



Active Galactic Nuclei et synergie entre SKA et CTA, Cherenkov Telescope Array

Explorer l'univers non-thermique
en **radio** et en rayons **gamma**,
aux deux extrêmes
du spectre électromagnétique

Sommaire

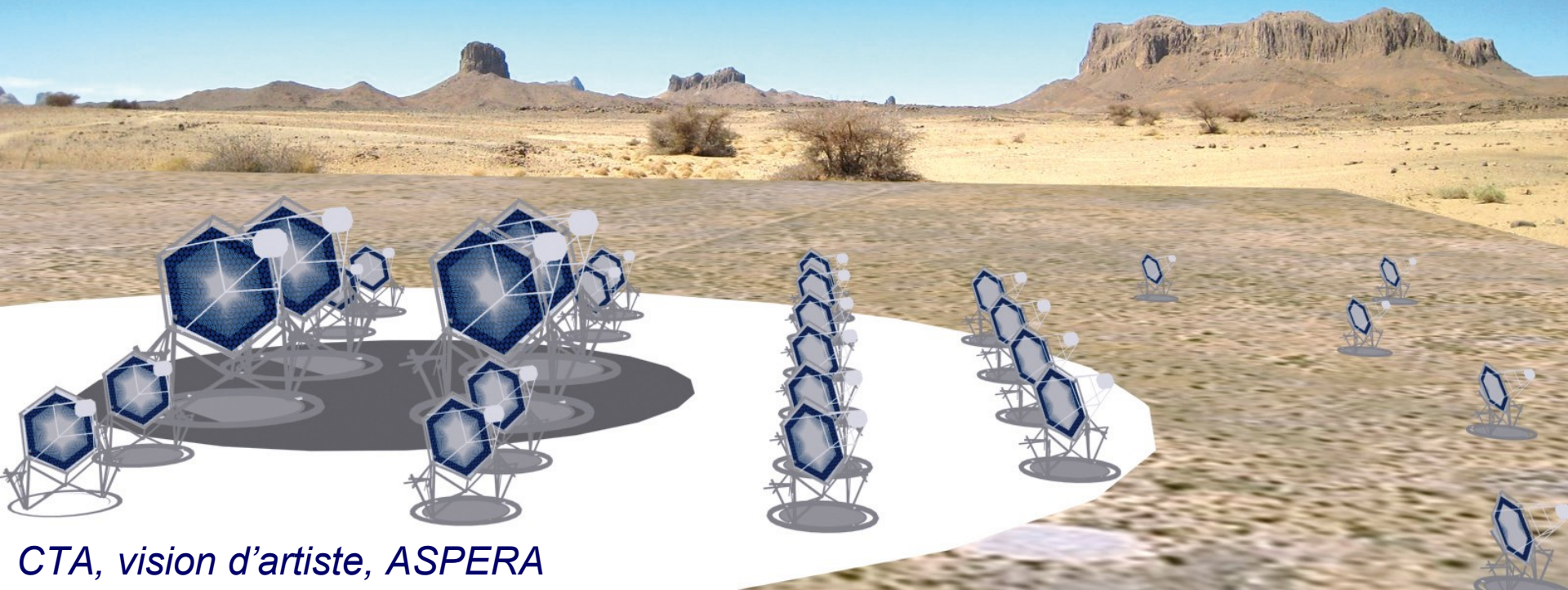
- Le projet CTA en quelques mots
- Les AGN, émetteurs multi-fréquence, vus aux très hautes énergies (VHE)
- Exemples d'enjeux scientifiques de la synergie radio-VHE pour la physique des AGN
- Calendrier

Sommaire

- Le projet CTA en quelques mots
- Les AGN, émetteurs multi-fréquence, vus aux très hautes énergies (VHE)
- Exemples d'enjeux scientifiques de la synergie radio-VHE pour la physique des AGN
- Calendrier

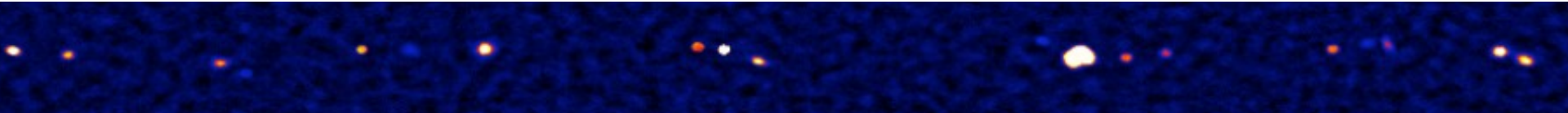
CTA, projet de grand réseau de télescopes Cherenkov

*Observatoire généraliste
d'astronomie gamma au sol*



CTA, vision d'artiste, ASPERA

de HESS ...



CTA : Pierre angulaire de l'exploration multi-messager de l'univers non -thermique
Instrument généraliste pour l'étude des phénomènes cosmiques extrêmes, et leurs impacts en astronomie

Etudes spectrales, morphologiques et temporelles d'un millier de sources galactiques et extragalactiques, émetteurs actifs comme SNR et AGN, ou émetteurs passifs tels les nuages moléculaires.

Communauté : physique des particules et astrophysique, cosmologie, physique nucléaire et des plasmas + sciences statistiques, gestion de données massives, sciences de l'atmosphère. Contacts CERN et ESO.

Retour scientifique garanti + fort potentiel de découvertes
Feuilles de route des TGIR : ASPERA, ASTRONET, ESFRI, et nationale



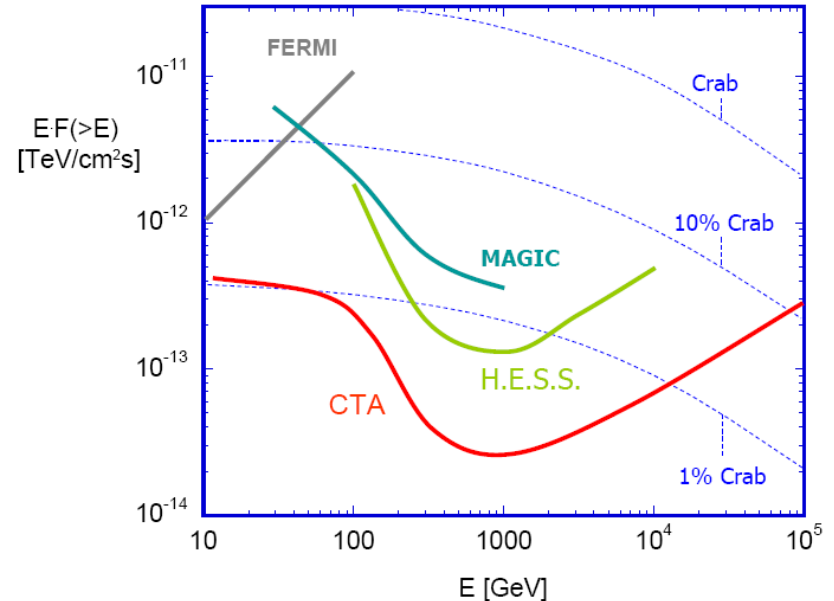
... à CTA

Performances visées pour CTA :

- Facteur 10 d'amélioration en sensibilité
- Facteur 5 d'amélioration en résolution angulaire, jusqu'à la minute d'arc
- Extension du domaine spectral, de ~ 10 GeV à plus de 100 TeV

Couverture complète du ciel :
2 sites sud et nord

Grande flexibilité de modes
opérationnels. Observatoire.



Sensibilité et domaine spectral comparés aux instruments actuels. Flux de γ minimum détectable $> E_s$, en 50 h pour HESS, MAGIC et CTA, et en 1 an pour FERMI.

Pour les AGN, le manque de résolution angulaire en VHE (comparée à la radio) est partiellement compensé par les possibilités de sondage des courtes échelles de temps

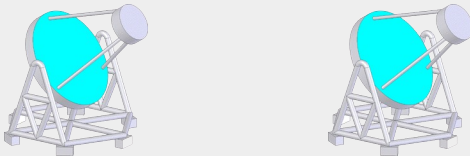
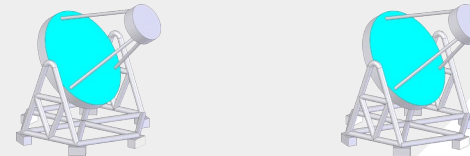
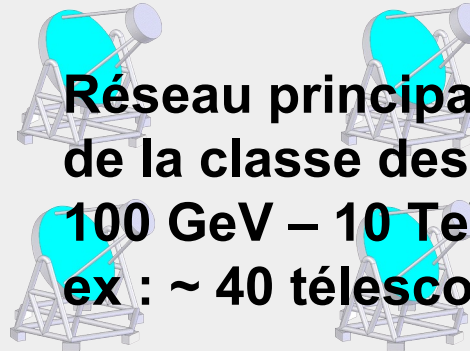
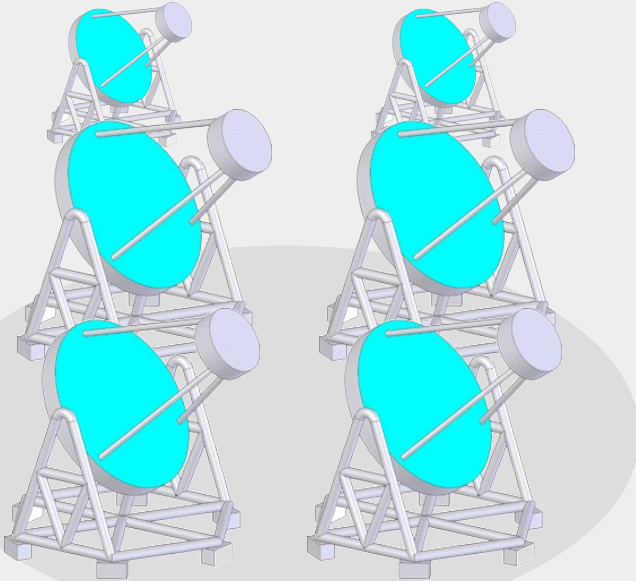
Le concept général :

