

# ***Optimisation logicielle des performances instrumentales de H.E.S.S. pour l'analyse des sources ténues de rayonnement gamma***

Thèse de doctorat de l'Ecole Polytechnique  
18 octobre 2012

*Présentée par* **Hélène Laffon**  
*Sous la direction de* **Gérard Fontaine et Bruno Khélifi**



# Sommaire

1. L'astronomie gamma
2. H.E.S.S. et la technique d'imagerie Tcherenkov
3. Optimisation de la soustraction du bruit de fond
4. Amélioration de la résolution angulaire
5. Application à la source HESS J1832-092
6. Interprétation physique
7. Conclusions et perspectives



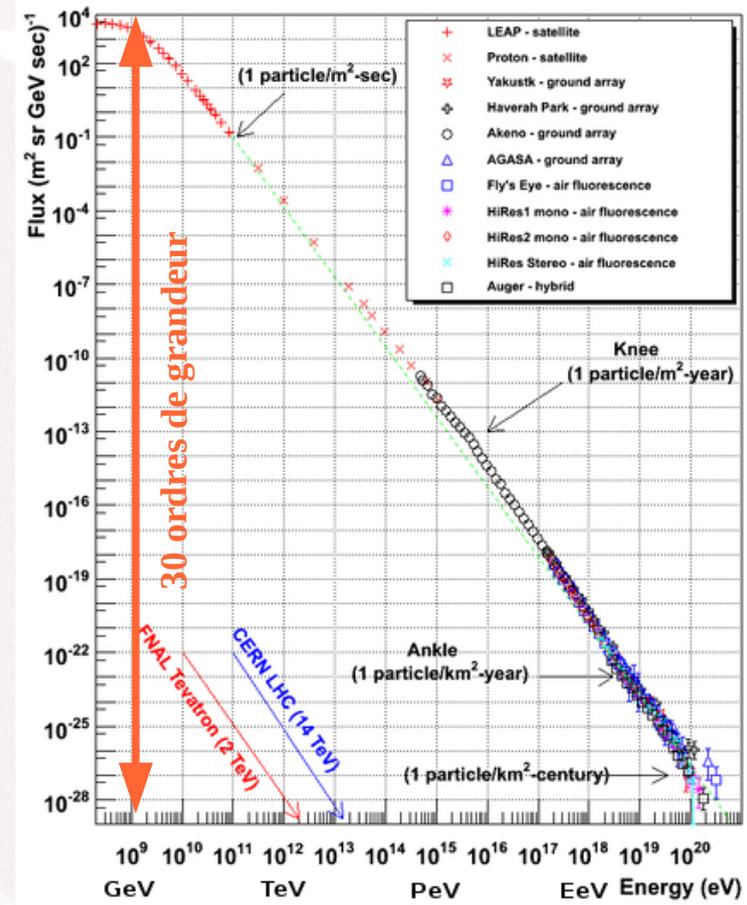
# Sommaire

1. L'astronomie gamma
2. H.E.S.S. et la technique d'imagerie Tcherenkov
3. Optimisation de la soustraction du bruit de fond
4. Amélioration de la résolution angulaire
5. Application à la source HESS J1832-092
6. Interprétation physique
7. Conclusions et perspectives



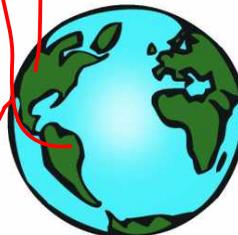
# L'astronomie gamma : La quête du rayonnement cosmique

- Victor Hess découvre le rayonnement cosmique en 1912
- Particules chargées très énergétiques (99% hadrons, 1% électrons)
- Spectre décrit par des lois de puissance
  - $E < 10^{15}$  eV → galactique
  - $E > 10^{15}$  eV → extragalactique
- Déviées par les champs magnétiques
- Impossible d'en identifier les sources jusqu'à présent



12 ordres de grandeur

Spectre observé sur Terre  
(Crédit : W.F. Hanlon)



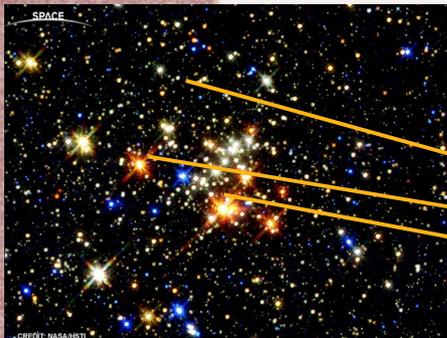
Rayons cosmiques

# *L'astronomie gamma :*

## *La quête du rayonnement cosmique*

- Interaction des rayons cosmiques accélérés avec les particules et champs magnétiques du milieu interstellaire/intergalactique
- Production de rayons gamma (photons d'énergie  $\geq 100$  keV)
- Propagation en ligne droite : direction connue
- Recherche indirecte des sites d'accélération de rayons cosmiques
- Différents processus radiatifs en fonction de la nature des rayons cosmiques :

- hadronique :  $pp \rightarrow \pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$
- leptonique : émission synchrotron, rayonnement de freinage, diffusion Compton inverse

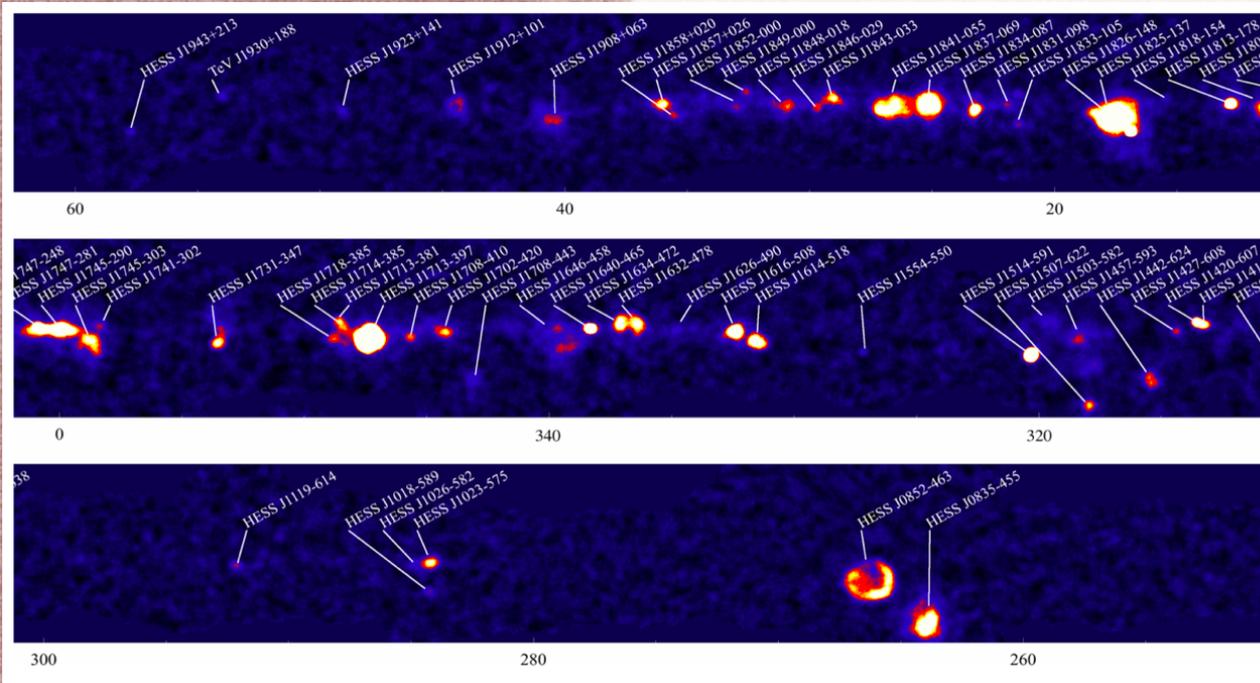


Rayons  $\gamma$



# L'astronomie gamma :

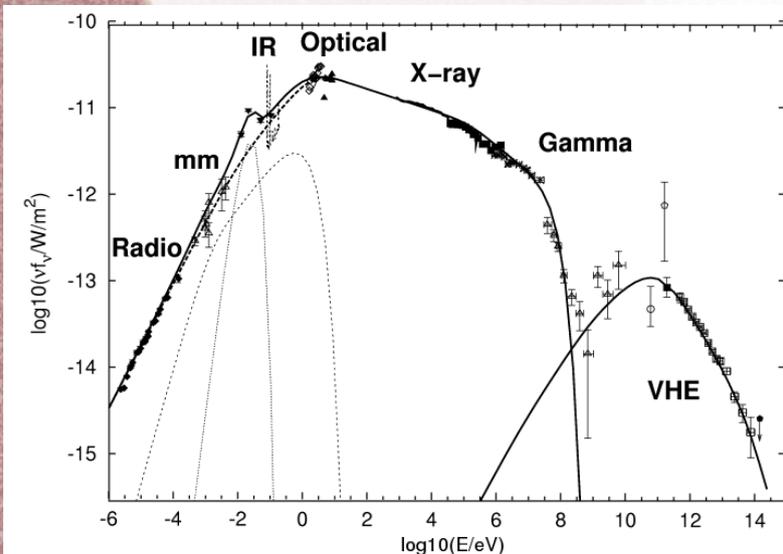
## L'étude des sources



- Découverte de plus de 130 sources d'énergie > 100 GeV

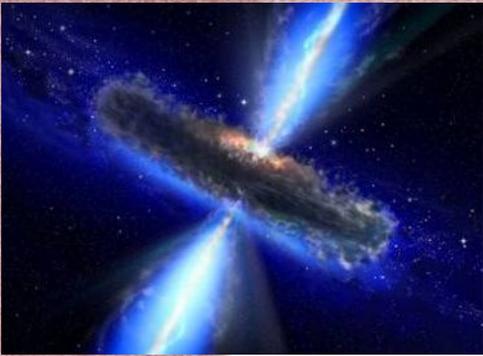
← Scan du plan galactique vu par H.E.S.S.

Crédit :  
W. Hofmann



- Processus d'émission de photons par les rayons cosmiques dans tout le spectre électromagnétique
- Confrontation avec observations à d'autres longueurs d'onde permet de comprendre les processus en jeu dans ces sources et d'identifier la nature des rayons cosmiques responsables de l'émission observée

# L'astronomie gamma : L'étude des sources

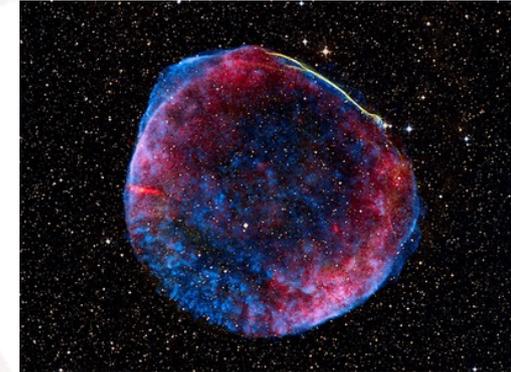


Vue d'artiste d'un AGN

- Sources extragalactiques : galaxies à noyau actif (AGN), galaxies à flambée d'étoiles

- Principales sources galactiques :

- Nébuleuses à vent de pulsar
- Vestiges de supernovae
- Nuages moléculaires
- Régions de formation d'étoiles
- Systèmes binaires

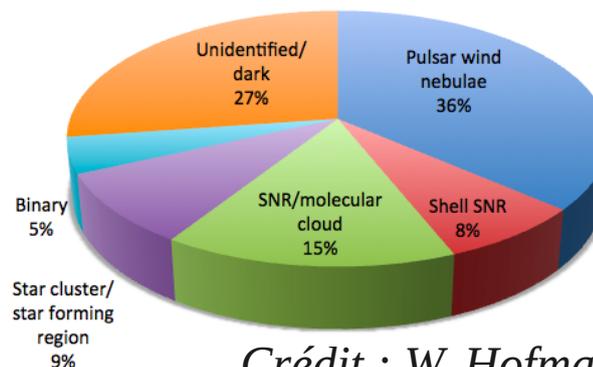


SN 1006 (image composite radio/optique/rayons X)  
Crédit : NASA

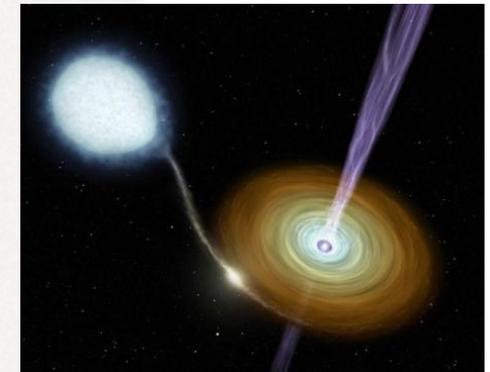


Nébuleuse du Crabe (image composite optique/rayons X)

CRAB Nebula — NASA, Hubble Telescope



Crédit : W. Hofmann

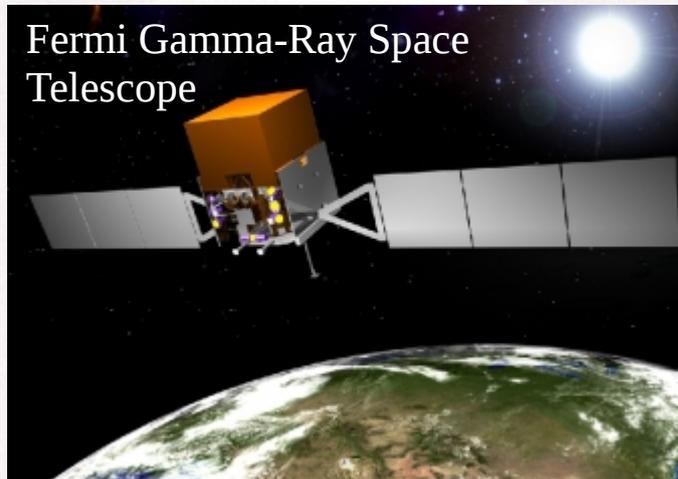


Vue d'artiste d'un système binaire X

# L'astronomie gamma : Méthodes de détection



Absorption des  $\gamma$  à leur entrée dans l'atmosphère  
➤ Observations en satellite



Flux trop faible pour la surface de détection des satellites ( $\sim m^2$ )  
➤ Observation indirecte au sol



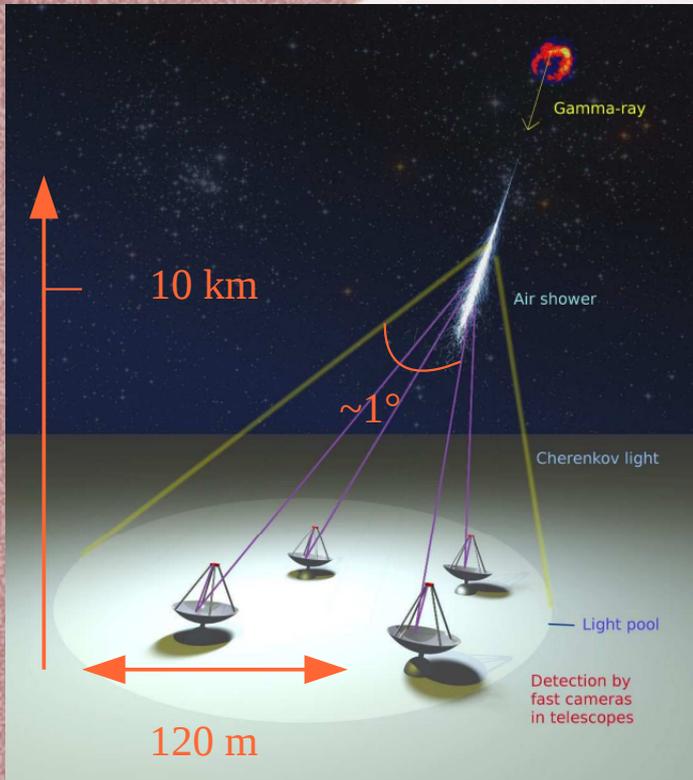
# Sommaire

1. L'astronomie gamma
2. H.E.S.S. et la technique d'imagerie Tcherenkov
3. Optimisation de la soustraction du bruit de fond
4. Amélioration de la résolution angulaire
5. Application à la source HESS J1832-092
6. Interprétation physique
7. Conclusions et perspectives



# La technique d'imagerie Tcherenkov atmosphérique

- Rayon gamma interagit dans l'atmosphère
- Développement d'une gerbe de particules
- Emission d'un flash Tcherenkov

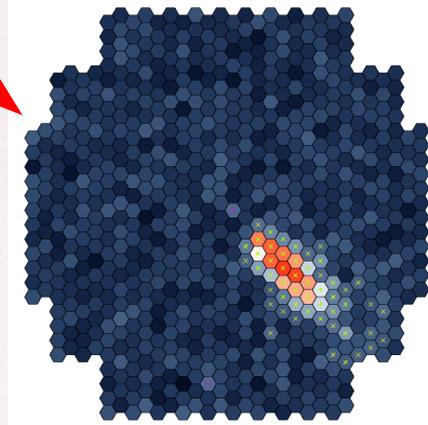
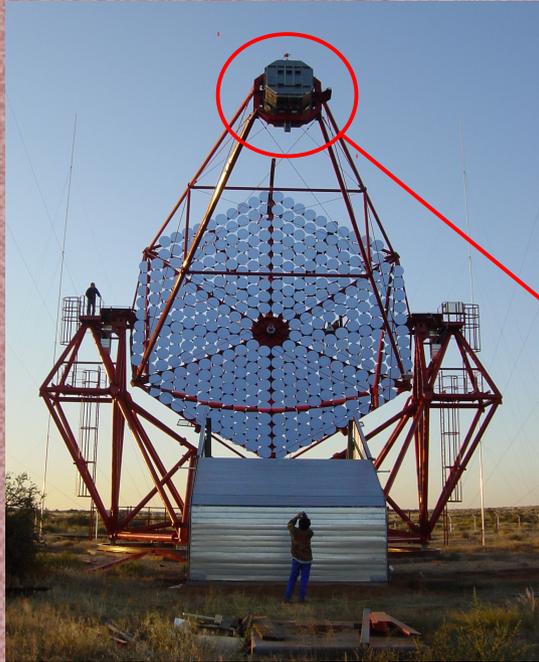


Crédit : Völk et Bernlöhr 2009

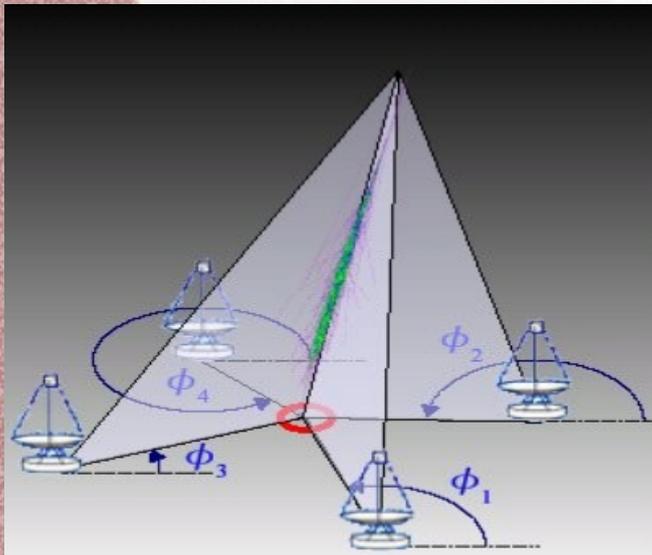
## Caractéristiques :

- UV - visible
- Maximum d'émission Tcherenkov à  $\sim 10$  km d'altitude pour un rayon gamma de  $\sim 1$  TeV
- Flash Tcherenkov de quelques nanosecondes
- Cone Tcherenkov d'environ  $1^\circ$
- Surface au sol couverte d'environ 120 m de rayon

# La technique d'imagerie Tcherenkov atmosphérique



- Image de la gerbe par son émission Tcherenkov sur les caméras des télescopes
- Électronique rapide permet de s'affranchir du bruit de fond de ciel



- Stéréoscopie : vue de la gerbe sous différents angles
  - Meilleure discrimination du bruit de fond
  - Suppression des muons isolés
  - Meilleure reconstruction de la direction incidente et de l'énergie

# Les principaux imageurs Tcherenkov

VERITAS



<http://veritas.sao.arizona.edu/>

MAGIC



<http://magic.mppmu.mpg.de/>



H.E.S.S.

