



# H.E.S.S. au DAPNIA

E. Brion, P. Goret (SAP)  
D. Calvet, E. Delagnes, Y. Moudden, P. Venault (SEDI)  
J.-F. Glicenstein, E. Moulin, B. Peyaud, M. Vivier (SPP)

- Le détecteur H.E.S.S.
- Recherche indirecte de matière noire
- Le Centre Galactique
- Analyse de sources au TeV
- H.E.S.S. 2 et CTA





# High Energy Stereoscopic System

**Système de 4 télescopes Cherenkov atmosphériques pour l'astronomie  $\gamma$  de très hautes énergies ( $E_\gamma > 100$  GeV)**

MPI Kernphysik, Heidelberg

Humboldt Univ. Berlin

Ruhr-Univ. Bochum

Univ. Hamburg

LSW Heidelberg

Univ. Tübingen

Univ. Erlangen

Ecole Polytechnique, Palaiseau

APC Paris

Univ. Paris VI-VII

Paris Observatory, Meudon

LAPP Annecy

LAOG Grenoble

LPTA Montpellier

DAPNIA Saclay

CESR Toulouse

Durham Univ.

Leeds Univ.

Dublin Inst. for Adv. Studies

Charles Univ., Prague

Yerewan Physics Inst.

North-West Univ., Potchefstroom

Univ. of Namibia, Windhoek

Nicolaus Kopernikus Astr. Center, Warsaw

Jagiellonian University, Cracow

Institute of Nuclear Physics, Warsaw

Space research center, Warsaw





# H.E.S.S. : un instrument de 3<sup>ème</sup> génération

Site : Namibie, 23°16'' S, 16°30'' E, altitude 1800 m

- Réflecteur Davies-Cotton segmenté, 13 m de diamètre, 107 m<sup>2</sup>
- Focale : 15 m
- Précision de pointé : 10''







# L'expérience H.E.S.S.

## Phase I :

4 télescopes de 13 m de diamètre : 107 m<sup>2</sup> chacun

Lumière Cherenkov provenant des gerbes dans l'atmosphère

Stéreo-scopie

Caméra équipée de 960 PMs, acquisition 1 GHz

Résolution angulaire  $< 0.1^\circ/\gamma$

Position des sources  $\sim 10''$

Seuil en énergie (zénith)  $\sim 100$  GeV

Résolution en énergie  $\sim 15\%$

Champ de vue de  $5^\circ$

Observations lors des nuits sans Lune  $\Rightarrow \sim 1000$  h/an

$\sim 300$  images/s

Sensibilité : 1% du flux du Crabe en 25h

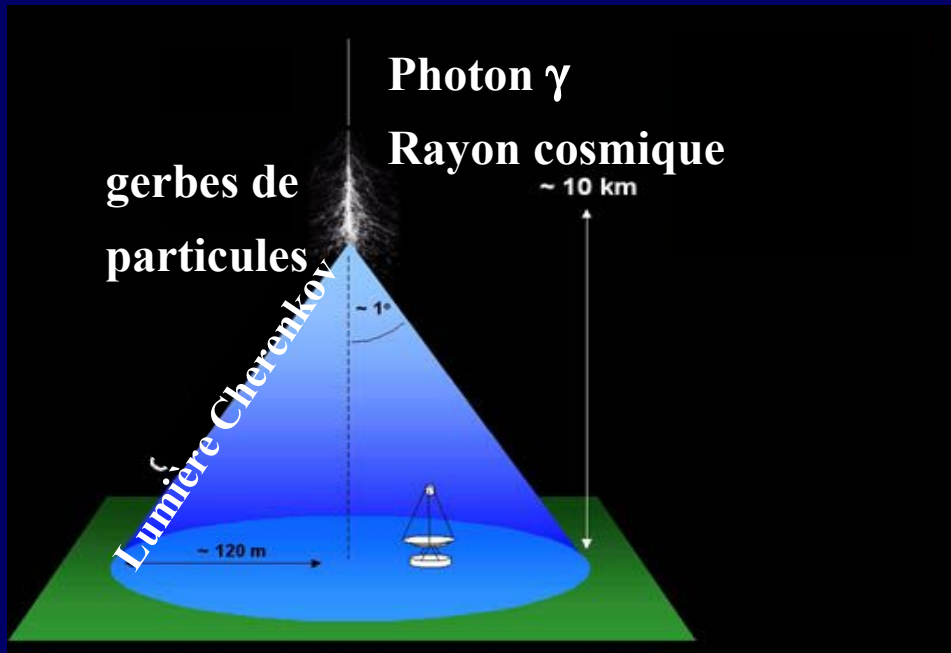
## Phase II (2008) :

1 télescope de 28 m de diamètre

$\Rightarrow$  Seuil en énergie espéré  $\sim 20$  GeV

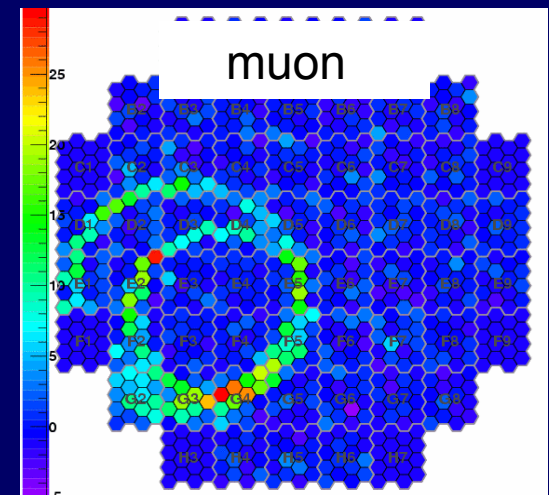
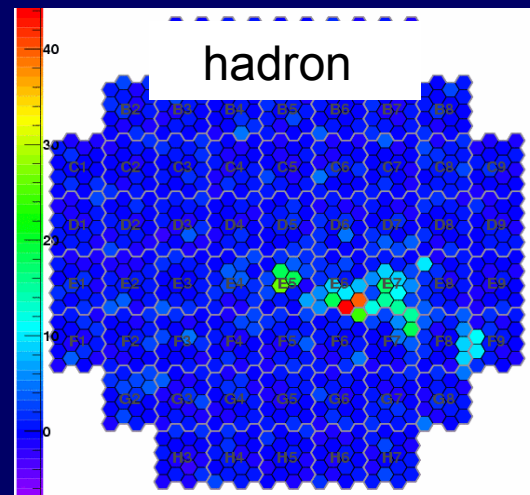
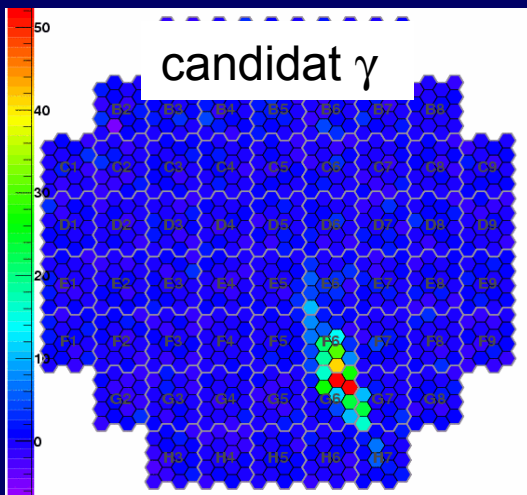


# L'imagerie Cherenkov atmosphérique



- Atmosphère = calorimètre
- Image de flashes Cherenkov (~3 ns)
- Nombre total de photons Cherenkov  
⇒ estimation de l'énergie du  $\gamma$

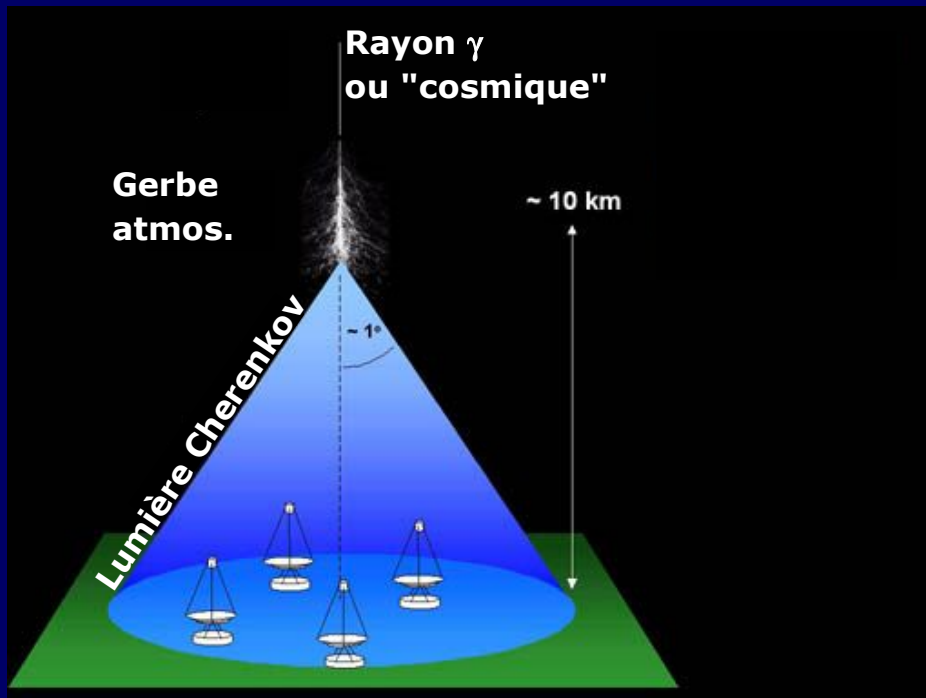
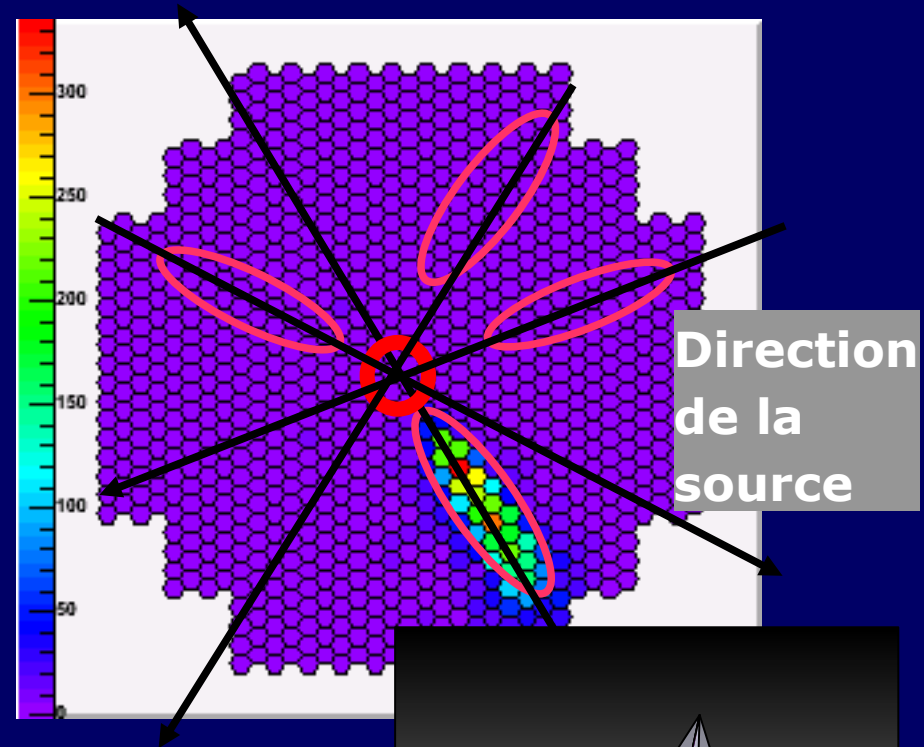
## Images enregistrées dans la caméra