Un réseau de 50 à 100 télescopes de divers types

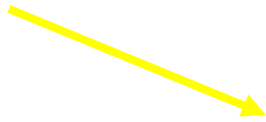
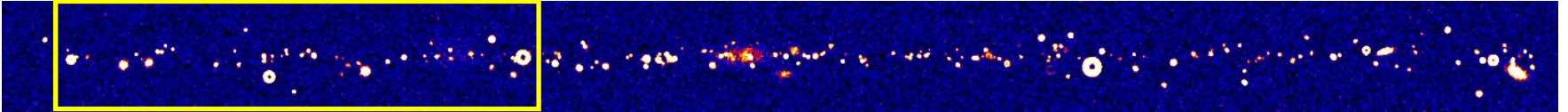
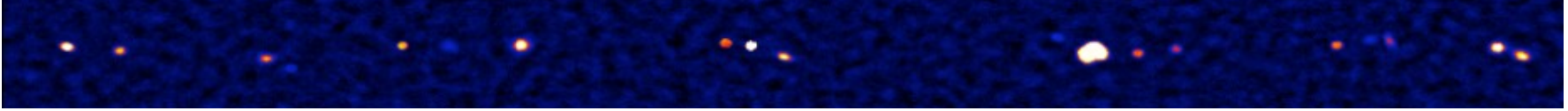
**Réseau principal de télescopes
de la classe des 10m sur $\sim 1 \text{ km}^2$
100 GeV – 10 TeV
ex : ~ 40 télescopes**

**Section Basses Energies
ex : 4 x 23m-télescopes**

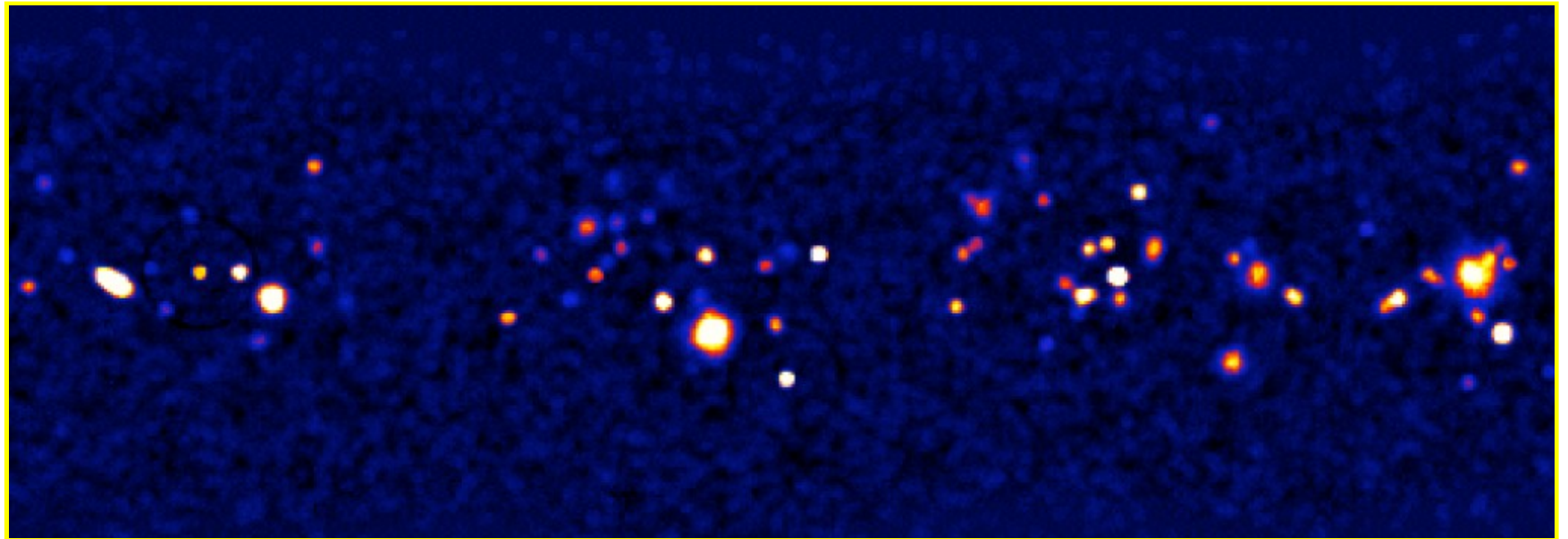
**Section Hautes Energies
avec un halo de télescopes
sur $\sim 10 \text{ km}^2$
ex : ~ 25 télescopes**



Plan galactique vu par HESS



Cartographie simulée vu par CTA



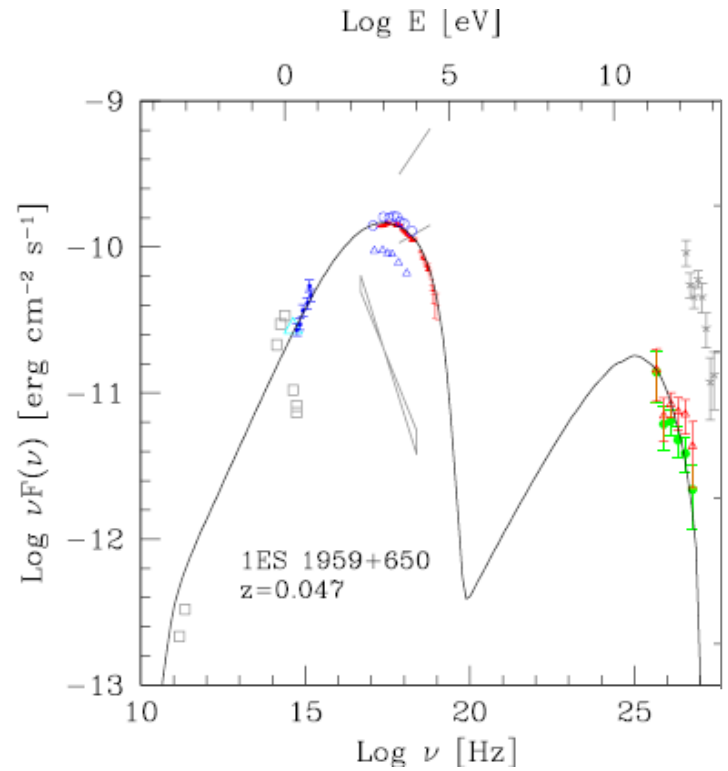
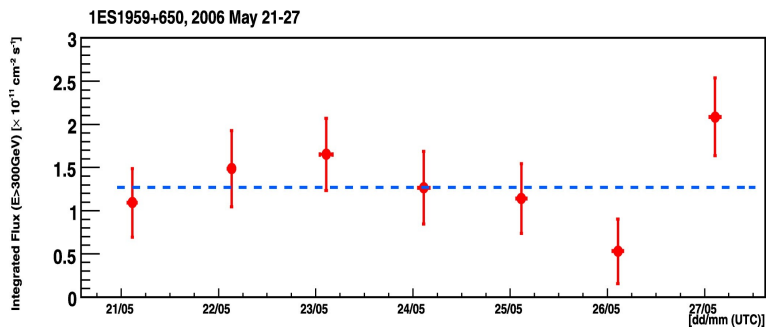
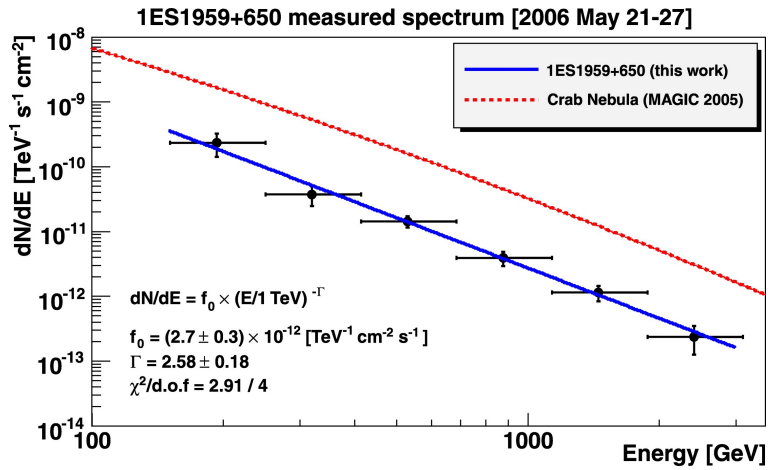
Simulations CTA/AGIS

Digel + Funk (Stanford) + Hinton (Leeds)

Sommaire

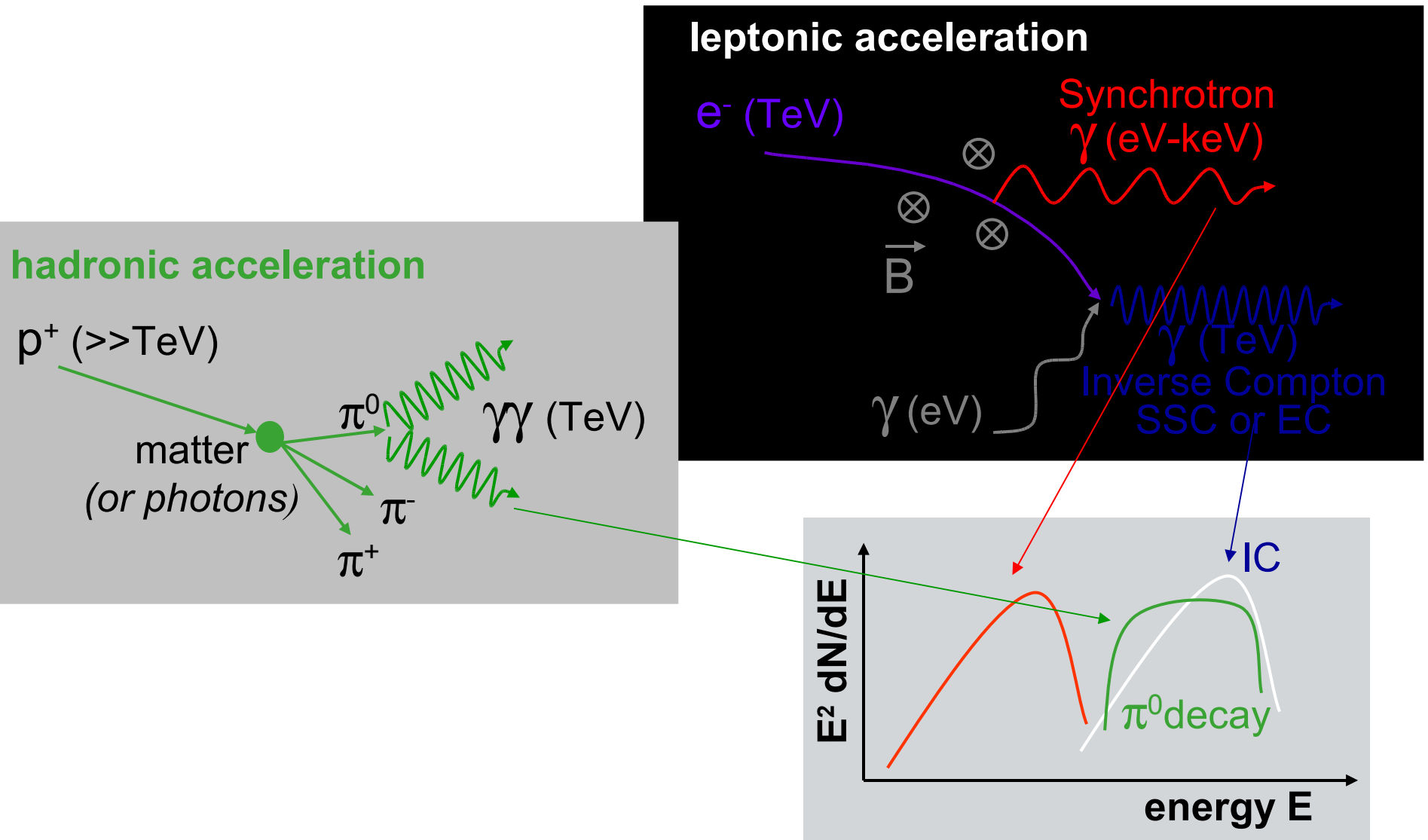
- Le projet CTA en quelques mots
- Les AGN, émetteurs multi-fréquence, vus aux très hautes énergies (VHE)
- Exemples d'enjeux scientifiques de la synergie radio-VHE pour la physique des AGN
- Calendrier

