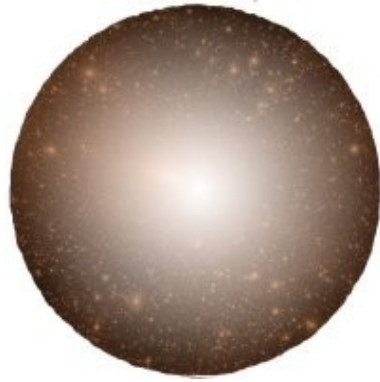


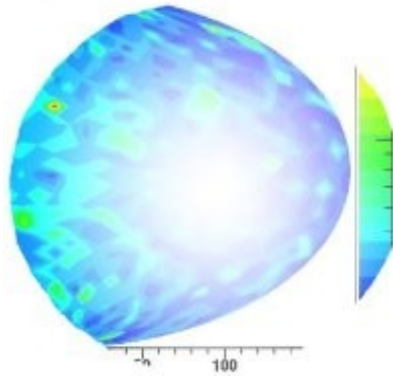
# Recherche de matière noire avec H.E.S.S.

Aldée Charbonnier  
Laboratoire de Physique Nucléaire et de Hautes Énergies

Journées Jeunes Chercheurs 2008



La matière noire ... ?



Modélisation



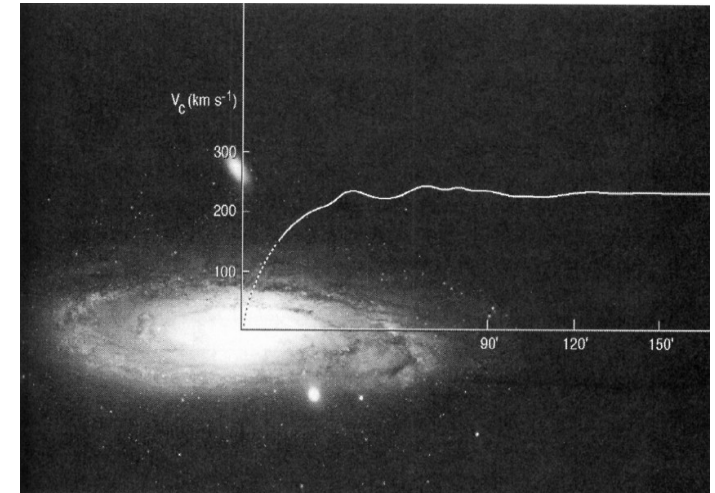
Recherche avec  
H.E.S.S.



# La matière noire... quid ?

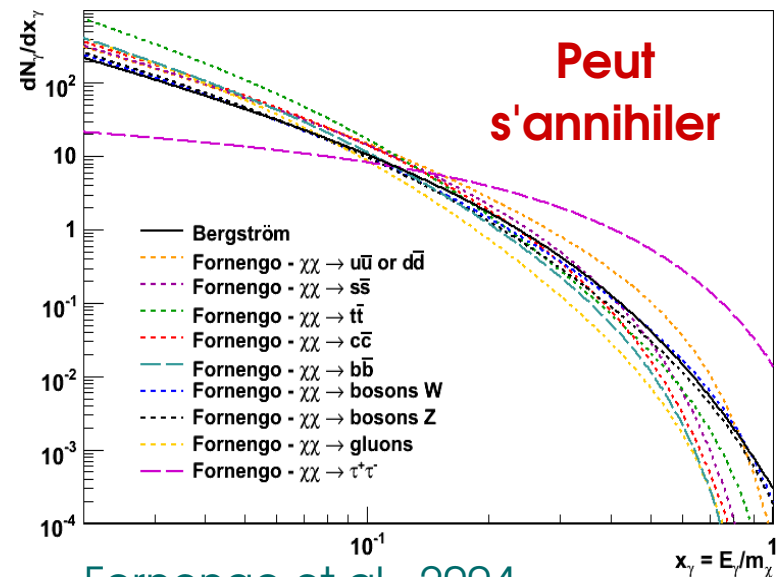
## Évidence de la matière noire :

- Distributions des vitesses dans les galaxies et les amas de galaxies
- Contraintes WMAP
  - $\Omega_M h^2 = 0,14 \pm 0,02$
  - $\Omega_b h^2 = 0,024 \pm 0,001$



## Candidats à la matière noire :

- Au delà du modèle standard :
  - MSSM : le neutralino  $\chi$
  - KK : 1ère excitation de KK
- $30 \text{ GeV} < M_\chi < 10 \text{ TeV}$