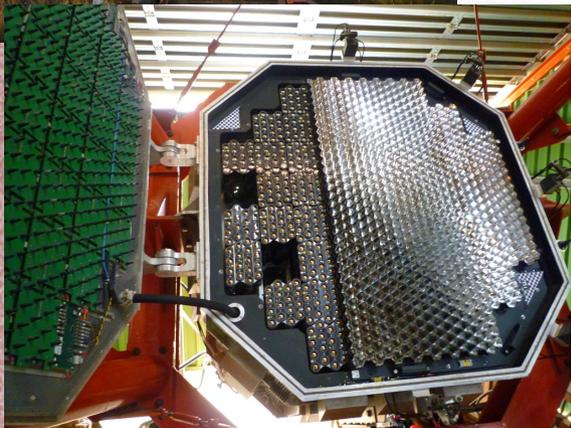
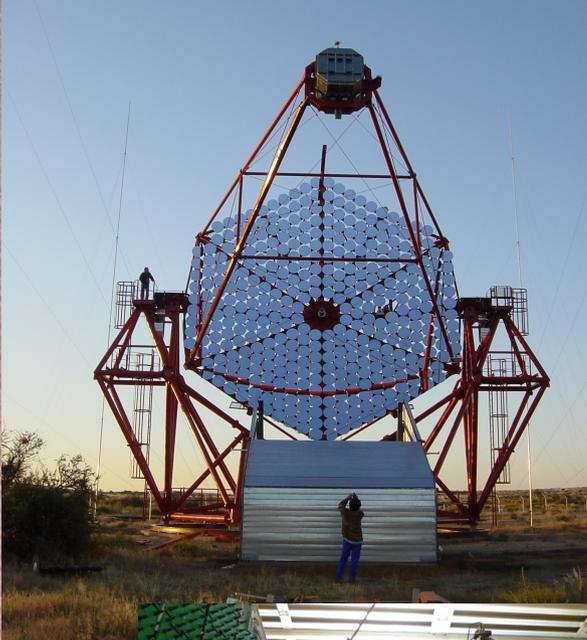
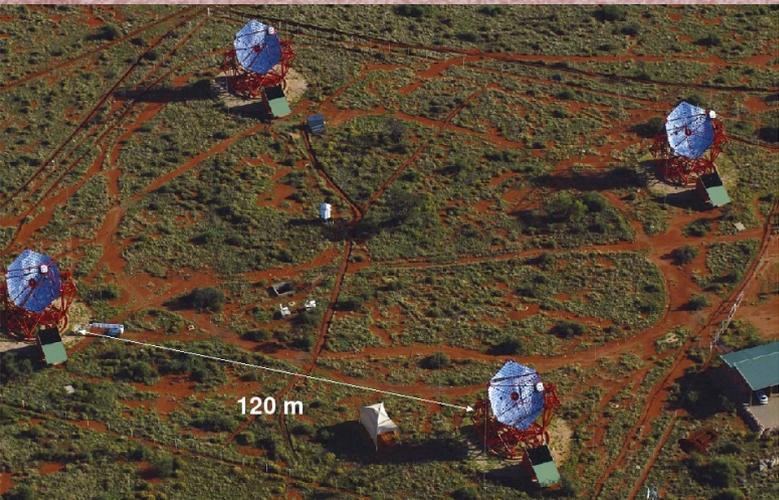


Image by Craig Mayhew and Robert Simmon, NASA GSFC, based on

Crédit : A. Balzer

# *Le réseau de télescopes H.E.S.S.*

- High Energy Stereoscopic System
- Namibie, Khomas Highland, 1800 m d'altitude
- 4 télescopes sur un carré de 120 m de côté
  - ➔ Surface effective  $\sim 10^5 \text{ m}^2$
- Stéréoscopie
  - ➔ Résolution angulaire  $< 0.1^\circ$
- 380 miroirs circulaires (surface  $\sim 100 \text{ m}^2$ )
  - ➔ Energie accessible : 100 GeV – 50 TeV
- Caméra composée de 960 PMTs de  $0.16^\circ$  d'ouverture
  - ➔ Champ de vue  $\sim 5^\circ$
- Electronique rapide (GHz)



# Reconstruction des événements

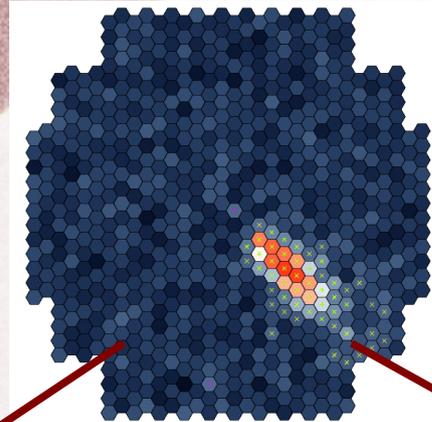


Image de gerbe

## Caractéristiques du rayon gamma incident :

- Direction d'arrivée
- Énergie
- Temps d'arrivée

## Caractéristiques intrinsèques de la cascade :

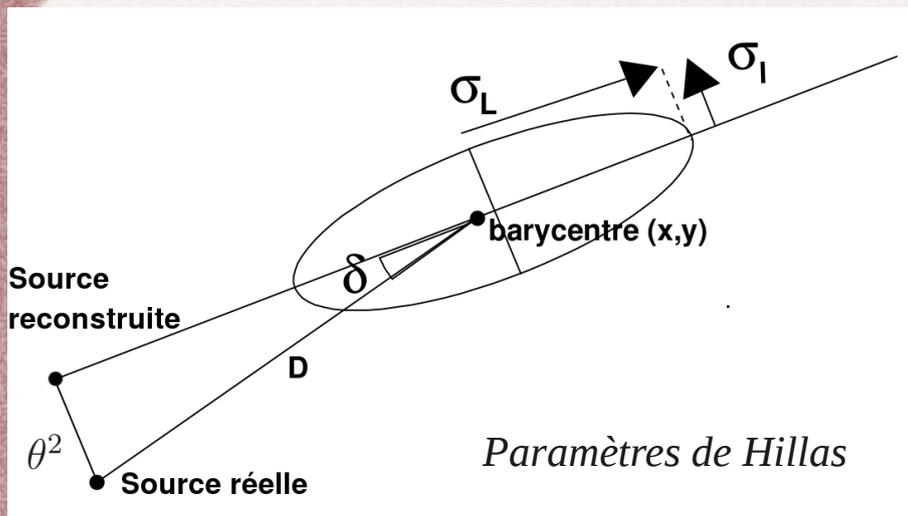
- Orientation de l'axe
- Point d'impact au sol (pied de gerbe)
- Hauteur du maximum de gerbe (maximum d'émission des photons Tcherenkov)
- Longueur et largeur transverse
- Nombre de photons Tcherenkov

- ➔ Plusieurs techniques de reconstruction disponibles
- ➔ Approches différentes
- ➔ Complémentarité

# Reconstruction des événements : méthode de Hillas

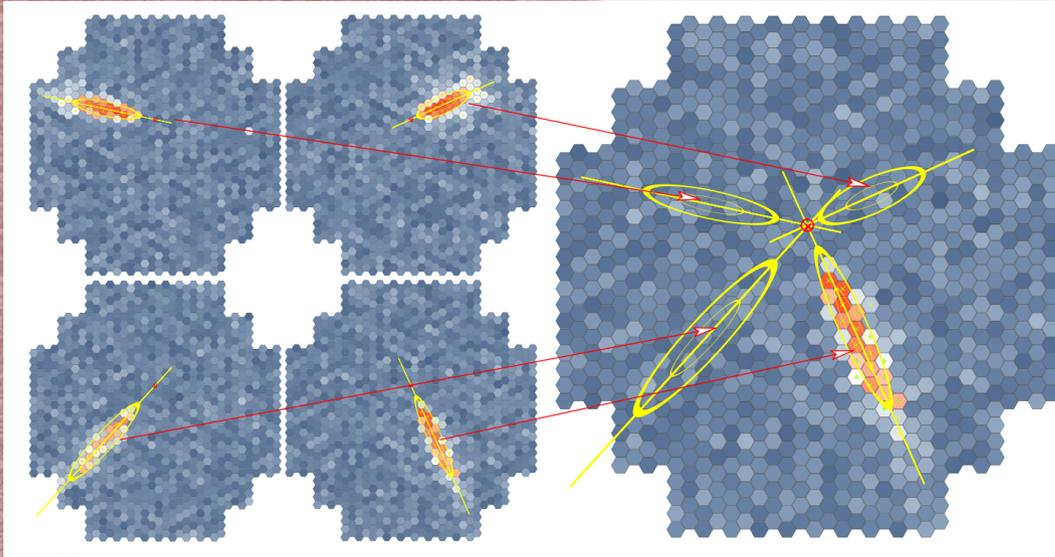
Hillas 1985

- Approximation des images par une gaussienne 2D caractérisée par les paramètres de Hillas :



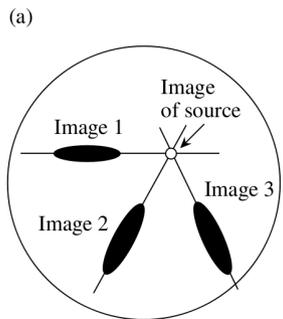
- Le barycentre de l'image
- La demi-longueur  $\sigma_L$
- La demi-largeur  $\sigma_l$
- La distance angulaire entre le barycentre de l'image et la position réelle de la source
- La distance angulaire  $\theta^2$  entre la position réelle et reconstruite
- Charge de l'image (nombre de photons Tcherenkov)

# Reconstruction des événements : méthode de Hillas

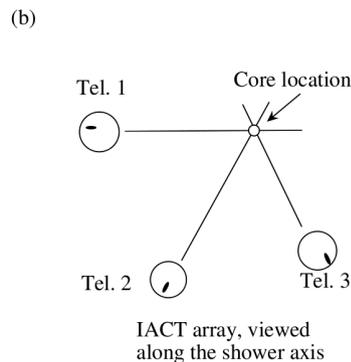


- Direction
  - ➔ Axes des images → plans contenant la direction de propagation
  - ➔ Intersection des axes → direction incidente

- Paramètre d'impact → distance entre le pied de gerbe et le centre du réseau



Superimposed camera images



IACT array, viewed along the shower axis

- ➔ Reconstitue de la même façon que la direction du gamma incident mais dans le référentiel du sol

- Hauteur du maximum de gerbe  $H_{max}$

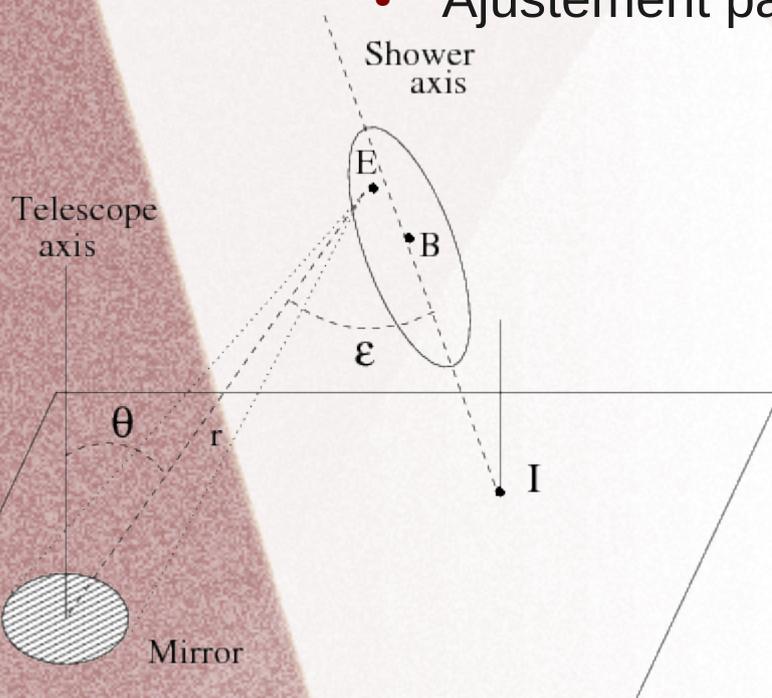
$$H_{max} \simeq \frac{180}{\pi} \frac{\text{par impact}}{D} \quad \rightarrow \text{Coïncide avec l'axe de la gerbe et correspond au barycentre de l'image}$$

# Reconstruction des événements : méthode Model3D

Degrange et Lemoine-Goumard 2006

- Photons Tcherenkov émis sur une gaussienne 3D (photosphère) le long de l'axe de la gerbe
- Distribution angulaire de ces photons indépendante du point d'émission et de l'énergie du gamma incident
- **Modélisation de la gerbe en 3D** par ses caractéristiques intrinsèques
- Ajustement par **maximum de vraisemblance** :

- Le nombre de photons Tcherenkov attendu dans chaque pixel passant les coupures est comparé au nombre observé
- Les caractéristiques intrinsèques des gerbes ainsi que la direction et l'énergie du rayon gamma incident sont dérivées du meilleur ajustement



# Comparaison des deux méthodes

## *Hillas*

- Simplicité et rapidité
- Fluctuations intrinsèques non prises en compte
- Détails et corrélation entre images non utilisés

## *Model3D*

- Plus long en temps de calcul
- Fluctuations sur le nombre de p.e. et la réponse des PMTs prises en compte
- Détails et corrélation entre images utilisés dans le fit

- ➔ Méthodes complémentaires :
  - Peuvent être utilisées pour des vérifications croisées
  - Peuvent être **combinées** afin d'obtenir une **meilleure résolution**

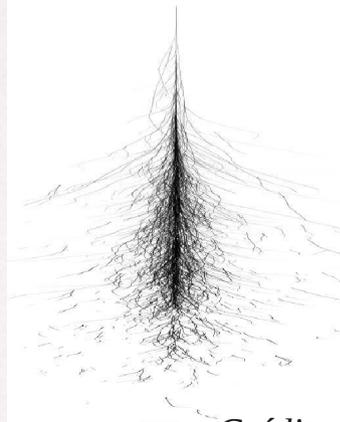
# Discrimination du bruit de fond des cosmiques

- Rayons cosmiques produisent des gerbes atmosphériques

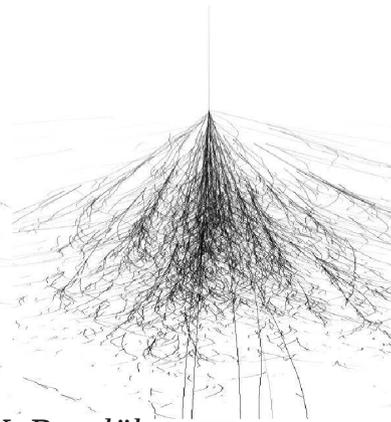
## Gerbes électromagnétiques :

- électrons, positrons et photons
- symétrie de révolution
- image elliptique

Gerbe électromagnétique



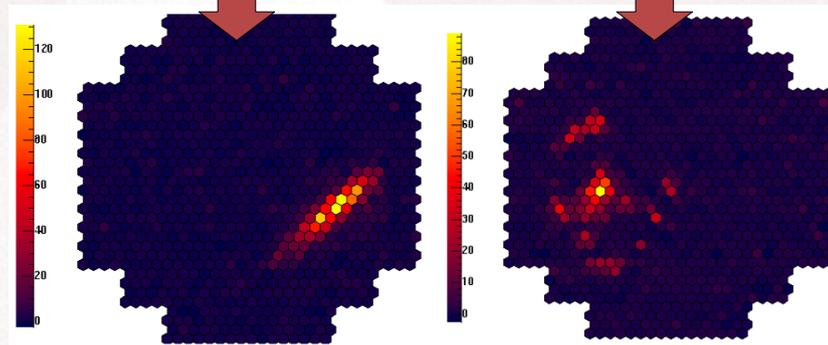
Gerbe hadronique



Crédit : K. Bernlöhr

## Gerbes hadroniques :

- plus complexes (K,  $\pi$ ,  $\mu$ ,  $e^{+/-}$ ,  $\gamma$ ,...)
- impulsion transverse plus grande
- image irrégulière



- Discrimination des hadrons par des critères de forme
- Électrons cosmiques non différenciables → soustraction quantitative

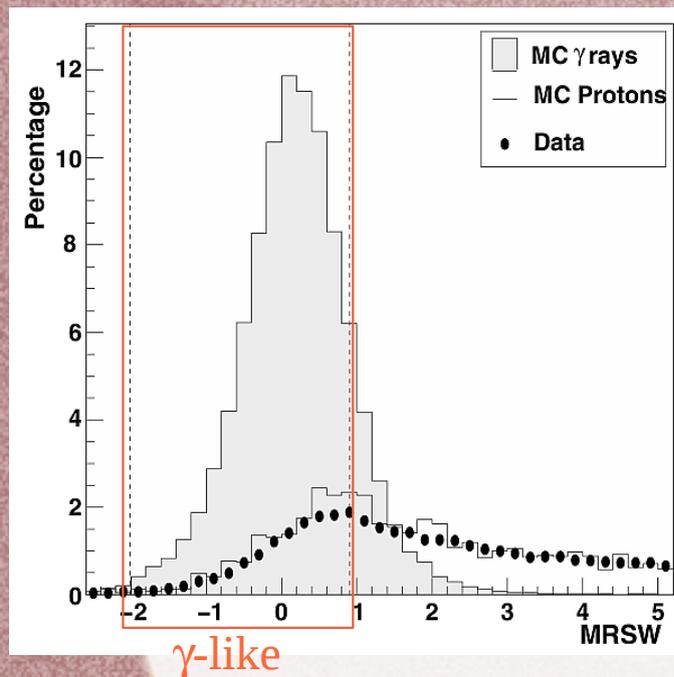
# Discrimination du bruit de fond : méthode Paris-MVA

Becherini 2011

- Analyse multi-variée BDT (arbres de décision)
- Utilise différents **paramètres discriminants** :
  - Paramètres issus de la reconstruction Hillas
  - Paramètres issus de la reconstruction Model3D
  - Paramètres issus d'une combinaison de ces deux méthodes
- **Coupures** appliquées sur ces paramètres

- Différentes **configurations optimisées pour certains types de sources** avec différentes coupures :

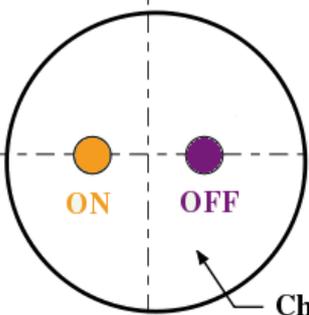
- *elm* (40 p.e.) → sources extragalactiques à grand redshift
- *fir* (60 p.e.) → sources extragalactiques à petit redshift
- *ash* (80 p.e.) → sources galactiques avec  $\Gamma < 3$  et flux  $\geq 1\%$  du Crabe
- *teak* (110 p.e.) → sources galactiques avec  $\Gamma < 3$  et flux  $< 1\%$  du Crabe
- *ipe* (150 p.e.) → analyses morphologiques



Distribution de la largeur réduite des images (MRSW) pour des simulations de gammas et de hadrons (Crédit : Aharonian 2006)

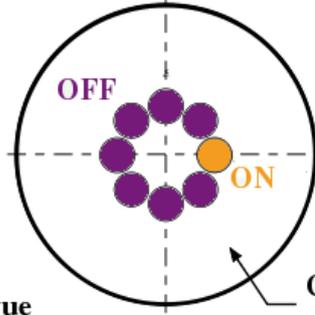
# Soustraction du bruit de fond résiduel : méthode On-Off

(a) Région miroir



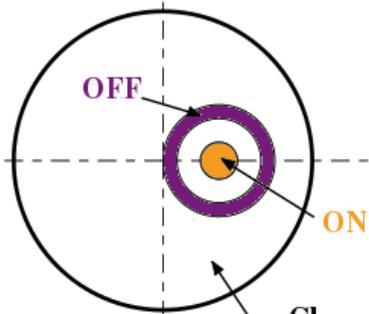
Champ de vue

(b) Région OFF multiples



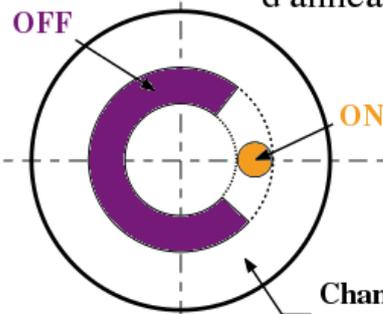
Champ de vue

(c) Région en anneau complet



Champ de vue

(d) Région en segment d'anneau



Champ de vue

- Définition d'une région ON contenant la source étudiée ( $N_{ON}$ )
- Définition d'une région OFF ne contenant pas de source afin d'estimer le bruit de fond résiduel ( $N_{OFF}$ )

- $\alpha = A_{ON} / A_{OFF}$

- Signal observé (excès) :

$$N_{ex} = N_{ON} - \alpha N_{OFF}$$

- Significativité :

$$\sigma \simeq \frac{N_{ON} - \alpha N_{OFF}}{\sqrt{N_{ON} + \alpha^2 N_{OFF}}} \quad (\text{cas gaussien})$$

$$\sigma = \sqrt{-2 \ln \lambda} \quad \text{Li et Ma 1983}$$

$$\lambda = \left[ \frac{\alpha}{1+\alpha} \left( \frac{N_{ON} + N_{OFF}}{N_{ON}} \right)^{N_{ON}} \right] \left[ \frac{1}{1+\alpha} \left( \frac{N_{ON} + N_{OFF}}{N_{OFF}} \right)^{N_{OFF}} \right]$$

Exemples de régions utilisées pour estimer et soustraire le bruit de fond résiduel dans le champ de vue d'une caméra

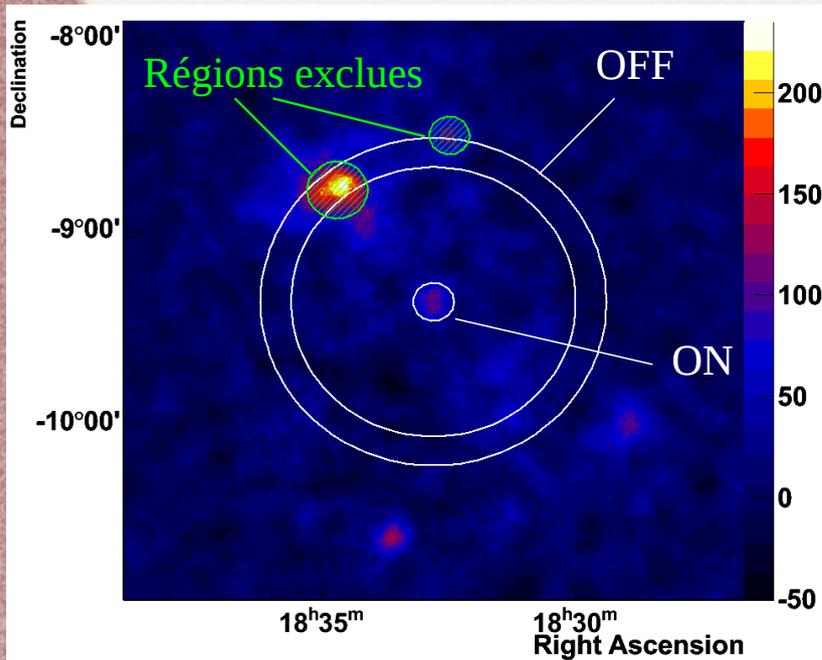
# *Sommaire*

1. L'astronomie gamma
2. H.E.S.S. et la technique d'imagerie Tcherenkov
- 3. Optimisation de la soustraction du bruit de fond**
4. Amélioration de la résolution angulaire
5. Application à la source HESS J1832-092
6. Interprétation physique
7. Conclusions et perspectives