Typical example of VHE spectrum and SED



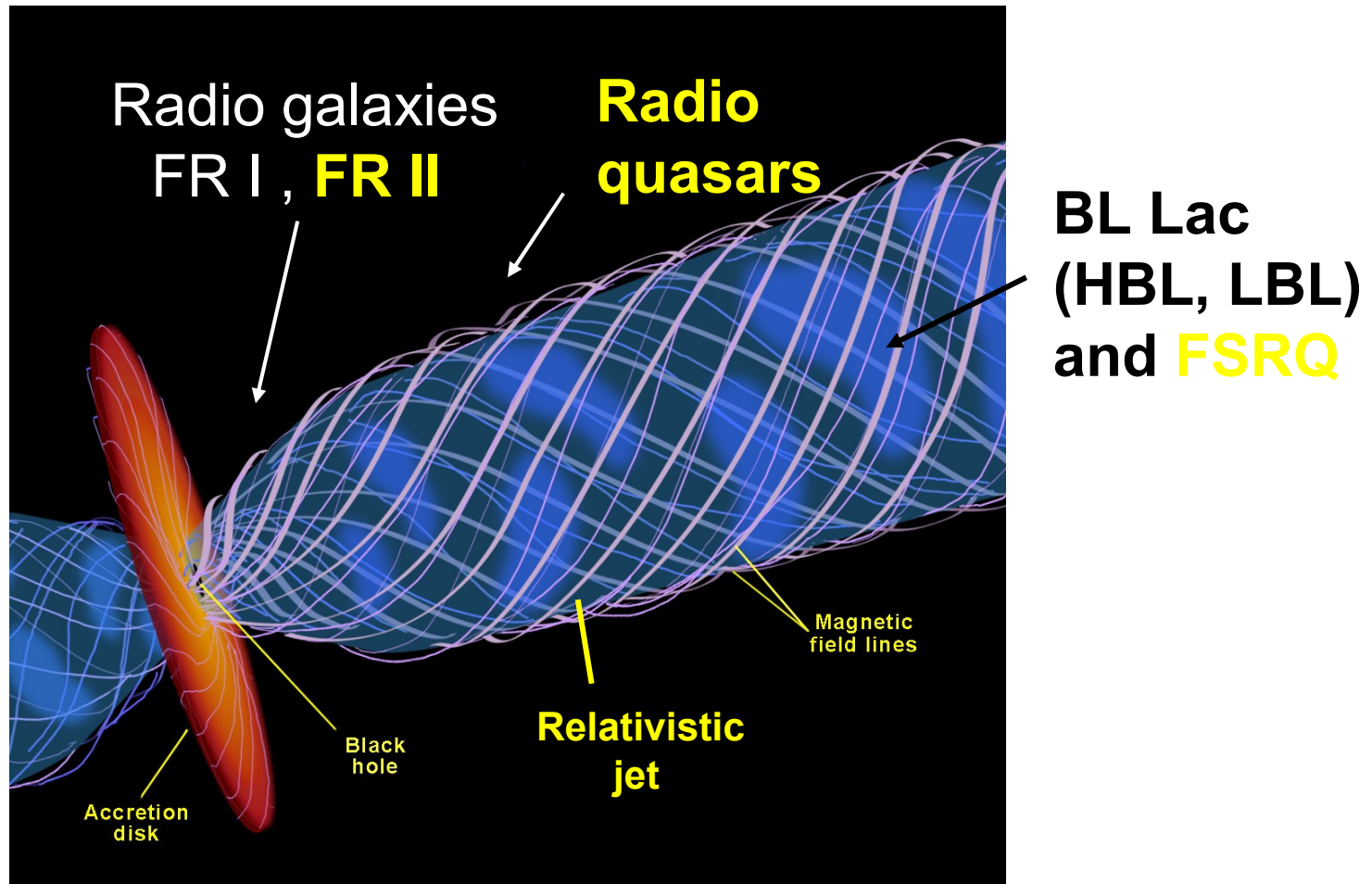
VHE power-law, two-peaked SED, variability

Basic scenarios for SED modeling



(adapted from De Lotto, 2009)

VHE emitting zone(s) : in a jet or outflow with relativistic bulk motion



Strong relativistic boosting (\sim factor δ^4) favours detection of blazars/BL Lac

The VHE sample (2009)

- 25 blazars :
 - 19 HBL *(High-frequency peaked BL Lac)*
 - 4 IBL and 1 LBL *(Intermediate and Low-frequency peaked BL Lac)*
 - 1 FSRQ *(Flat Spectrum Radio Quasar)*
- 2 (or 3) radio galaxies *(+ 1 G.C. ?)*

Number of TeV sources per type : highly peculiar !

Redshifts : from 0.00183 to 0.536 (+ 3 uncertain)

TeV variability : already seen in 18 sources (despite poor temporal coverage)
« Shortest observed time scales »

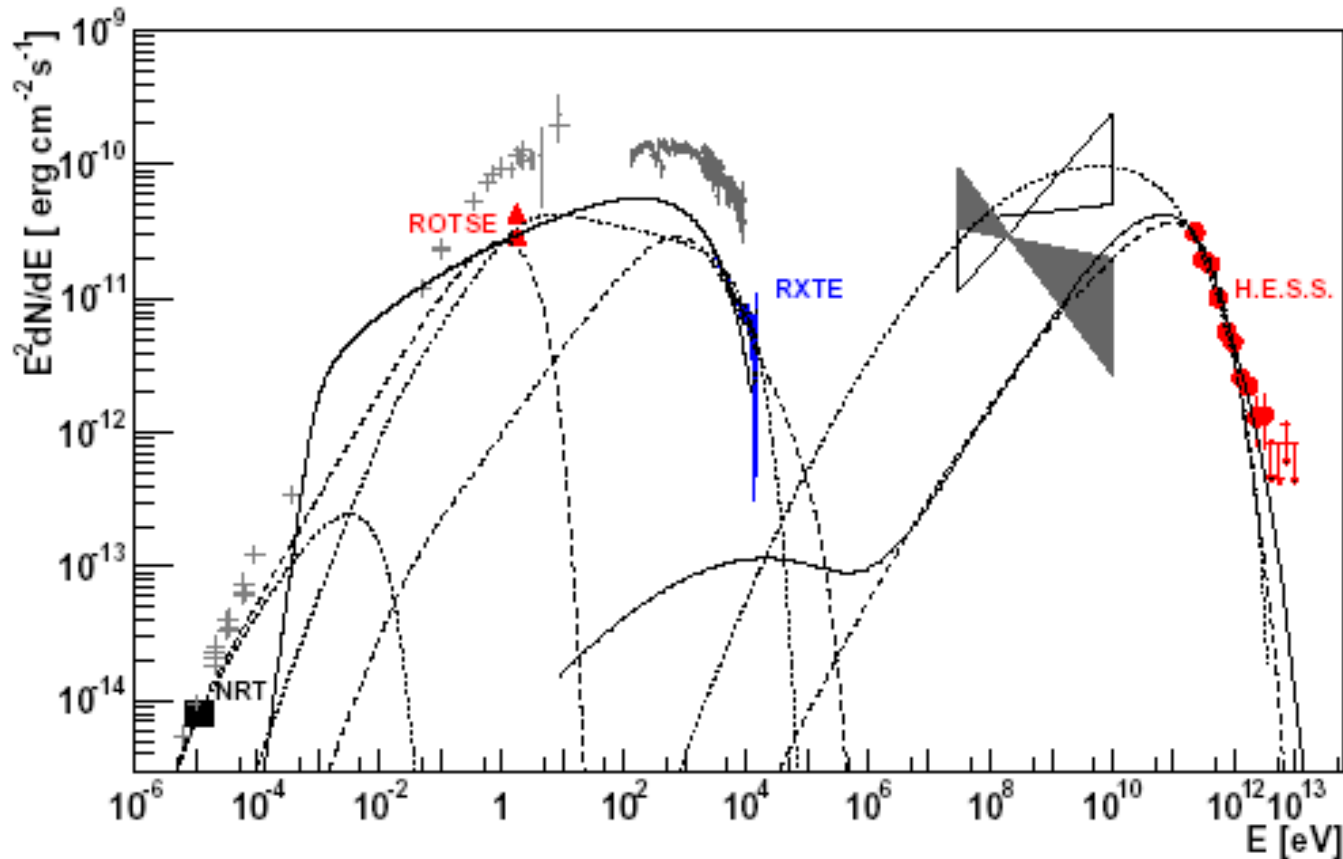
minutes :	3 sources (flares)
day :	6 sources
week :	1 source
month :	3 sources
year :	5 sources

A highly biased sample

- Current dynamical range of ACT ~ 5000
 - Active states of TeV AGN : x 10, x 200
 - Doppler boosting : x 10^4 , x 10^6
- Entirely biased towards **strong boosting** :
100% of boosted sources (except possibly FR I ?)
- Biased towards **active states** : due to sensitivity limits
and to strategy of observation (VHE and multi-lambda alerts)
- Possibly biased towards **low redshifts** : due to strategy of
observation, to optimize detection probability despite EBL
absorption effect.