Fornengo et al., 2004

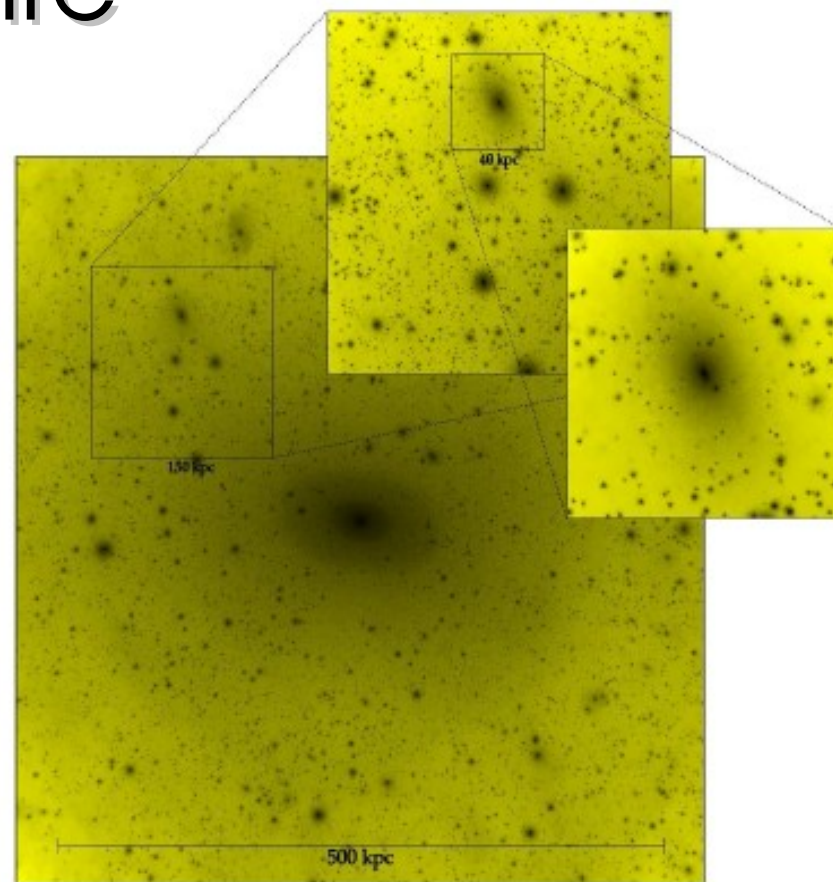


# Distribution de la matière noire

approches analytiques  
et  
simulations numériques



**Structure hiérarchique**



Sous-structures de matière noire :

- **grumeaux** -
- **sous-halos** -
- **(clumps)** -

Kuhlen et al., 2008  
Navarro et al., 1996  
Bullock et al., 2001

# Modélisation de la distribution

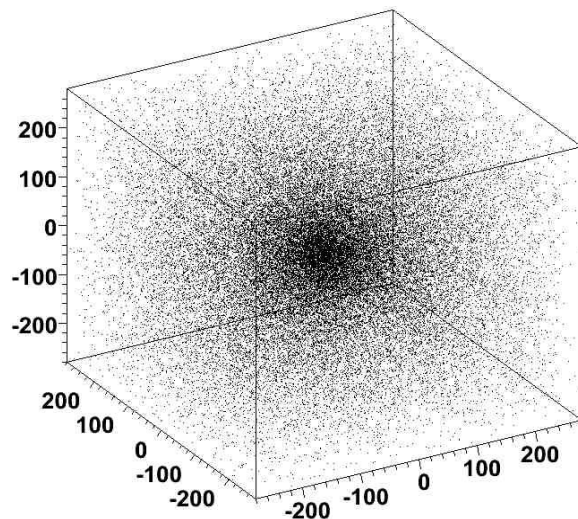
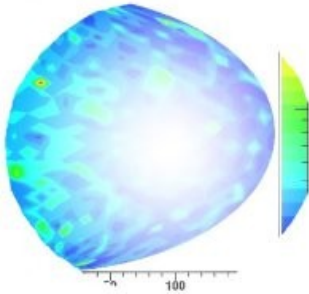
Tirage aléatoire de sous-halos

$$\frac{dN}{d^3 \vec{r} dM} = N_{\text{tot}} \frac{dP}{d^3 \vec{r}} \times \frac{dP}{dM}$$

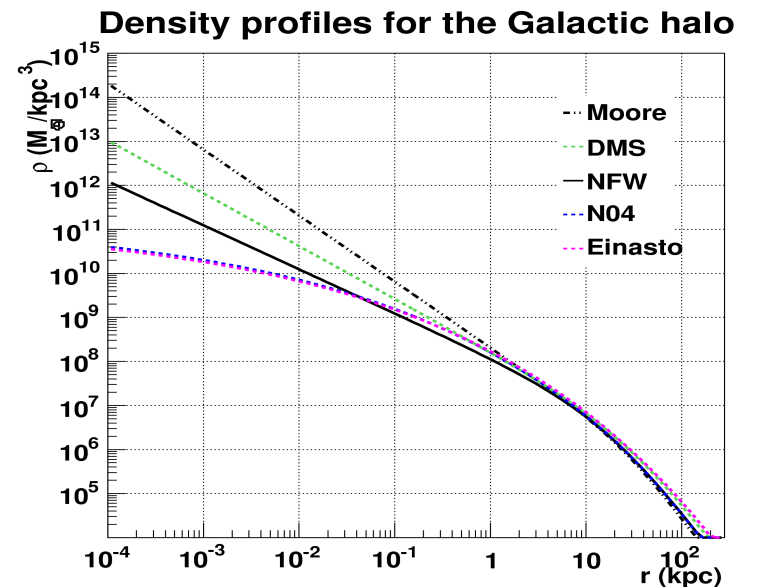
$$\frac{dP}{d^3 \vec{r}} = \text{cste} \times \frac{1}{1 + \left(\frac{r}{r_H}\right)^2}$$