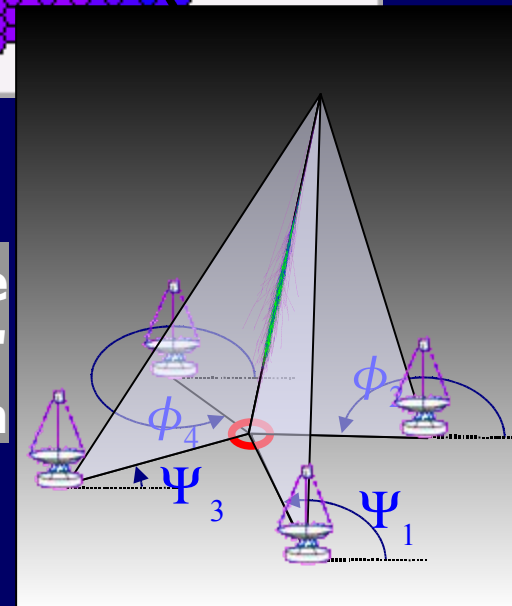


# La stéréoscopie avec les télescopes Cherenkov

- Augmenter le pouvoir de rejet des hadrons
- Améliorer la reconstruction des  $\gamma$
- Éliminer les muons isolés (trigger)
- Abaisser le seuil en énergie



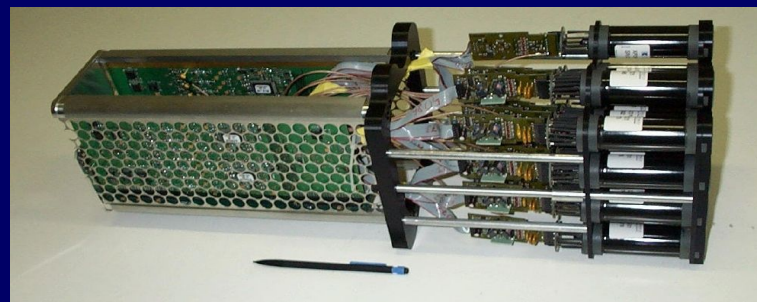
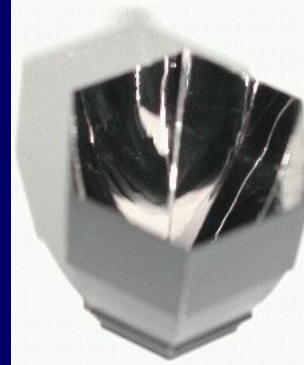
"Paramètre d'impact" du photon





# Caméras de H.E.S.S.

- 960 photomultiplicateurs avec guides de lumière (cônes de Winston)
- Champ de vue :  $5^\circ$
- Pixels de diamètre  $0.16^\circ$
- Electronique rapide :
  - échantillonnage à 1 GHz (ARSO DAPNIA)
  - fenêtre de lecture 16 ns (ADC)
  - décision de déclenchement  $\sim 70$  ns
- Electronique embarquée
- 1 tonne







# H.E.S.S. au DAPNIA



## □ Etudes de physique:

- **Matière noire:** analyse et interprétation
  - Cibles potentielles: Centre Galactique, Galaxie du Sagittaire, Canis Major
- **Centre galactique:** spectre, variabilité, périodicité
- **Sources non-identifiées:** analyse et recherche de contreparties
- **Restes de supernovae au SAp**

## □ Le groupe au SPP:

2 permanents

1 post-doc

1 thèse : recherche de matière noire avec HESS et HESS 2

Chef de groupe: Jean-François Glicenstein

## □ Responsabilité du DAPNIA au sein de la collaboration:

- conception des mémoires analogiques
- système de déclenchement de niveau 2 pour HESS 2
- simulation du système HESS 2