The HBL PKS 2155-304

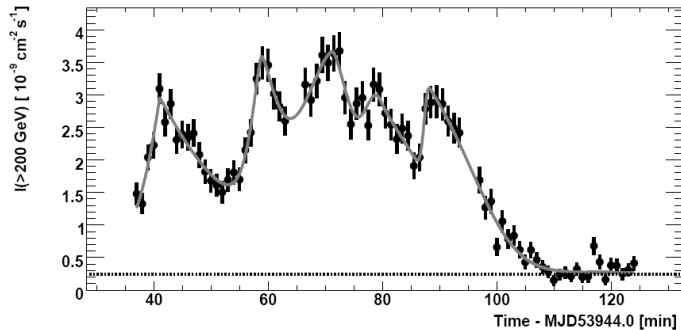
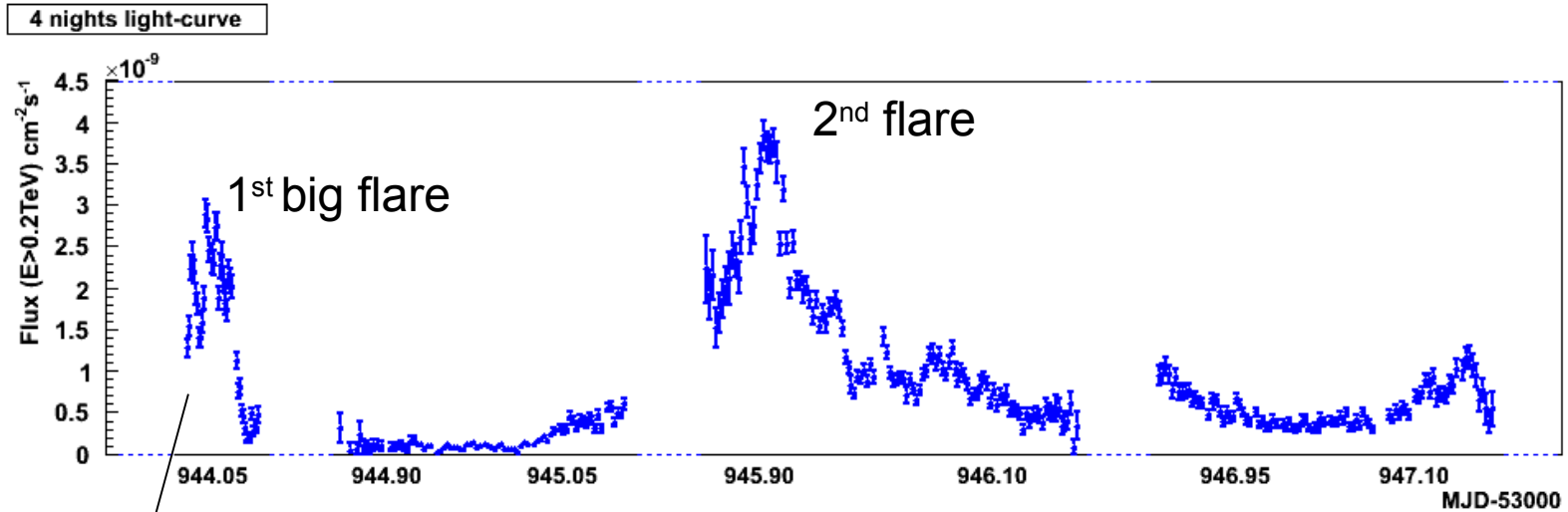
Quiescent state



Various hadronic and leptonic models can often fit present available spectra of HBL *in stationary state* \rightarrow *scénarios non contraints à ce jour*

The HBL PKS 2155-304

Extremely active state



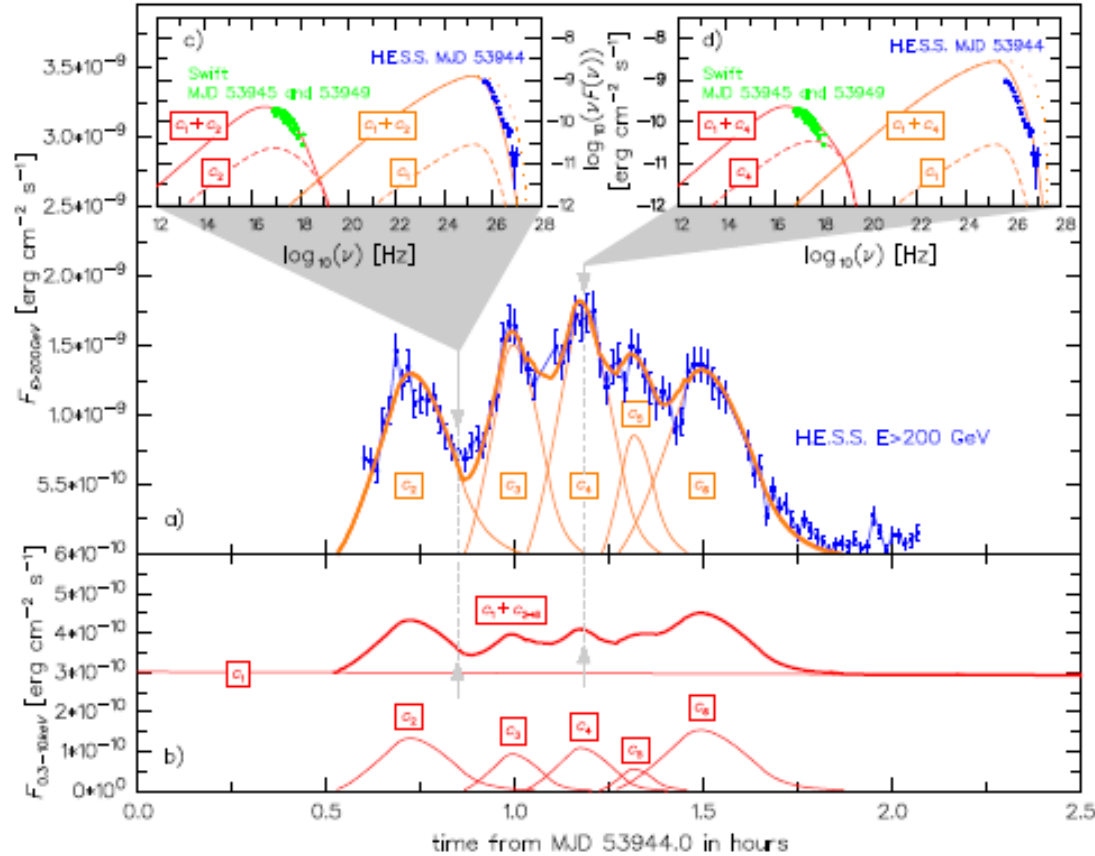
Monitoring an extraordinary active state of PKS 2155-304 in 2006, detected by HESS + multi-lambda campaign.

Variability down to minute time scale

→ Emitting zone smaller than R_g or very high bulk Lorentz factor

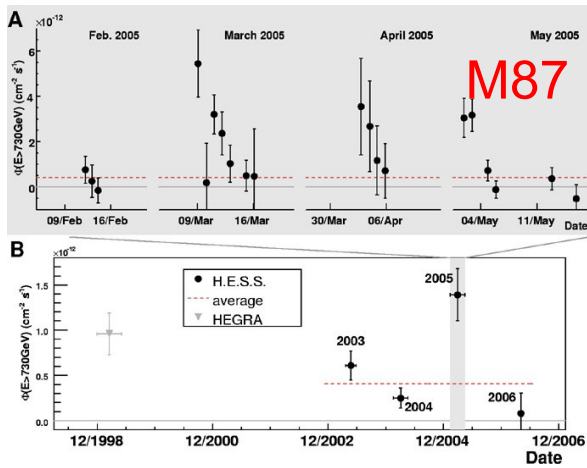
The HBL PKS 2155-304

Extremely active state : 1st flare



Example of modeling light curves and SED by time dependent SSC scenario, with 5 compact components in jet with slightly different parameters C_{2-6} + a more extended slowly evolving component C_1

BH physics : variability \rightarrow small emitting zones

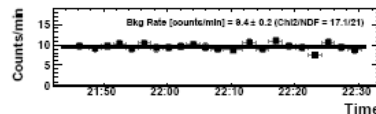
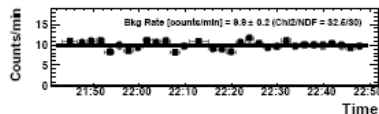
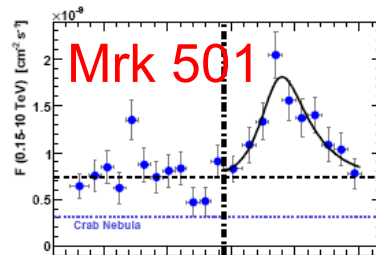
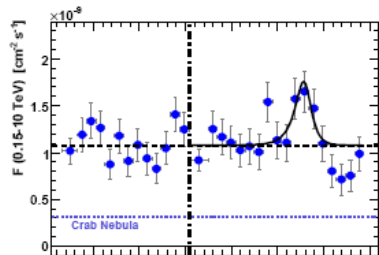
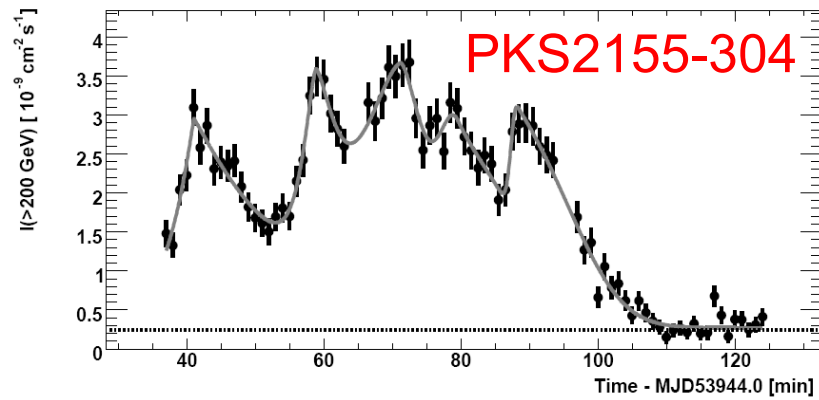


- TeV variability of M87, PKS2155-304, Mrk501 ... requires very small emitting zone, of the order of a few r_g or even less (even for high δ) under causality argument.