$$\frac{dP}{dM} = \text{cste} \times M^{-\alpha}$$

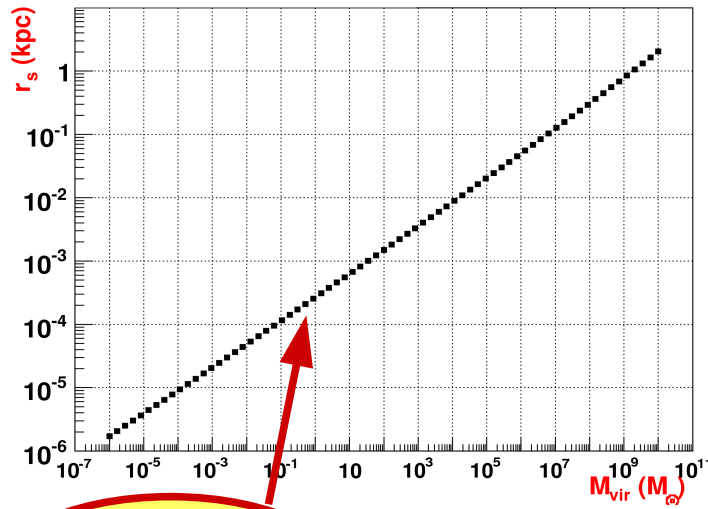
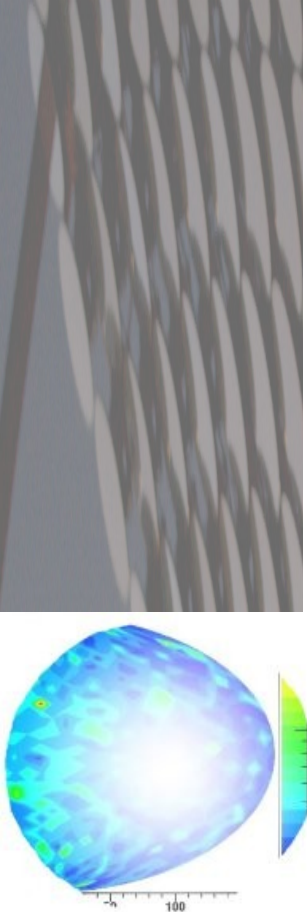
- Masse des sous-halos :  
 $10^{-6} - 10^{12} M_{\odot}$
- Normalisation:  $N_{\text{tot}} (M > 10^8 M_{\odot}) = 100$



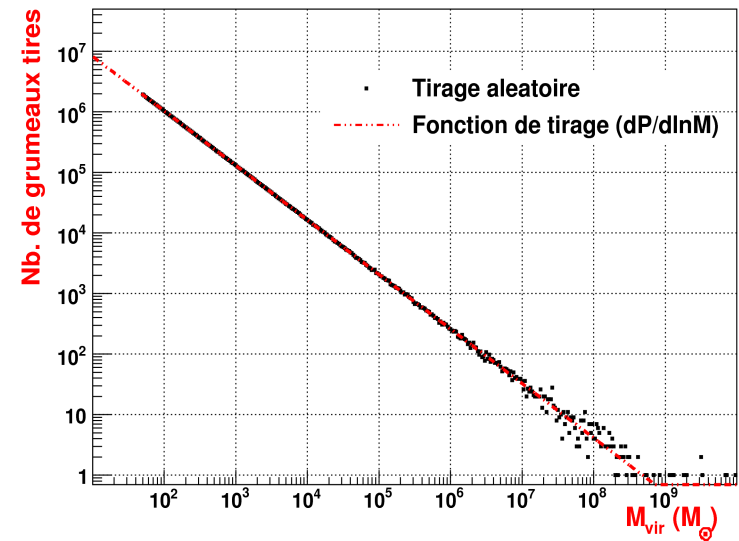
Tirage de 50 000 grumeaux



# Quelques caractéristiques



Rayon du soleil ~  
10<sup>-11</sup> kpc



Fraction de matière noire sous forme de grumeaux : **10 à 50 %** selon le choix des paramètres

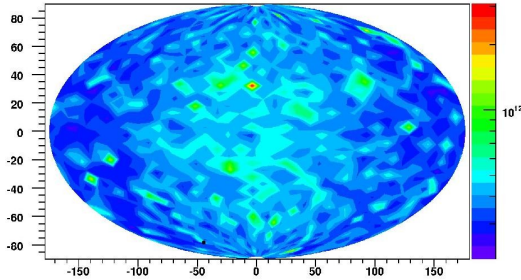
$$\Phi \sim \int_{ldv} \rho^2(l) dl(\psi)$$