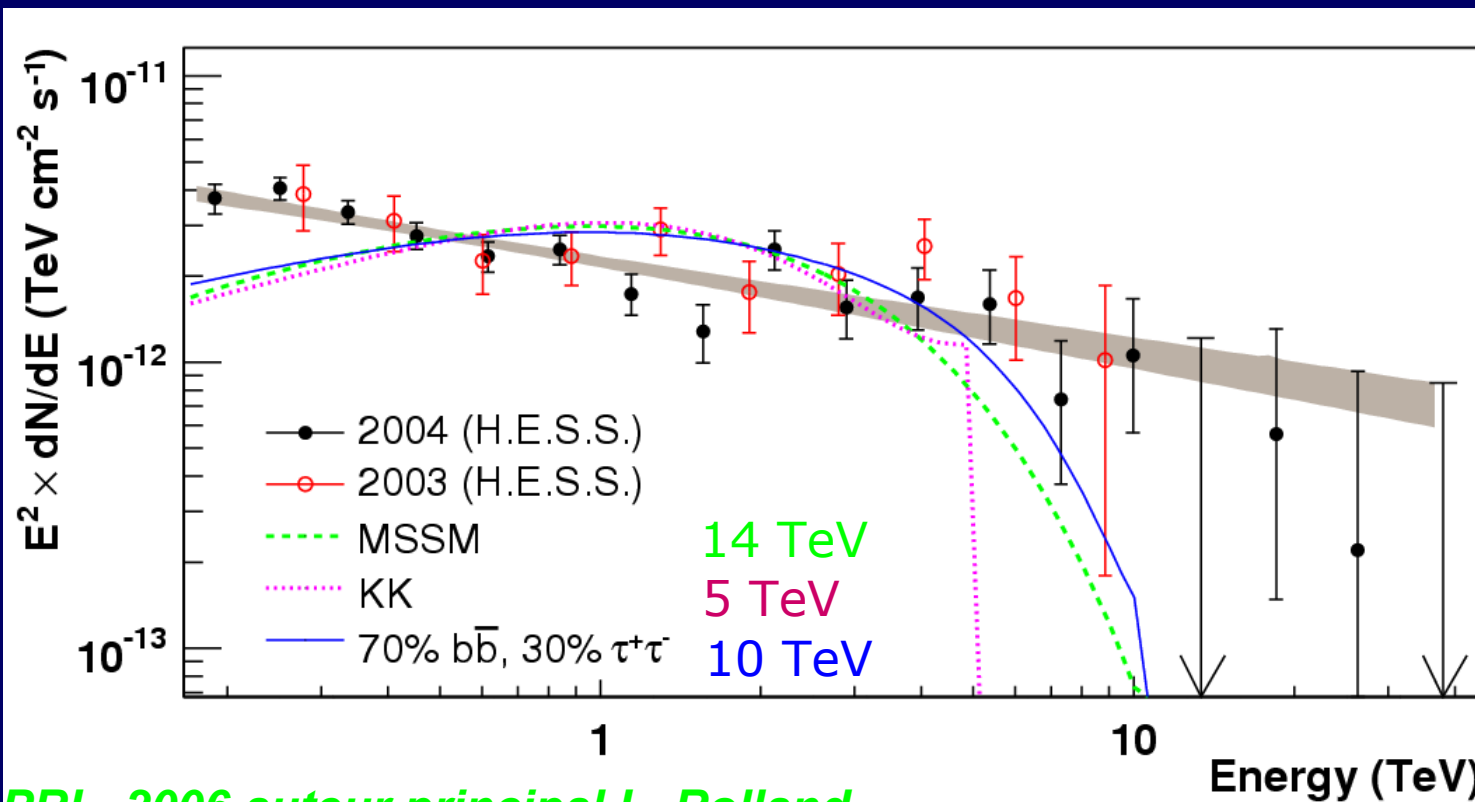


***Recherche indirecte de matière noire***





# Centre galactique : contraintes spectrales

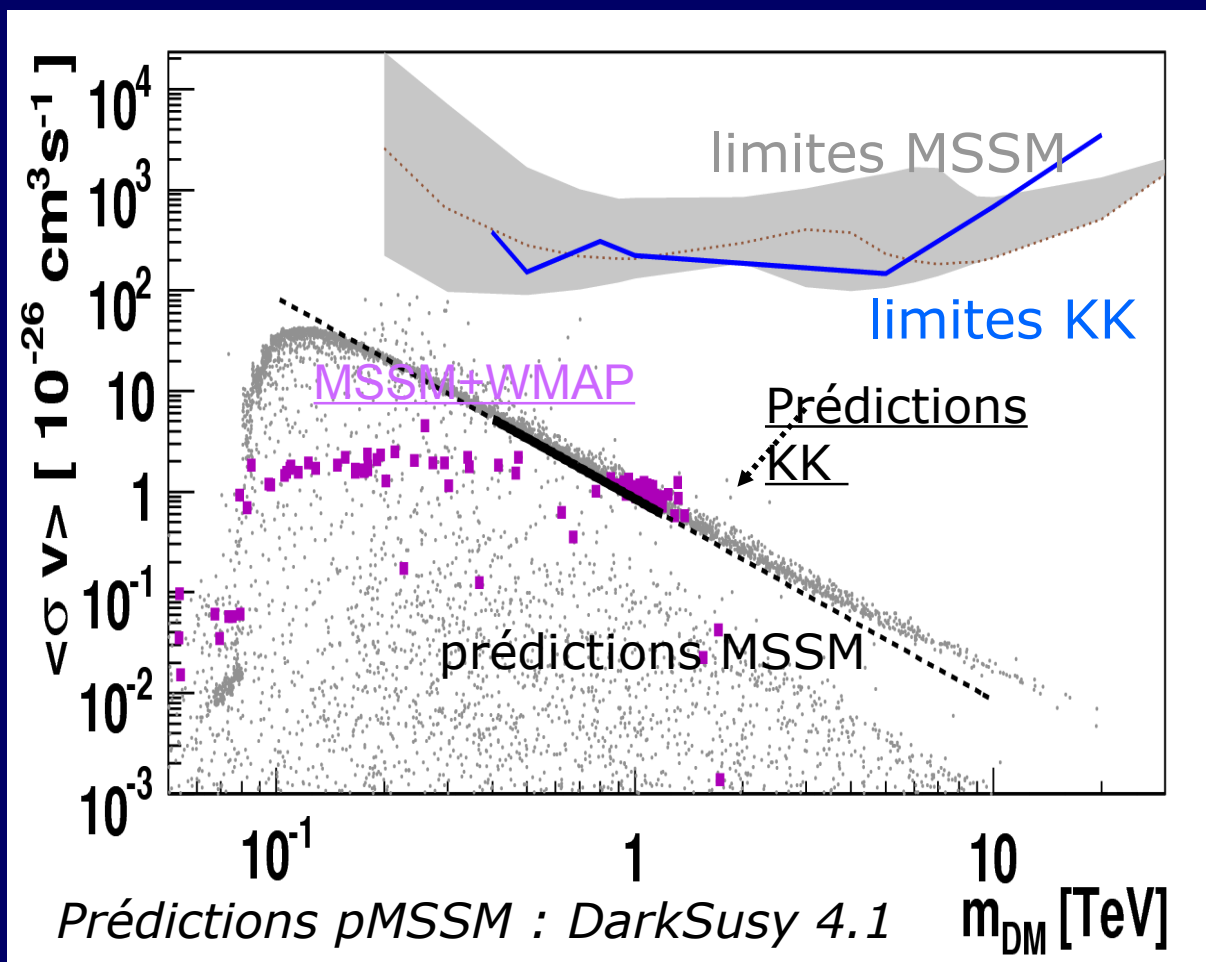


*PRL, 2006 auteur principal L. Rolland*

- spectres  $KK$ ,  $b\bar{b}$  and  $\tau^+\tau^-$  avec PYTHIA 3.625
- **WIMPs lourds requis**, non favorisés par les modèles
- données à basse énergie mal ajustées  
 ⇒ incompatible avec une source de matière noire seule



# Centre Galactique : courbes d'exclusion



- Temps d'observation 48,7h
- Profil NFW
- Spectre compatible avec une loi de puissance  
 $\Rightarrow$  contrainte sur  $\langle \sigma v \rangle$

Limite MSSM :

$$\langle \sigma v \rangle \leq (1-10) 10^{-24} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$$

Limite KK :

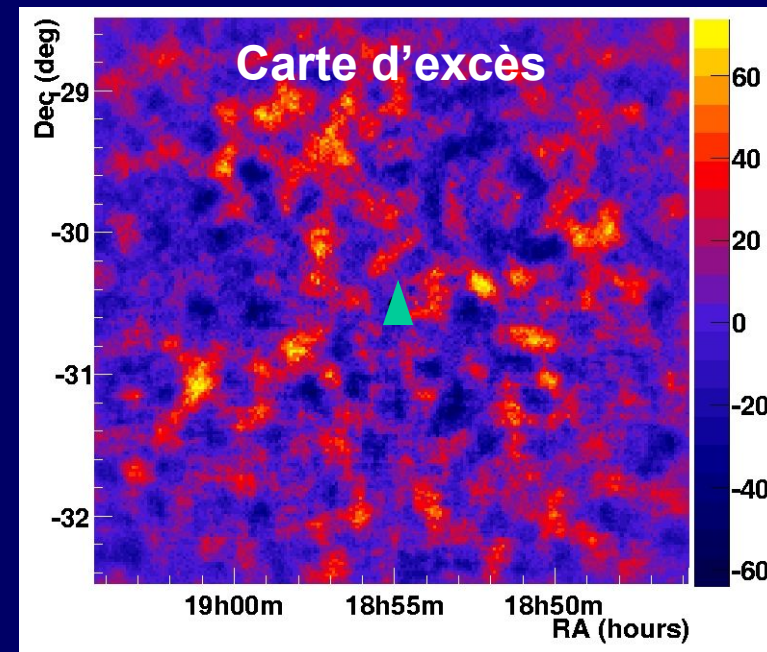
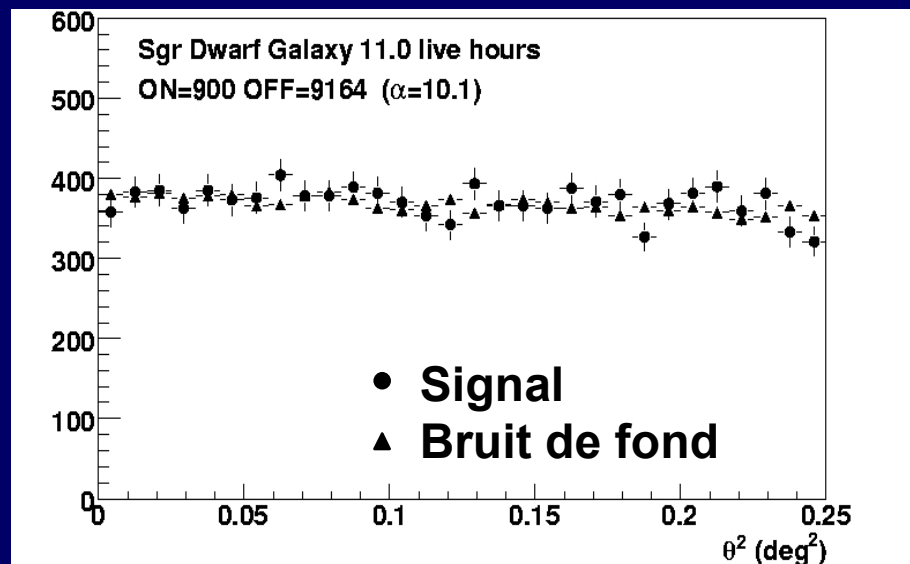
$$\langle \sigma v \rangle \leq 10^{-24} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$$



# Galaxie naine du Sagittaire : données



- **Position de pointé : RA = 18h54m40s Dec = -30d27m05s (J2000)**  
coordonnées galactiques :  $l = 5.6^\circ$   $b = -14^\circ$
- **Centre de l'amas globulaire M54**
- **Angle zénithal d'observation moyen :  $19^\circ$**
- **11h de données après sélection**



- Source ponctuelle
- $E_\gamma \geq 250$  GeV

**Limite supérieure sur l'excès de  $\gamma$  :**  
 **$N_\gamma < 56$  (95% C.L.)**



# Galaxie naine du Sagittaire : contraintes sur la matière noire SUSY/Kaluza-Klein

*Détection indirecte*

2 types de profils de halo de Matière Noire largement différents :