- **Challenge** to efficiently accelerate particles in such small zones (core around BH, or very inner jet).

- Fermi processes in shocks and turbulence \rightarrow widely invoked

- Alternatives : magnetic reconnection, direct electric forces, centrifugal force



Sommaire

- Le projet CTA en quelques mots
- Les AGN, émetteurs multi-fréquence, vus aux très hautes énergies (VHE)
- Exemples d'enjeux scientifiques de la synergie radio-VHE pour la physique des AGN
- Calendrier

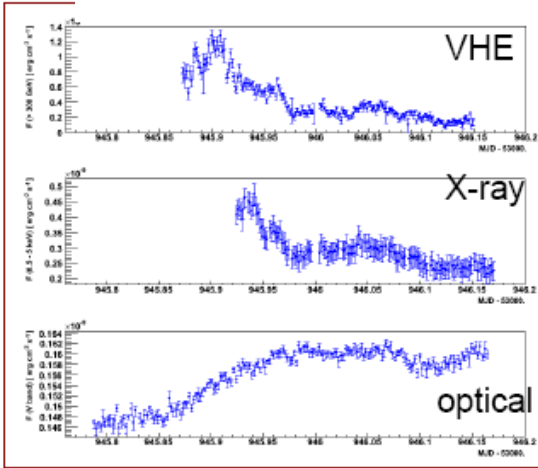
- Exemples d'enjeux scientifiques de la synergie radio-VHE pour la physique des AGN
- Physique des accélérateurs de particules, fonction de distribution des particules, formation et rayonnement des jets d'AGN : *monitoring coordonnés (flux, spectres, polarisation)*
[en effet, les corrélations radio-VHE suspectées depuis des années viennent de se confirmer]

The HBL PKS 2155-304

An extremely active state seen at VHE

→ some clues for a radio-VHE connection

2006 high state



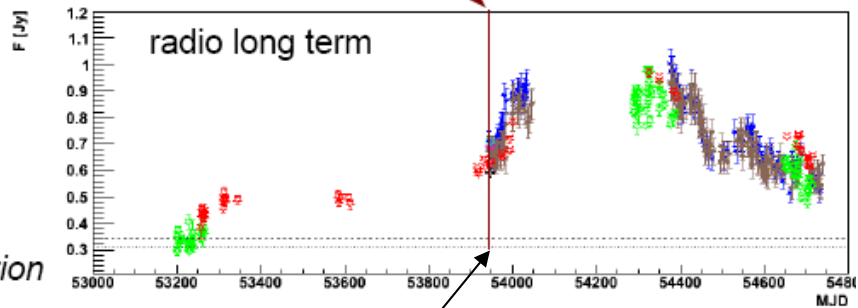
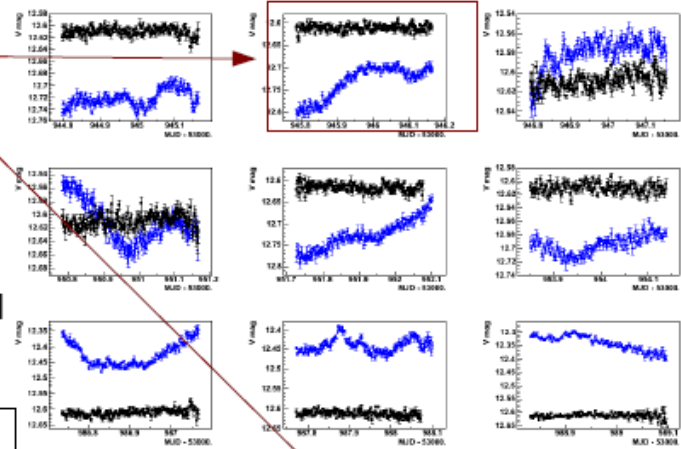
- correlation VHE - X
- overall increase in the optical
- long term increase in radio

H.E.S.S. publication in preparation

"2nd flare"

optical
for
several
nights

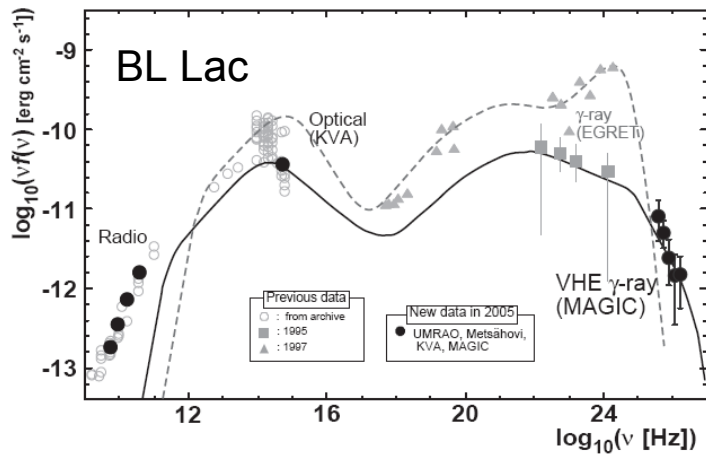
preliminary



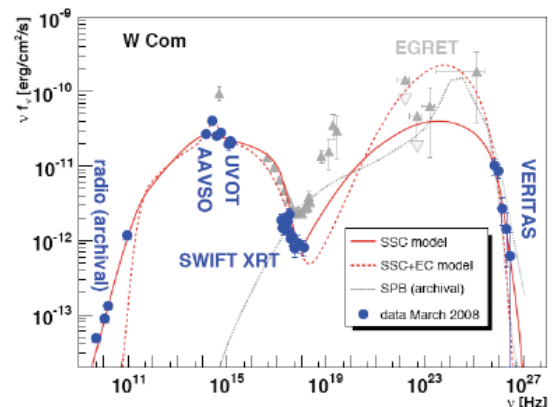
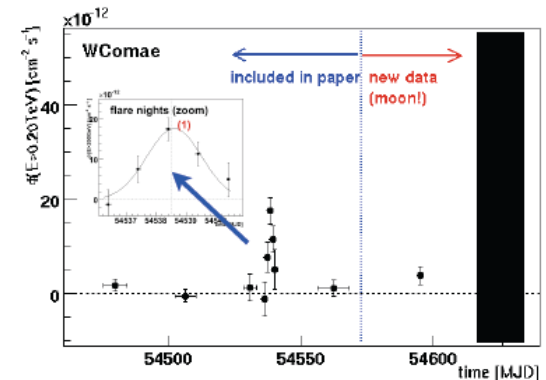
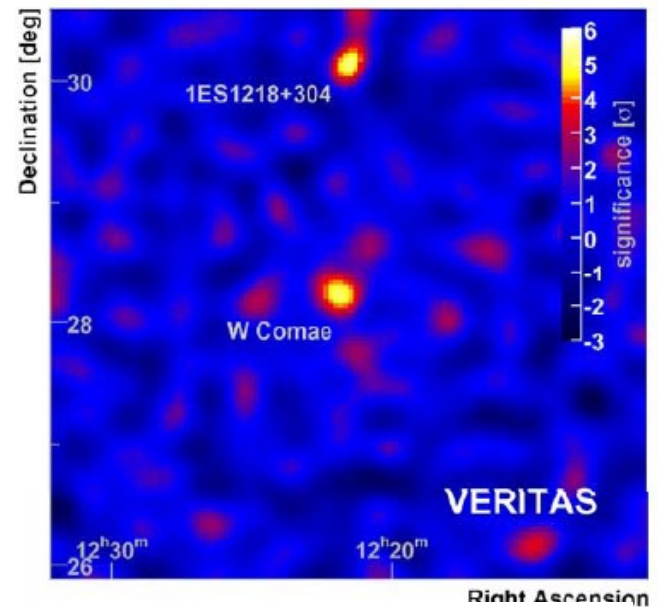
Flares VHE au début d'une forte augmentation du flux radio sur quelques mois

[données radio Nançay, HartRAO, Australie ...]

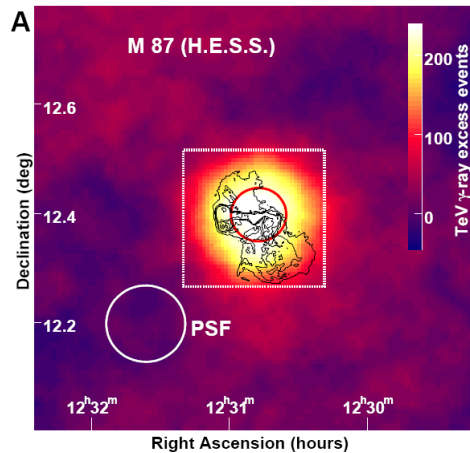
The blazars W Comae (IBL) and BL Lac (LBL)



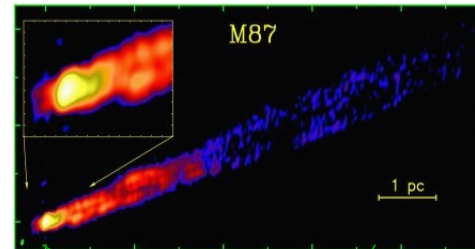
High variability and broad band spectra
 → Stringent necessity of coordinated HE and multi-lambda monitoring to constrain SED and evolution.