Annihilation de 2  $\chi$

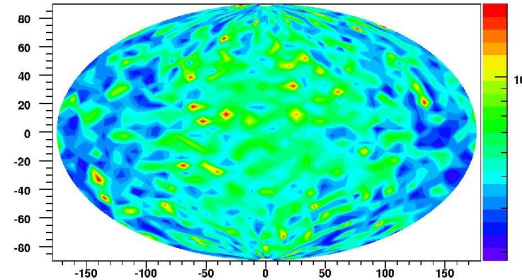
Sur la ligne de visée

# Nos cartes

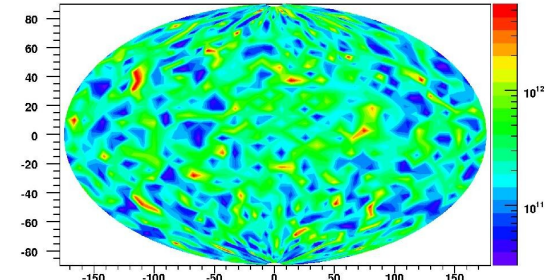
$10^2 - 10^3 \cdot M_\odot$



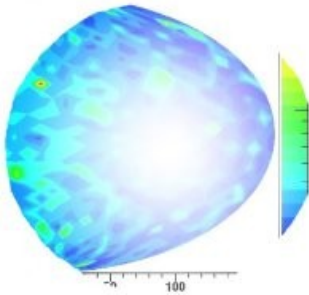
$10^3 - 10^4 \cdot M_\odot$



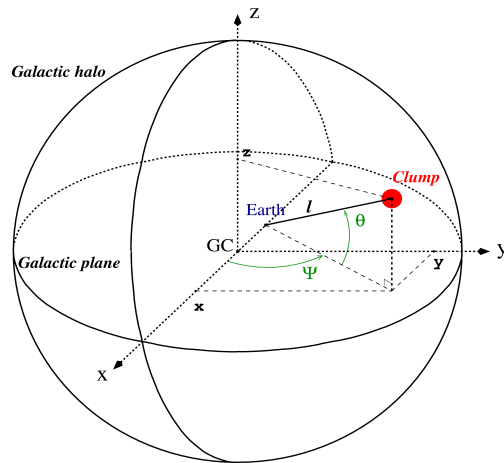
$10^5 - 10^6 \cdot M_\odot$



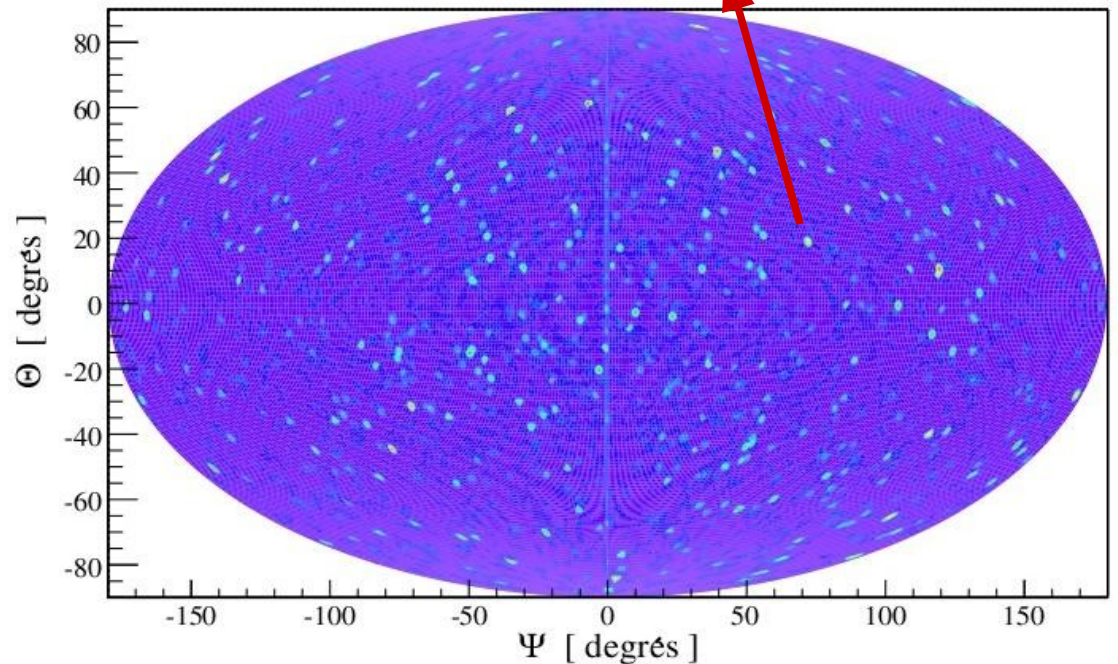
Cartes obtenues - différentes masses



Que la contribution des grumeaux



$$\Phi_{\gamma}^{\max} \sim 6,1 \cdot 10^{-13} \gamma \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$$