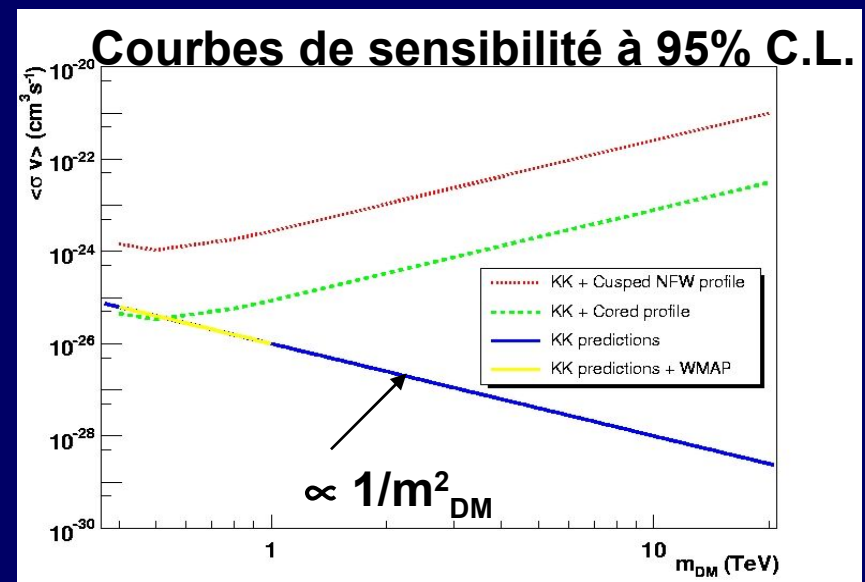
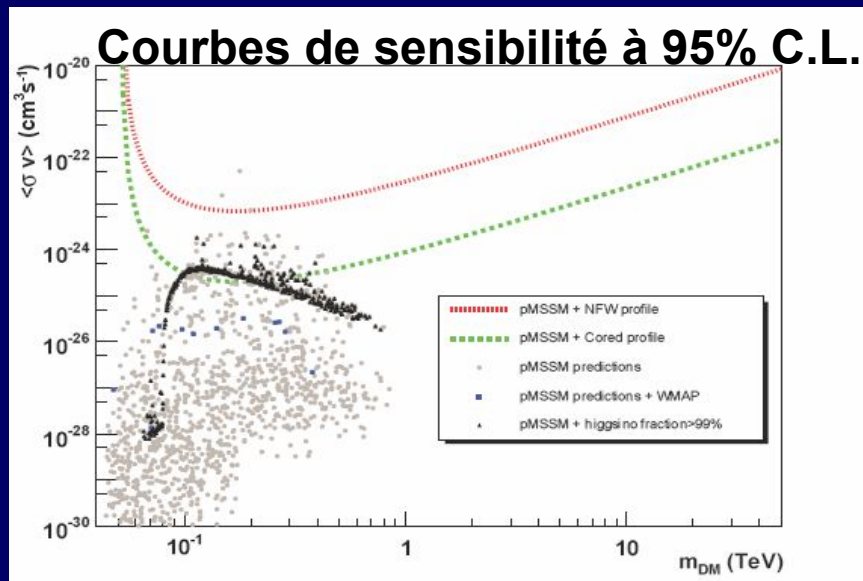
-profil NFW : ajustement des paramètres A et  $r_s$  à  $\langle v_r^2 \rangle$  observée sur Draco...

-profil avec cœur :  $\langle v_r^2 \rangle$  est supposée plate,  $(8 \text{ km/s})^2$  (Saggia et al. 2005)

⇒ résolution analytique de l'équation de Jeans

$$\rho_{NFW}(r) = \frac{A}{r(r+r_s)^2}$$

$$\rho_{core}(r) = \frac{v_a^2}{4\pi G} \frac{3r_c^2 + r^2}{(r_c^2 + r^2)^2}$$



Modèles SUSY : DarkSUSY4.1

**Soumis à Astroparticle Physics, auteur principal : E. Moulin**



# Canis Major :

Détection indirecte

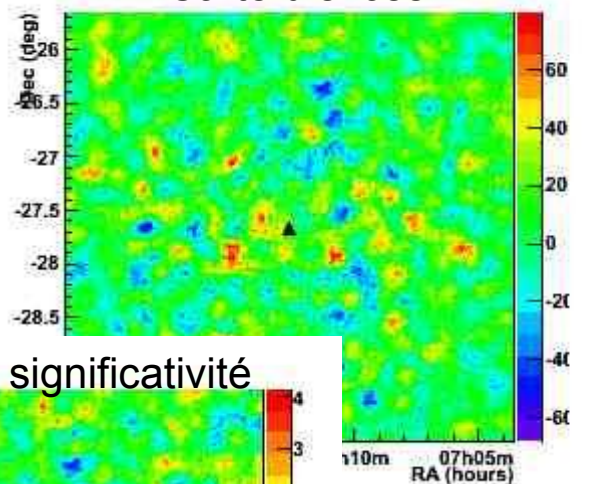
## sensibilité aux « clumps » de matière noire

Position connue à  $\sim 1^\circ$

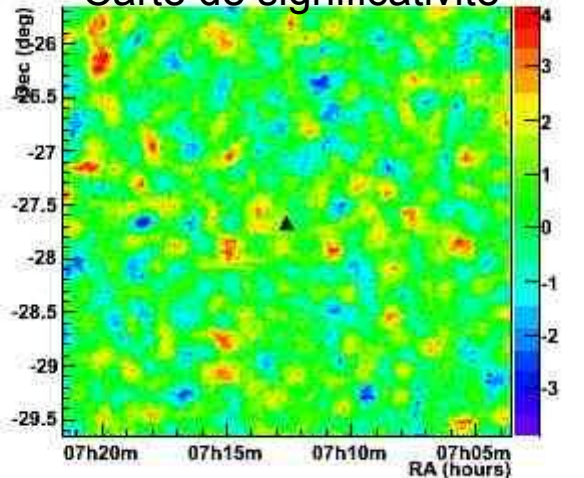
- 7,3 h de données après sélection
- angle zénithal moyen :  $7^\circ$

⇒ aucun significatif

Carte d'excès



Carte de significativité



- Scénario de physique des particules : neutralino
  - $\langle \sigma v \rangle = 3 \times 10^{-27} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$
  - $m = 500 \text{ GeV}$
  - spectre d'annihilation  $\bar{b}b$
- ⇒ Limite à 95% C.L. sur  $J_{\text{bar}}$
- Avec la modélisation du clump avec profil NFW :

$$\rho_{\text{NFW}}(r) = \frac{A}{r(r + r_s)^2}$$

⇒ Limite à 95% C.L. sur la masse d'un clump dans Canis Major

- Pour  $\bar{b}b$  :  $J_{\text{bar}} (95\% \text{ C.L.}) = 6 \times 10^{24} \text{ GeV}^2 \text{ cm}^{-5}$
- ⇒  $M_{\text{cl}} (95\% \text{ C.L.}) = 10^6 M_{\text{sun}}$

Analyse E. Moulin et M. Vivier

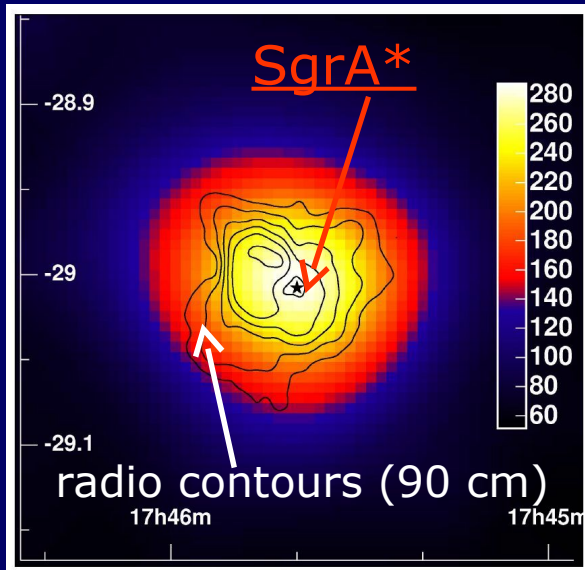


# ***Le Centre Galactique***





# HESS J1745-290: données

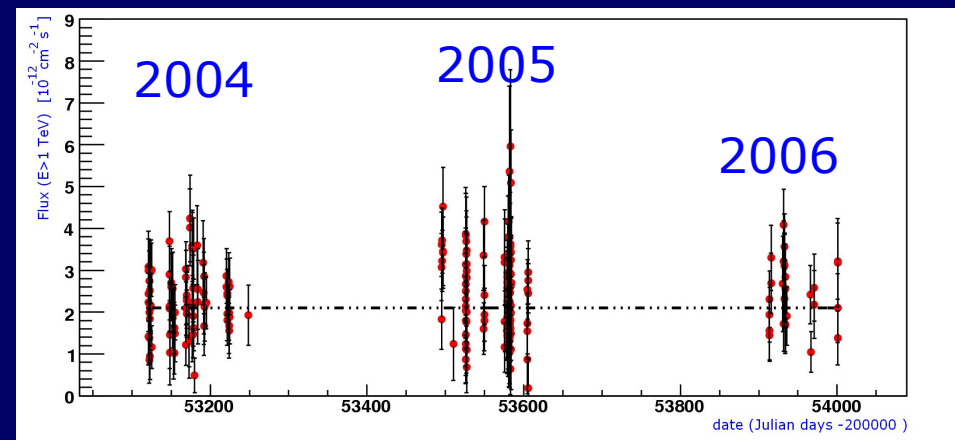
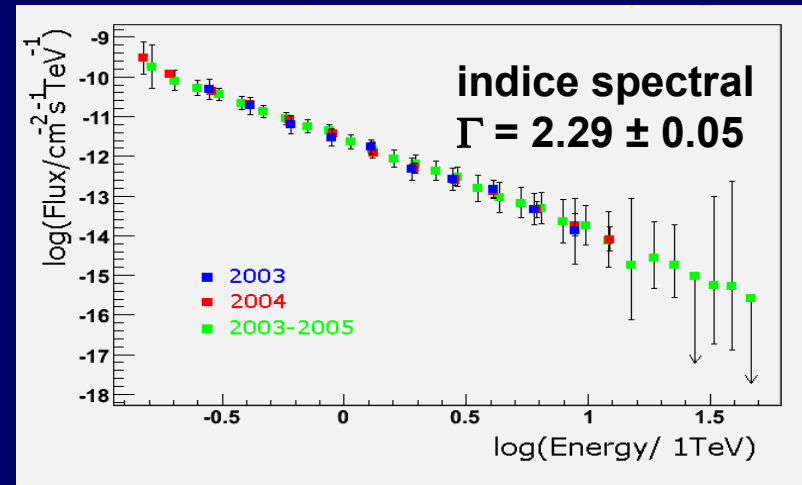