The radiogalaxy M87

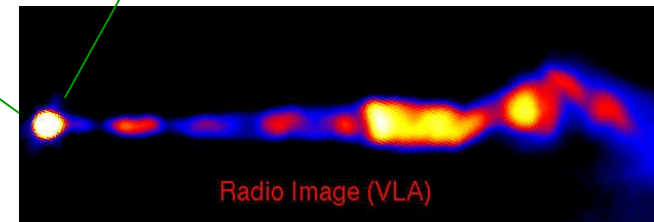


VHE

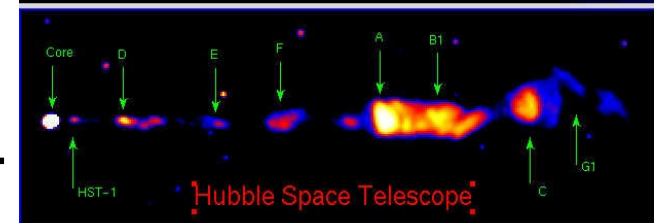


radio

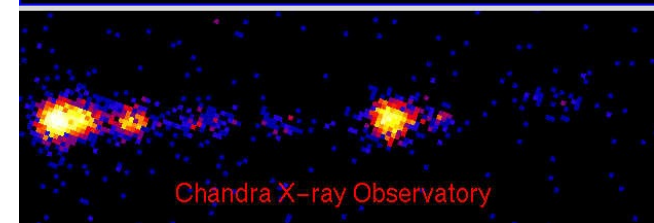
- M87** : VHE day variability
→ 3 possible emitting zones :
- The peculiar knot HST-1 at ~ 65 pc from the nucleus
 - The inner VLBI jet
 - The central core and the black hole environment

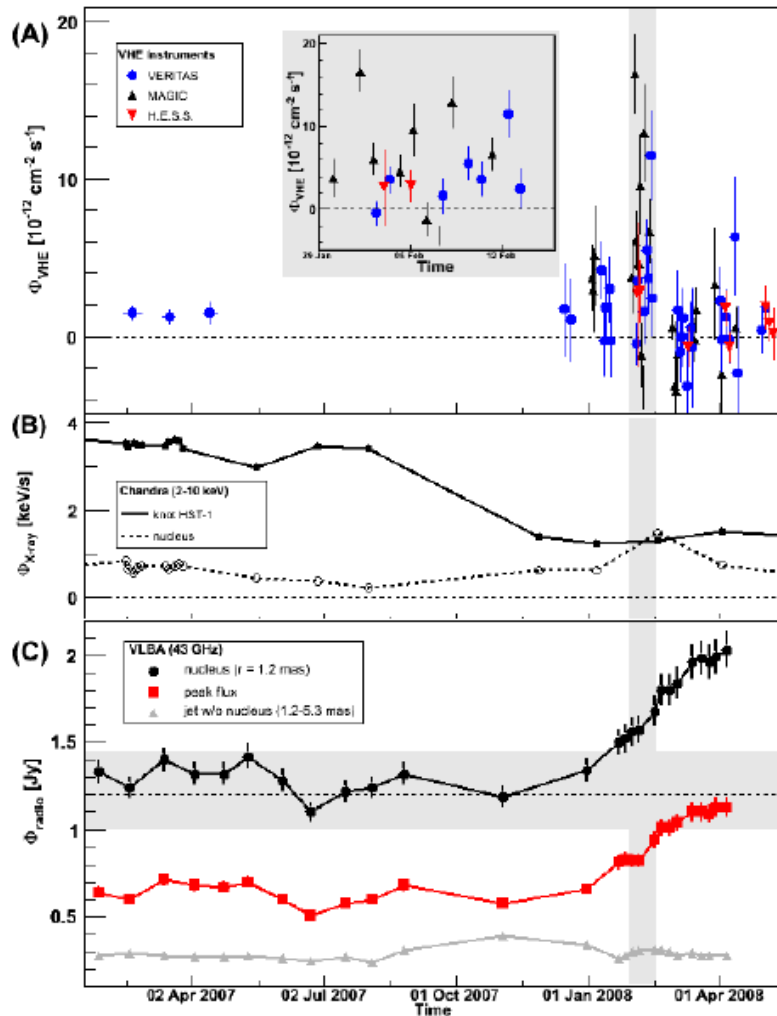


HST



X





X-ray light curve of HST-1 obtained by Chandra in 2008 does not follow the TeV one

Correlated core emission (radio, X and VHE) \rightarrow favours scenarios with **TeV emission from inner jet or central core.**

Inner jet :

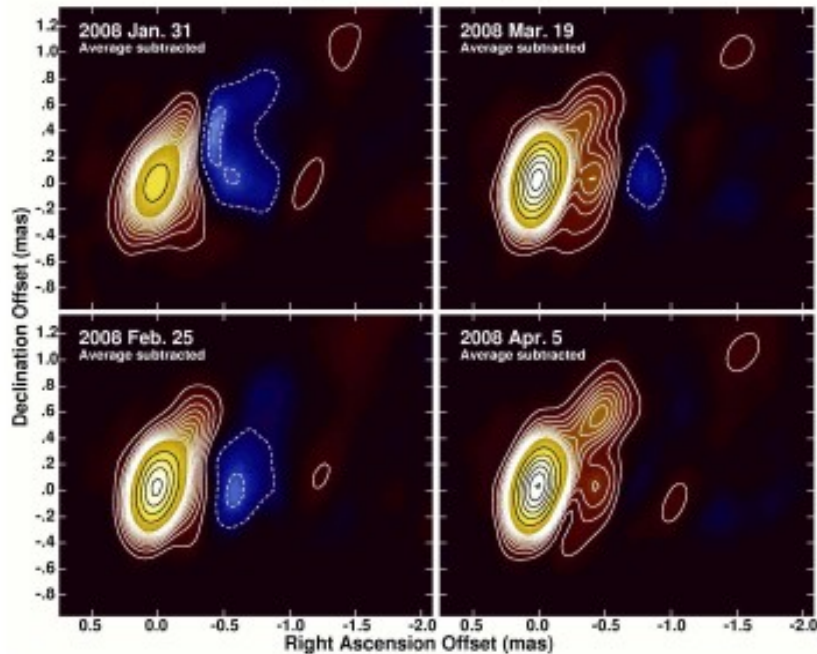
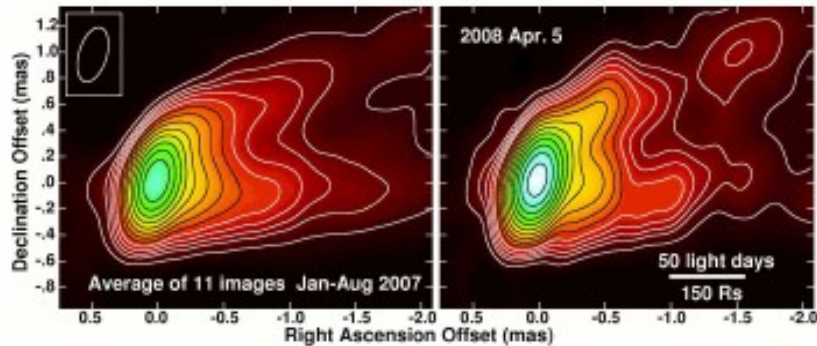
Spine-layer SSC+EC scenario
(Tavecchio, Ghisellini, 2008)

Multi-blob SSC scenario at $100R_s$
(Lenain et al, 2008)

Core : Acceleration in Black Hole magnetosphere

(Neronov, Aharonian, 2007; Rieger, Aharonian, 2008; Istomin, Sol, 2009)

- Exemples d'enjeux scientifiques de la synergie radio-VHE pour la physique des AGN
- Formation de jets, géométrie des zones d'émission, environnement dynamique des AGN : *monitoring radio VLBI*



Monitoring of the core of M87 by VLBA at 43 GHz every 5 days

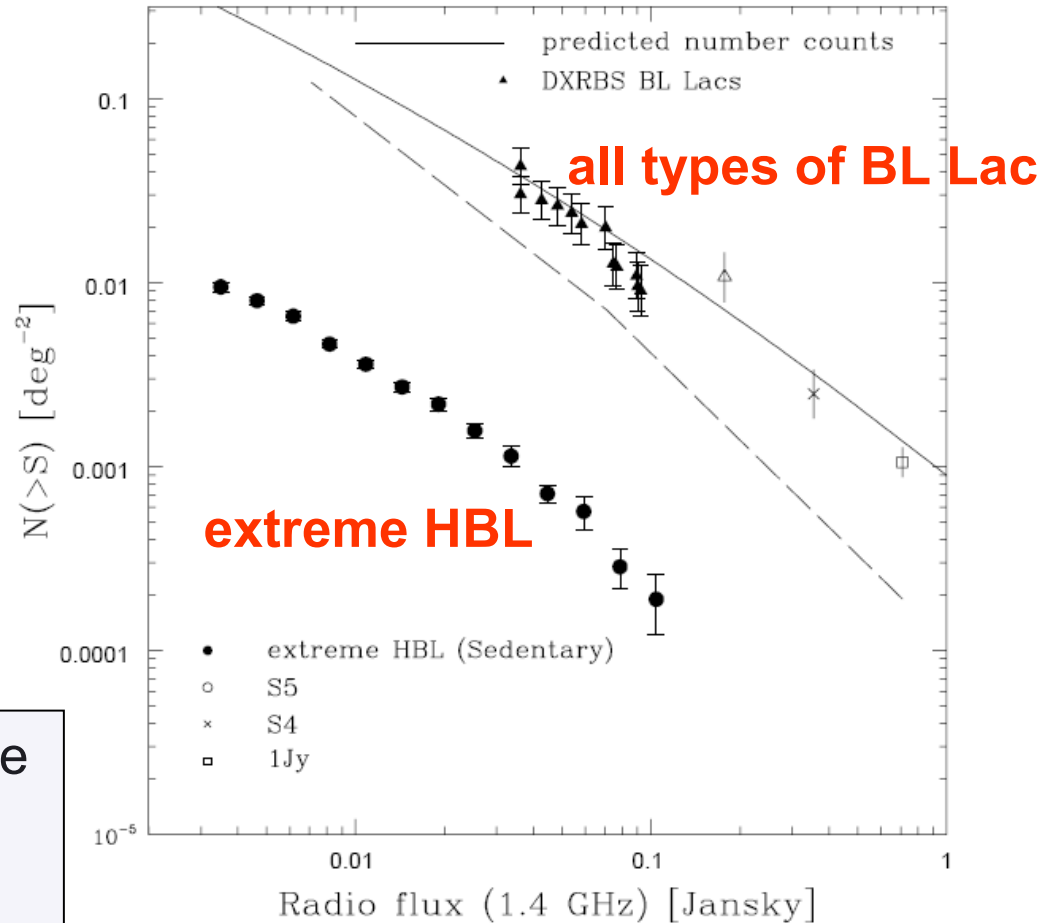
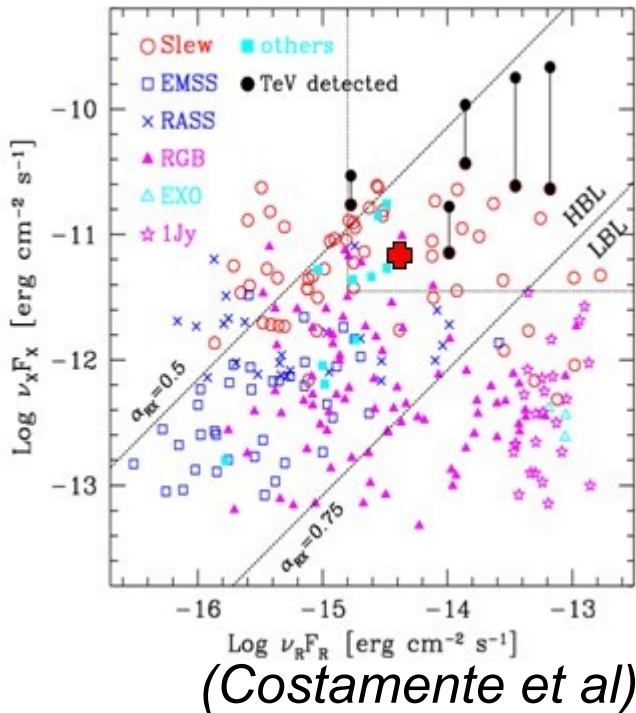
Explore sub-mas scale (0.21mas x 0.43mas) to probe the jet collimation region

Significant rise in core at the time of VHE activity and enhanced emission along inner jet
(Wagner et al, ICRC, 2009; Science, 2009)

0.5 mas = 0.04 pc = 140 R_s

- Exemples d'enjeux scientifiques de la synergie radio-VHE pour la physique des AGN
- Surveys d'AGN, recherche d'AGN de nouveau type (# différents régimes d'accrétion-éjection), recherche de signature électromagnétique de trous noirs passifs : *surveys larges et profonds*

Towards statistical analysis of AGN samples at TeV ?

