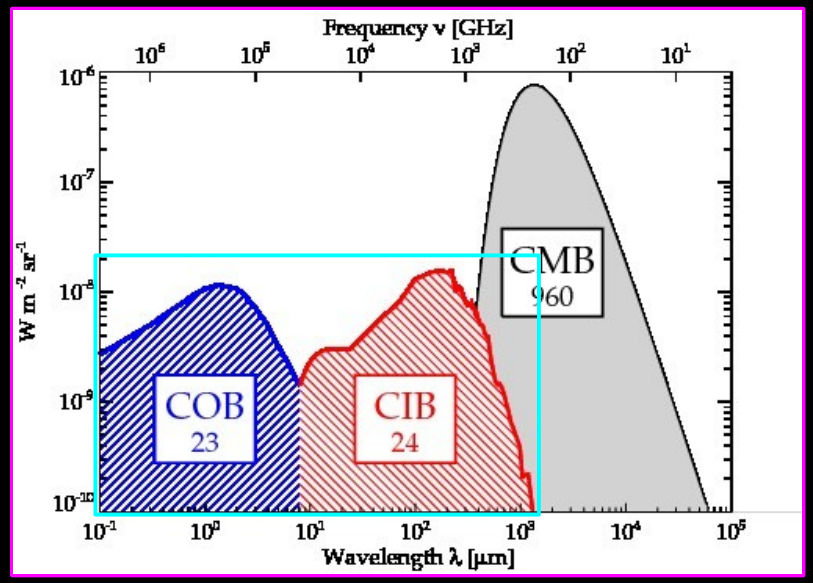
photons ~ eV + gamma TeV ⇝ e+ e-



signature sur les spectres
de blazars observés par H.E.S.S.