# Optimisation de la soustraction du bruit de fond : Algorithme de double seuil

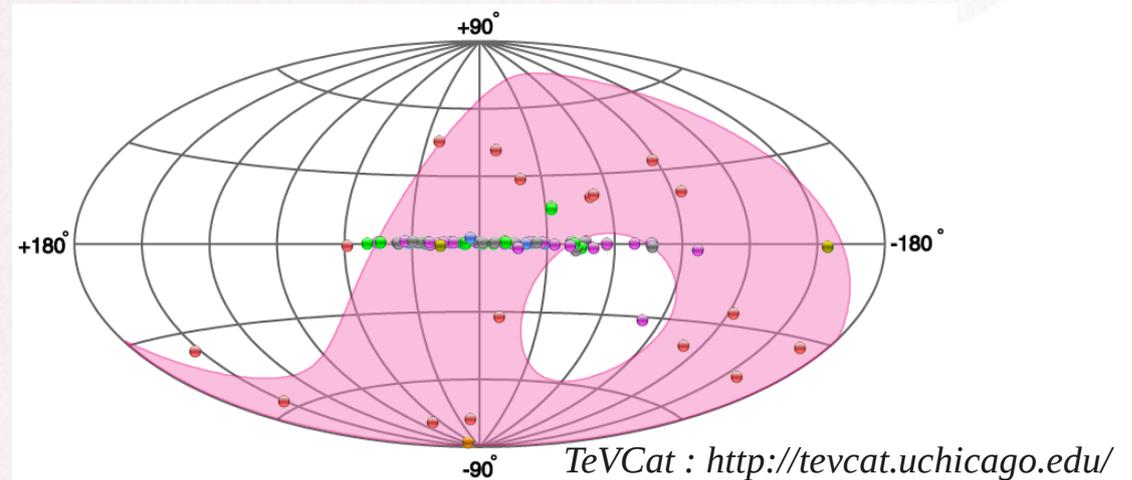
- Régions OFF ne doivent pas contenir de signal
- Définition de **régions d'exclusion** (régions présentant du signal) stockées dans une base de données



Carte d'excès d'un champ de vue galactique

- Analyse des sources faibles nécessite une attention particulière → bonne maîtrise du bruit de fond
  - Sources étendues et irrégulières
  - Minimisation des régions d'exclusion
- ➔ Développement d'un **algorithme automatique** (grand nombre de sources) de **création de régions d'exclusion « personnalisées »** : adaptées aux morphologies des sources observées

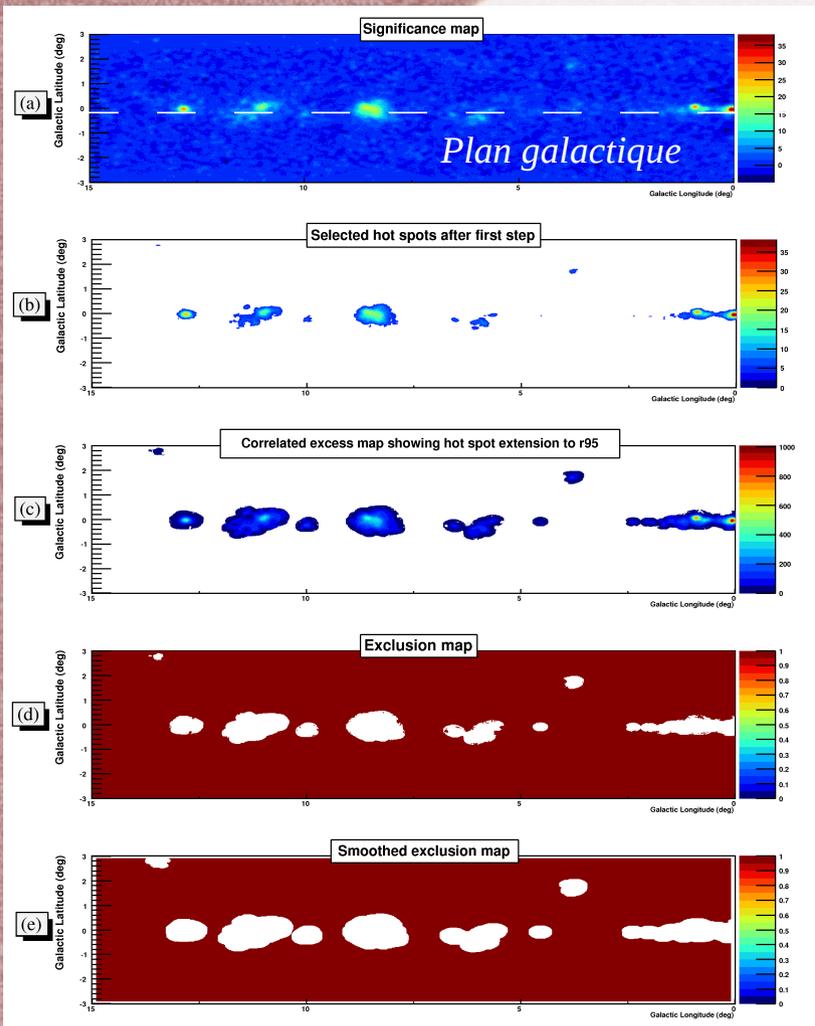
# Algorithme de double seuil : une double utilité



Sources gamma découvertes par H.E.S.S.

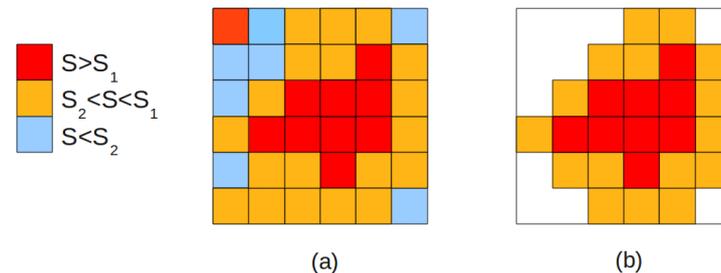
- Stratégie d'observation systématique du plan galactique par H.E.S.S.  
→ découverte de plus de 60 nouvelles sources galactiques
- Découverte potentielle de nouvelles sources plus faibles : « hot spots »
- Détection automatique de régions présentant du signal pour les cartes d'exclusion ⇒ repérage automatique des « hot spots »

# Algorithme de double seuil : Principe



- (a) Point de départ : carte de significativité analysée avec les régions standard
- (b) Sélection des pixels dont  $\sigma > S_1$  et pixels voisins dont  $\sigma > S_2$
- (c) Extension de la sélection à 95% de la PSF (fonction d'étalement) associée aux conditions d'observation et d'analyse du champ de vue
- (d) Création de la carte d'exclusion
- (e) Lissage de la carte

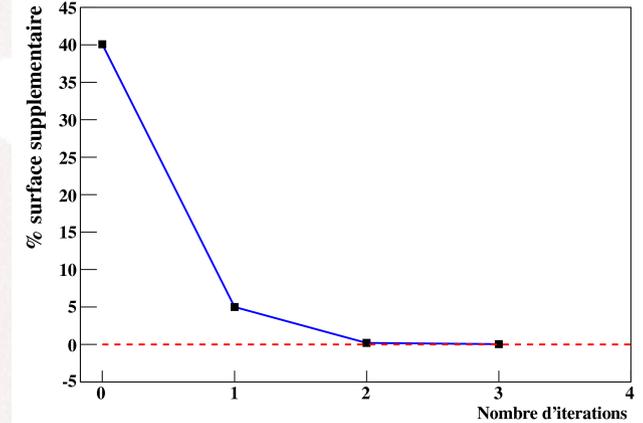
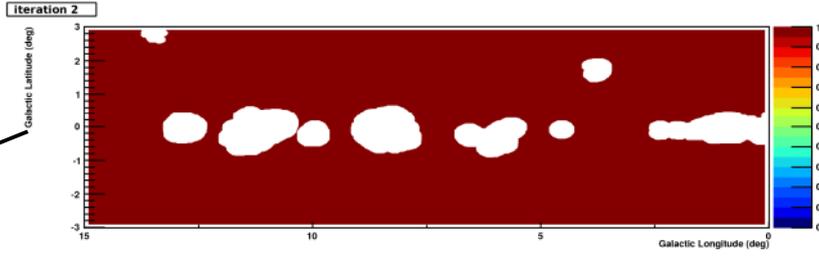
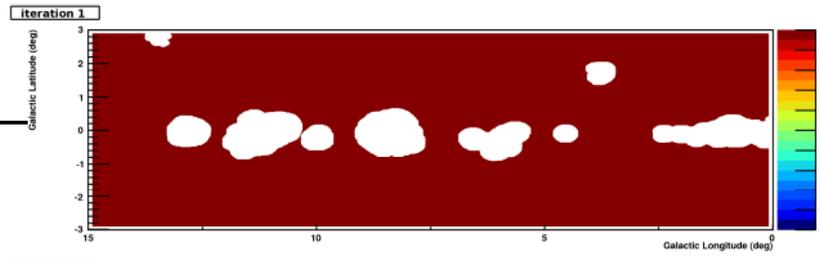
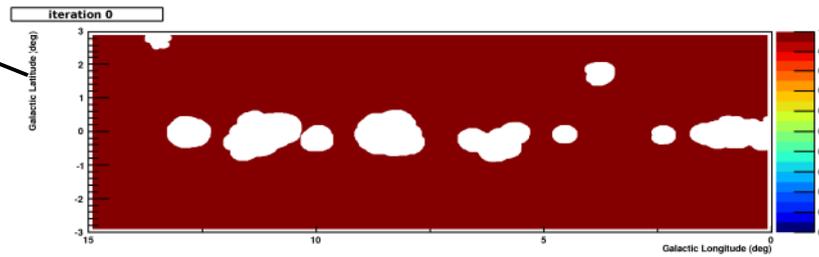
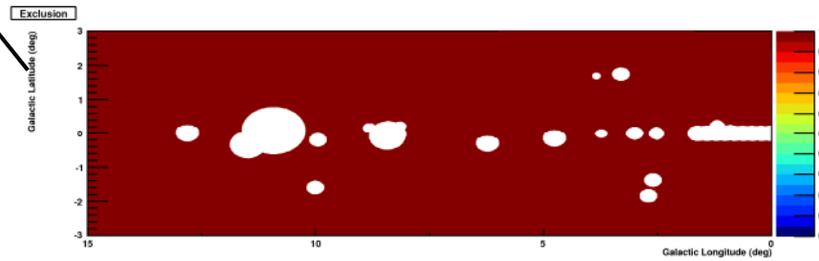
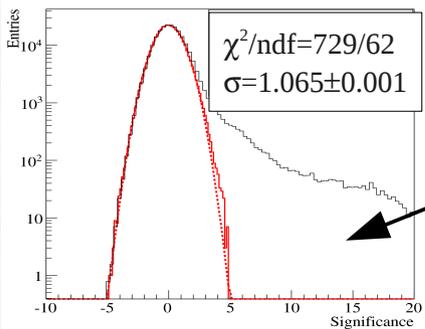
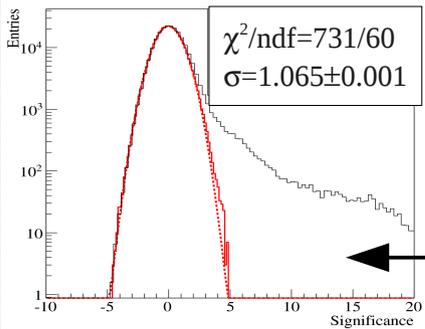
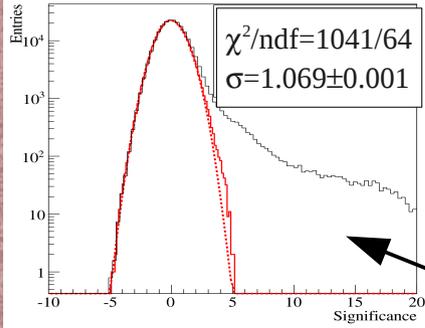
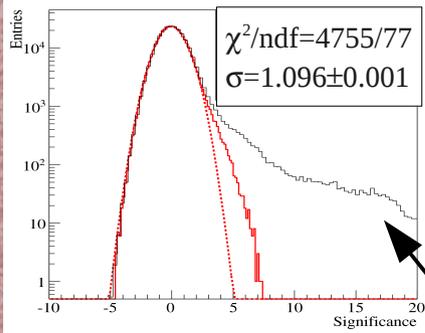
Étapes de l'algorithme de double seuil



Exemple de pixels sélectionnés par le système de double seuil

# Algorithme de double seuil

- Processus itératif : doit être répété jusqu'à convergence des régions



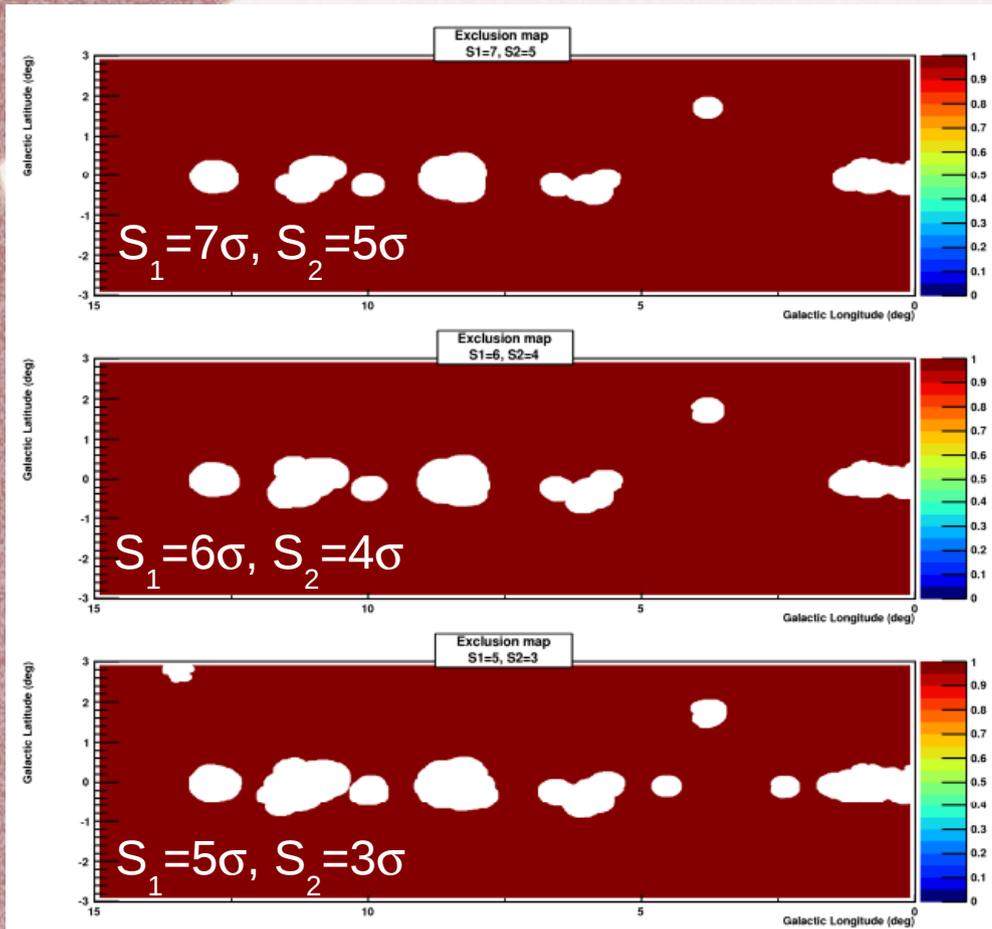
Variation de la surface exclue à chaque itération

- ➔ Fond beaucoup mieux soustrait avec les régions personnalisées
- ➔ Convergence des régions après 2 itérations

Cartes d'exclusion obtenues à chaque itération

Rouge : Distribution de la significativité dans les régions non exclues à chaque itération

# Algorithme de double seuil : Influence des seuils sur les régions d'exclusion



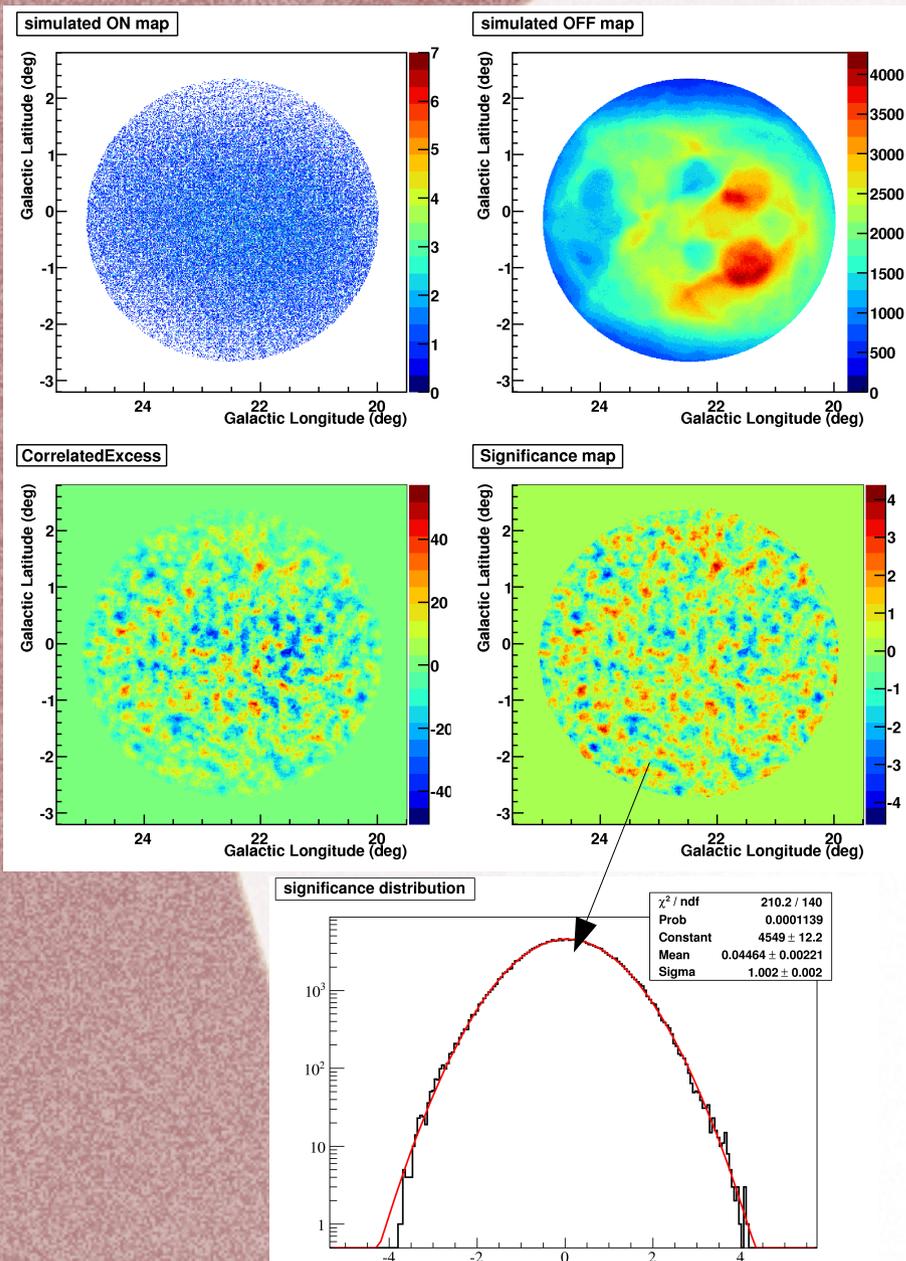
Cartes d'exclusion obtenues avec différents niveaux de seuil

$(S_1, S_2)$	Nombre de clusters	Surface exclue (deg <sup>2</sup> )
(7, 6)	7	5.61
(7, 5)	7	5.64
(6, 5)	7	6.67
(6, 4)	7	6.69
(5, 4)	10	8.47
(5, 3)	10	8.49

➔ Plus le seuil  $S_1$  est bas, plus le nombre de clusters détectés est grand et plus la surface exclue est grande

➔ Peu de changements avec la variation du seuil  $S_2$

# Algorithme de double seuil : détermination des seuils



- Choix déterminé par l'étude des fluctuations du fond
- Simulations de cartes ON et OFF à partir de cartes existantes selon une distribution poissonnienne
- Création de cartes d'excès et de significativité simulées
- Application de l'algorithme à ces cartes simulées
- Comptage du nombre de « fausses » sources détectées
- Différents seuils testés
- $10^5$  simulations réalisées pour chaque couple de seuils ( $S_1, S_2$ )

Distribution de significativité de la carte simulée

# Algorithme de double seuil : Simulation des fluctuations du fond

$(S_1, S_2)$	Nb de fausses détections	Probabilité associée
(7, 6)	0	$<10^{-5}$
(7, 5)	0	$<10^{-5}$
(6, 5)	11	$1.1 \cdot 10^{-4}$
(6, 4)	11	$1.1 \cdot 10^{-4}$
(5, 4)	1894	$1.9 \cdot 10^{-2}$
(5, 3)	1953	$1.9 \cdot 10^{-2}$
(-5, -3)	2390	$2.4 \cdot 10^{-2}$
(-6, -4)	13	$1.3 \cdot 10^{-4}$
(-7, -5)	0	$<10^{-5}$

- Aucune fausse détection avec un seuil  $S_1 = 7\sigma$
- $\leq 2\%$  de fausses détections pour les seuils  $(5\sigma, 4\sigma)$  et  $(5\sigma, 3\sigma)$
- Tests sur les seuils négatifs compatibles avec les résultats des seuils positifs correspondants

# Algorithme de double seuil : Simulation des fluctuations du fond

$(S_1, S_2)$	Nb de fausses détections	Probabilité associée
(7, 6)	0	$<10^{-5}$
(7, 5)	0	$<10^{-5}$
(6, 5)	11	$1.1 \cdot 10^{-4}$
(6, 4)	11	$1.1 \cdot 10^{-4}$
(5, 4)	1894	$1.9 \cdot 10^{-2}$
(5, 3)	1953	$1.9 \cdot 10^{-2}$
(-5, -3)	2390	$2.4 \cdot 10^{-2}$
(-6, -4)	13	$1.3 \cdot 10^{-4}$
(-7, -5)	0	$<10^{-5}$

- Aucune fausse détection avec un seuil  $S_1 = 7\sigma$
- $\leq 2\%$  de fausses détections pour les seuils  $(5\sigma, 4\sigma)$  et  $(5\sigma, 3\sigma)$
- Tests sur les seuils négatifs compatibles avec les résultats des seuils positifs correspondants

