

Mécanismes d'émission des noyaux actifs de galaxie

David SANCHEZ

LLR

4 décembre 2008

Plan de l'exposé

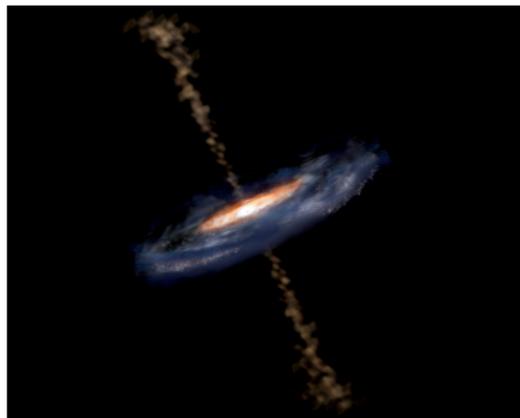
- 1 L'astrophysique γ
 - Particules chargées et sites d'accélération
 - Méthodes d'observation
- 2 Les Noyaux Actifs de Galaxie (NAG)
 - Description des NAG
 - Les grandes inconnues
- 3 Comment modéliser l'émission des blazars
 - Modèles simples
 - Modèles d'émission SSC
- 4 Variabilité
 - X-optique
 - Modèle SSC dépendant du temps
- 5 Conclusions

- Rayons cosmiques : issus d'accélérateurs cosmiques
- Sites astrophysiques : émission de γ : refroidissement de particules
- Accélération de particules dans ces sites

Quels sont les mécanismes d'accélération, les mécanismes d'émission ?

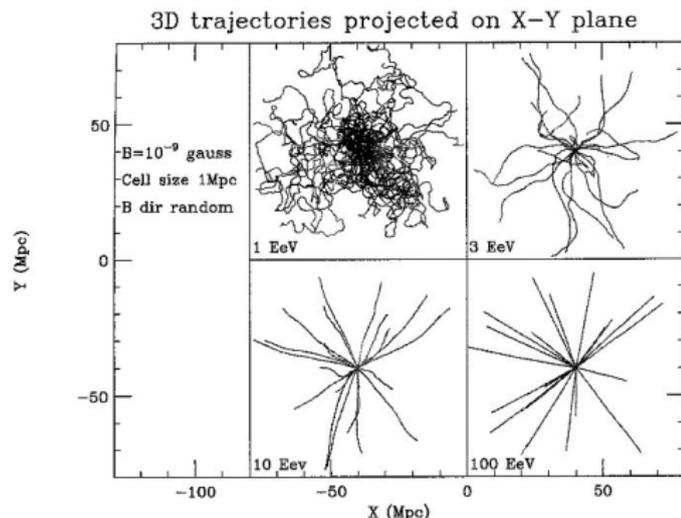
Sites d'accélération

- Restes de supernovae, pulsars
- Sursaut Gamma
- **Noyaux actifs de galaxie**



But : Connaître la nature des particules accélérées, leur distribution énergétique, les mécanismes d'accélération
besoin d'un messager : photons

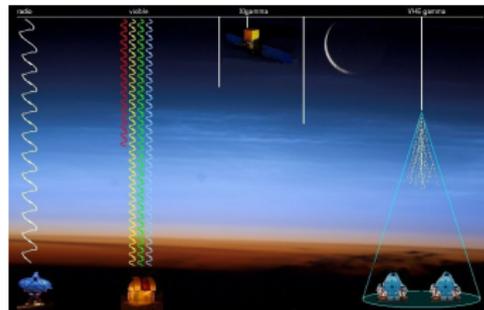
- pas de déviation due au champ magnétique.
- photon γ : proche de l'accélérateur
- du MeV au TeV