Position relative à SgrA\*

$$\delta\theta = 5'' \pm 10'' \text{ (stat)} \pm 20'' \text{ (syst)}$$

compatible avec SgrA\* ou le

centre de SNR SgrA East



- 97h de données après sélection
- **flux constant 1  $\gamma$ /minute**
- pas de fluctuation significative (10 mn  $\rightarrow$  1 an)
- **pas de variabilité spectrale apparente 2003  $\rightarrow$  2005**

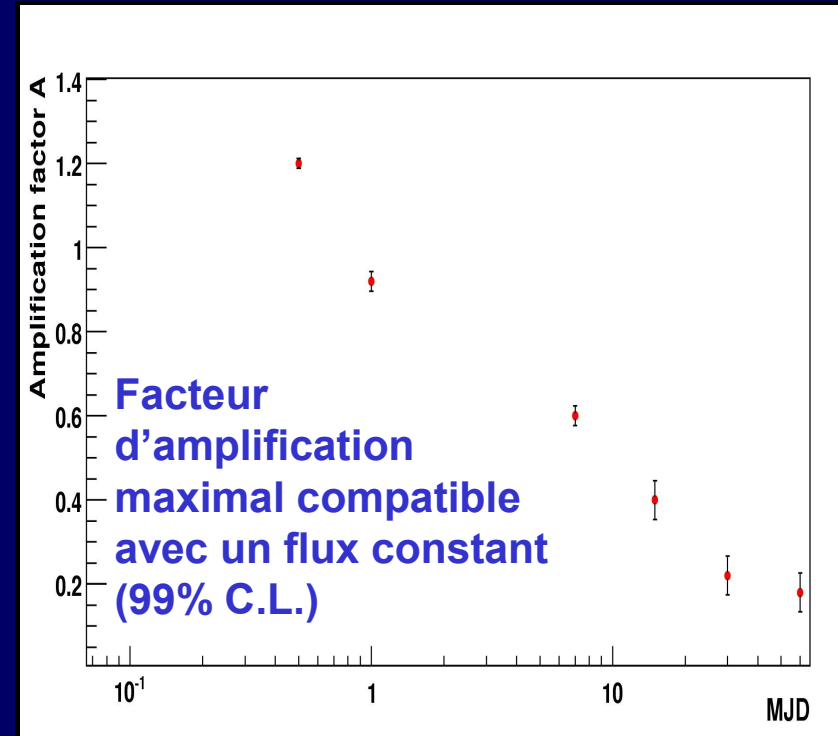
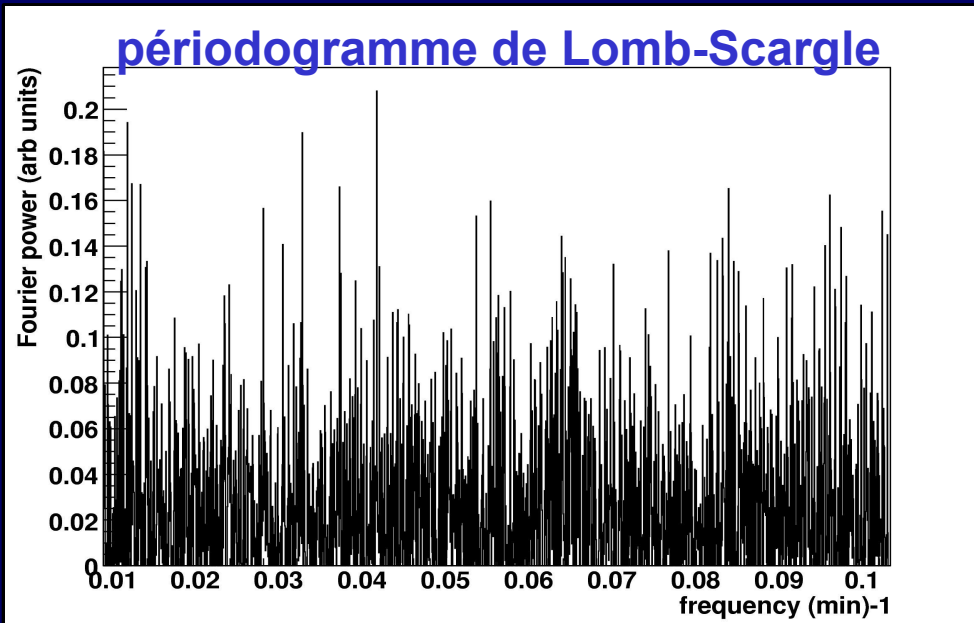
Analyse du Centre Galactique :  
L. Rolland et M. Vivier



## recherche de flare et de périodicité

- **Aucun flare dans la courbe de lumière :**  
**quelle est la sensibilité de H.E.S.S. ?**  
⇒ **utilisation d'une gaussienne mimant un flare**

$$LC_{\text{mod}}(t) = LC(t) \times \left( 1 + A \times e^{-\frac{(t-t_0)^2}{\sigma_i^2}} \right)$$



- **Oscillations détectées en X et IR**
- **Recherche d'oscillations**  
⇒ **aucun pic significatif visible dans le périodogramme**

Vivier, de Jager, Hinton ICRC 2007\_

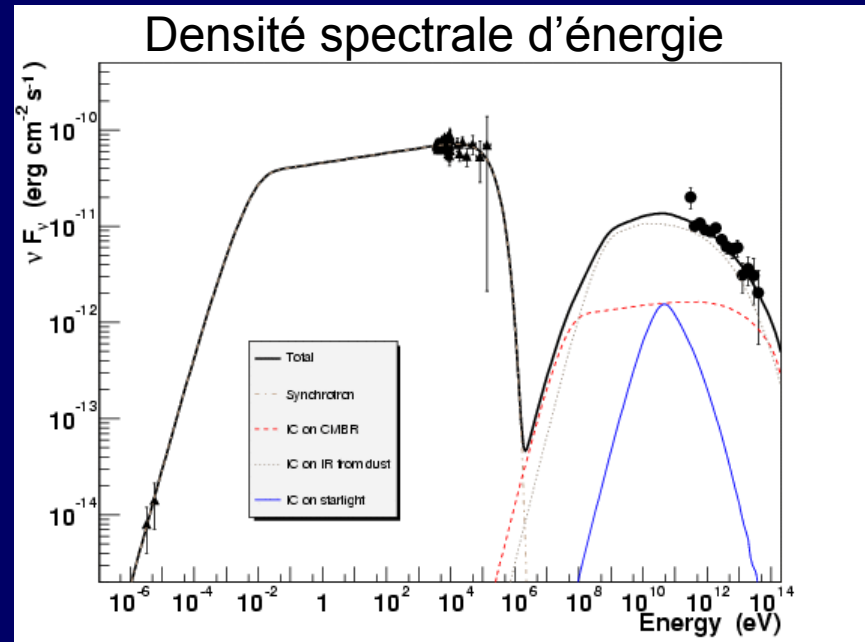
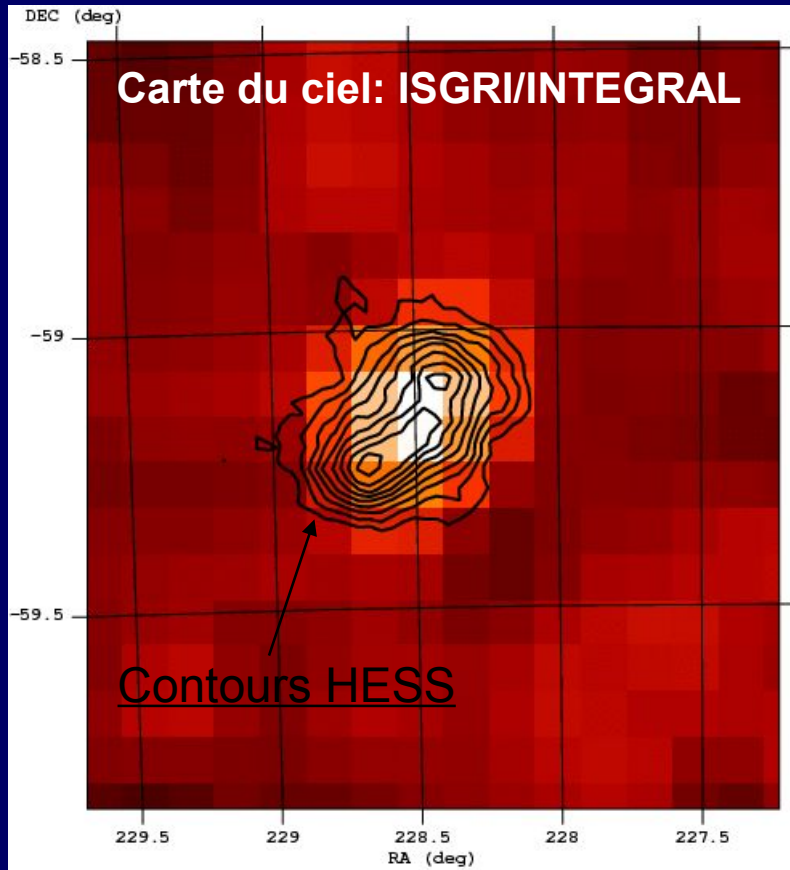




***Analyse de sources  $\gamma$   
au TeV***



# La Nébuleuse Synchrotron MSH 15-52: étude multi-longueur d'onde



- coupure observée en X par ISGRI vers 150 keV
- bon accord avec le modèle d'émission par Inverse Compton : **scénario leptonique**