Définition de 2 niveaux de seuils pour 3 buts différents :

- $(5\sigma, 3\sigma)$  → Création de **cartes d'exclusion**  
→ Détection de **nouveaux hot spots**
- $(7\sigma, 5\sigma)$  → **Confirmation de détection** de sources  
(aucune fausse détection)

# Sommaire

1. L'astronomie gamma
2. H.E.S.S. et la technique d'imagerie Tcherenkov
3. Optimisation de la soustraction du bruit de fond
4. **Amélioration de la résolution angulaire**
5. Application à la source HESS J1832-092
6. Interprétation physique
7. Conclusions et perspectives



# Amélioration de la résolution angulaire : motivations

- Découverte de nouvelles sources:
  - 10 ans d'observations avec H.E.S.S. → sources les plus brillantes déjà découvertes
  - Limitations instrumentales et observationnelles
  - Méthodes d'analyse doivent être plus performantes pour détecter des sources toujours plus faibles
  - Meilleure résolution angulaire permet d'**augmenter la statistique** et la significativité des sources faibles  
→ **Détection**
- **Analyses morphologiques** plus fines des sources brillantes étendues
- Études de variabilité plus précises

# *Amélioration de la résolution angulaire*

- Solution 1 : Augmenter les coupures (charge de l'image, multiplicité des télescopes,...)
  - ➔ Sélection des événements les mieux reconstruits
  - ➔ Problème : forte diminution de la statistique
- Solution 2 : Tirer parti des différentes méthodes de reconstruction disponibles et les utiliser judicieusement
  - ➔ Pas de coupures supplémentaires, tous les événements sont utilisés
  - ➔ Difficulté : déterminer dans quel cas utiliser quelle méthode

# *Amélioration de la résolution angulaire*

- Solution 1 : Augmenter les coupures (charge de l'image, multiplicité des télescopes,...)
  - ➔ Sélection des événements les mieux reconstruits
  - ➔ Problème : forte diminution de la statistique
- Solution 2 : Tirer parti des différentes méthodes de reconstruction disponibles et les utiliser judicieusement
  - ➔ Pas de coupures supplémentaires, tous les événements sont utilisés
  - ➔ Difficulté : déterminer dans quel cas utiliser quelle méthode

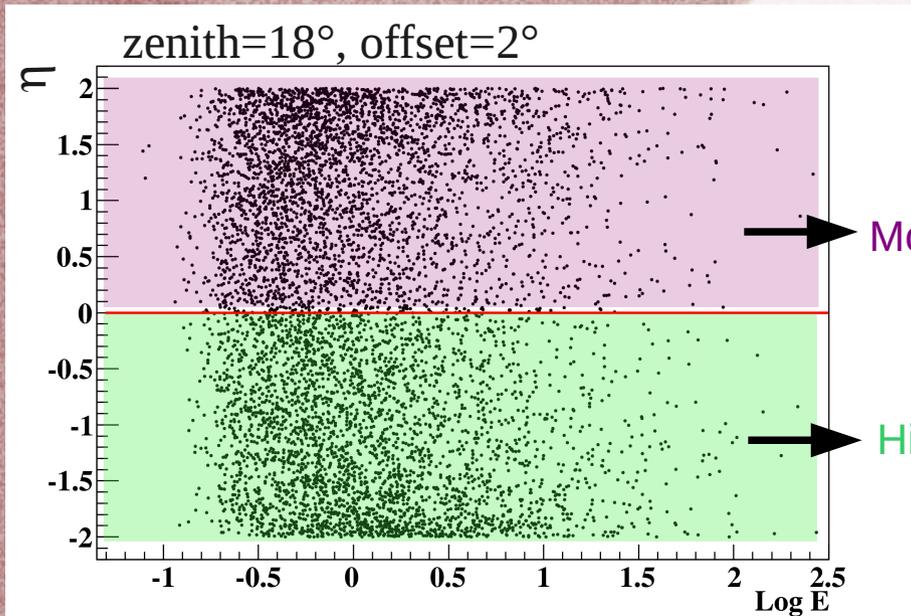
# Amélioration de la résolution angulaire : Méthodologie

- Simulations Monte Carlo pour différents jeux de variables observationnelles (efficacité optique, angle zénithal, offset)
- Définition de la variable  $\eta$  permettant de comparer les reconstructions entre elles et de quantifier l'amélioration potentielle en résolution angulaire:

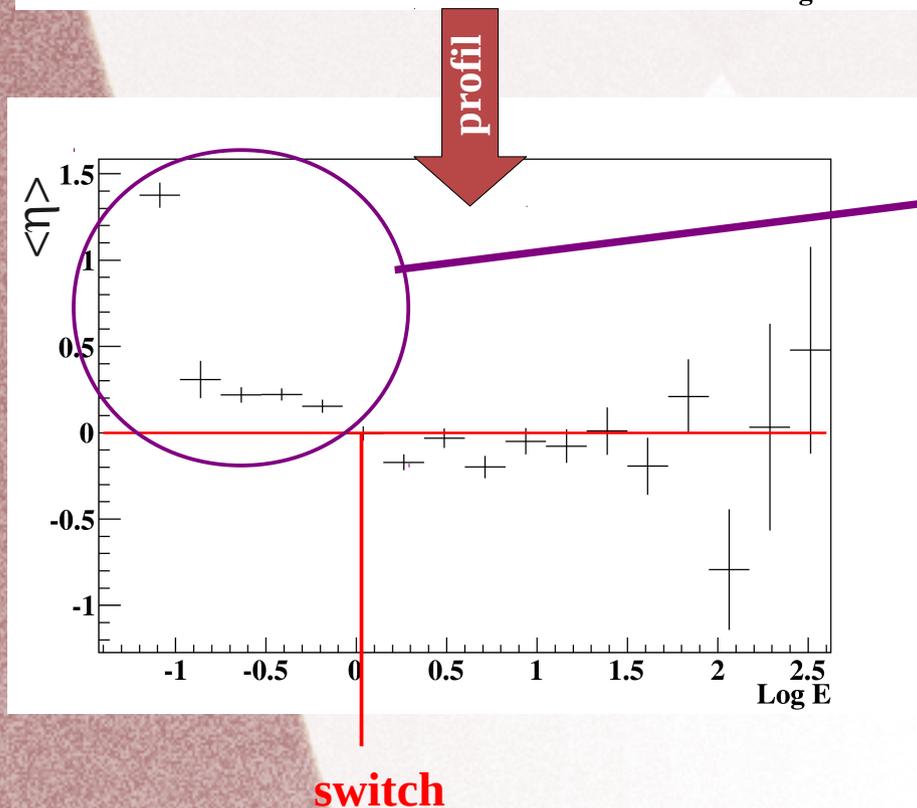
$$\eta = 2 \frac{\theta_{Hillas}^2 - \theta_{M3D}^2}{\theta_{Hillas}^2 + \theta_{M3D}^2} \quad \begin{array}{l} \eta > 0 \rightarrow \text{Model3D meilleur} \\ \eta < 0 \rightarrow \text{Hillas meilleur} \end{array} \quad \eta > 1 \rightarrow 67\% \text{ d'amélioration avec Model3D}$$

- $\xi \equiv$  signe de  $\eta$
- Etude du comportement de  $\eta$  en fonction des paramètres de gerbe reconstruits par chaque méthode (énergie, paramètre d'impact, hauteur du maximum de gerbe,....)
- Recherche dans quel cas Model3D peut apporter une amélioration significative (Hillas utilisé par défaut)

# Amélioration de la résolution angulaire : Exemple : énergie



- Angle zénithal 18°, offset 2°, 70% d'efficacité optique

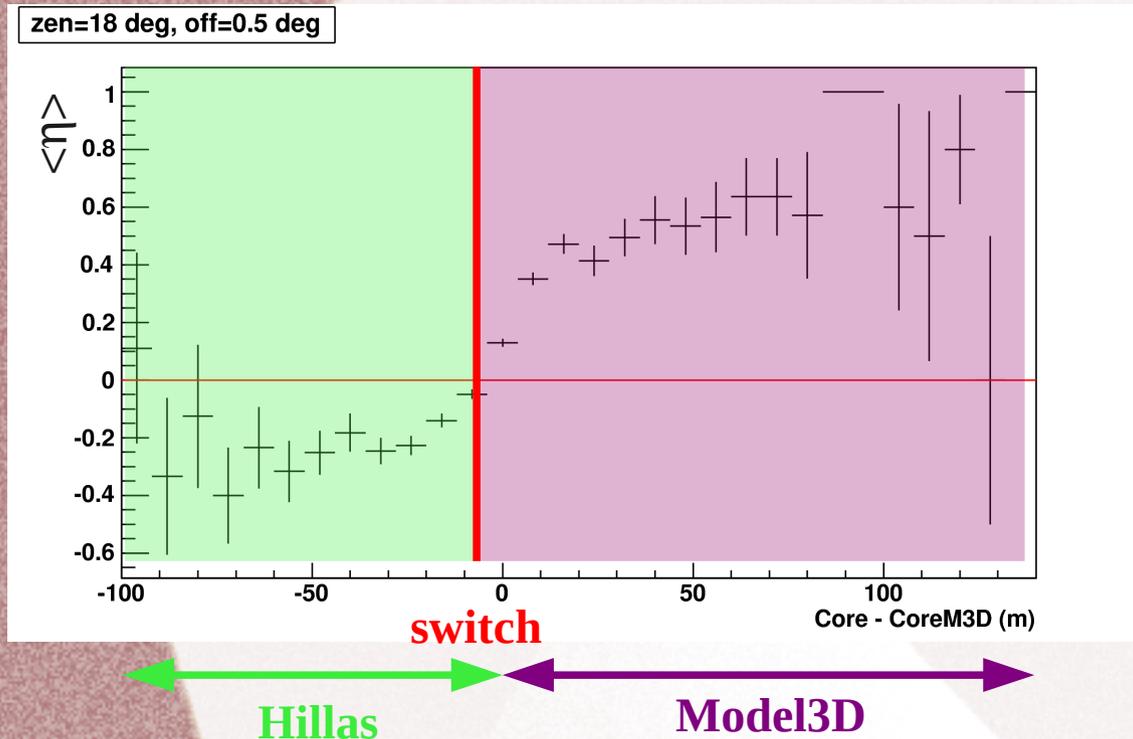


Model3D meilleur en moyenne pour  $E < \text{switch} = 1 \text{ TeV}$

- Nombre total d'événements  $\eta > 0$  : 51 %
- Nombre total d'événements dont  $E < 1 \text{ TeV}$  et  $\eta > 0$  : 56 %

# Amélioration de la résolution angulaire

$\langle \eta \rangle = f(\text{paramètre d'impact Hillas-paramètre d'impact M3D}) = f(\Delta \text{core})$



- Angle zénithal  $18^\circ$ , offset  $0.5^\circ$ , 70% d'efficacité optique
- Nombre total d'événements  $\eta > 0$  : 54 %
- Nombre total d'événements dont  $\Delta \text{core} > -7$  m et  $\eta > 0$  : 72 %

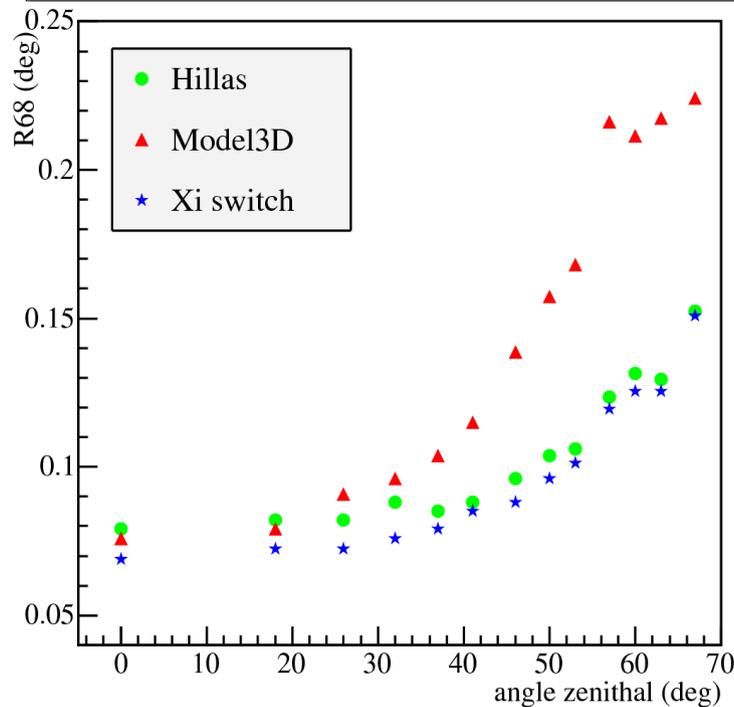
➔ Choix de ce paramètre de sélection

➔ Création de **tables de décision** donnant la valeur du switch pour chaque jeu de variables observationnelles (efficacité optique, zénith, offset) et configuration d'analyse

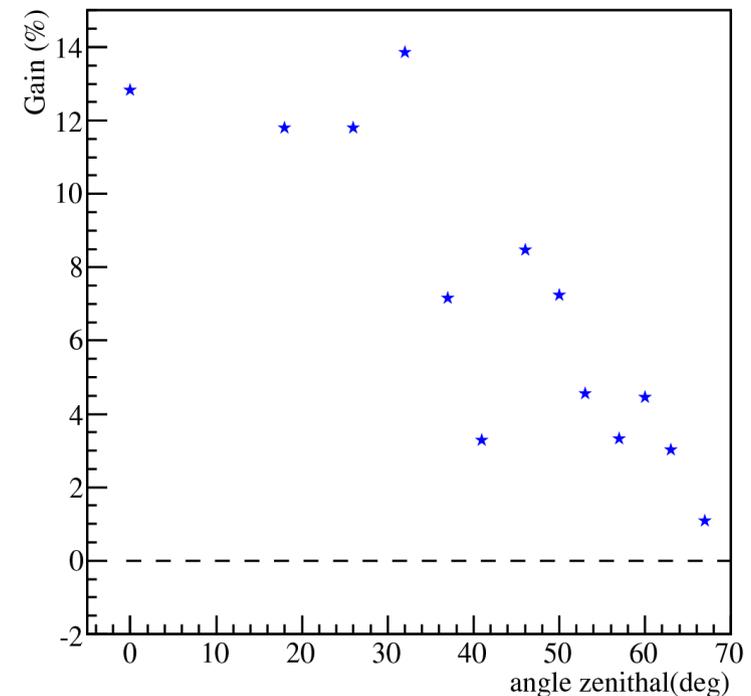
# Amélioration de la résolution angulaire : Performances obtenues

➤ Exemple : 70% d'efficacité optique, offset=1.5°

Résolution angulaire=f(angle zénithal)



Amélioration résolution angulaire (%)



- ➔ Amélioration >10% par rapport à la reconstruction Hillas pour les petits angles zénithaux ( $\leq 30^\circ$ )
- ➔ Gain significatif pour les objets situés à  $1.5^\circ$  du centre du champ de vue → très utile pour le scan du plan galactique

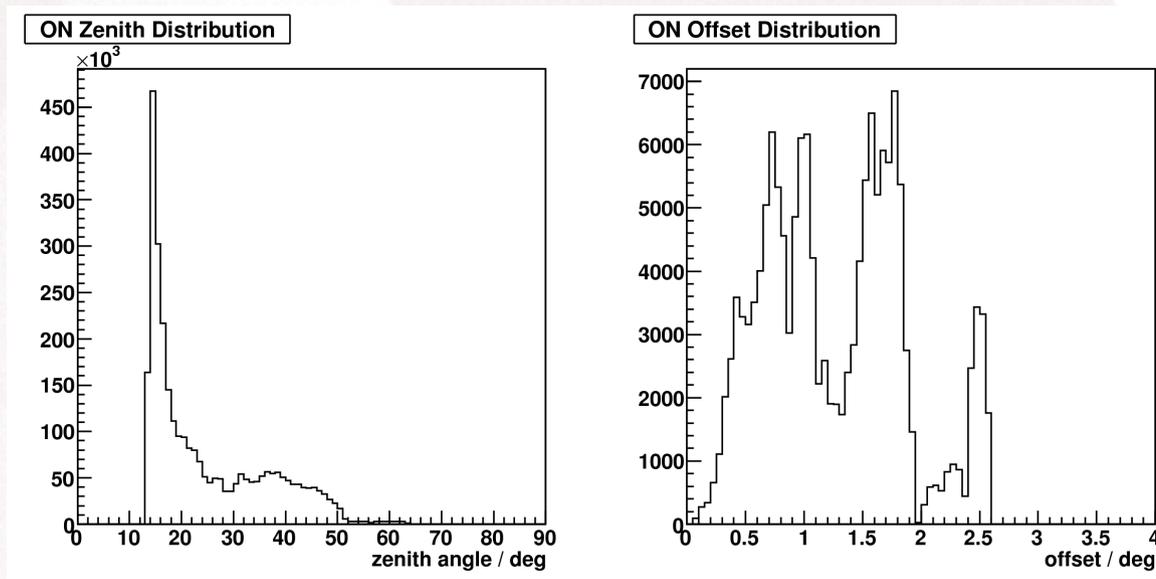
# Sommaire

1. L'astronomie gamma
2. H.E.S.S. et la technique d'imagerie Tcherenkov
3. Optimisation de la soustraction du bruit de fond
4. Amélioration de la résolution angulaire
5. Application à la source HESS J1832-092
6. Interprétation physique
7. Conclusions et perspectives

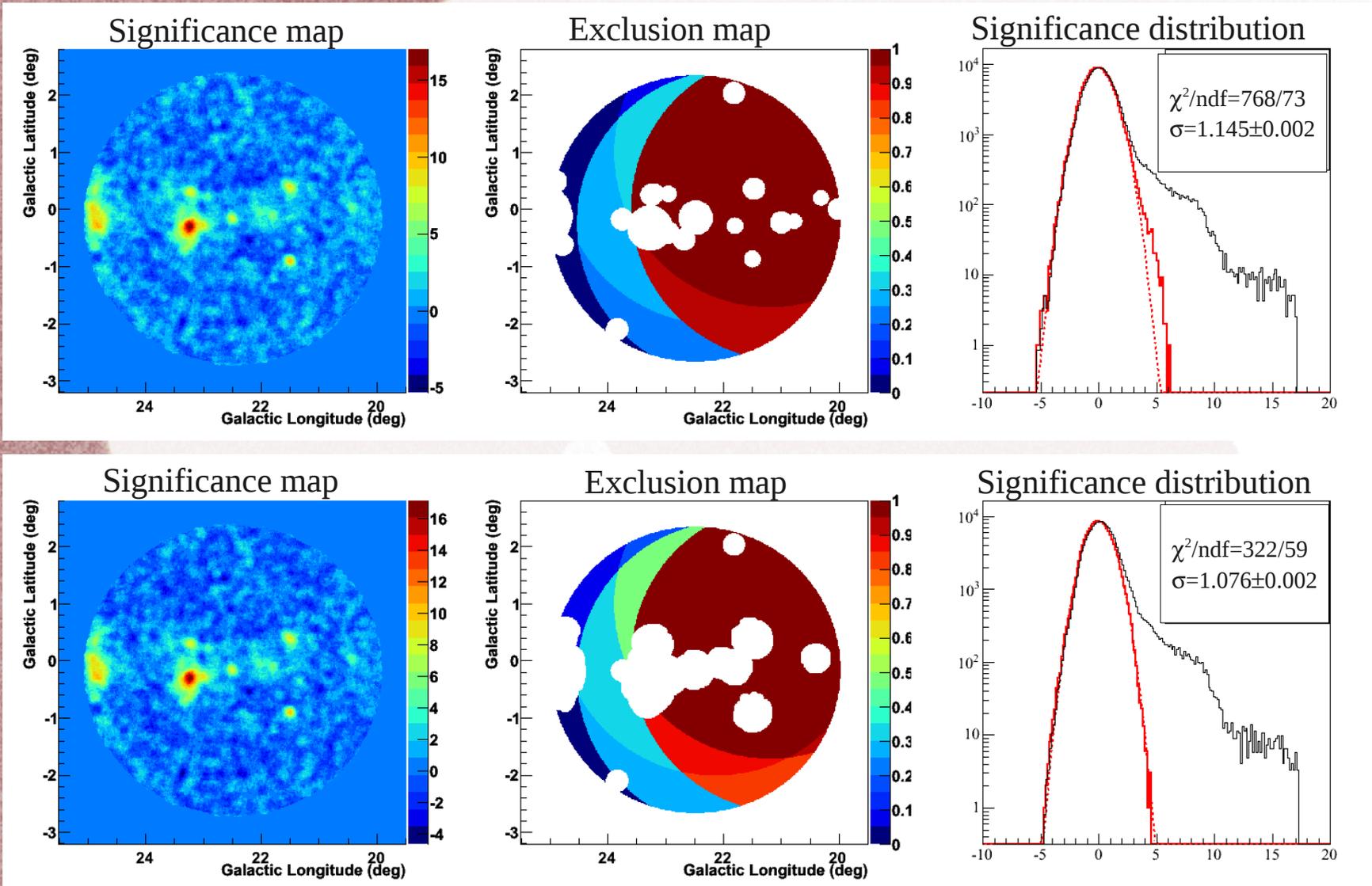


# Application à la région du vestige du supernova G22.7-0.2 : Etude de HESS J1832-092

- Vestiges de supernovae bons candidats pour l'accélération des rayons cosmiques dans notre Galaxie
- Relevé du plan galactique : découverte d'un hot spot en coïncidence avec une partie de la coquille de SNR G22.7-0.2
- Analyse du champ de vue en utilisant les outils présentés (carte d'exclusion personnalisée et combinaison des reconstructions Hillas et Model3D)
- 65h d'observations disponibles de 2004 à 2011