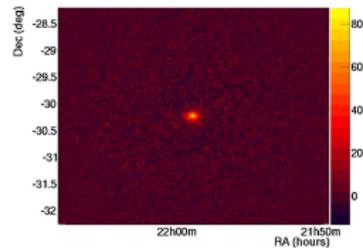
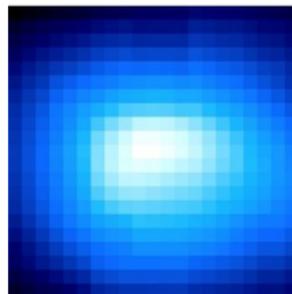
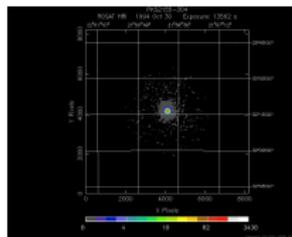
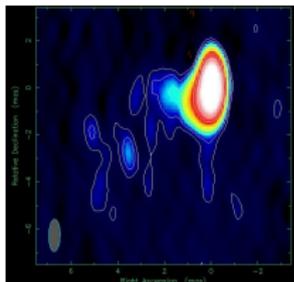
Workshop on Blazar Variability across the Electromagnetic Spectrum,

April 2008

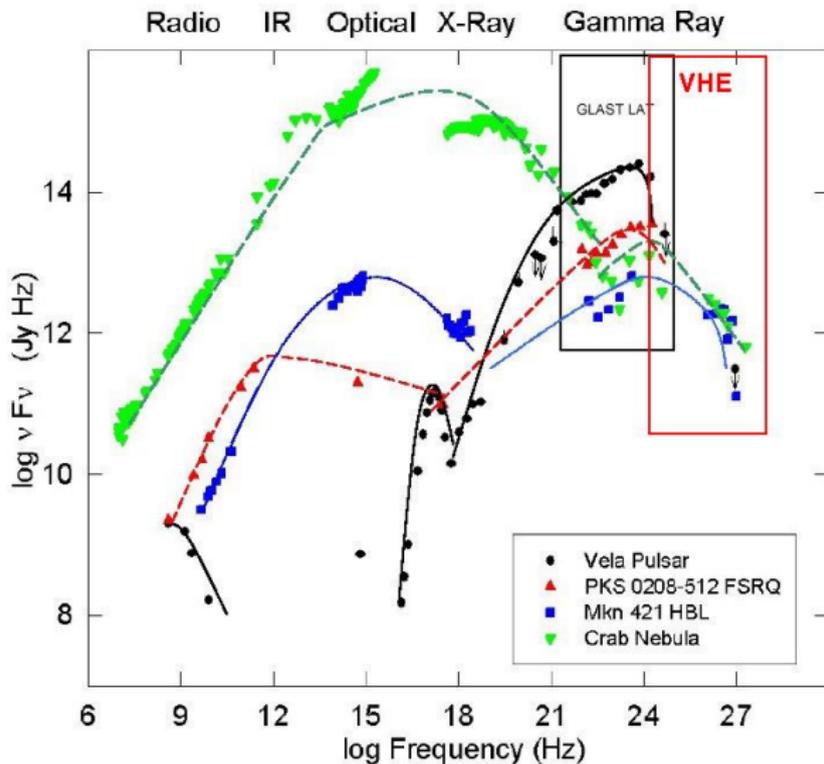
- Radio, optique : au sol
- X, GeV : Atmosphère opaque : spatial
- TeV : Atmosphère comme calorimètre



PKS 2155-304



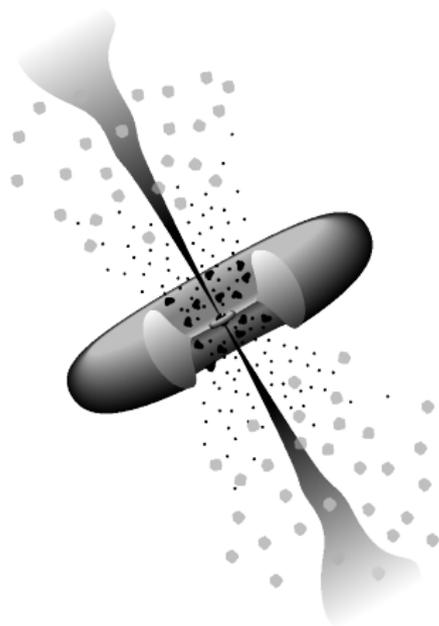
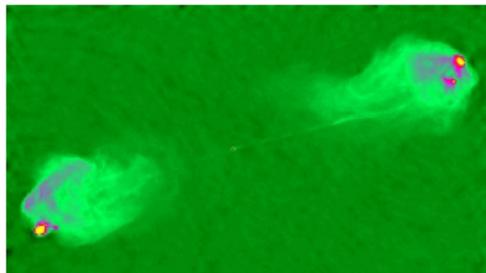
Fermi : recouvrement avec les observatoires au sol