# Recherche de matière noire avec H.E.S.S.

- **Centre galactique**
- **Amas globulaires**
- **Sur-densité « Canis Major »**
- **Trous noirs de masse intermédiaire**
- **Galaxies naines sphéroïdales**



E. Moulin et al., 2008  
M. Vivier et al., 2008  
F. Aharonian et al., 2006

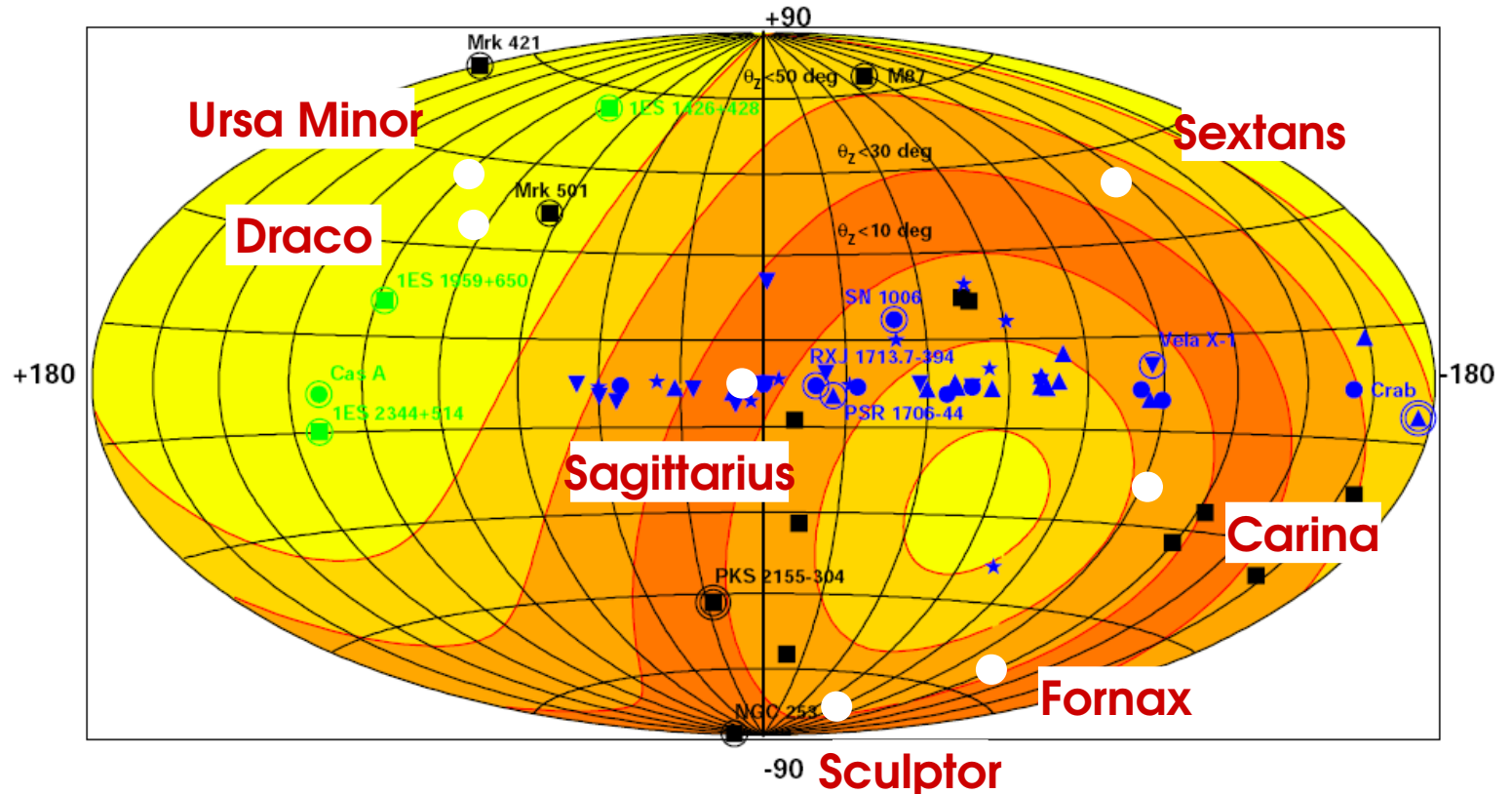


# Les galaxies naines sphéroïdales

- De bons candidats :**
- rapport masse/luminosité élevé
  - objets ~ sphériques
  - hors plan galactique