# Etude de la source HESS J1832-092

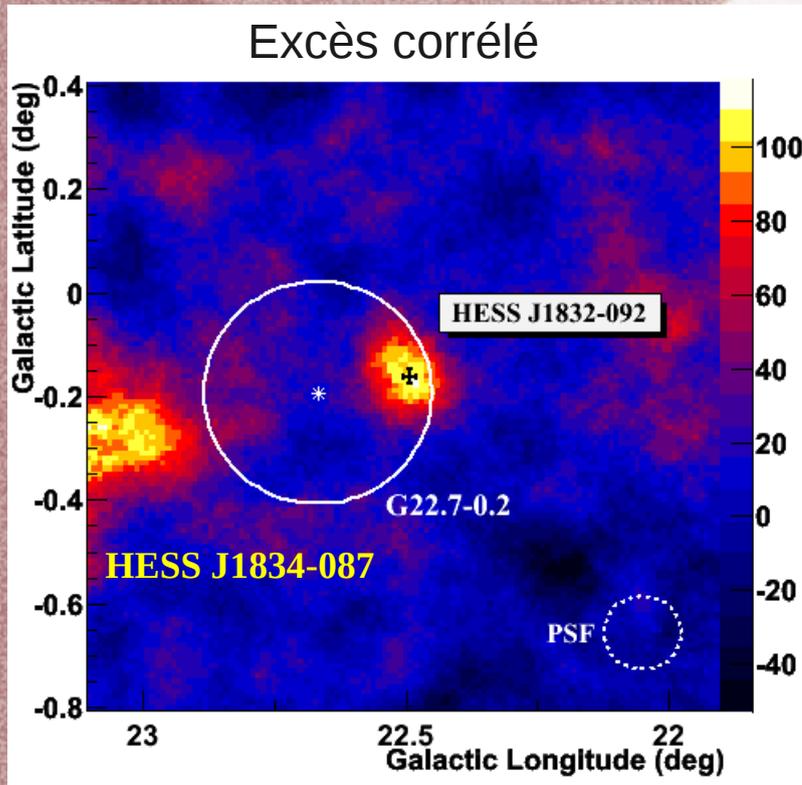


*Régions  
standard*

*Régions  
personnalisées*

➔ Régions personnalisées permettent une meilleure soustraction  
du bruit de fond

# Etude de la source HESS J1832-092

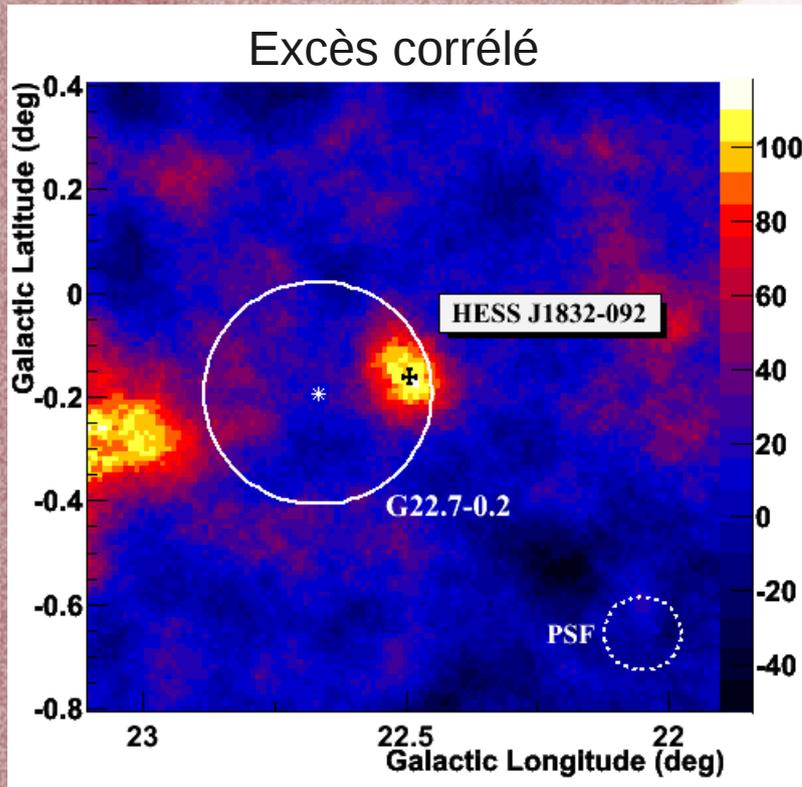


Carte d'excès corrélé à la taille de la PSF=0.074°

	Hillas	$\xi$ switch
Régions classiques	$N_{\text{ON}}=409$ $N_{\text{OFF}}=3533$ $\alpha=0.079$ Excès=129 $\sigma=6.9$ $\sigma_{\text{post-trials}}=4.1$	$N_{\text{ON}}=415$ $N_{\text{OFF}}=3519$ $\alpha=0.079$ Excès=135 $\sigma=7.2$ $\sigma_{\text{post-trials}}=4.6$
Régions personnalisées	$N_{\text{ON}}=409$ $N_{\text{OFF}}=2543$ $\alpha=0.106$ Excès=139 $\sigma=7.4$ $\sigma_{\text{post-trials}}=4.9$	$N_{\text{ON}}=415$ $N_{\text{OFF}}=2632$ $\alpha=0.106$ Excès=144 $\sigma=7.7$ $\sigma_{\text{post-trials}}=5.3$

- PSF → 7% d'amélioration (0.081° → 0.074°)
- Significativité de la source doit être corrigée du nombre d'essais =  $8.4 \cdot 10^6$  afin de prendre en compte la probabilité que la source soit une fluctuation (proportionnelle à la taille de la carte)
- Significativité finale  $> 5 \sigma$  → Détection ( $\sigma/\sqrt{t}=0.95$ )

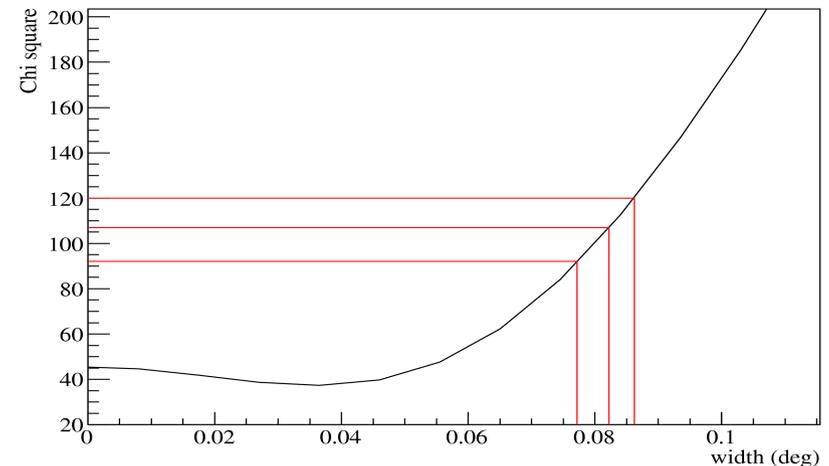
# Etude de la source *HESS J1832-092*



Carte d'excès corrélé à la  
taille de la PSF =  $0.074^\circ$

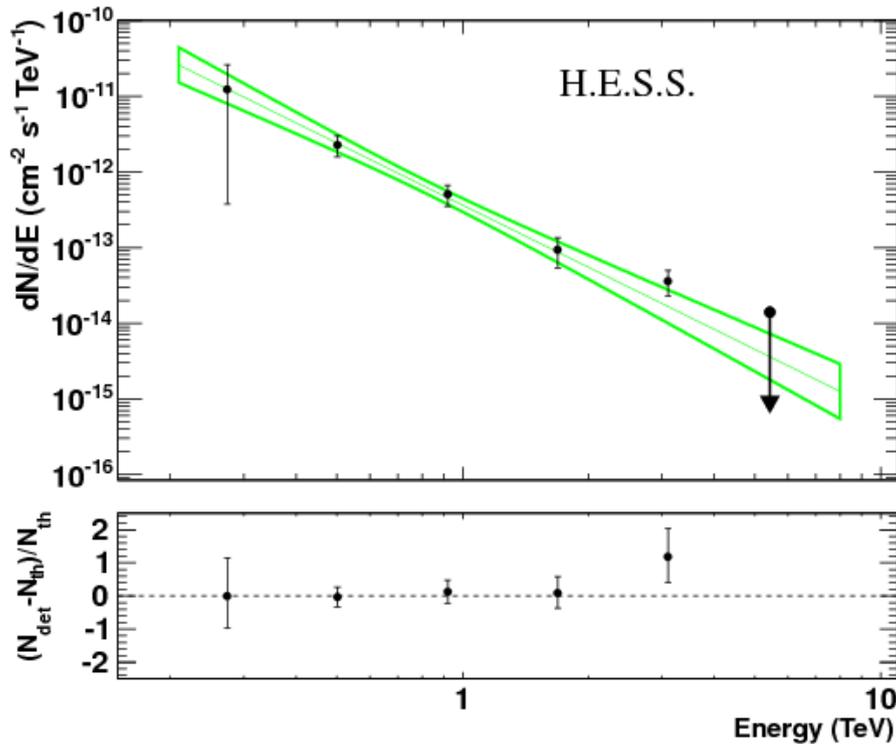
Courbe de variation du  $\chi^2$  de l'ajustement  
de la source par une gaussienne 2D →

- Ajustement de la source par une gaussienne 2D symétrique
- Position :  $l=22.49\pm 0.01^\circ$ ,  $b=-0.16\pm 0.01^\circ$  (coordonnées galactiques)
- Taille intrinsèque:  $0.036^\circ \text{ }^{+0.015^\circ}_{-0.023^\circ}$
- Compatible avec une **source ponctuelle**

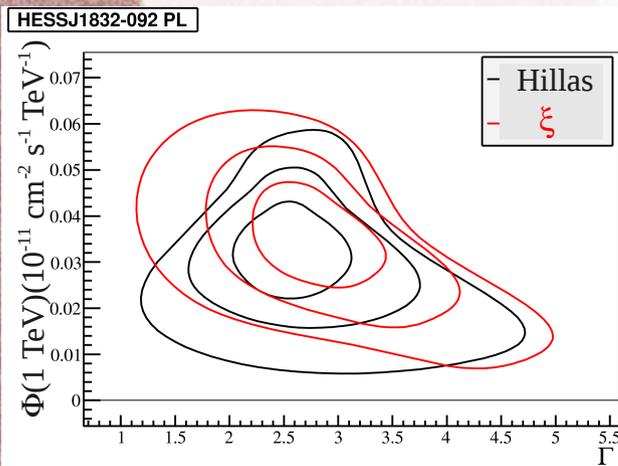


- Limite supérieure de  $0.089^\circ$  à 99% de confiance  
dérivée de la courbe de  $\chi^2$

# Etude de la source HESS J1832-092



Spectre en loi de puissance et résidus correspondants



Contours d'erreur sur le flux et l'indice ajustés

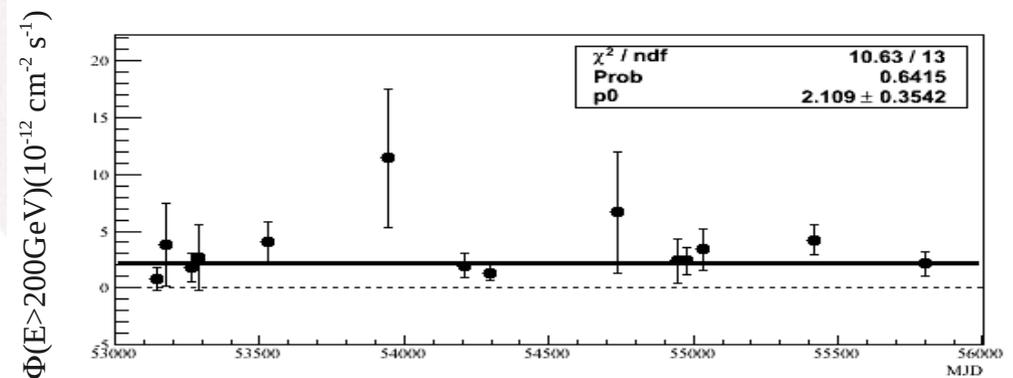
- Analyse spectrale (210 GeV- 8 TeV) : hypothèse de loi de puissance

$$\frac{d\Phi}{dE} = \Phi_0 \left( \frac{E}{1\text{TeV}} \right)^{-\Gamma}$$

$$\Gamma = 2.7 \pm 0.4_{\text{stat}} \pm 0.2_{\text{syst}}$$

$$\Phi_0 = (3.6 \pm 0.7_{\text{stat}} \pm 0.7_{\text{syst}}) \times 10^{-13} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ TeV}^{-1}$$

$$\Phi_{E>1\text{TeV}} = (1.8 \pm 0.5_{\text{stat}} \pm 0.4_{\text{syst}}) \times 10^{-13} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$



Courbe de lumière (mois par mois)

- ➔ 0.8% du flux du Crabe
- ➔ Contours d'erreurs compatibles avec la reconstruction Hillas seule
- ➔ Pas de variabilité observée

# Sommaire

1. L'astronomie gamma
2. H.E.S.S. et la technique d'imagerie Tcherenkov
3. Optimisation de la soustraction du bruit de fond
4. Amélioration de la résolution angulaire
5. Application à la source HESS J1832-092
6. Interprétation physique
7. Conclusions et perspectives



# Contreparties multi-longueurs d'onde : SNR G22.7-0.2

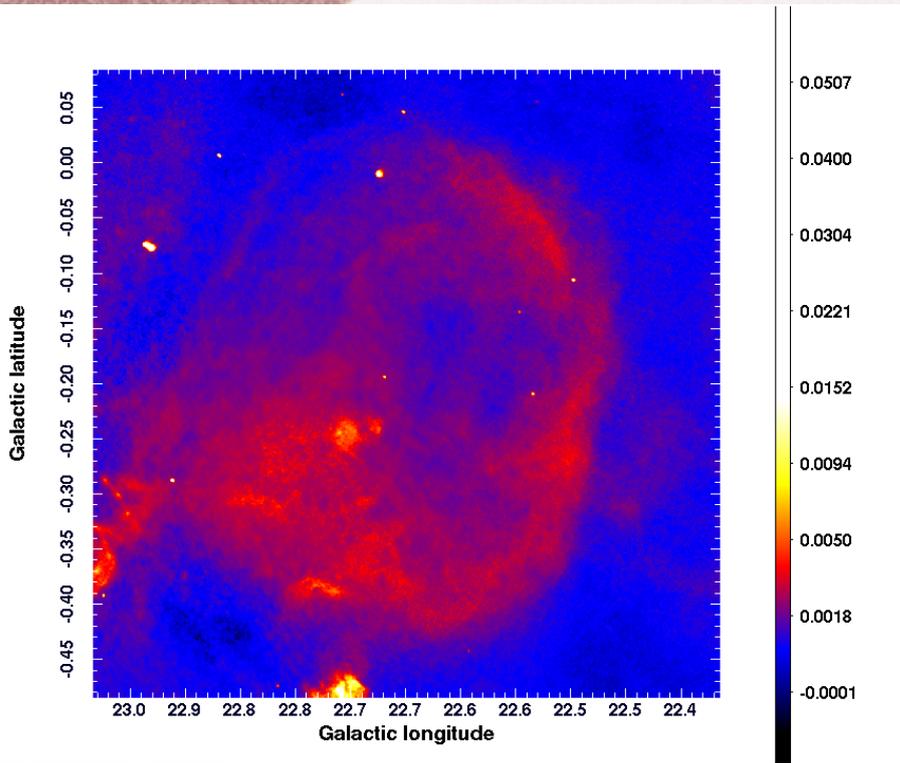


Image MAGPIS (1.4 GHz) vue  
par les télescopes VLA  
Helfand et al 2006  
<http://third.ucllnl.org/gps/>

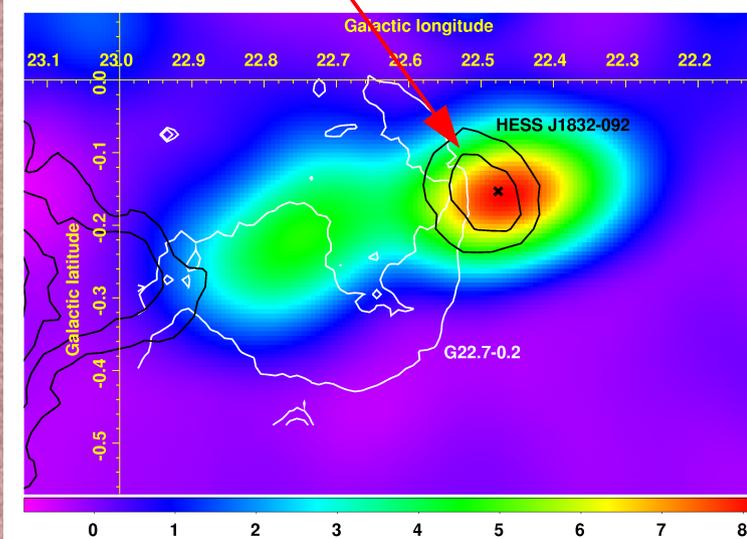
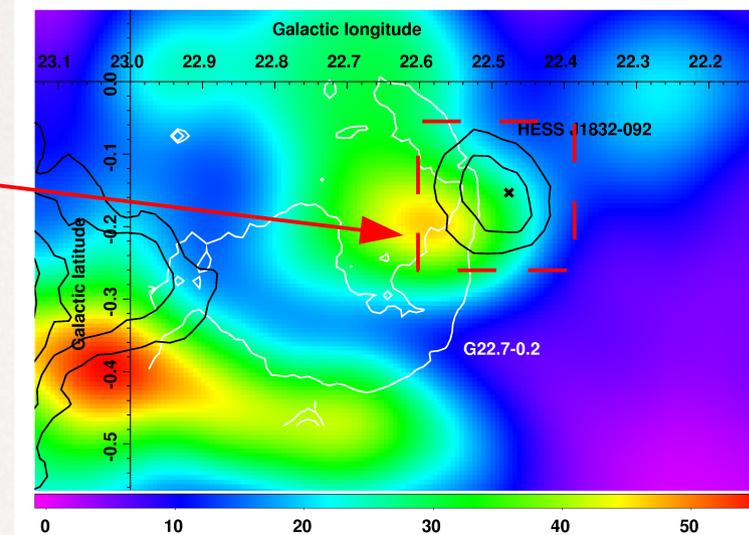
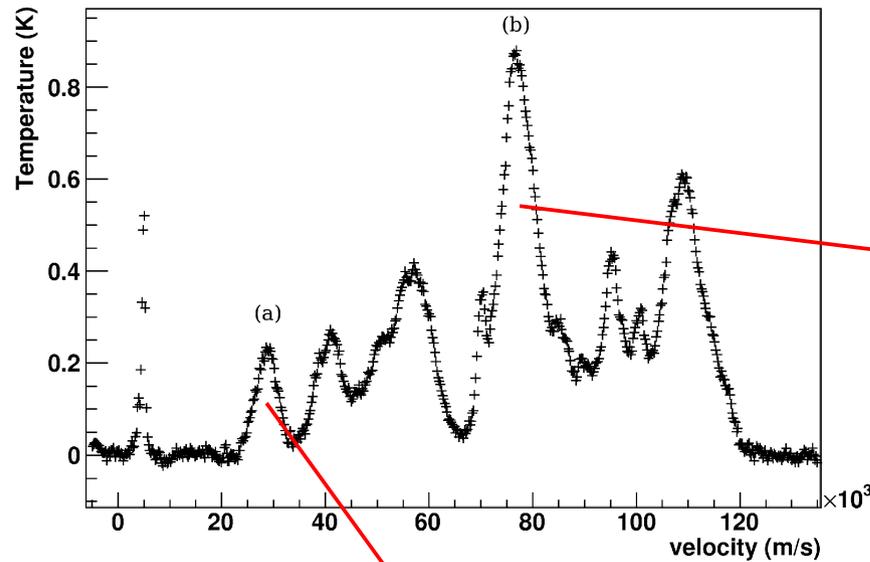
- $l=22.7^\circ$ ,  $b=-0.2^\circ$
- Diamètre 26'
- Anneau semi-complet non thermique
- Flux à 1 GHz = 33 Jy
- Estimations de distance :
  - 2.7 kpc (*Shaver et Goss 1970*)
  - $3.7 \pm 1$  kpc (*Guseinov 2003*)
  - $4.2 \pm 0.3$  kpc (*Leahy et Tian 2008*)

# Contreparties

## multi-longueurs d'onde : nuages moléculaires $^{13}\text{CO}$

Jackson et al 2006

<http://www.bu.edu/galacticring/>



- Présélection des nuages  $^{13}\text{CO}$  dans un carré de  $0.2^\circ$  autour de HESS J1832-092
- Sélection des deux pics dont le barycentre est le plus proche de la position de la source H.E.S.S.
- ➔ Situés à 28 km/s (a) et 77 km/s (b)