Taille vue par HESS  
> Taille vue avec ISGRI

E. Brion, P. Goret (SAP)



# Sources du plan galactique

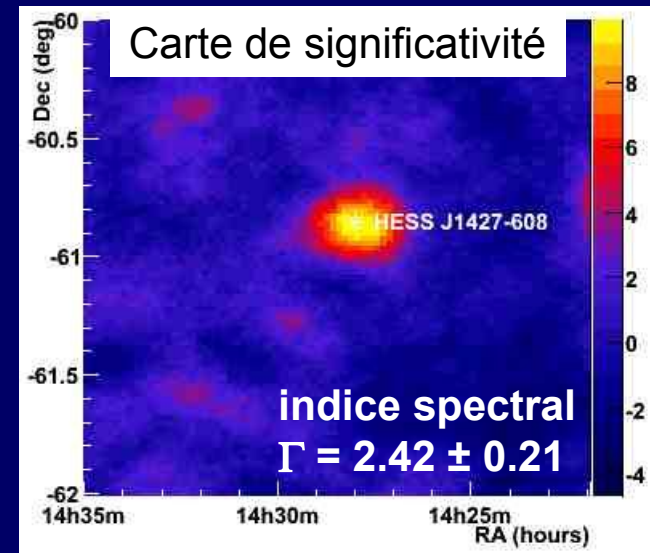
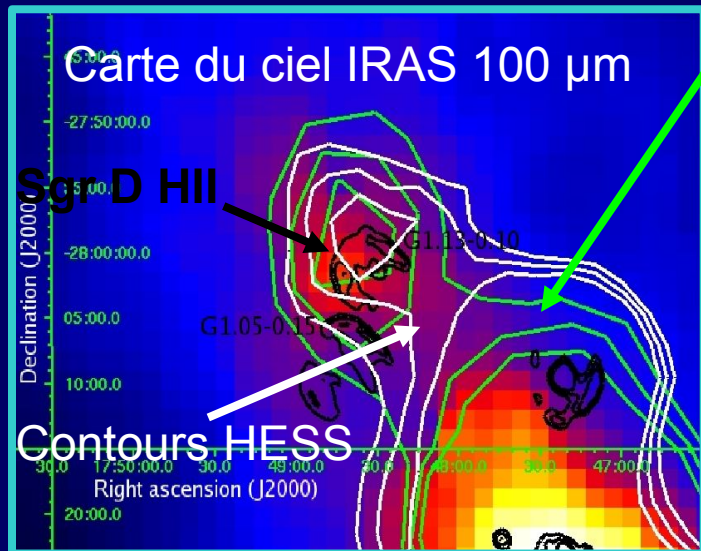
- **Co-analyse de sources du scan galactique**

Proposition d'observations XMM-Newton 2007  
de 2 sources non identifiées : **acceptées**

Glicenstein et al.

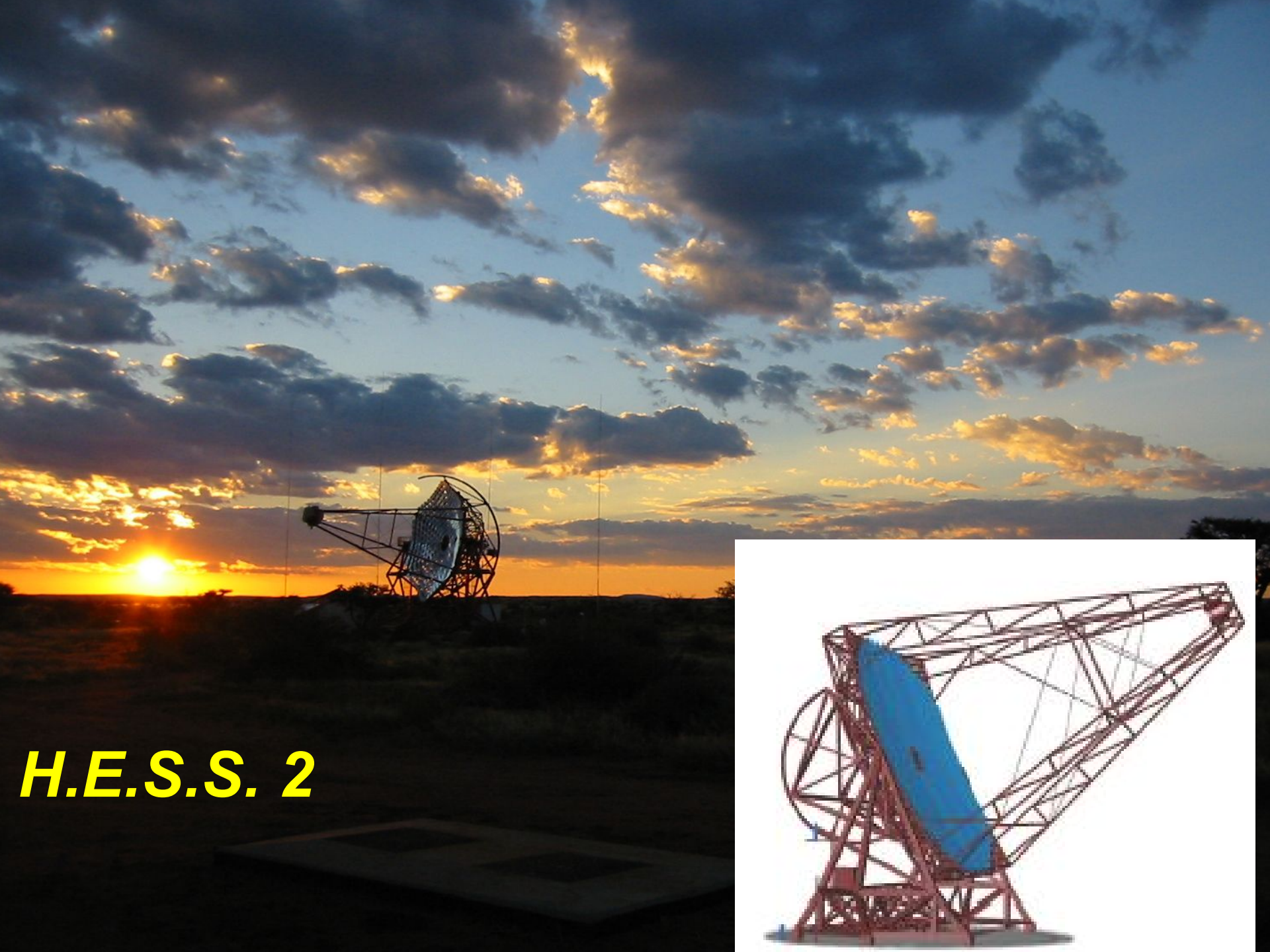
- **Région du Centre Galactique**

Contours radio 8.35 GHz

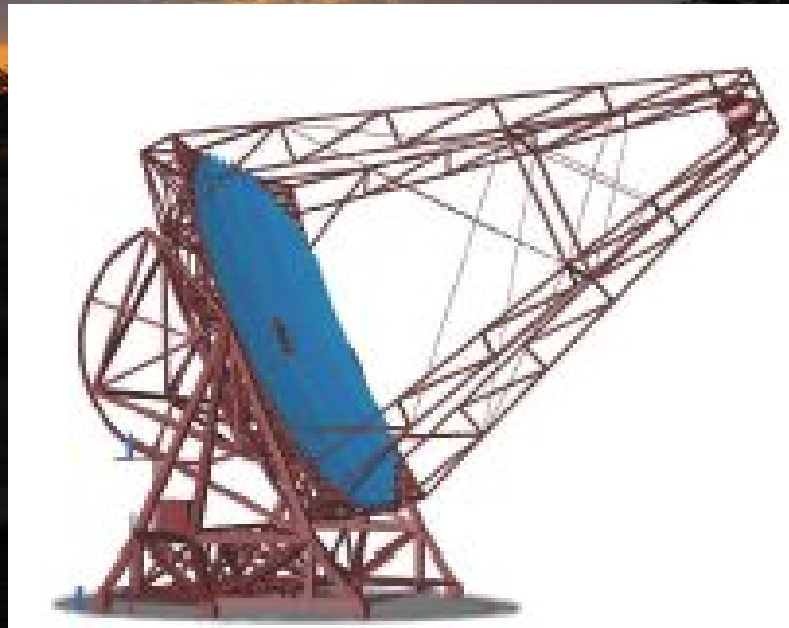


- **HESS J1748-280 associée à la région Sgr D HII**
- **Découverte potentielle d'un site d'accélération exotique**

Proposition d'observation INTEGRAL 2007  
Moulin et al.