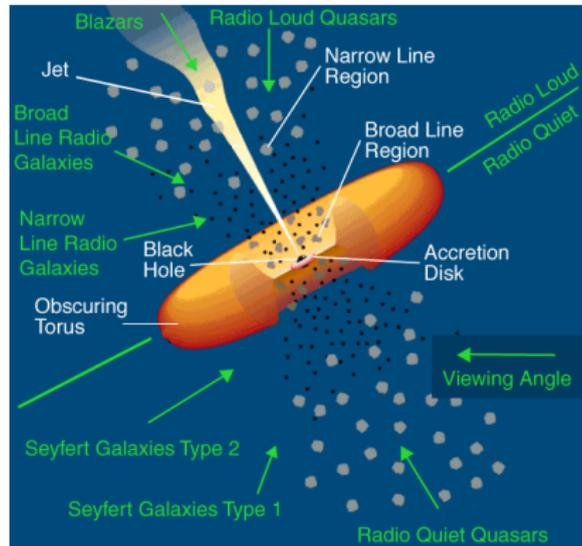
1 – 10% des galaxies observables !

Luminosité du noyau \gg Luminosité de la galaxie hôte

- Trou noir
- Jet de plasma relativiste (10%)
- Nuages (BLR, NRL)
- Tore moléculaire



Importante zoologie des NAG : Flat Spectrum Radio Quasars, Seyfert 1 & 2, Blazars, radio galaxie...



Dans la suite : **blazars**

"Séquence" des blazars

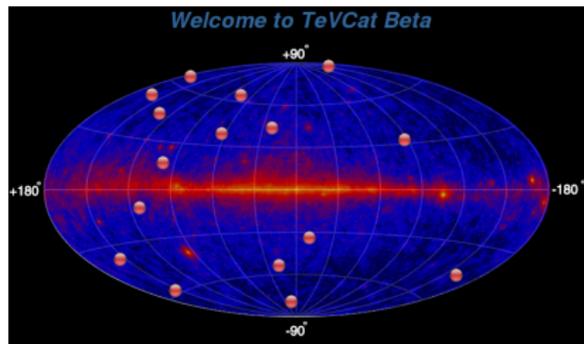
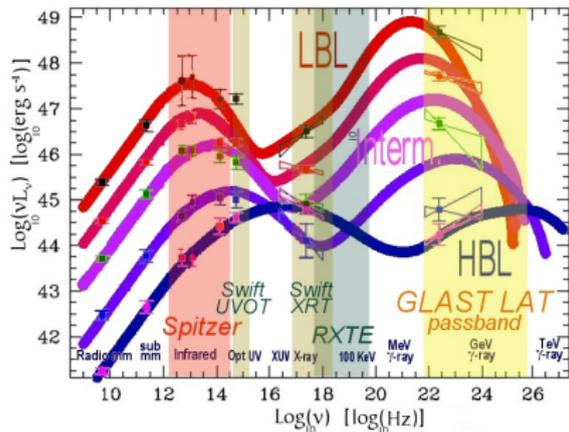


FIG.: TeVCat : HBL vus au TeV

High-peaked BL Lac : Contrainte de la bosse HE avec 2 instruments.

Fermi + Čerenkov : Contrainte des modèles

Émetteurs au TeV.

Variabilité de l'ordre de la minute au TeV!!

- Disque + trou noir : formation du jet, collimation
- Mécanismes d'accélération des particules : Fermi d'ordre I ou II, reconnection magnétique ?
- **Mécanismes d'émission : synchrotron, inverse Compton, émission hadronique (RC ?)**
- Localisation de l'émission (optique, X, GeV, TeV...) dans le jet
- Variabilité de l'ordre de la minute : origine, caractérisation

Les campagnes multi-longueur d'onde permettent de comprendre les corrélations

Basse énergie : synchrotron d'électron

- synchrotron Self-Compton : les photons synchrotron sont les photons cibles
- Compton externe : les photons cibles sont externes au jet (CMB, Nuages, disque)
- hadronique : photo-production de pion, synchrotron

Spectre des particules injectées ?