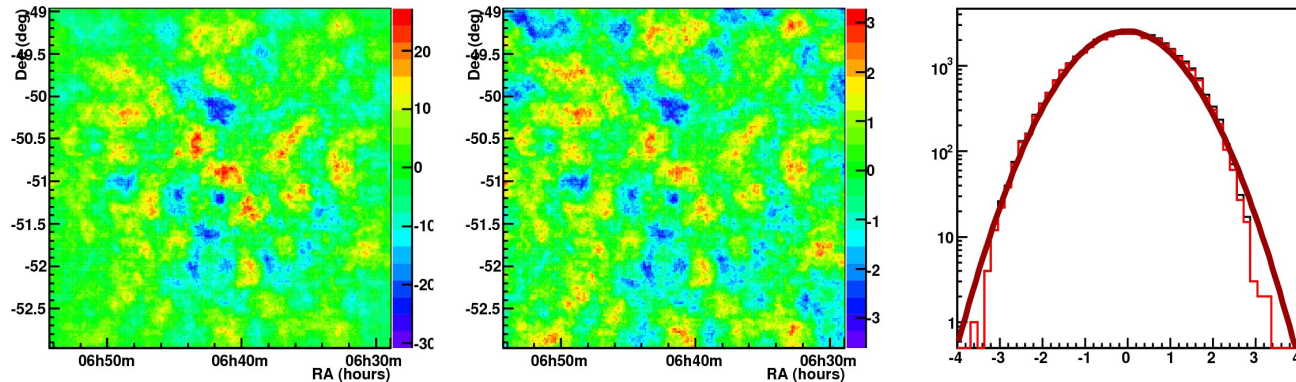
Strigari et al., 2007  
Gilmore et al., 2006

Répartition des principales dSph



# La galaxie naine sphéroïdale Carina

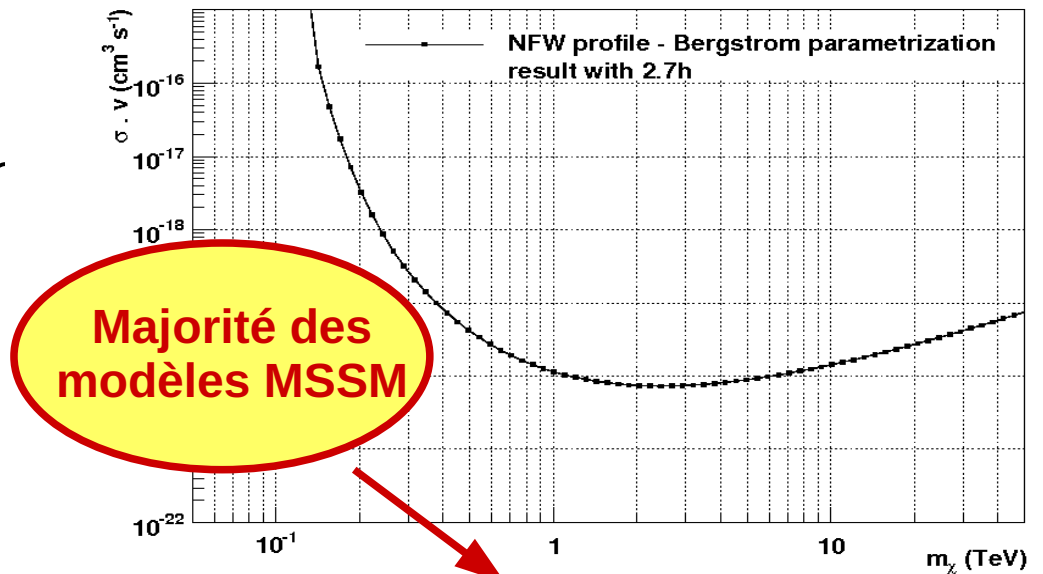
Carte de significativité



Courbe d'exclusion

Données de janvier 2008, 2.7 h

(MSSM)  
plan {  $\langle \sigma v \rangle$ ,  $m_\chi$  }



Majorité des modèles MSSM

là



# Et les grumeaux plus petits ?

Détection à  $5\sigma$  de nos sous-structures :  $\sim 140$  h

$$\Phi_{\text{bdf}}^{\text{HESS}} \sim 1,8 \cdot 10^{-11} \gamma \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$$

(bruit de fond estimé de H.E.S.S.)

$$\Phi_{\gamma}^{\text{max}} \sim 6,1 \cdot 10^{-13} \gamma \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$$

(flux typique en provenance d'un grumeau)