**H.E.S.S. 2**





# Le futur de H.E.S.S.

## Vers un seuil en énergie à ~ 20 GeV...

- Abaisser le seuil en énergie jusqu'à ~20 GeV
  - Augmenter la sensibilité
- } Accéder à de nouvelles sources

⇒ un grand télescope central

- 28 m de diamètre, 647 m<sup>2</sup>
- distance focale : 35 m
- 2048 PMs
- champ de vue : 3,5°

- Conception des mémoires analogiques: responsabilité DAPNIA
- Deuxième niveau de déclenchement L2: responsabilité DAPNIA
- Simulation du système HESS 2













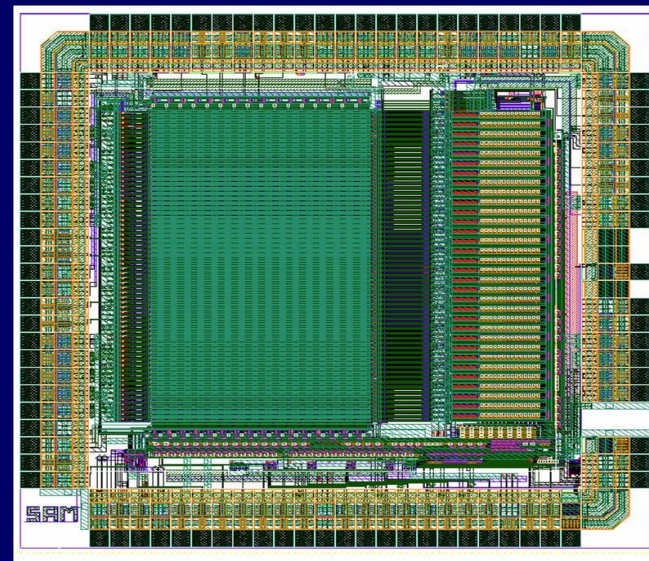




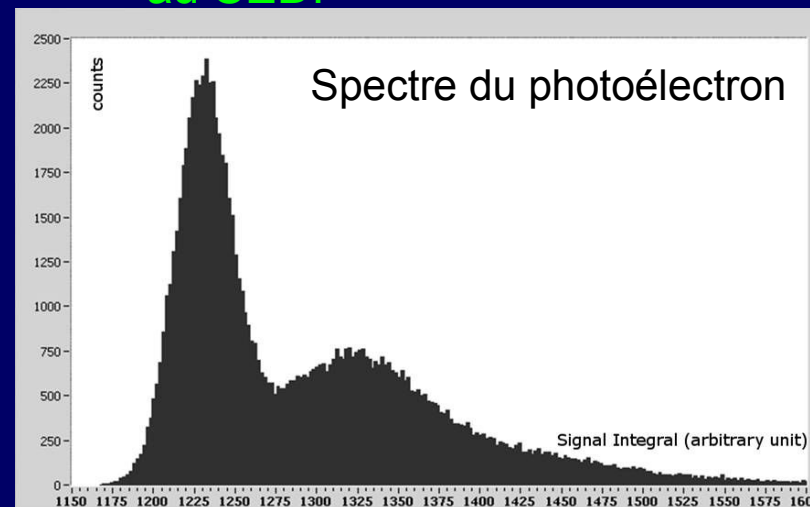
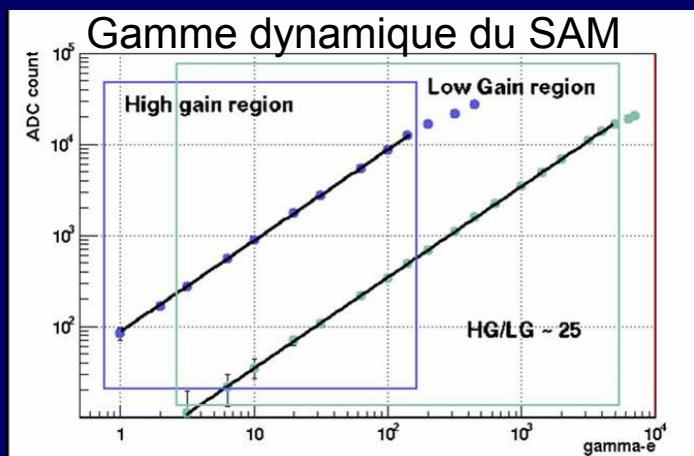
# Circuit SAM (Swift Analog Memory)

## Conception SEDI

- Élément central de l'acquisition de HESS 2
- Remplace l'ARS (DAPNIA) de HESS1
- Grande bande passante (300 MHz)
- Fréquence d'échantillonnage 1,2 GHz
- Très grande dynamique
- Lecture ultra-rapide ( $< 2 \mu\text{s}$ )
- Conception 2005  $\rightarrow$  fin 2006
- Production et test : début 2007 (LPNHE, LPTA)



La puce SAM développée au SEDI



# Système de déclenchement L2



- ❑ **HES 1**: un seul niveau de déclenchement hardware  
⇒ réduction du taux de déclenchement par la stéréoscopie
- ❑ **HES 2** mono télescope ⇒ 2 niveaux de déclenchement

**Objectif : réduction du taux L1 de 100 kHz à 3 kHz**

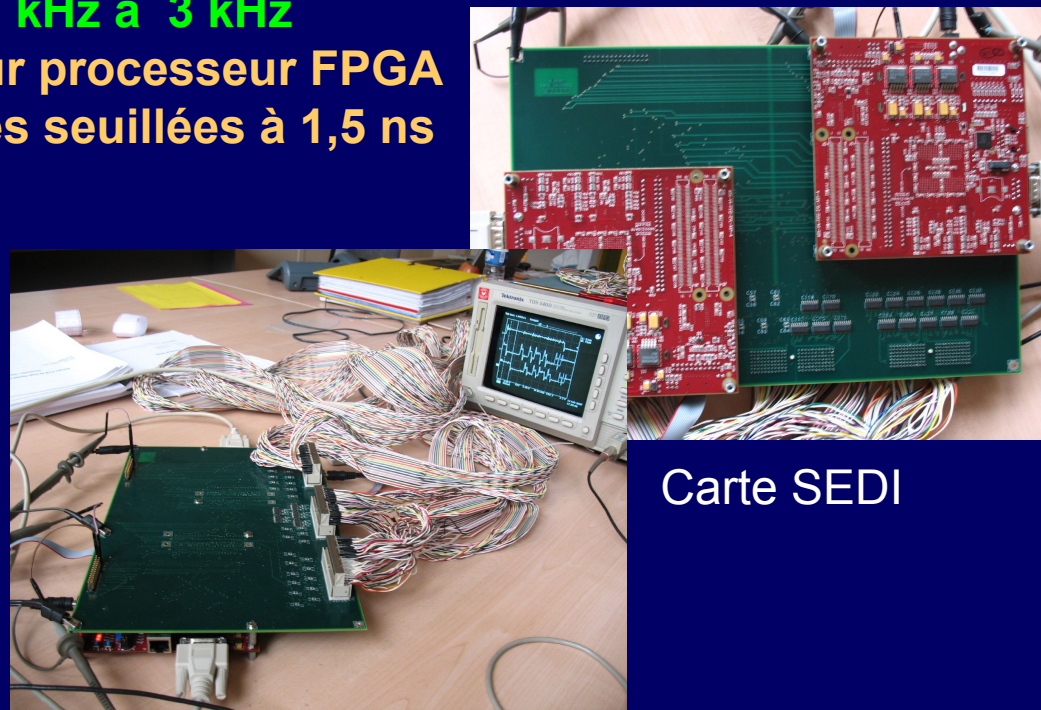
- algorithmes de réduction du taux sur processeur FPGA
- input pour les algorithmes : 2 images seuillées à 1,5 ns
- prototype de la carte L2 : fin 2006
- carte définitive : mi 2008

Maître d'œuvre: DAPNIA

Conception de la carte: DAPNIA

D. Calvet, Y. Moudden

Algorithmes : DAPNIA/LLR/ETIS



Carte SEDI



# Performances du L2

## □ Système déclenchement hybride

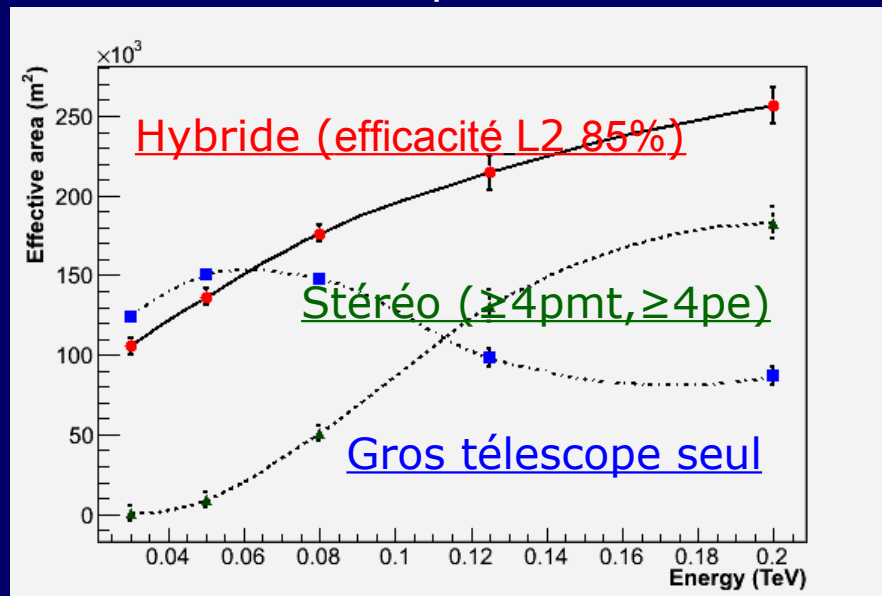
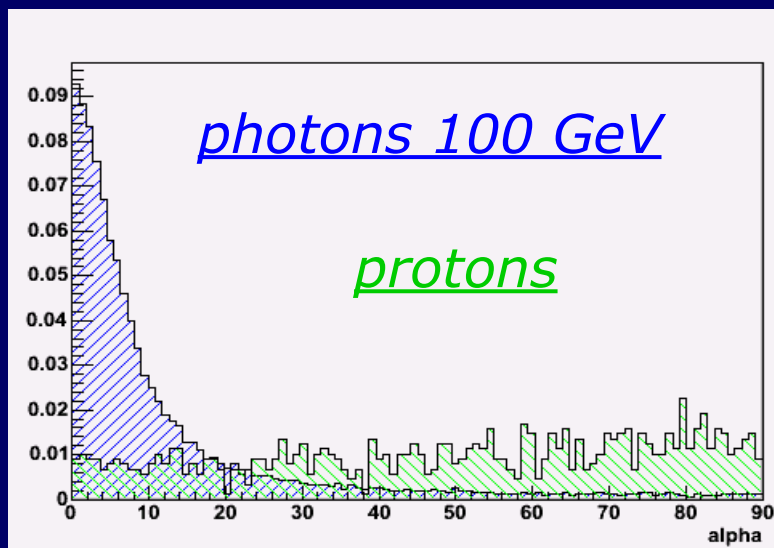
⇒ gammas de hautes énergies en stéréo