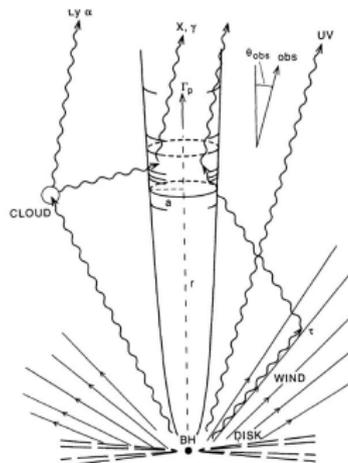
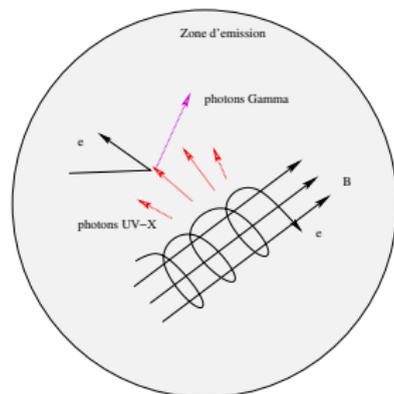


FIG. 2.—Geometry of the source. The radiating region, denoted by short cylinder of dimension a , moves along the jet with pattern Lorentz factor Γ_p . Underlying flow moves with Lorentz factor Γ , which may be different.

- $t_{var} \approx 200s$, $R = c * t_{var} < R_g$
- Opacité au γ du TeV
- \rightarrow les électrons sont boostés

Une seule zone d'émission, sphérique, homogène (taille R)
 $N_e(\gamma)$

- plasma d'électron relativiste dans un champ B
- émission synchrotron
- le champ de photons synchrotron : diffusé par les e^-



Les électrons de plus haute énergie sont responsables de l'émission au TeV.
 Forte corrélation X-TeV attendue et observée

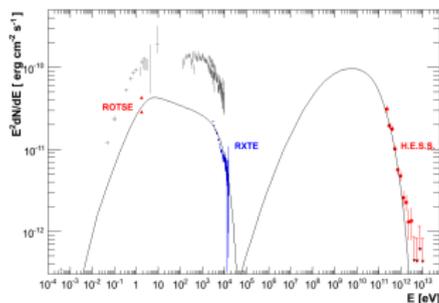
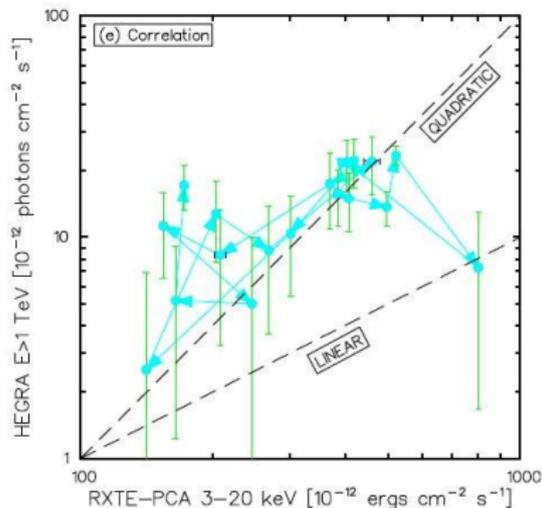
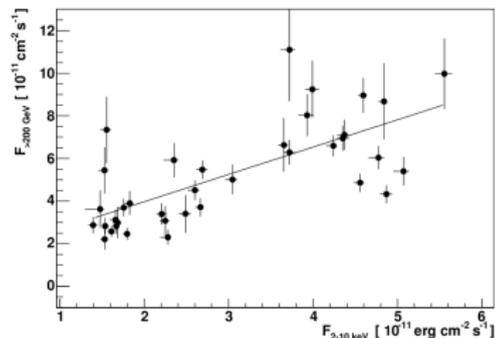