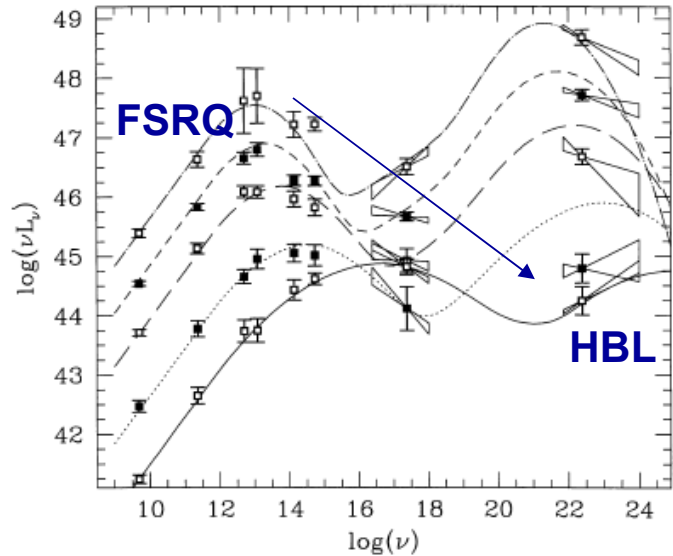


→ factor 10 within HBL sample

Also x 10 for other types of BL Lac if TeV emitters (cf : TeV detection of BL Lac and W Com)

Warning : influence of high variability ...

The blazar sequence

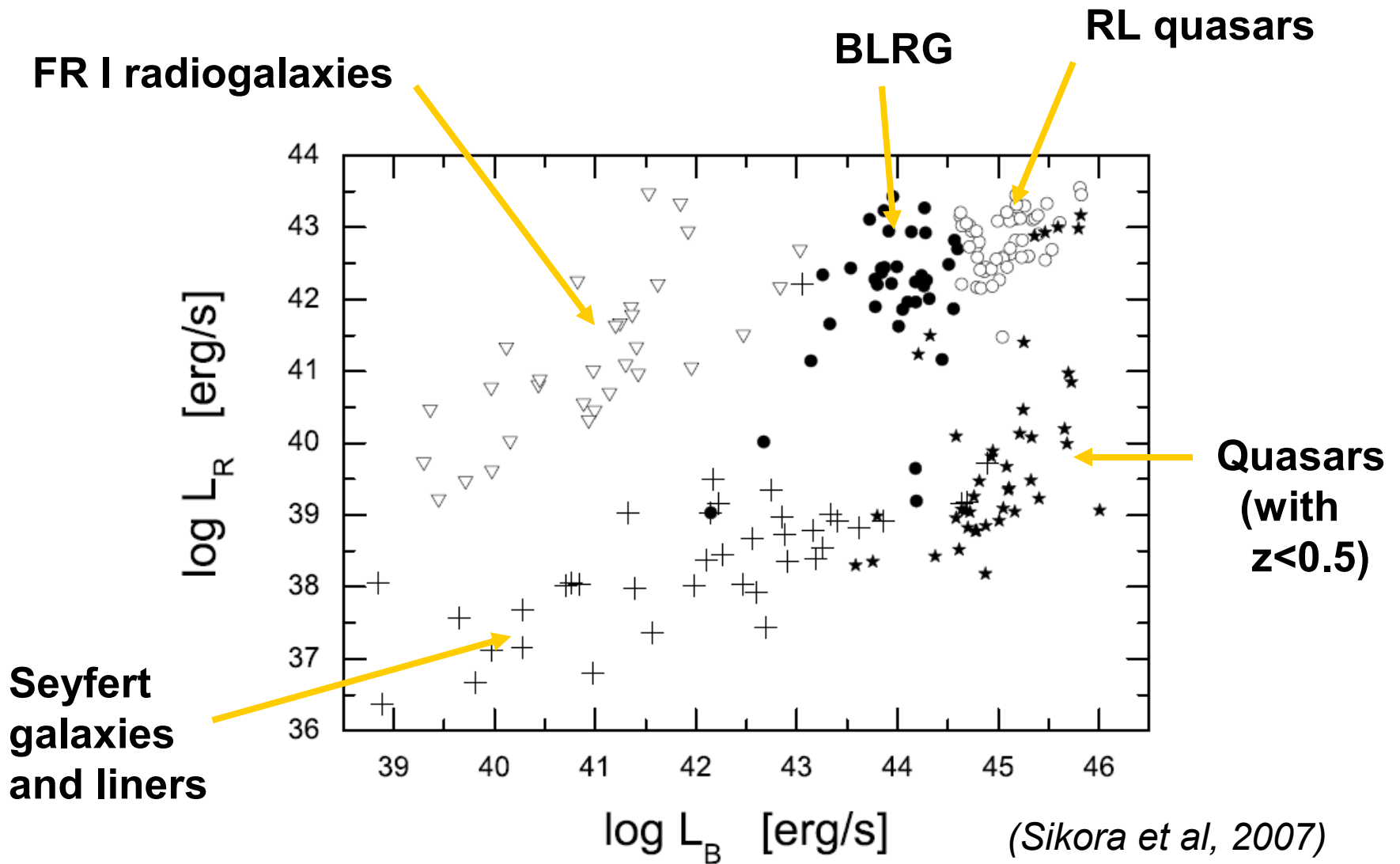


Average SED for a sample of 126 blazars binned according to L_{radio} (Fossati et al, 1998) :

A continuous sequence from the most powerful FSRQ, through LBL and IBL, to the weaker HBL

A proposed unifying scheme based on leptonic models with SSC and external Compton (EC) emission, the importance of EC decreasing from FSRQ to HBL (Ghisellini et al, 1998)

However : growing evidences that not all objects fit the trend (2003-2009; Padovani et al)
→ need of a revisited sequence ...



Affiner notre compréhension de l'unification des AGN

VHE emission from AGN central engine and BH environment

- Following the accretion-ejection flow in the close vicinity of the BH, two interesting sites for particle acceleration :
 - The **accretion disk** : stochastic acceleration in 2D turbulent **low-luminosity disks** (ie neglecting proton-photon interaction; ADAF, IRAF ...)
 - The **black hole magnetosphere** : centrifugal acceleration in (co)rotating magnetospheres

(Atoyan, Nahapetian, 1989; Becker et al, 1994; Dermer et al, 1996 Gangadhara, Lesch, 1997; Rieger, Mannheim, 2000; Osmanov et al, 2007; Neronov, Aharonian, 2007; Rieger, Aharonian, 2008, Istomin, Sol, 2009)

- **Stochastic acceleration** in low-luminosity disk : Efficient for **protons** (up to 10^{17} - 10^{19} eV), not for electrons due to heavy synchrotron losses. Provide power law particle distributions, *from VHE down to radio*.
- **Centrifugal acceleration** in BH magnetosphere : **Electrons** can reach 10-100 TeV and **protons** about 10^{20} eV. Both can radiate *in VHE range, down to radio*.
- If confirmed, **such VHE scenarios** :
 - may shed new light on accretion regime, jet formation, and various particle acceleration processes in BH surroundings
 - show that ‘dormant’ but rotating SMBH can accelerate particles (*cf Boldt, Ghosh, 1999; Boldt, Loewenstein, 2000; Levinson, 2000*) → important issues for CR physics, UHECR and recent AUGER results→ Links to AGN and Galactic Nuclei evolution
→ Links to feedback effects of Galactic Nuclei to host galaxy physics

Black Holes in normal galaxies

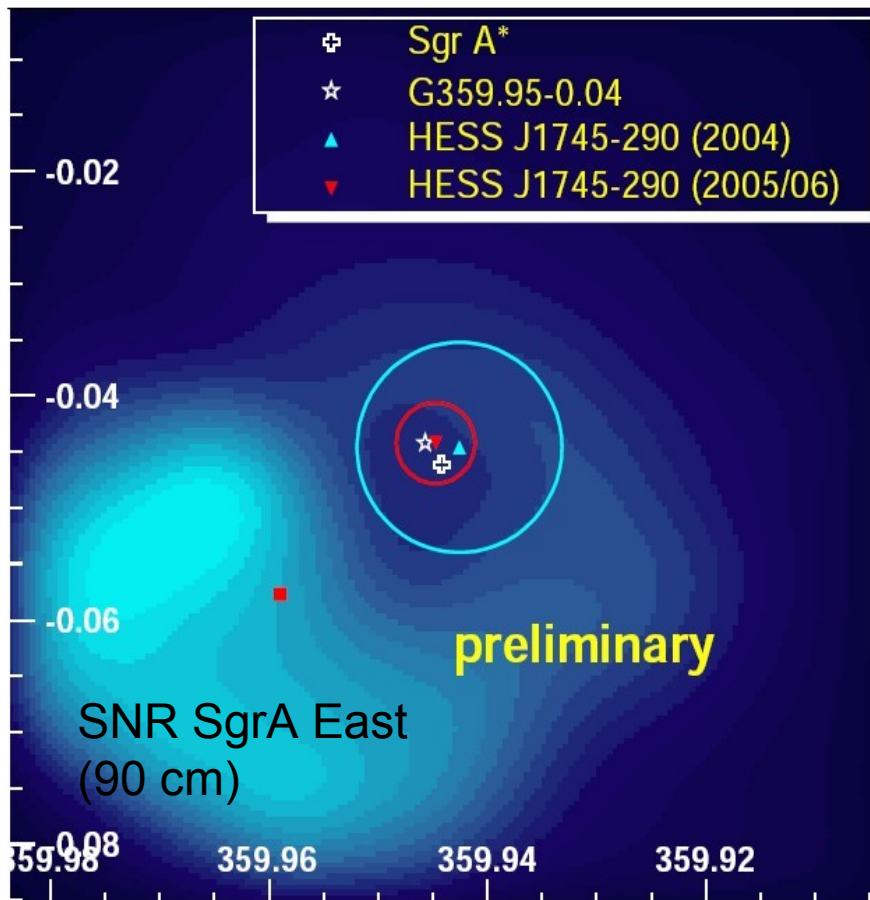
- $M_{\text{BH}} \sim 0.002 M_{\text{bulb}}$ (*Ferrarese, Merritt; Gebhard et al; Tremaine et al*)
 - a common formation/evolution of SMBH and host galaxies
 - A large % of galaxies harbour a SMBH
 - Dead quasars and passive SMBH should reside in 'normal' galactic nuclei (Seyfert nuclei are not numerous enough to host all quasar remnants)
- do « dormant » or « passive » Black Holes finally have some electromagnetic signatures ?
- Study of Blandford-Znajek process around SMBH

A question for CTA + SKA ...