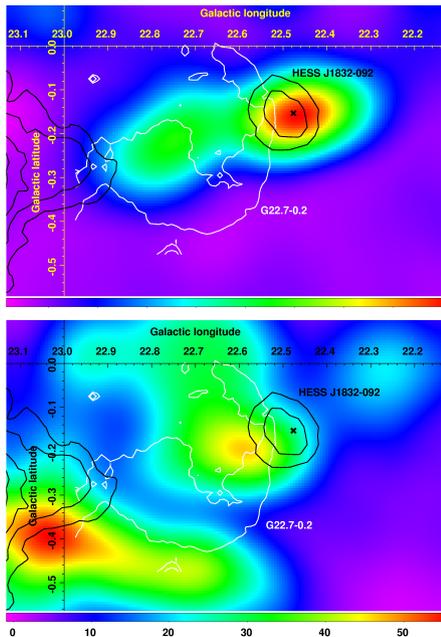
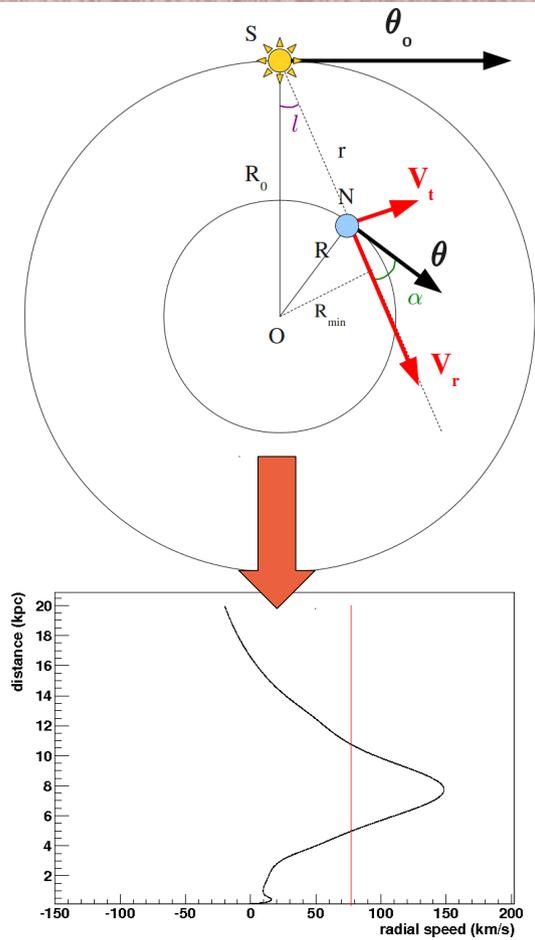
couleur : température  $^{13}\text{CO}$

blanc : contour radio SNR G22.7-0.2

noir : contour excès HESS J1832-092

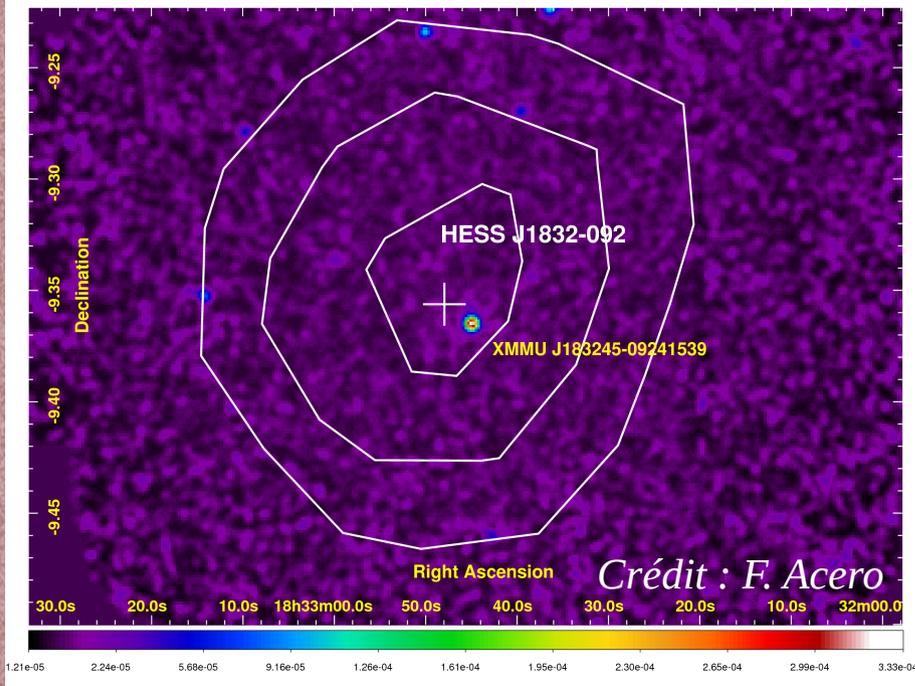
# Contreparties multi-longueurs d'onde : nuages moléculaires $^{13}\text{CO}$

- À une vitesse radiale donnée correspondent deux distances possibles (proche et lointaine)
- Utilisation du modèle de rotation galactique de Hou et al (2009)
- Calcul des masses et densités de chaque nuage considéré pour les 2 distances possibles (*Simon et al 2001*)

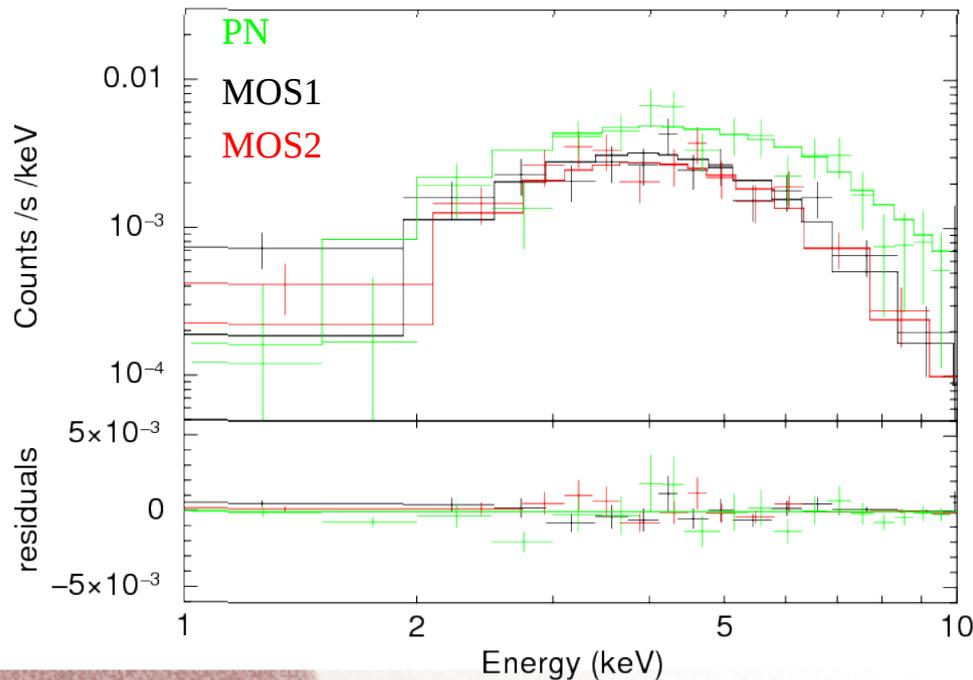


<b>Nuage (a)</b>	<b>Distance proche</b> 2.3 kpc	<b>Distance lointaine</b> 12.5 kpc
Masse	710 $M_{\odot}$	$2.2 \cdot 10^4 M_{\odot}$
Densité	$20 \text{ cm}^{-3}$	$4 \text{ cm}^{-3}$
<b>Nuage (b)</b>	<b>Distance proche</b> 4.5 kpc	<b>Distance lointaine</b> 10.2 kpc
Masse	$2.5 \cdot 10^4 M_{\odot}$	$1.3 \cdot 10^5 M_{\odot}$
Densité	$62 \text{ cm}^{-3}$	$28 \text{ cm}^{-3}$

# Contreparties multi-longueurs d'onde : Rayons X



Carte X en flux avec contours de significativité  
H.E.S.S. en blanc



Spectre en loi de puissance pour chaque instrument PN,  
MOS1 et MOS2 Crédit : F. Acero

- Découverte du hot spot  
→ proposition d'observation  
soumise à XMM-Newton  
→ 18 ks disponibles
- Source ponctuelle à  $\sim 1'$  de la  
position H.E.S.S. :  
XMMU J183245-0924539
- Pas de pulsations détectées
- Corps noir absorbé :  

$$\Phi(2-10 \text{ keV}) = (5.7_{-2.2}^{+1.3}) 10^{-13} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$kT = 1.9_{-0.2}^{+0.6} \text{ keV}$$

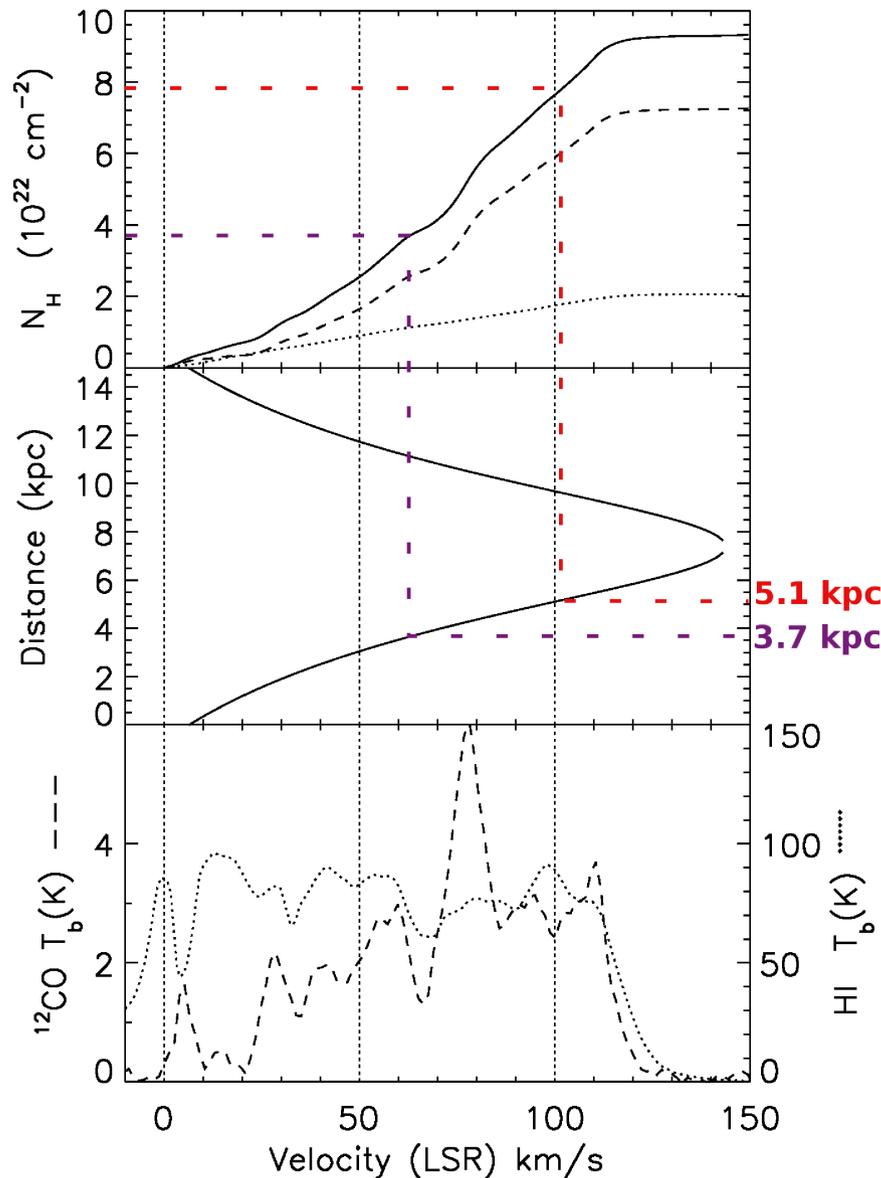
$$N_H = (5.5_{-1.8}^{+1.3}) 10^{22} \text{ cm}^{-2}$$
- Loi de puissance absorbée :  

$$\Phi(2-10 \text{ keV}) = (6.9_{-1.8}^{+1.7}) 10^{-13} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$\Gamma = 1.3_{-0.4}^{+0.5}$$

$$N_H = (10.5_{-2.7}^{+3.1}) 10^{22} \text{ cm}^{-2}$$

# Contreparties multi-longueurs d'onde : Rayons X



Colonne d'absorption dérivée des données  $H_I$  (McClure-Griffiths et al 2009, Kalberla et al 2010) et  $^{12}\text{CO}$  (Dame et al 2001)  
Crédit : F. Acero

- Estimation de distance à partir de la colonne d'absorption : comparaison avec les  $N_H$  mesurés en  $H_I$  et  $^{12}\text{CO}$
- Hypothèse : tout le matériel absorbant est situé aux distances proches
- Corps noir absorbé :

$$N_H^{\min} = 3.7 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$$

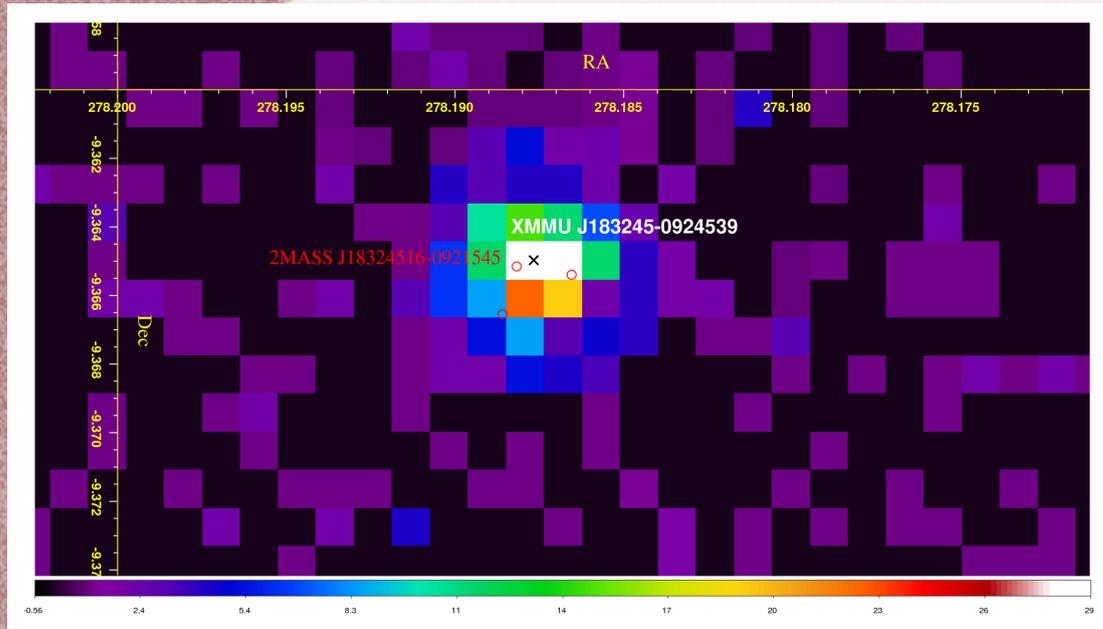
$$\text{Distance}^{\min} = 3.7 \text{ kpc}$$

- Loi de puissance absorbée :

$$N_H^{\min} = 7.8 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$$

$$\text{Distance}^{\min} = 5.1 \text{ kpc}$$

# Contreparties multi-longueurs d'onde : Infrarouge



Carte en coups de la source XMMU J183245-0924539  
avec contreparties IR du catalogue 2MASS en rouge

- Présence d'une source 2MASS à 1.9" du centre de gravité de XMMU J183245-0924539 :  
2MASS J18324516-0921545
- $m_J = 15.52 \pm 0.06$
- $m_H = 13.26 \pm 0.04$
- $m_K = 12.17 \pm 0.02$
- Pas de contreparties en optique

# ***Contreparties multi-longueurs d'onde : Fermi - GeV***

- Pas de source Fermi à la position de HESS J1832-092 dans le catalogue 2FGL
- Analyse du champ de vue difficile car nombreuses sources
- Limite supérieure estimée entre 10 et 30 GeV à partir de la sensibilité du détecteur Fermi-LAT:
  - Flux  $\leq 5 \times 10^{-13}$  erg cm<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>

# Scénarios possibles

	SNR 1.4 GHz (VLA)	<sup>13</sup> CO MC	IR (2MASS)	X-ray (XMM)	GeV (Fermi)	TeV (H.E.S.S.)
SNR/MC	×	×			×	×
Pulsar/PWN	?			×		×
AGN			?	×	×	×
Binary			×	×		×

- Utilisation des données MWL disponibles en fonction du scénario considéré

# Scénarios possibles

	SNR 1.4 GHz (VLA)	<sup>13</sup> CO MC	IR (2MASS)	X-ray (XMM)	GeV (Fermi)	TeV (H.E.S.S.)
SNR/MC	×	×			×	×
Pulsar/PWN	?			×		×
AGN			?	×	×	×
Binary			×	×		×

- Utilisation des données MWL disponibles en fonction du scénario considéré

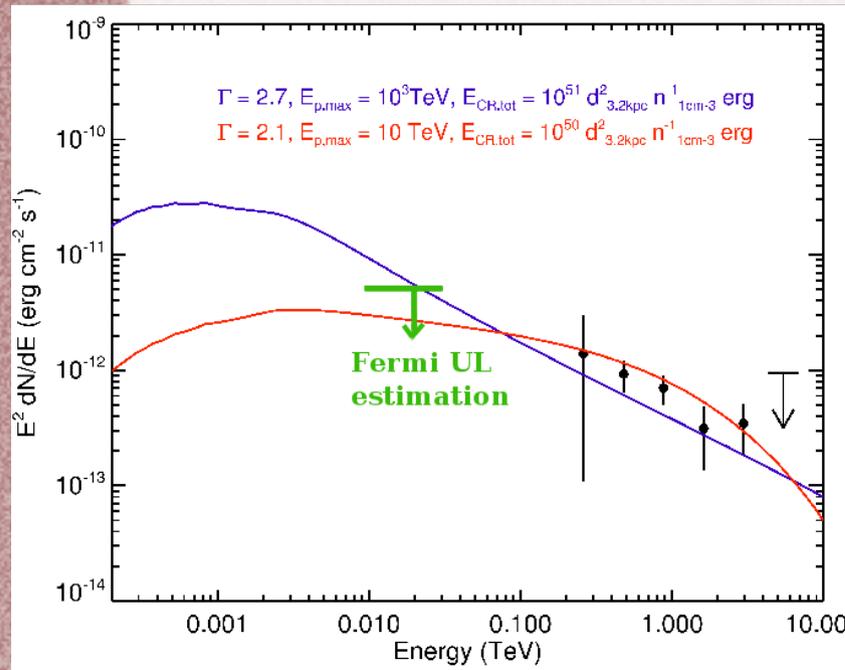
# SNR/Nuage moléculaire : cas hadronique

- Rayons cosmiques accélérés dans le SNR interagissant dans un nuage moléculaire proche
- Cas hadronique : production de pions neutres

$$\Phi_{\gamma}(E > E_0) \simeq k (\Gamma) \theta \left( \frac{E_0}{1 \text{ TeV}} \right)^{-\Gamma+1} \left( \frac{E_{SN}}{10^{51} \text{ erg}} \right) \left( \frac{\Omega}{4\pi} \right) \left( \frac{d}{1 \text{ kpc}} \right)^{-2} \left( \frac{n}{1 \text{ cm}^{-3}} \right) \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ Drury et al 1994}$$

Fraction de  $E_{SN}$  pour l'accélération des RC

$\theta$	Nuage (a) 2.3 kpc	Nuage (b) 4.5 kpc
$\Gamma=2.7$	168%	174%
$\Gamma=2.1 + 10$ TeV exp cutoff	0.5%	0.6%



Spectre de désintégration  $\pi^0$   
Crédit : M Renaud

➔ Scénario possible pour les distances proches avec un indice de 2.1 + coupure exponentielle à 10 TeV

# SNR/Nuage moléculaire : cas leptonique

- Rayons cosmiques accélérés dans le SNR interagissant dans un nuage moléculaire proche
- Cas leptonique : rayonnement de freinage (bremsstrahlung)

$$N_e(E_e) = a_e E_e^{-\alpha} \text{ GeV}^{-1}$$

$$L_{\text{Brem}}(E_\gamma) \simeq 7 \times 10^{-16} a_e n E_\gamma^{-\alpha} \text{ GeV}^{-1} \text{ s}^{-1} \quad \text{Gaisser et al 1998}$$

$\int L_{\text{Brem}} \text{ EdE}$	Nuage (a) 2.3 kpc	Nuage (b) 4.5 kpc
$\Gamma=2.7$	$10^{50} \text{ erg s}^{-1}$	$10^{49} \text{ erg s}^{-1}$
$\Gamma=2.1+10$ TeV exp cutoff	$4 \times 10^{44} \text{ erg s}^{-1}$	$2 \times 10^{44} \text{ erg s}^{-1}$

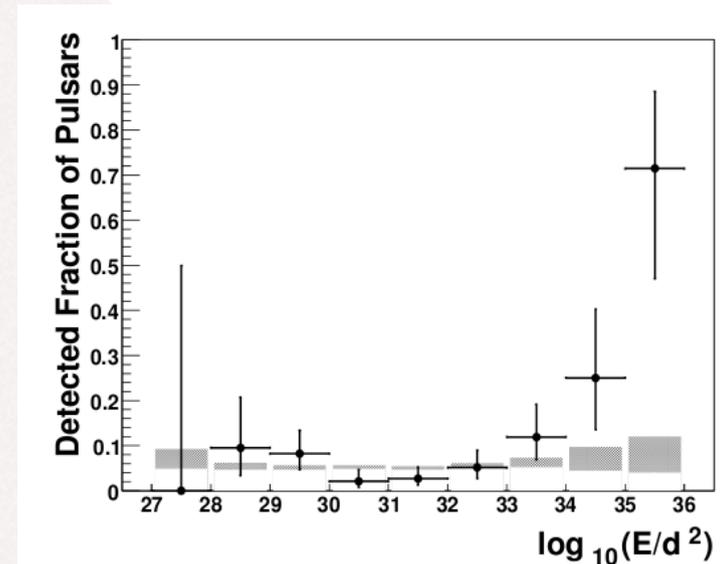
- ➔  $6 \times 10^{51}$  erg/an pour un indice de 2.1 à 4.5 kpc
- ➔ Beaucoup trop d'énergie nécessaire
- ➔ Scénario rejeté

# Nébuleuse de pulsar

- XMMU J183245-0924539 présente un indice très dur :  $\Gamma = 1.3^{+0.5}_{-0.4}$   
→ nature supposée : pulsar bien que pas de pulsations détectées
- $L_x(2-10 \text{ keV}) = 4\pi D^2 \Phi_x(2-10 \text{ keV})$

$$L_x = 10^{-0.8} \dot{E}^{0.92} \quad \text{Li et al (2008)}$$

Distance	$L_x(2-10 \text{ keV})$ ( $\text{erg s}^{-1}$ )	$\dot{E}$ ( $\text{erg s}^{-1}$ )	$\dot{E}/D^2$ ( $\text{erg s}^{-1} \text{ kpc}^{-2}$ )
4 kpc	$1.3 \cdot 10^{33}$	$9.2 \cdot 10^{36}$	$5.7 \cdot 10^{35}$
5 kpc	$2 \cdot 10^{33}$	$1.5 \cdot 10^{37}$	$6 \cdot 10^{35}$
6 kpc	$2.9 \cdot 10^{33}$	$2.2 \cdot 10^{37}$	$6.1 \cdot 10^{35}$



Carrigan et al (2007)

- Étude de population : 70% des pulsars avec  $\dot{E}/D^2 \sim 5 \cdot 10^{35} \text{ erg s}^{-1} \text{ kpc}^{-2}$  observés par H.E.S.S. détectés au TeV