Figure : Données PKS 2155-304 et ajustement SSC, Aharonian et al, 2004

Corrélation X-TeV



PKS 2155-304: VHE/X Correlations in 2004

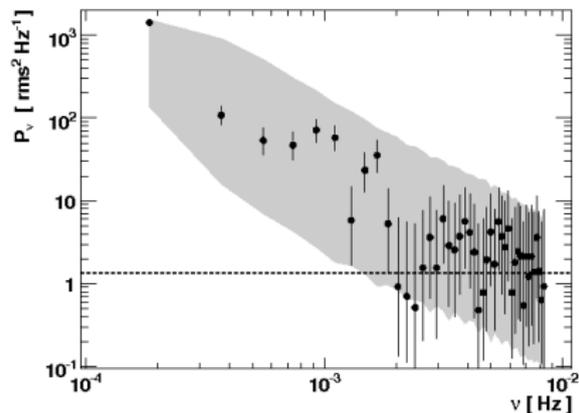
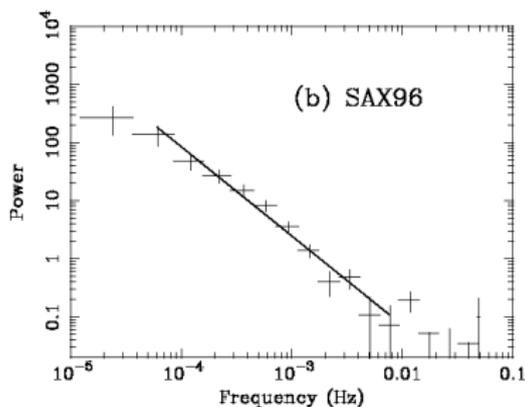


- Correlation factor $r = 0.71 \pm 0.05$ between VHE and X-rays.

Mkn421 : Katarzynski et al. A&A 2004

PKS2155-304 : Giebels et al. SF2A 2004

Variabilité : caractérisé par un bruit rouge
 $TF(flux(t)) \propto 1/\nu^2$



Rapid X-ray Variability of the BL
 Lacertae Object PKS 2155-304
 Y.H. Zhang, 99

Aharonian et al, A Spectacular VHE
 Gamma-Ray Outburst from PKS
 2155-304 in 2006, 2006

caractérisation : F_{var}

x une mesure et σ_{err} l'erreur sur la mesure.
moyenne :

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum x$$

variance :

$$S^2 = \text{variance}(x)$$

carré des erreurs

$$\text{var}_{\text{err}} = \frac{1}{N} \sum \sigma_{\text{err}}^2$$

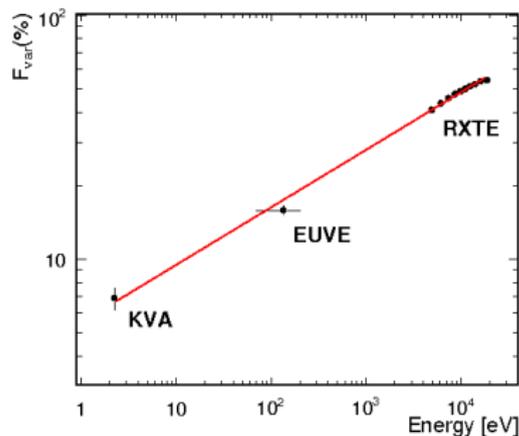
excès de variance normalisé :

$$F_{\text{var}} = \sqrt{\frac{S^2 - \text{var}_{\text{err}}}{\bar{x}^2}}$$

S. Vaughan et al, MNRA, 2003

dépendance de F_{var} avec E

- Mkn412 : F_{var} dépendant de E
- Loi de puissance $\propto E^{.25}$



- La variabilité est caractérisée par une bruit rouge
- $F_{\text{var}} \propto E^{.25}$

Comment réconcilier ces deux observations.