- Exemples d'enjeux scientifiques de la synergie radio-VHE pour la physique des AGN
- Etude détaillée du trou noir de notre centre galactique et de son environnement : *monitoring, VLBI*

Galactic Center

Point-like source: intrinsic size $< 1.2'$ (≈ 2.9 pc) at the 99% C.L.



▪ position:

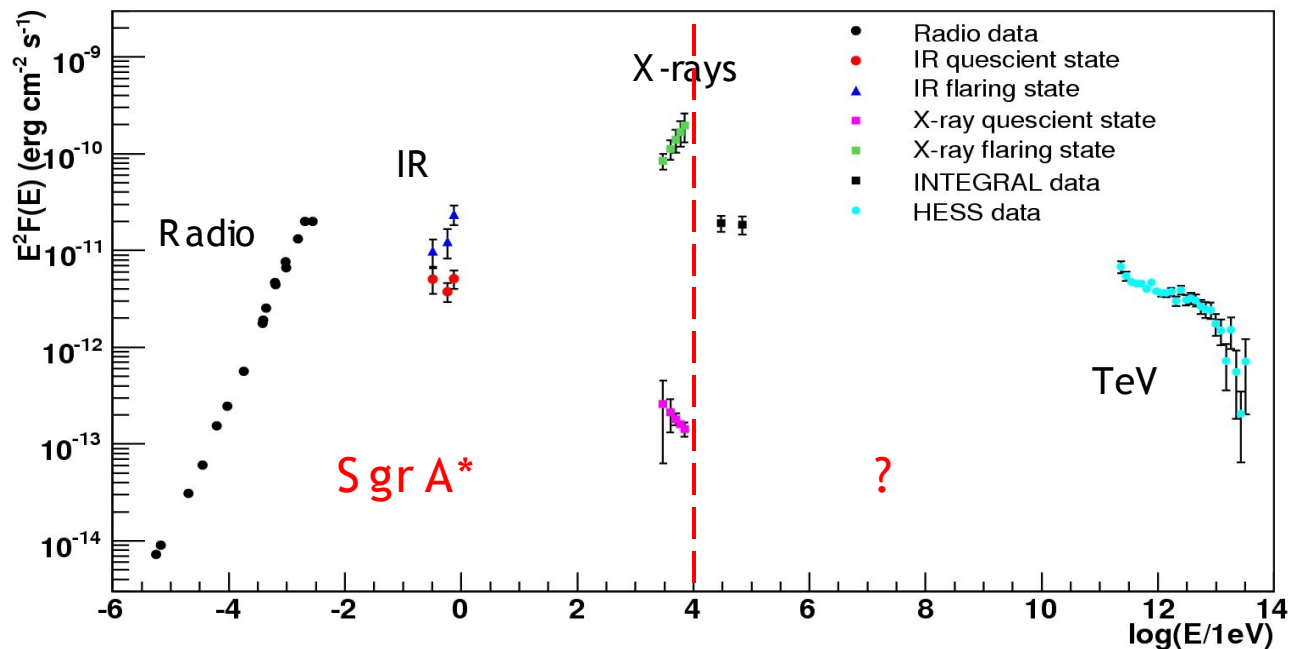
$$l = 359^{\circ}56'41.1'' \pm 6.4'' \pm 6''$$
$$b = -0^{\circ}2'39.2'' \pm 5.9'' \pm 6''$$

▪ centroid emission located at $7'' \pm 12''$ from Sgr A*

▪ Sgr A East excluded at the 7σ C.L.

▪ G359.95-0.04 still inside error bars ($8.7''$ from Sgr A*)

- MWL source in the central parsecs of our Galaxy: emitting from radio to TeV γ -rays
- From radio to X-rays: highly variable, originates from the SMBH Sgr A*
- Origin of the hard X-rays/TeV γ -rays?

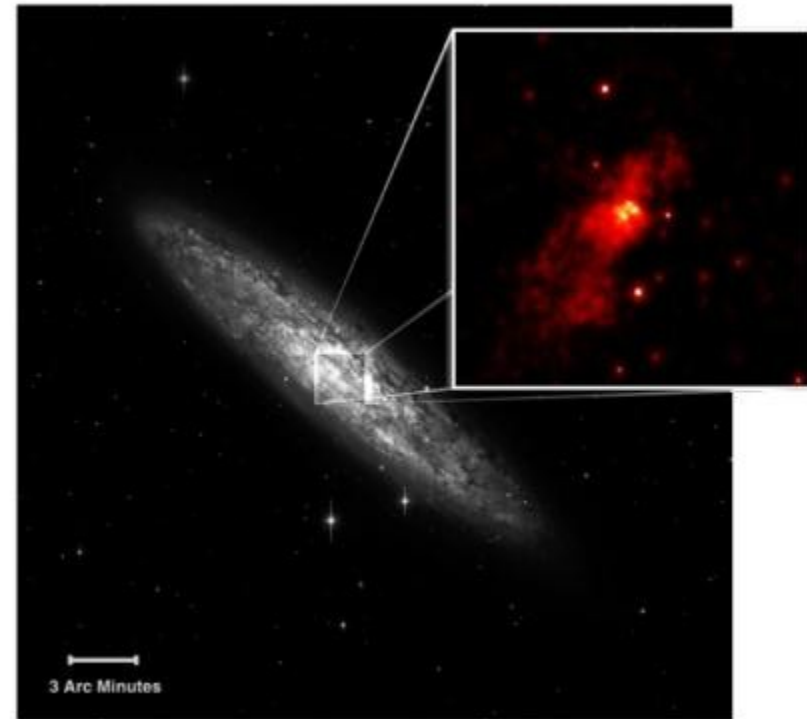
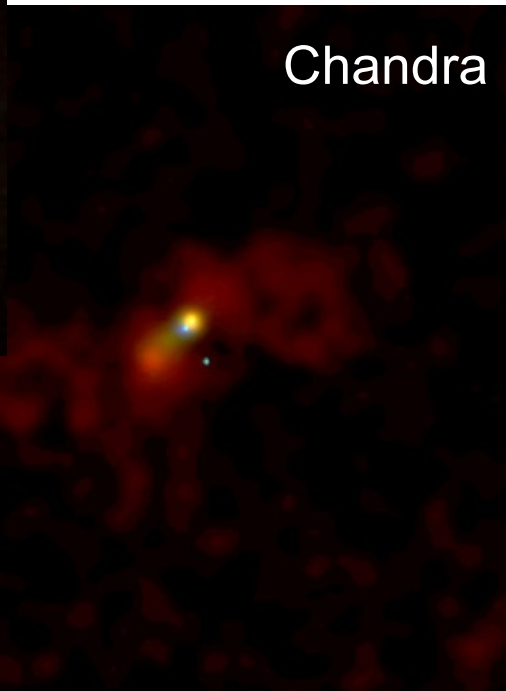


- Exemples d'enjeux scientifiques de la synergie radio-VHE pour la physique des AGN
- Lien AGN-starbursts, physique de l'accélération de particules dans les galaxies « Starbursts » : *cartographies à plusieurs fréquences et résolutions, complémentarité MeerKAT et ASKAP.*
- *(cf également : les amas de galaxies)*

Starburst galaxies and ULIRG : TeV detection still difficult but flux upper limits approaching theoretical predictions

→ **Recent detection of M82 by VERITAS and of NGC 253 by HESS at VHE**
(ICRC, July 11th, 2009)

New view on cosmic accelerators



*Collision,
star formation,
superwind ...*

Arp 220 (ULIRG)

NGC 253

Très grande complémentarité (pré-)SKA et CTA

- Monitoring d'échantillon d'AGN, long terme + court terme sous alerte. Flux et polarisation à plusieurs fréquences radio
- Monitoring en VLBI → physique des jets, processus d'accélération de particules, mécanismes de rayonnement
- Surveys en champs grands et profonds → recherche de nouveaux types d'AGN, de signatures électromagnétiques de trous noirs « passifs ».
- Sonder le trou noir de notre centre galactique
- Explorer l'émission non-thermique des galaxies « starburst »

Sommaire

- Le projet CTA en quelques mots
- Les AGN, émetteurs multi-fréquence, vus aux très hautes énergies (VHE)
- Exemples d'enjeux scientifiques de la synergie radio-VHE pour la physique des AGN
- Calendrier

Calendrier visé de réalisation et d'exploitation de CTA :

Etude de design :	2007-2010
Phase de préparation, construction de démonstrateurs et prototypes :	2010-2011
Construction du réseau :	2012-2018
Opérations partielles :	2013+
Réseau pleinement opérationnel :	2018
Fonctionnement du réseau complet :	2018-2048

Synergie avec de nombreux autres grands équipements de la discipline (FERMI, AUGER, LOFAR, ALMA, précurseurs de SKA, puis JWST, E-ELT, IXO, SKA, KM3NeT, LISA ...)

Mais possibilité de lancer certains programmes coordonnés avec les précurseurs de SKA avant l'arrivée de CTA, avec les réseaux gamma actuels.



Principaux réseaux d'astronomie gamma au sol (VHE) actuellement en opération : démarrer ou approfondir avec eux des programmes en synergie radio-gamma.

Ex : Suivi d'AGN coordonné avec HESS en cours à Nançay depuis plusieurs années