➔ Scénario PWN et observation par H.E.S.S. énergétiquement possible

# *Sommaire*

1. L'astronomie gamma
2. H.E.S.S. et la technique d'imagerie Tcherenkov
3. Optimisation de la soustraction du bruit de fond
4. Amélioration de la résolution angulaire
5. Application à la source HESS J1832-092
6. Interprétation physique
7. Conclusions et perspectives



# Conclusions

## Optimisations logicielles :

- Régions d'exclusion personnalisées → meilleure estimation du fond et amélioration des systématiques
- Amélioration de la résolution angulaire → >10% d'amélioration pour les angles zénithaux <math>30^\circ</math> à

## Application aux données :

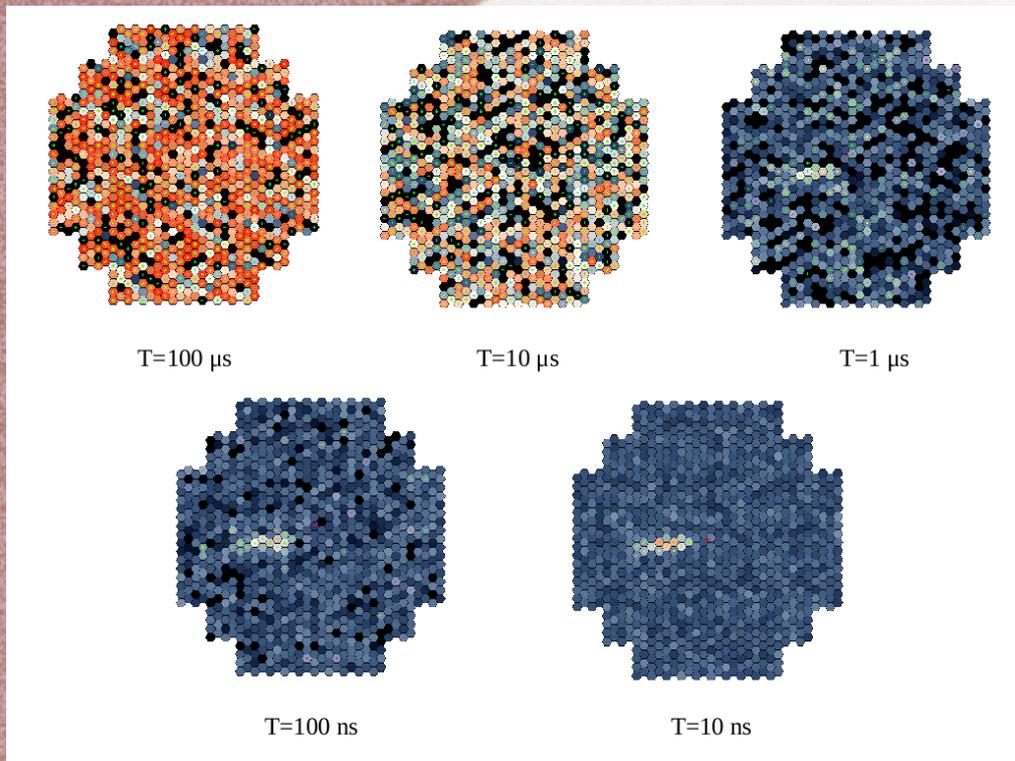
- Découverte de 4 hot spots potentiels dans le champ de vue compris entre - Détection d'une nouvelle source faible (0.8% Crabe) : HESS J1832-092
- Etude détaillée des différents scénarios :
  - Recherche de contreparties MWL
  - Phénoménologie
  - Rejet de certains scénarios et identification des plus probables avec les données MWL disponibles
- Article en cours de validation par la collaboration H.E.S.S.

# Perspectives

- Recherche de nouvelles sources dans tout le plan galactique observé par H.E.S.S. avec les deux outils développés
  - Repérage de hot spots
  - Recherche de contreparties MWL
  - Proposition d'observations dédiées
- Poursuite de l'amélioration de la résolution angulaire :
  - Ajout de paramètres supplémentaires permettant de sélectionner la méthode de reconstruction à utiliser
- 5ème télescope ajouté au réseau (28/09/12)
  - Extension de ces outils à H.E.S.S. II
- Meilleure compréhension de la source HESS J1832-092 avec des données supplémentaires en rayons X (variabilité) et au GeV (Fermi) → Identification nature de la source?

***Merci pour votre attention!***

# Bruit de fond de ciel

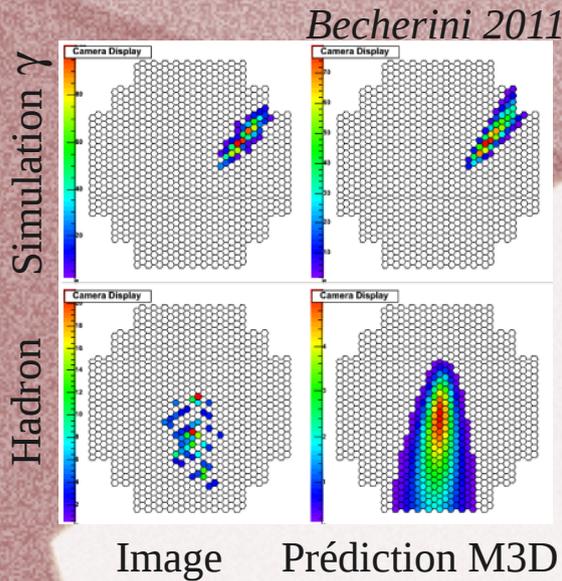


- Bruit de fond le plus important :
  - Lumière des étoiles et de la Galaxie
  - Scintillation de la haute atmosphère
  - Photons parasites (lumières artificielles, éclairs...)
- Électronique rapide permet de s'affranchir d'une partie de ce bruit de fond

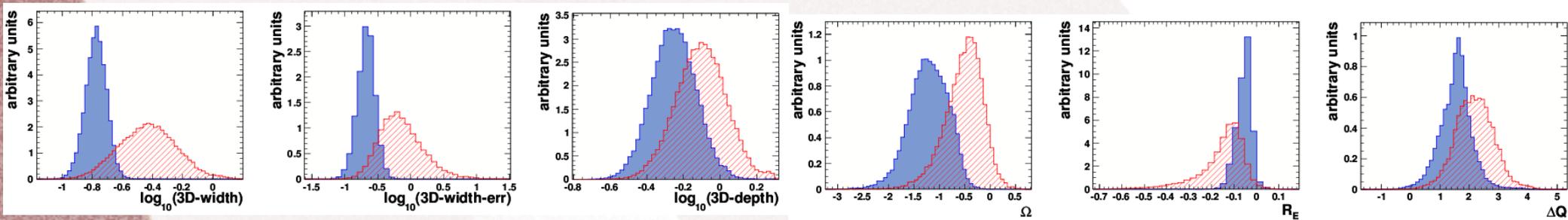
- Nettoyage des images avec système de double seuil en photo-électrons pour sélectionner uniquement les pixels contenant l'image Tcherenkov

# Méthode Paris-MVA

Becherini 2011



- Paramètres de type Hillas (longueur et largeur réduites)
- Paramètres de type Model3D (largeur 3D réduite et erreur associée,  $H_{max}^{3D}$ )
- Paramètres issus de la comparaison entre les paramètres de Hillas et la reconstruction Hillas à partir des prédictions de Model3D (écart entre les directions reconstruites, rapport entre les énergies reconstruites et écart de charge prédite)



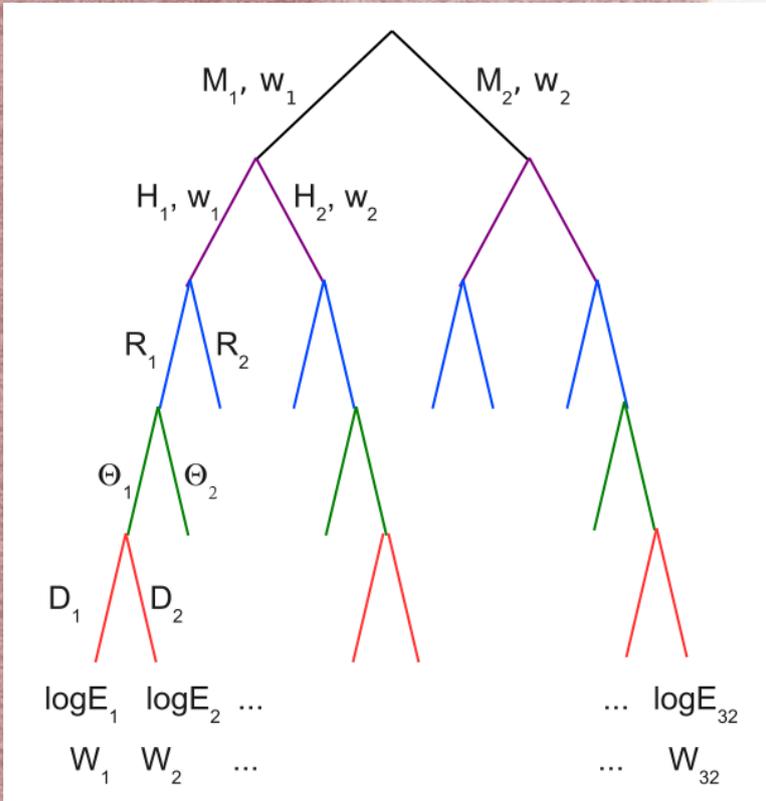
Becherini 2011

## Déroulement de l'analyse:

- 1) Entrainement de l'analyse sur événements gamma simulés et hadrons issus des données réelles
- 2) Test de performance : utilisation de la forêt pour discriminer les gammas des hadrons
- 3) Définition de coupures (charge de l'image et paramètres discriminants) optimisées pour différents types de sources
- 4) Application aux données réelles

# Reconstruction de l'énergie : méthode Oak

Becherini 2011



Arbre de décision : poids  $p_k$  attribué à chaque branche empruntée

$$\rightarrow W_j = \prod_{k=1}^5 p_k$$

$$\begin{cases} p_k = w_k \\ p_k = 1 - w_k \end{cases}$$

➤ Analyse MVA → arbres de décision BDT

1) Phase préparatoire : tables lookup donnant le profil en charge en fonction du paramètre d'impact pour les paramètres suivants :

- Efficacité optique
- $H_{\max}$
- Angle zénithal
- Offset
- Énergie vraie

2) Phase d'évaluation :

$$\log E_{tel_i} = \frac{\sum_{j=1}^{32} (W_j \log E_j)}{\sum_{j=1}^{32} W_j}$$

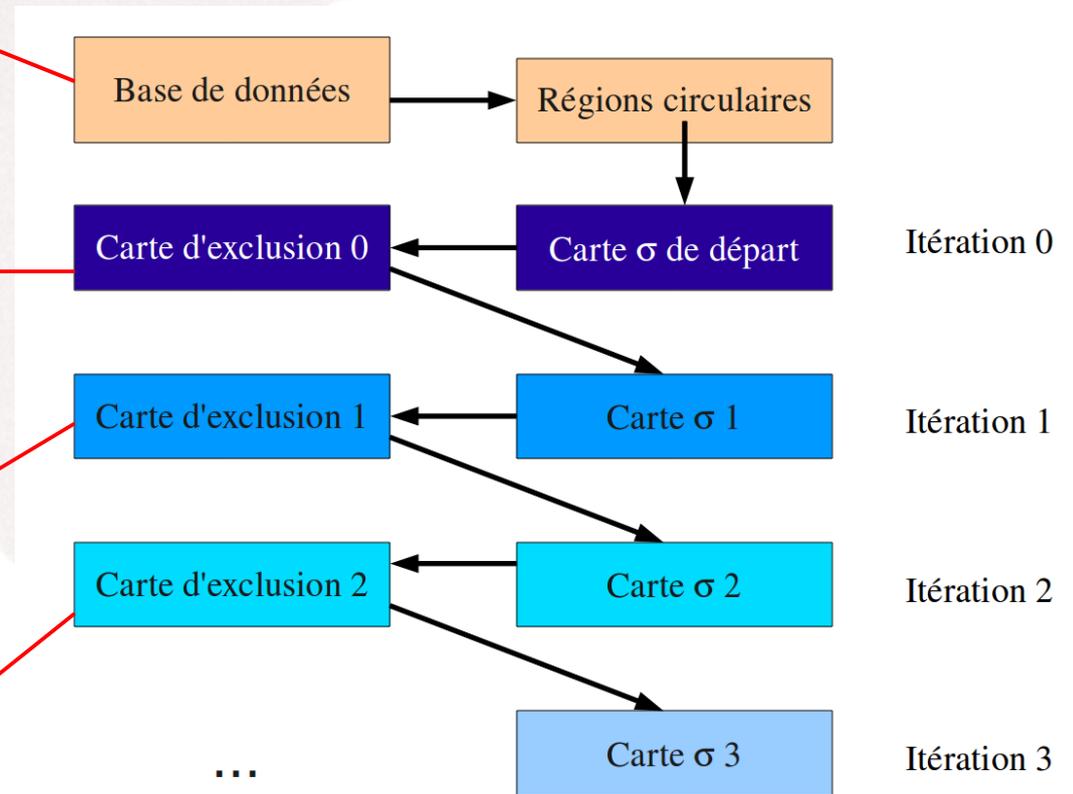
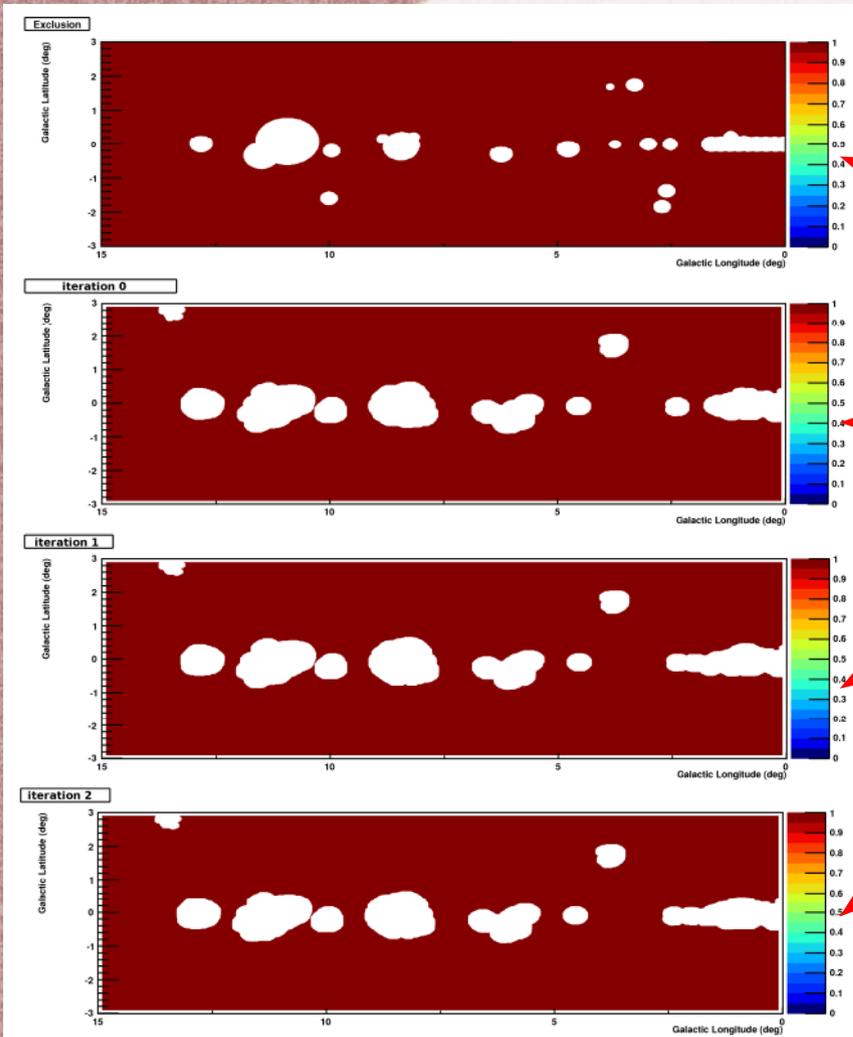
$$E_{reco} = \frac{1}{Q_{tot}} \sum_{i=1}^{N_{tel}} (q_{tel_i} E_{tel_i})$$

$$Q_{tot} = \sum_{i=1}^{N_{tel}} q_{tel_i}$$

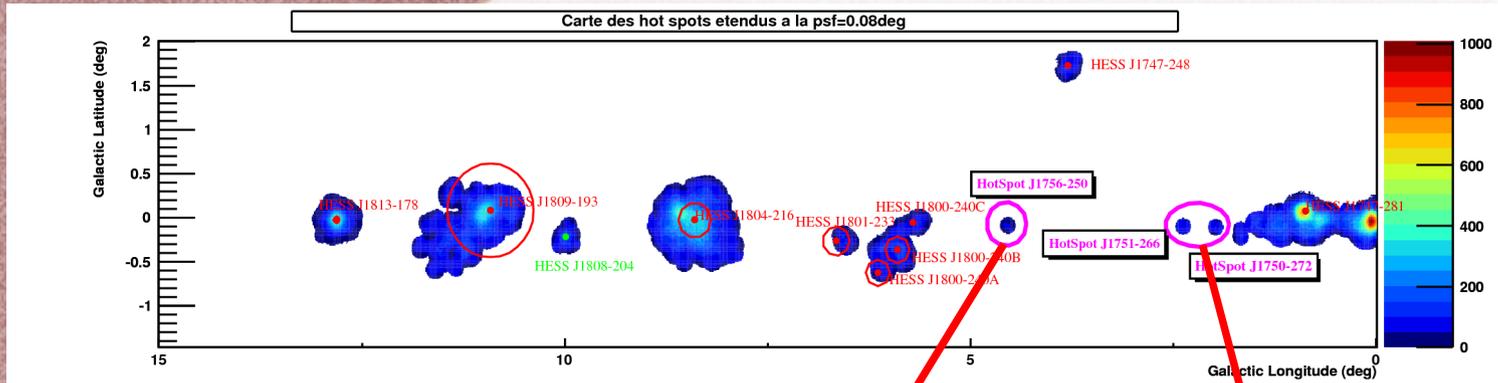
- Biais < 5% pour  $E > 0.3 \text{ TeV}$
- Résolution ~15% entre 0.2 et 30 TeV

# Algorithme de double seuil

- Processus itératif : doit être répété jusqu'à convergence des régions

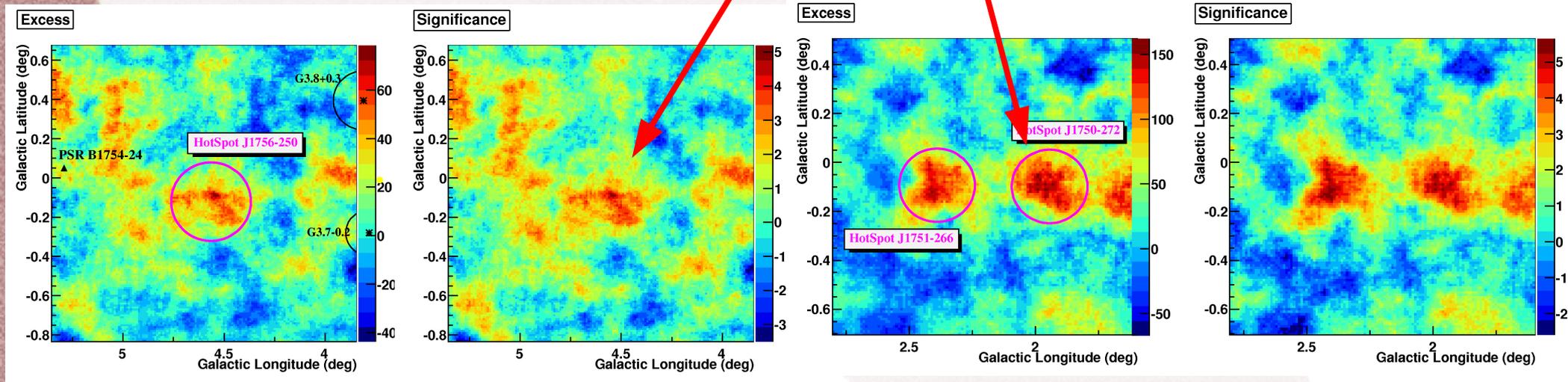


# Hot spots détectés dans le champ de vue entre $0^\circ$ et $15^\circ$ de longitude



*longitude*

*Sélection à 68% de la PSF avec la configuration teak*



HotSpot J1756-250 :

- Excès=78,  $5.2\sigma_{\text{pre-trials}}$
- SNR G3.8+0.3 et SNR G3.7-0.2
- PSR B1754-24
- Nuages moléculaires?