Modification du modèle SSC

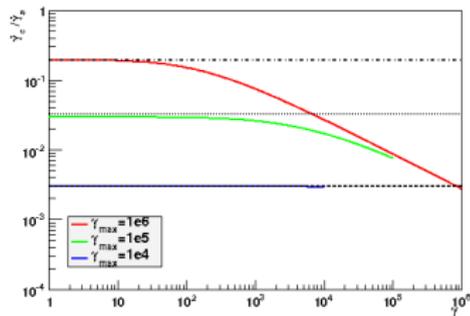
$$N_e(\gamma, t)$$

- refroidissement radiatif : $\frac{\partial}{\partial t}[(\dot{\gamma}_s + \dot{\gamma}_c)N_e(\gamma, t)]$
- injection : $Q(\gamma, t)$
- échappement t_{esc} : $-\frac{N_e(\gamma, t)}{t_{esc}}$

$$\frac{\partial N_e}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial \gamma}[(\dot{\gamma}_s + \dot{\gamma}_c)N_e(\gamma, t)] + Q(\gamma, t) - \frac{N_e(\gamma, t)}{t_{esc}}$$

$$\dot{\gamma}_s = \frac{4\sigma_T\gamma^2 U_B}{3m_e c}$$

$$\dot{\gamma}_c = \frac{4\sigma_T\gamma^2 U_{ph}}{3m_e c} + \text{effet Klein-Nishina}$$

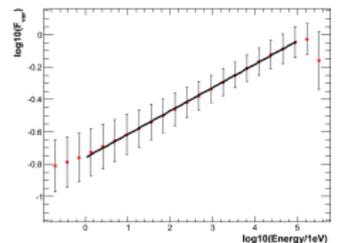
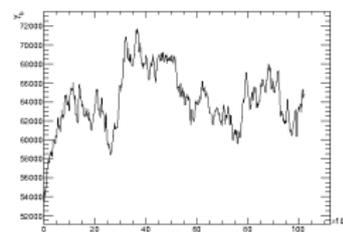
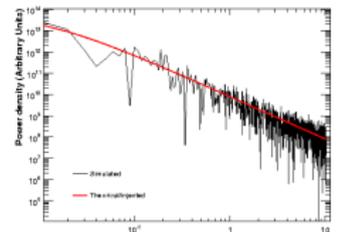


Injection de particules dépendante du temps *ad hoc*

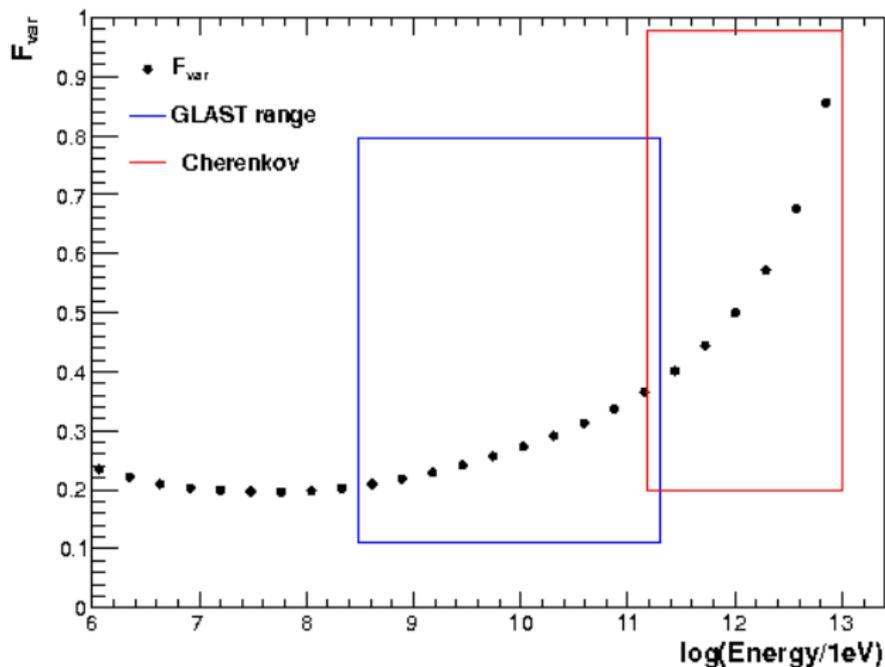
Injection maxwellienne : $Q(t, \gamma) = K\gamma^2 \exp(-2\gamma/\gamma_b(t))$