## □ Basse énergie : mode mono-télescope

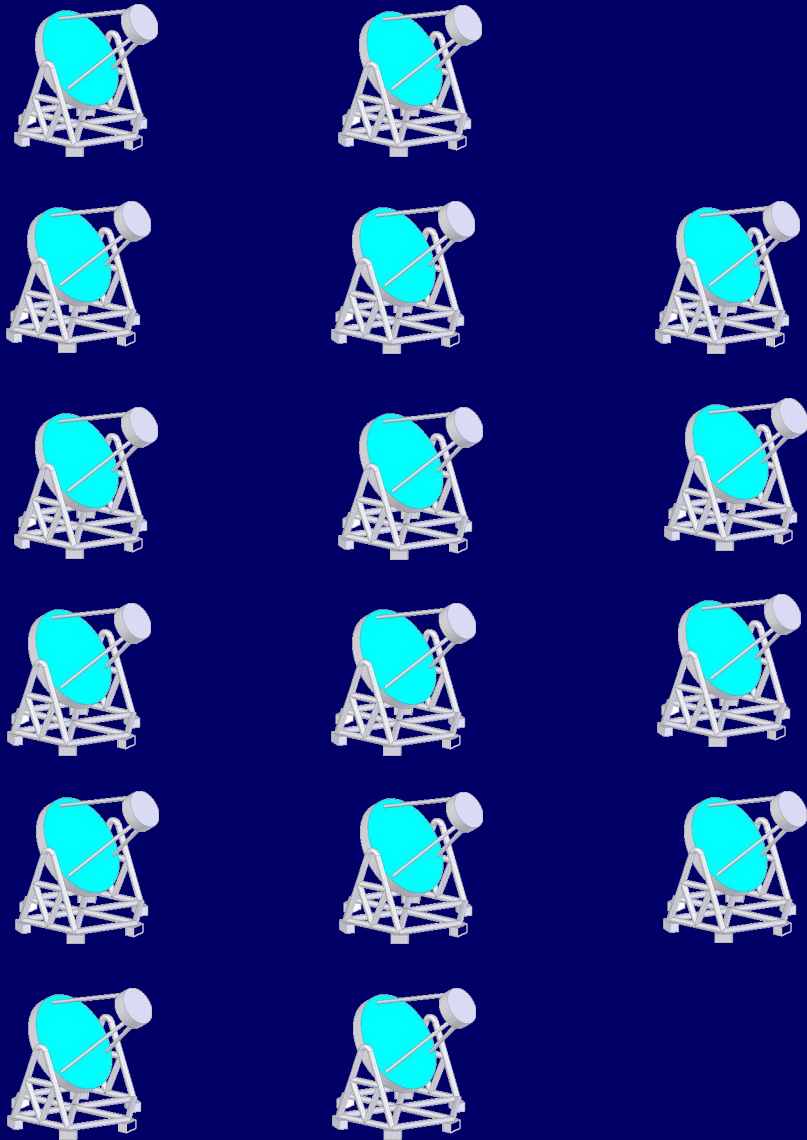
⇒ nouveau mode de fonctionnement

⇒ développement d'algorithmes de sélection  
en ligne et hors ligne

Responsabilité : DAPNIA

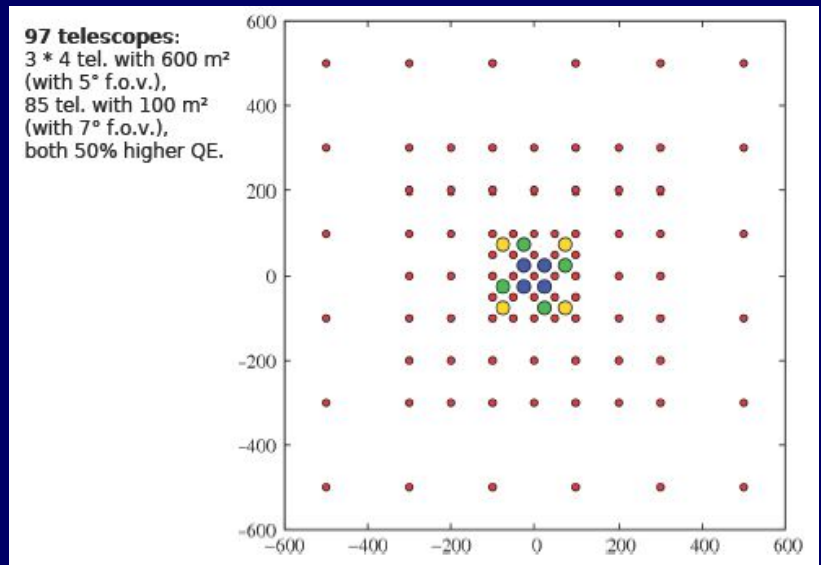


# Le futur : CTA (Cherenkov Telescope Array)



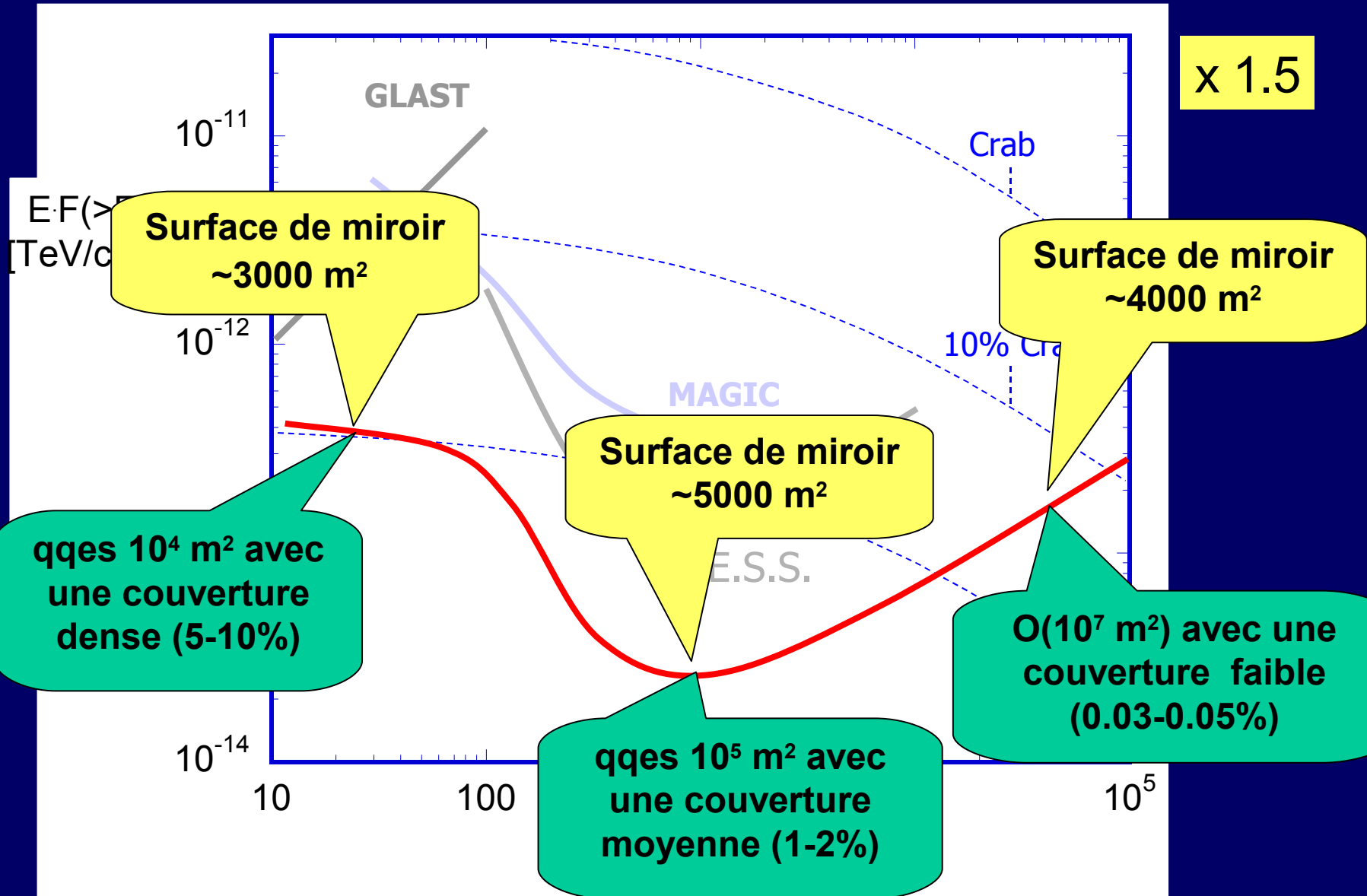
- Explorer le ciel dans la plage en énergie 10 GeV – 100 TeV
- Sensibilité en flux x10
- Résolution spatiale x3

DAPNIA : implication possible dans l'électronique  
(en collaboration avec LPNHE-LPTA)





# Sensibilité prédite du CTA





# Conclusions

- **Implication du groupe du DAPNIA depuis 2005 :**
  - **Matière noire:** Centre galactique, galaxie du Sagittaire, Canis Major
  - **Centre galactique:** spectre et variabilité, recherche de flare et de périodicité
  - **Sources du plan galactique:** restes de supernovae, sources non-identifiées
  - **Proposition d'observation:** satellites XMM et INTEGRAL

- **Préparation de H.E.S.S. 2 :**
  - Mémoires analogiques SAM
  - Trigger L2 : électronique, algorithmes
  - Caractérisation des performances

⇒ **Démarrage prévu en 2008 !!**