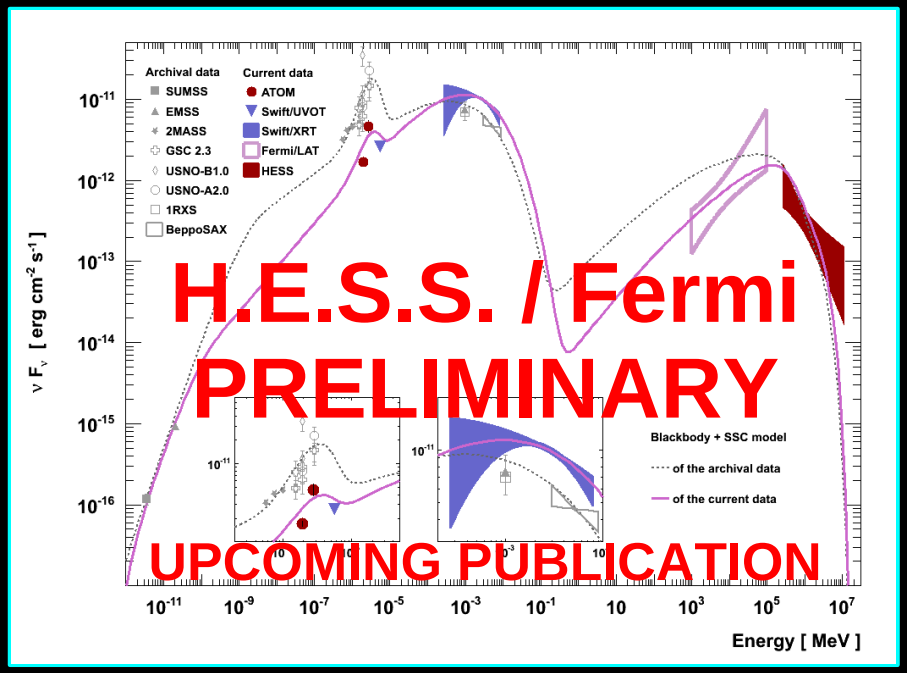


Deuxième fond cosmologique : EBL



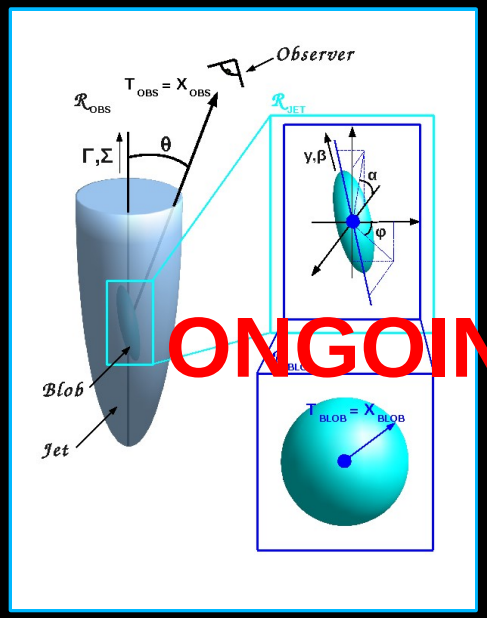
Phénoménologie pure et dure

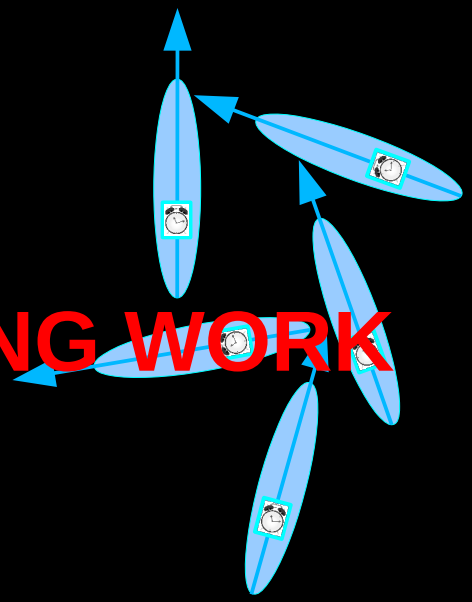
Modélisation de la distribution spectrale de 1ES 1312-423



Modèle Synchrotron Self Compton (SSC) électrons + photons + champ magnétique + beaming relativiste

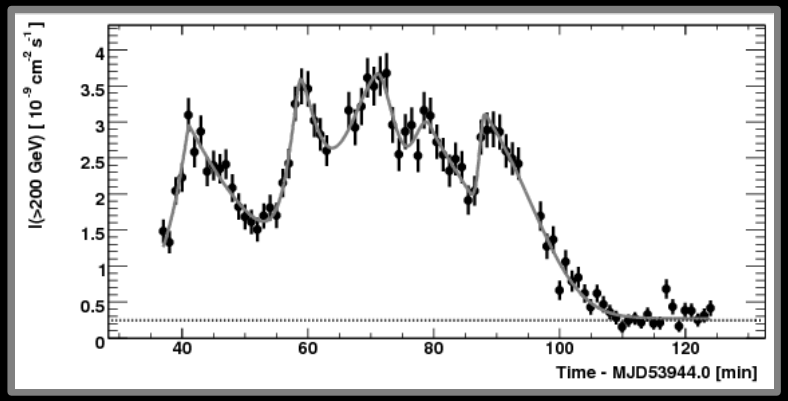
Modélisation des observables temporelles de PKS 2155-304