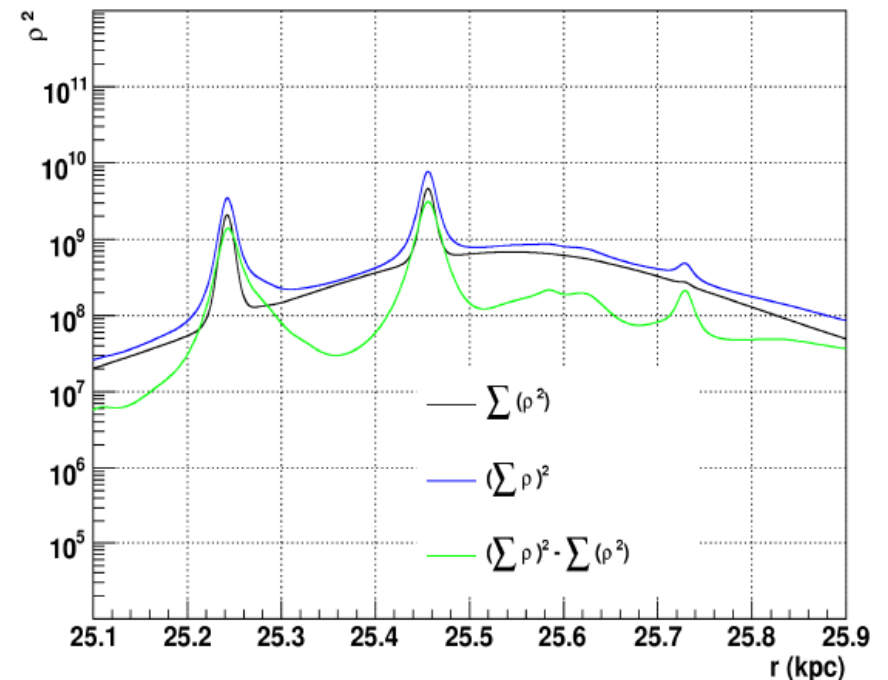
## MAIS

On ne sait pas **OU** sont placés les grumeaux...

**Approximations** : perte de contraste

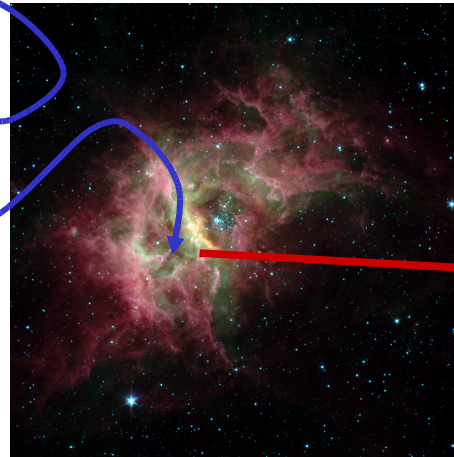
Présence de **fonds astrophysiques**

Vérification des approximations



# L'émission diffuse

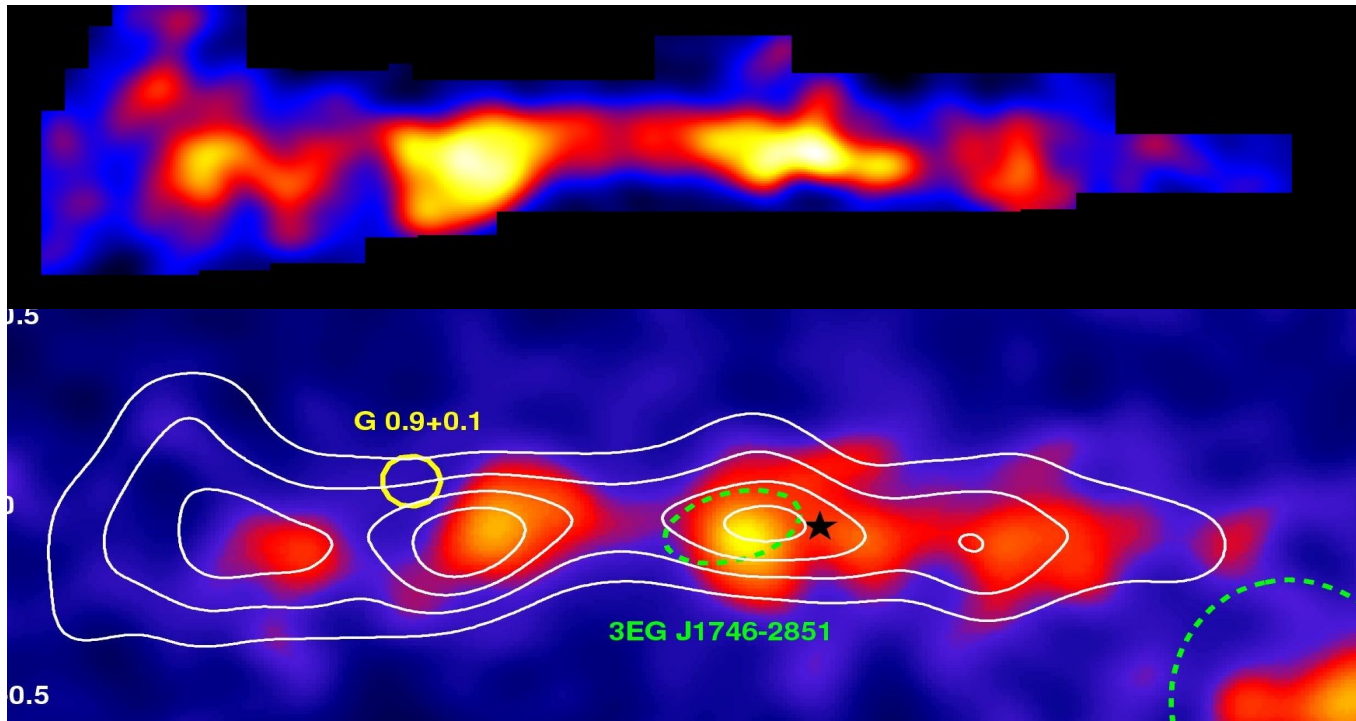
Rayon cosmique



Gaz moléculaire  
Gaz atomique  
Gaz ionisé

+ Interactions...