- γ_b : bruit rouge, PDS d'indice -2
- $TF(\gamma_b) \propto \frac{1}{f^2} \times \sqrt{x + iy}$, x, y variable gaussienne
- $F_{\text{var}} \propto E^{-.19}$
- effet des paramètres
- Sanchez, Giebels, Dubus Workshop

on Blazar Variability across the Electromagnetic
 Spectrum, April 2008



Prédiction pour Fermi



Avec un simple modèle SSC : bruit rouge et $F_{\text{var}}(E)$

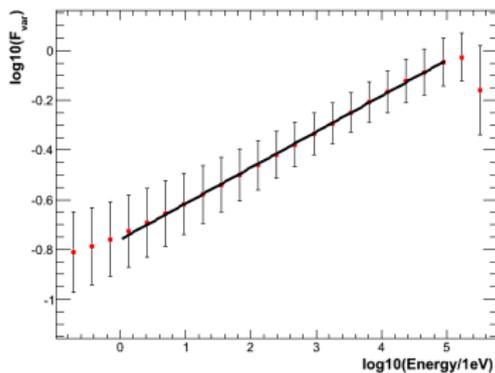


FIG.: $F_{\text{var}}(E) \propto E^{.19}$

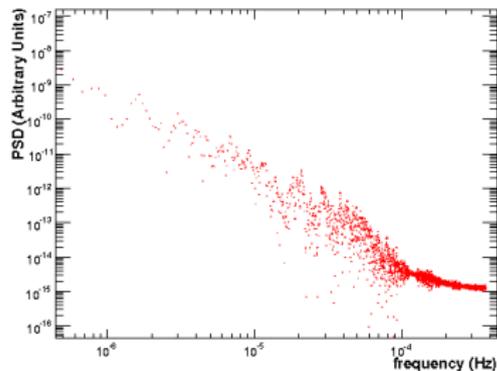


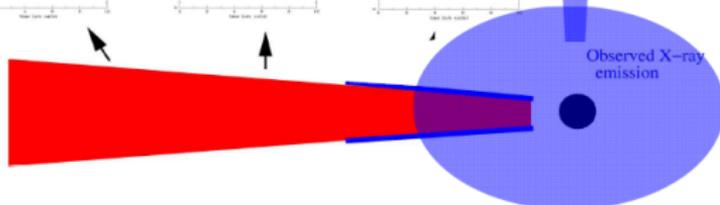
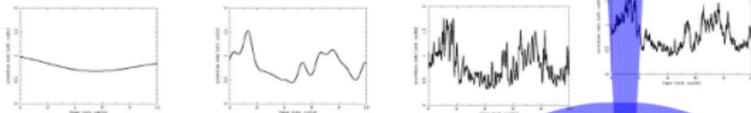
FIG.: TF du flux en fonction du temps :
bruit rouge

Injection ?

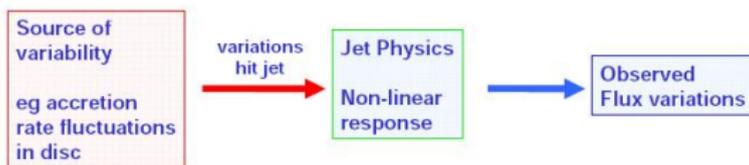
exemple de modèle d'injection : McHardy 08

Amplitude of fluctuation in each annulus is modulated by total amplitude of inward propagating fluctuations.

Accretion rate fluctuations at various disk radii



The variability mechanism is independent of the emission mechanism



- L'astrophysique est un vaste champ de recherche
- Nous entrons dans l'ère Fermi : période excitante !!
- Fermi permettra de contraindre les modèles d'émission

L'injection est mal connue mais :

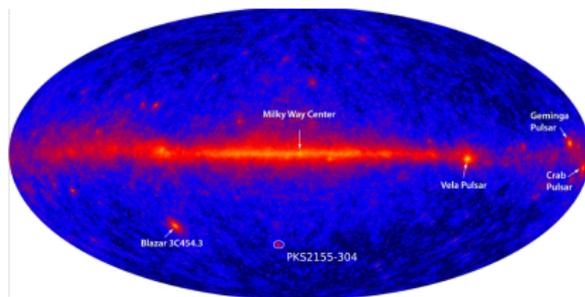
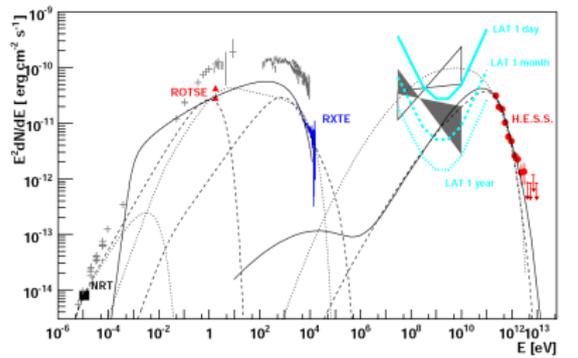
- elle peut être décrite comme un phénomène stochastique
- on reproduit ainsi les observations optique, X, Tev