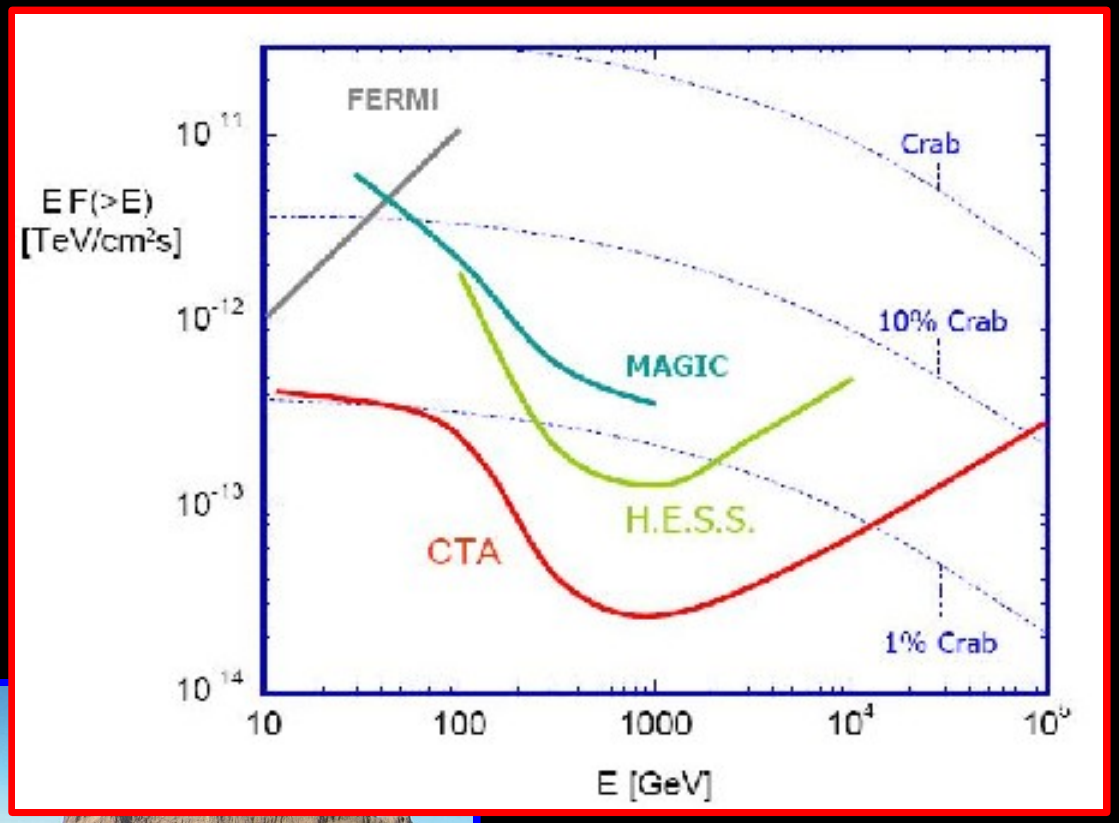


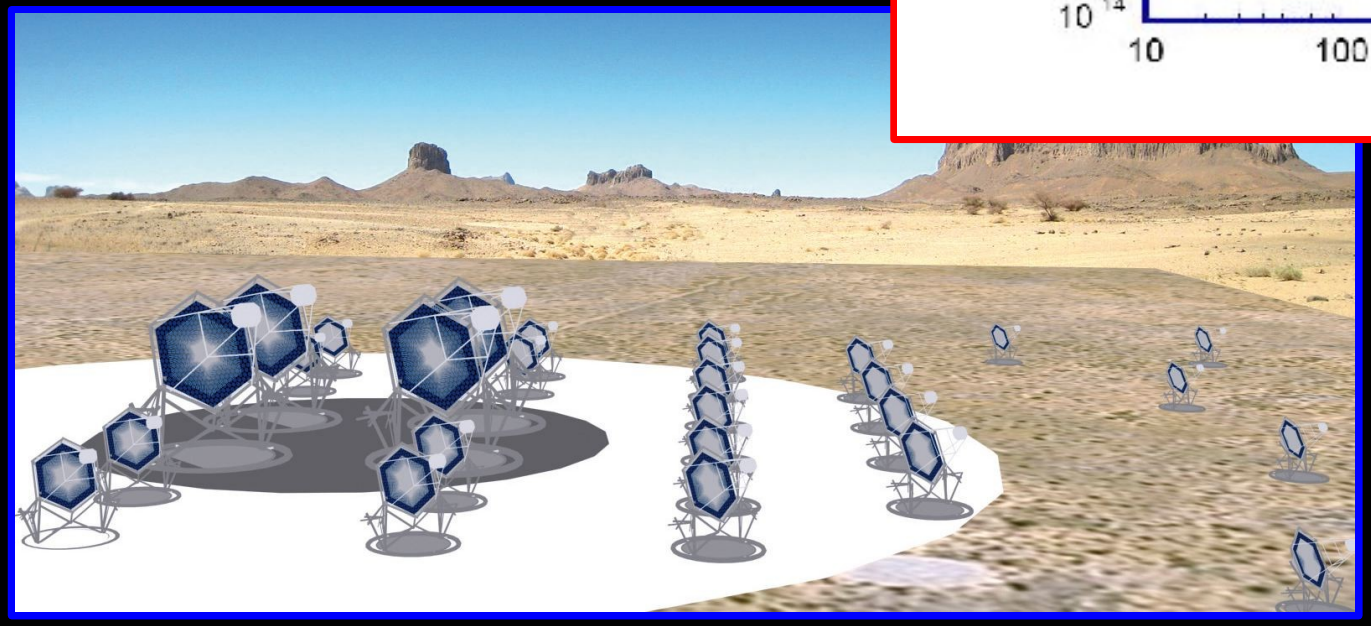
Toy model visant à reproduire les propriétés statistiques dans l'espace temporel et dans l'espace de Fourier