Rayon gamma



émission  
CS

émission  
H.E.S.S.

# En conclusion

- **Outil de modélisation** de la distribution de la matière noire dans la Galaxie
  - approximations communes à corriger
  - estimation du potentiel de détection
- H.E.S.S. ne verra TRES probablement **pas de signature de matière noire**
- En route (sinueuse) :  
développement d'un **modèle d'émission diffuse** de rayons gamma dans notre Galaxie.

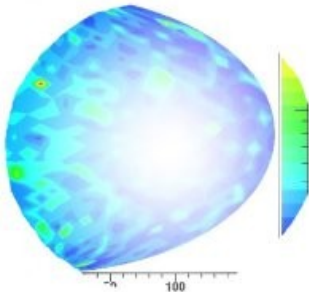


# Flux de gamma en provenance de la matière noire



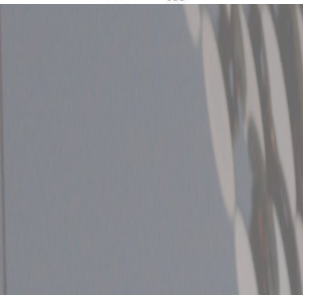
Annihilation de particules de matière noire :

$$\frac{d\phi^{tot}}{dE_\gamma}(E_\gamma, \psi, \Delta\Omega) = \frac{d\phi^{pp}}{dE_\gamma}(E_\gamma) \times \phi^{cosmo}(\psi, \Delta\Omega)$$



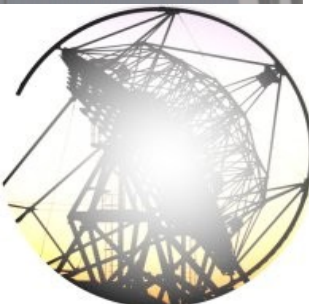
Terme lié au modèle de physique des particules

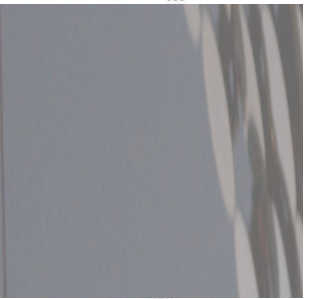
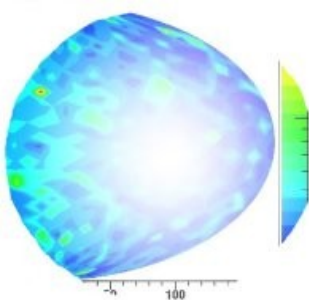
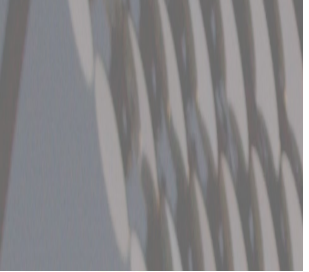
$$\frac{d\Phi^{pp}}{dE_\gamma}(E_\gamma) = \frac{1}{4\pi} \frac{\langle \sigma v \rangle}{2m_\chi^2} \frac{dN_\gamma}{dE_\gamma}$$



Terme contenant la distribution spatiale

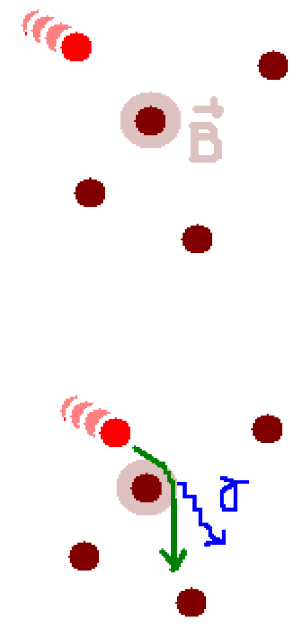
$$\Phi^{cosmo}(\psi, \Delta\Omega) = \int_{\Delta\Omega} d\Omega \int_{los} dl \rho^2(l, \psi)$$



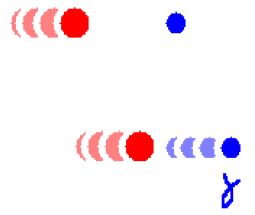


# Production de gamma de très haute énergie

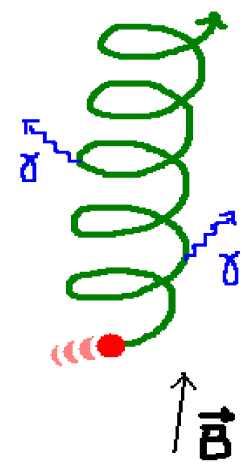
Bremsstrahlung



Compton inverse



Effet synchrotron



Désintégration de  $\pi^0$