Fermi nous permettra d'aller plus loin

De grandes découvertes sont à venir!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

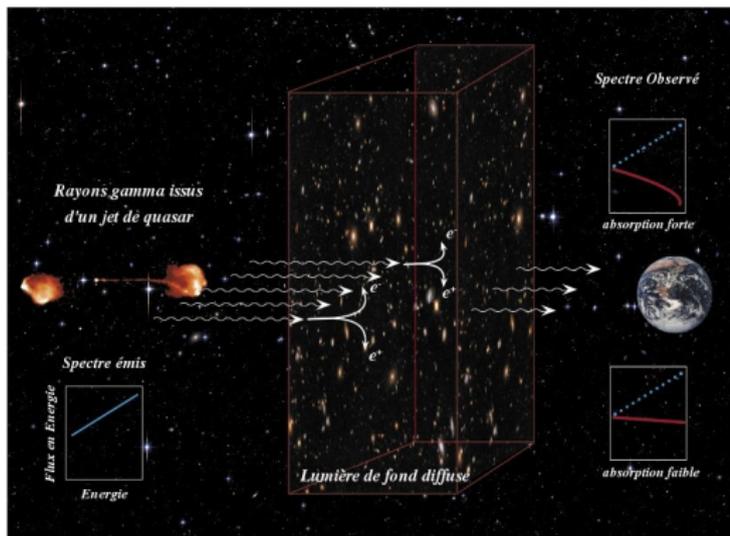
Août 2008 : première campagne Fermi-H.E.S.S.

BL Lac PKS 2155-304

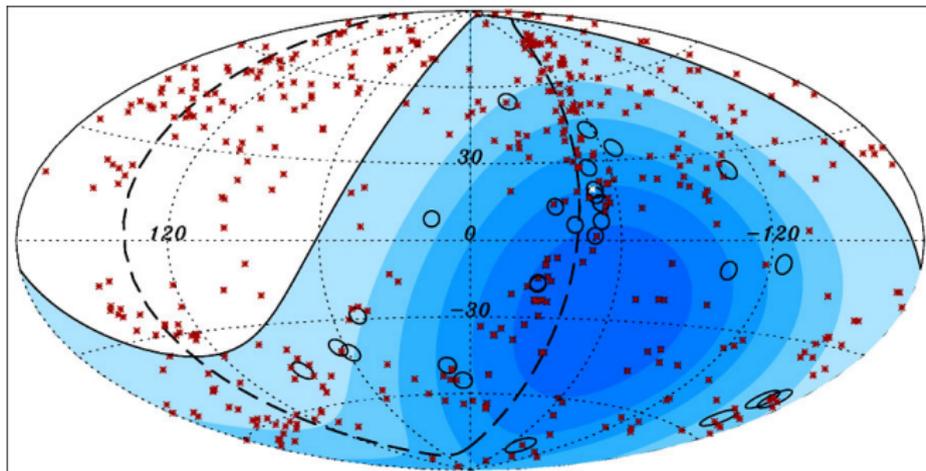


Les campagnes multilongueur d'onde sont primordiales.
résultats à venir

- propagation : $\gamma\gamma$ absorption.
étude les l'EBL (formation d'étoiles)
- délai dépendant de l'énergie dans les éruptions rapides : violation de l'invariance de Lorentz



Astronomie avec des cosmiques : difficile Corrélation des rayons cosmiques ($E > 6 \times 10^{19}$ eV) avec les NAG dans les données AUGER



Correlation of the highest-energy cosmic rays with the positions of nearby active galactic nuclei, Science vol 318

NAG : source des rayons cosmiques ?