Simulation pour l'avenir : CTA

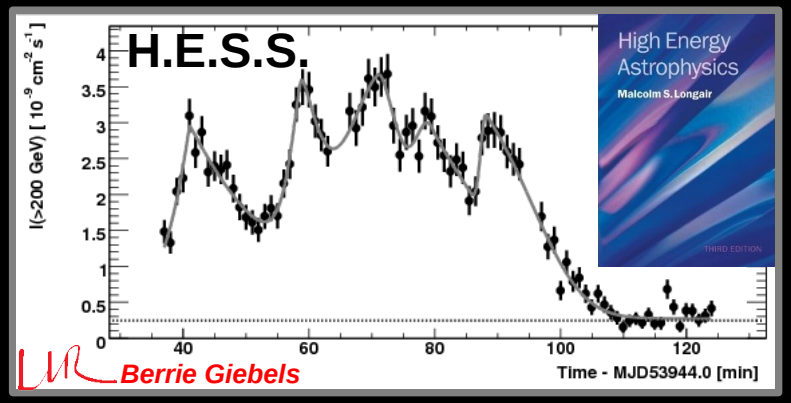


Que verra la prochaine génération d'observatoires Cherenkov avec une sensibilité et une couverture en énergie accrues ?

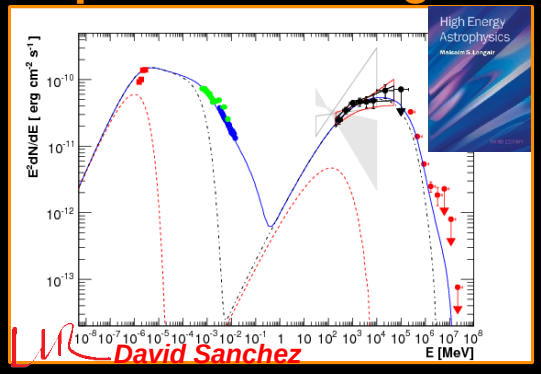




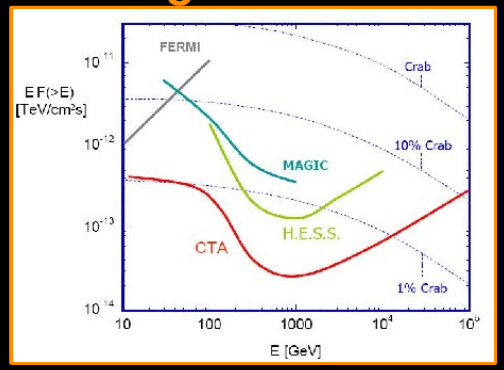
Simulation pour l'avenir : CTA



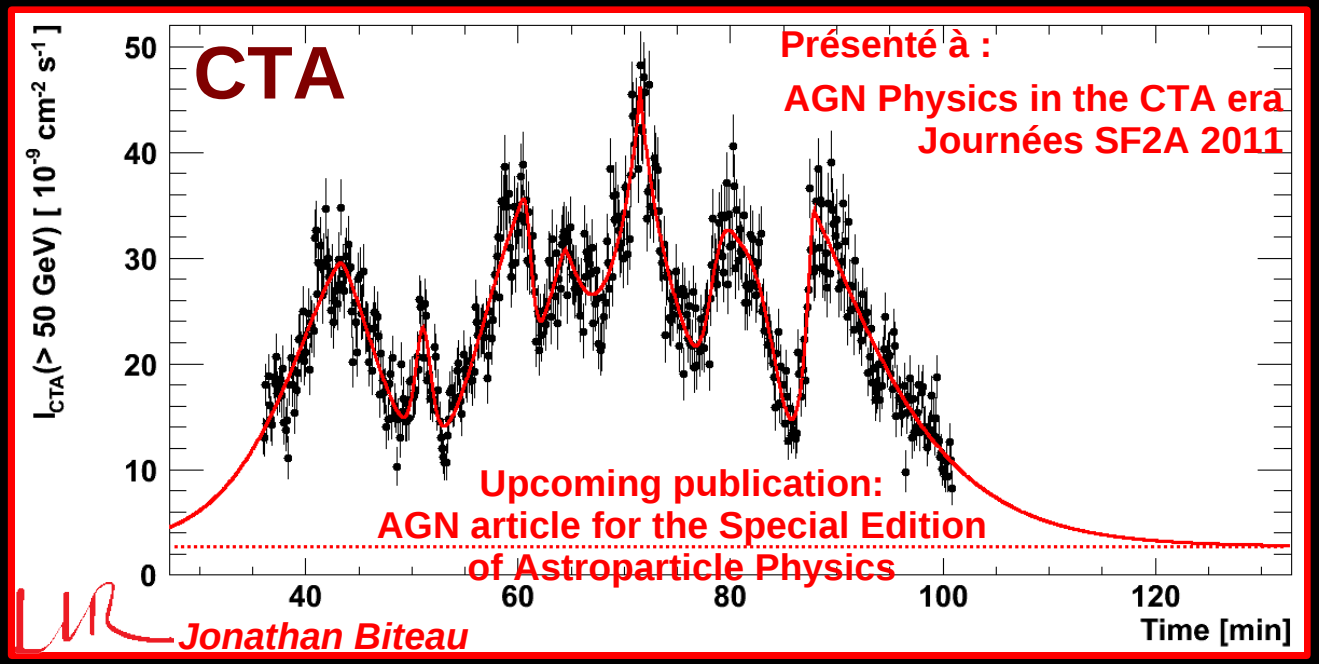
Extrapolation du spectre en énergie

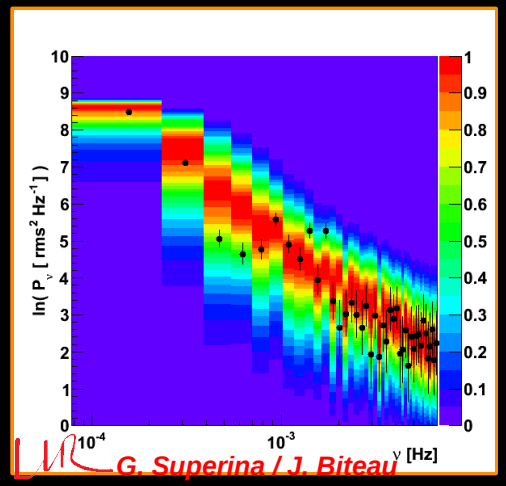


Sensibilité et couverture en énergie accrues



CTA améliorera l'échantillonnage des courbes de lumière d'un ordre de grandeur, rendant possible la détection de microstructures à contrepartie astrophysique intriguante : $\tau = 25 \pm 4$ s $\Rightarrow$ $\delta > 450$-900





Extrapolation du spectre de Fourier

Conclusion

Le ciel extragalactique au TeV est principalement consistué de blazars, noyaux actifs de galaxie dont le jet pointe vers nous, où se mellent gravitation en champ fort, MHD, turbulence et émission collimée.

Conclusion

Le ciel extragalactique au TeV est principalement consistué de blazars, noyaux actifs de galaxie dont le jet pointe vers nous, où se mellent gravitation en champ fort, MHD, turbulence et émission collimée.

La reconstruction des γ par H.E.S.S. permet de déterminer les caratéristiques spectrales et temporelles de l'émission des blazars et ainsi d'imposer de fortes contraintes sur la physique mise en jeu dans ces accélérateurs cosmiques.

Conclusion

Le ciel extragalactique au TeV est principalement consistué de blazars, noyaux actifs de galaxie dont le jet pointe vers nous, où se mellent gravitation en champ fort, MHD, turbulence et émission collimée.

La reconstruction des γ par H.E.S.S. permet de déterminer les caratéristiques spectrales et temporelles de l'émission des blazars et ainsi d'imposer de fortes contraintes sur la physique mise en jeu dans ces accélérateurs cosmiques.

Mon job :

- Responsable du "round-up" AGN dans la collaboration H.E.S.S. :
  Synthèse mensuelle : Observations – Calibration – Analyse

- Découverte et caractérisation d'un nouveau blazar : 1ES 1312-423
  Analyse – Recherche des données d'archive – Modélisation

- Phénoménologie du blazar le plus variable connu à ce jour : PKS 2155-304
  Analyse temporelle – Analyse de Fourier – Toy Model de turbulence

- Observables accessibles à prochaine génération d'observatoire au TeV : CTA
  Simulation – Résolution temporelle

- Mesure originale du deuxième fond diffus cosmologique : l'EBL
  Analyse spectrale fine – Étude des systématiques au TeV

Conclusion

Merci de votre attention !

Mon job :

- **Responsable du "round-up" AGN dans la collaboration H.E.S.S. :**
  Synthèse mensuelle : Observations – Calibration – Analyse

- **Découverte et caractérisation d'un nouveau blazar : 1ES 1312-423**
  Analyse – Recherche des données d'archive – Modélisation

- **Phénoménologie du blazar le plus variable connu à ce jour : PKS 2155-304**
  Analyse temporelle – Analyse de Fourier – Toy Model de turbulence

- **Observables accessibles à prochaine génération d'observatoire au TeV : CTA**
  Simulation – Résolution temporelle

- **Mesure originale du deuxième fond diffus cosmologique : l'EBL**
  Analyse spectrale fine – Étude des systématiques au TeV