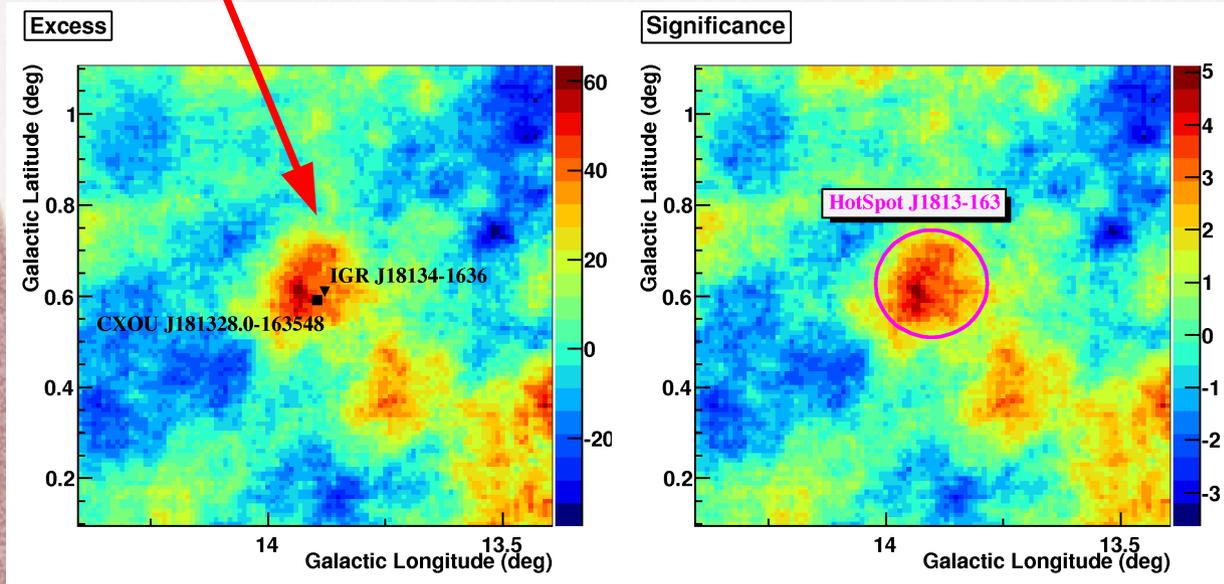
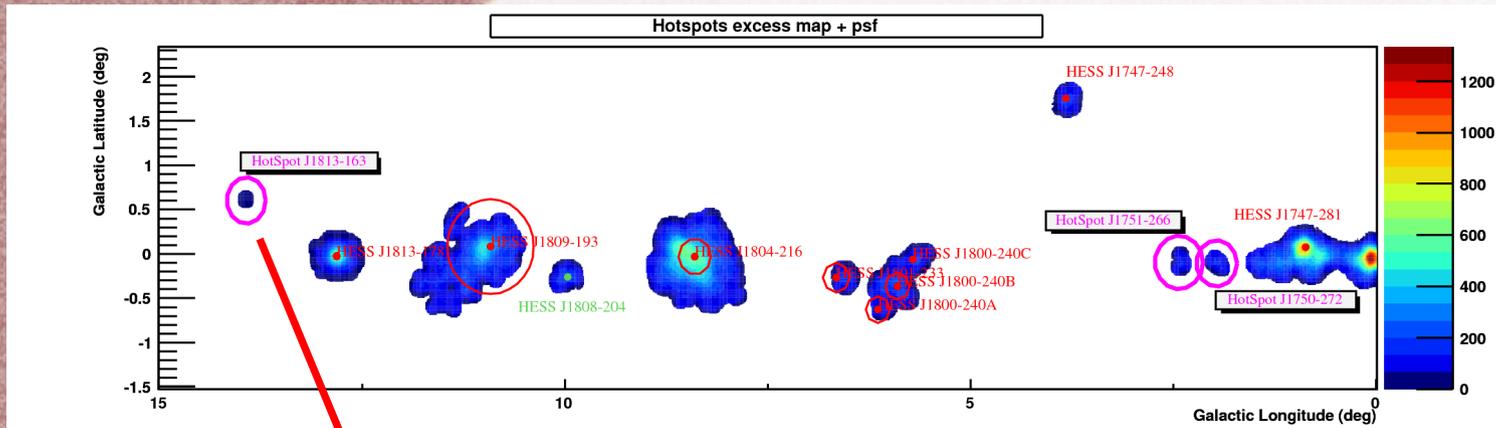
HotSpot J1751-266 et HotSpot J1750-272

- Excès=151 et 162,  $5.7\sigma_{\text{pre-trials}}$  et  $5.6\sigma_{\text{pre-trials}}$
- Nuages moléculaires CO?

# Hot spots détectés dans le champ de vue entre $0^\circ$ et $15^\circ$ de longitude

*longitude*

*Sélection à 68% de la PSF avec la configuration ash*



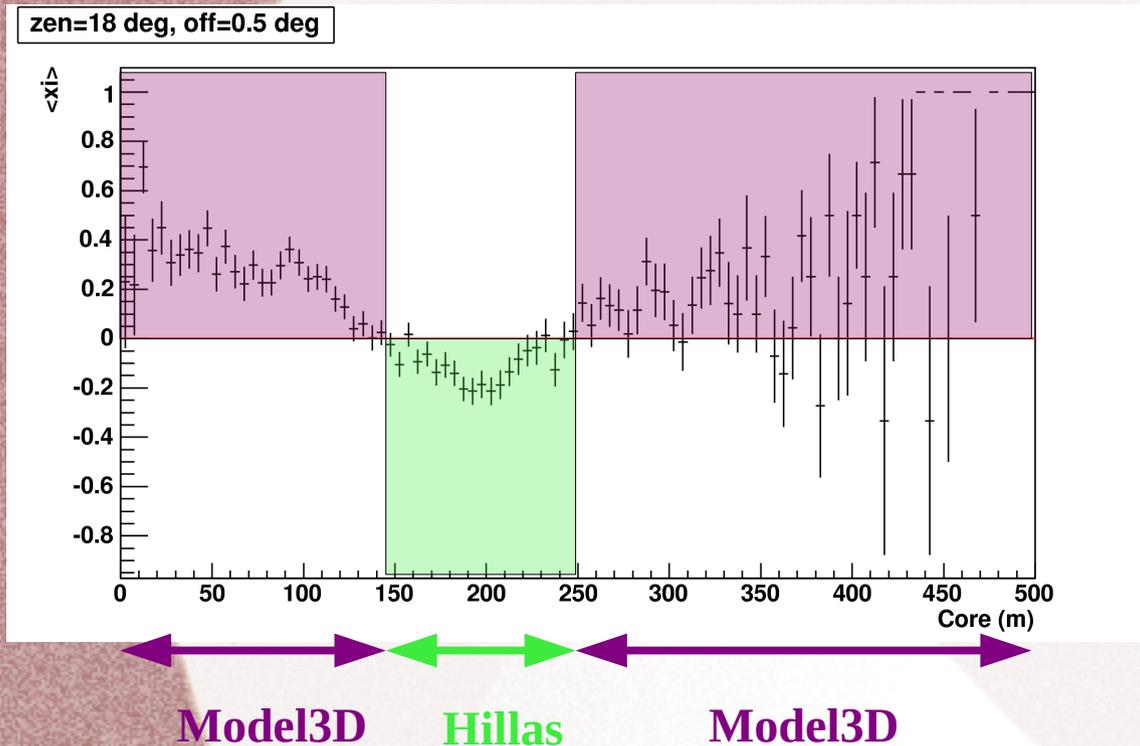
## HotSpot J1813-163

- Excès=63,  $5.1\sigma_{\text{pre-trials}}$
- IGR J18134-1636
- CXOU J181328.0-163548
- PWN ?
- binaire ?

# Amélioration de la résolution angulaire :

## Exemple 2

$\langle \xi \rangle = f(\text{paramètre d'impact Hillas})$



- Angle zénithal  $18^\circ$ , offset  $0.5^\circ$ , 70% d'efficacité optique
- Nombre total d'événements  $\xi > 0$  : 54 %
- Nombre total d'événements sélectionnés et  $\xi > 0$  : 64 %

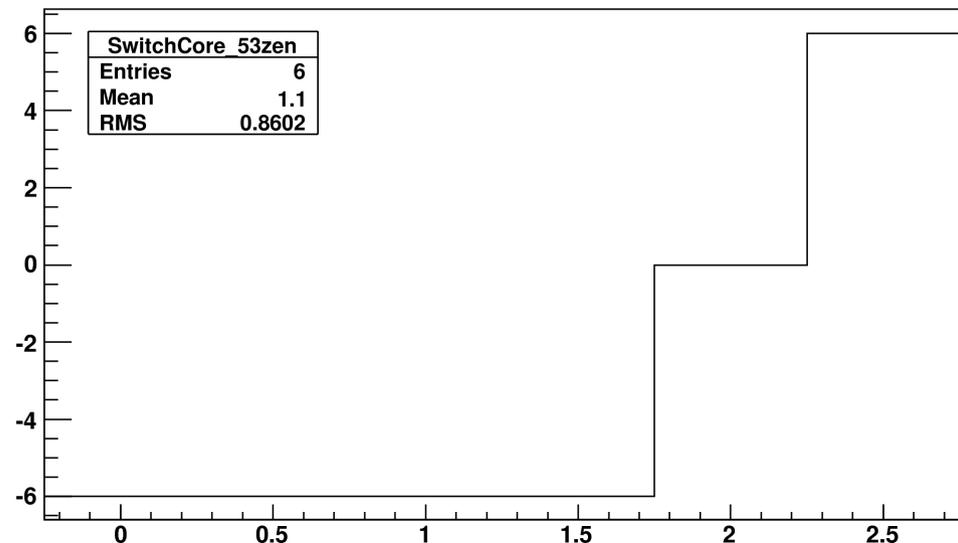
- ➔ 54% des événements sont mieux reconstruits par Model3D
- ➔ Paramètre d'impact Hillas permet de sélectionner près des 2/3 de ces événements
- ➔ Bon candidat comme paramètre de sélection

# Création des tables de décision

- Détermination automatique de la valeur du switch pour chaque jeu de conditions observationnelles (efficacité optique, angle zénithal, offset) et pour chaque configuration (différentes coupures en charge)
- Création de tables donnant la valeur du switch en fonction de l'offset pour les conditions considérées

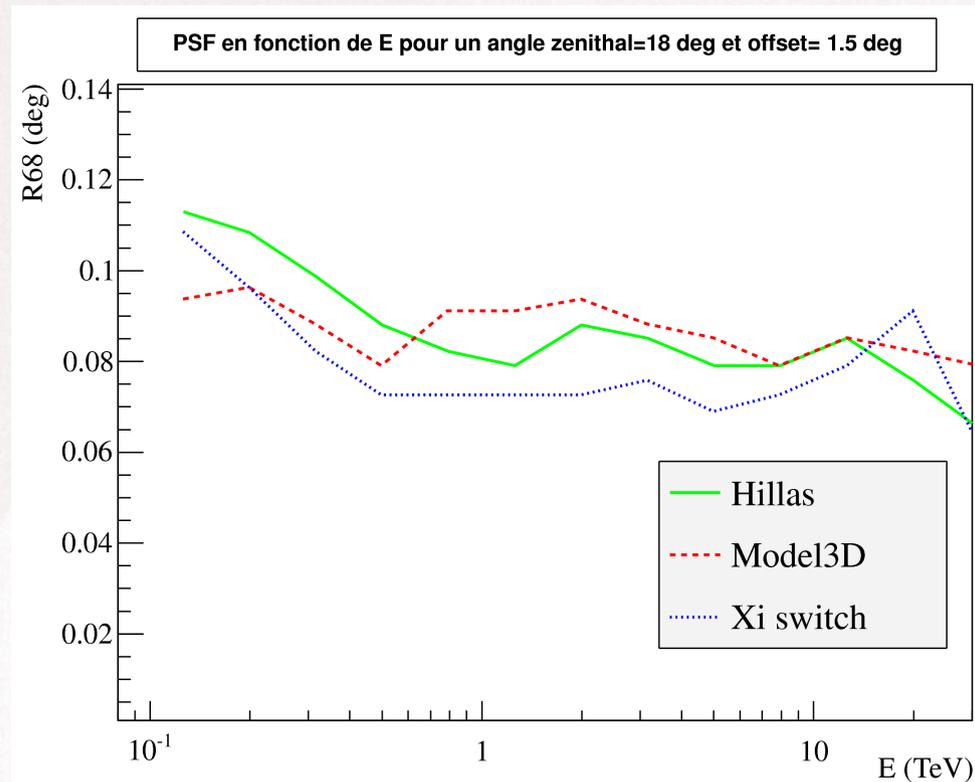
- Exemple:

Core threshold to switch reco vs offsets



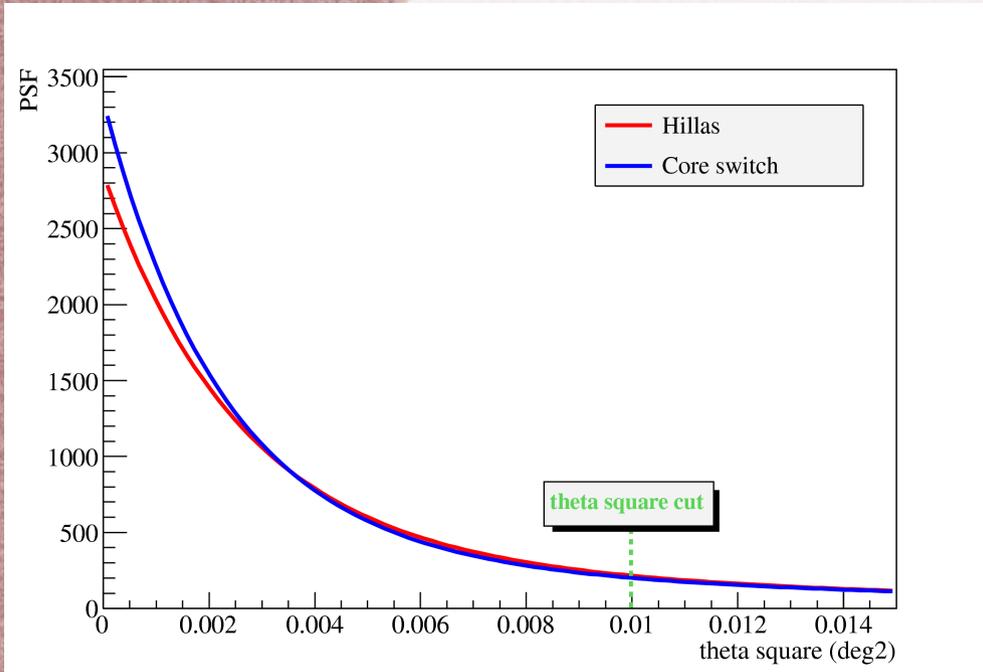
# Méthode combinée : performances obtenues

Exemple : 70% d'efficacité optique, zenith=18°, offset=1.5°



➔ Bons résultats dans la bande d'énergie optimale accessible par H.E.S.S. (~250 GeV - 10 TeV)

# Application aux données réelles : PKS 2155-304 (big flare)



← Région ON →

$$PSF = A \left( \exp\left(\frac{-\theta^2}{2\sigma_1^2}\right) + A_{rel} \exp\left(\frac{-\theta^2}{2\sigma_2^2}\right) \right)$$

- Augmentation attendue du nombre d'événements dans la région ON :

$$\frac{\int_0^{\theta_{cut}^2} PSF^\xi - \int_0^{\theta_{cut}^2} PSF}{\int_0^{\theta_{cut}^2} PSF} = 3.9\%$$

- Augmentation du nombre d'événements observés :

136 événements = 3.3%

→ En accord avec l'augmentation attendue

Méthode	N <sub>ON</sub>	N <sub>OFF</sub>	Excès	σ
Hillas	4171	217	4158 ± 65	150
ξ	4307	218	4294 ± 65	153

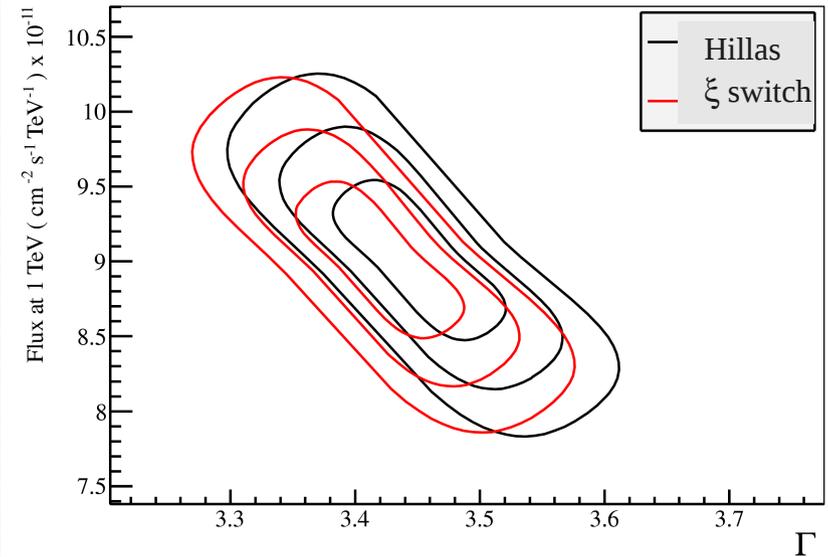
# Application aux données réelles : PKS 2155-304 (big flare)

Hillas

E (TeV)	signal	flux	$\Delta$ flux	$\sigma$
0.3	871	$4.9 \cdot 10^{-9}$	$1.7 \cdot 10^{-10}$	63
0.4	619	$1.6 \cdot 10^{-9}$	$6.4 \cdot 10^{-11}$	53
0.6	427	$5.5 \cdot 10^{-10}$	$2.7 \cdot 10^{-11}$	44
0.8	228	$1.7 \cdot 10^{-10}$	$1.1 \cdot 10^{-11}$	32
1.1	143	$6.2 \cdot 10^{-11}$	$5.0 \cdot 10^{-12}$	25
1.6	76	$2.0 \cdot 10^{-11}$	$2.3 \cdot 10^{-12}$	18
2.2	32	$5.5 \cdot 10^{-12}$	$9.3 \cdot 10^{-13}$	12
3.0	17	$1.9 \cdot 10^{-12}$	$4.4 \cdot 10^{-13}$	8

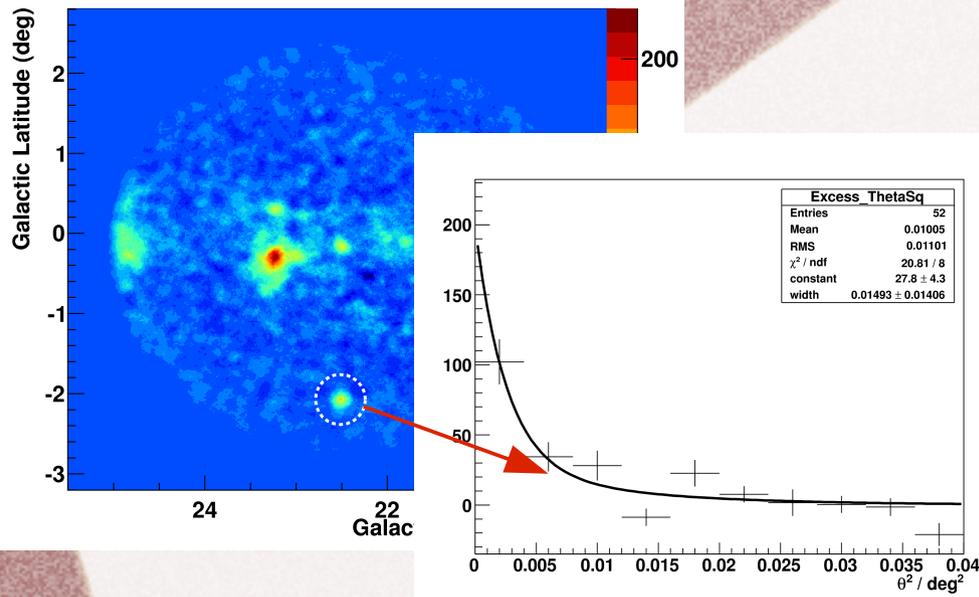
$\xi$  switch

E (TeV)	signal	flux	$\Delta$ flux	$\sigma$
0.3	895	$4.7 \cdot 10^{-9}$	$1.6 \cdot 10^{-10}$	66
0.4	637	$1.5 \cdot 10^{-9}$	$6.1 \cdot 10^{-11}$	55
0.6	442	$5.5 \cdot 10^{-10}$	$2.6 \cdot 10^{-11}$	46
0.8	241	$1.7 \cdot 10^{-10}$	$1.1 \cdot 10^{-11}$	35
1.1	151	$6.2 \cdot 10^{-11}$	$5.1 \cdot 10^{-12}$	27
1.6	81	$2.1 \cdot 10^{-11}$	$2.2 \cdot 10^{-12}$	19
2.2	34	$5.6 \cdot 10^{-12}$	$9.0 \cdot 10^{-13}$	13
3.0	19	$1.8 \cdot 10^{-12}$	$4.2 \cdot 10^{-13}$	8

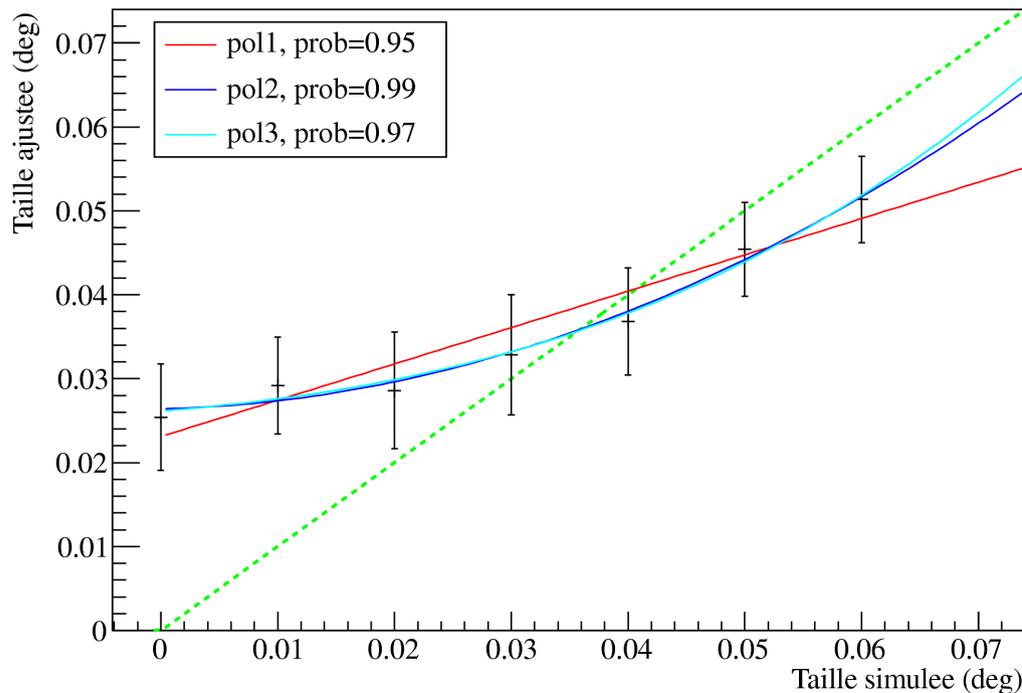


- Légère augmentation de la significativité dans chaque bin en énergie
- Résultats sur le fit en loi de puissance sont compatibles

# Extension intrinsèque : étude des systématiques

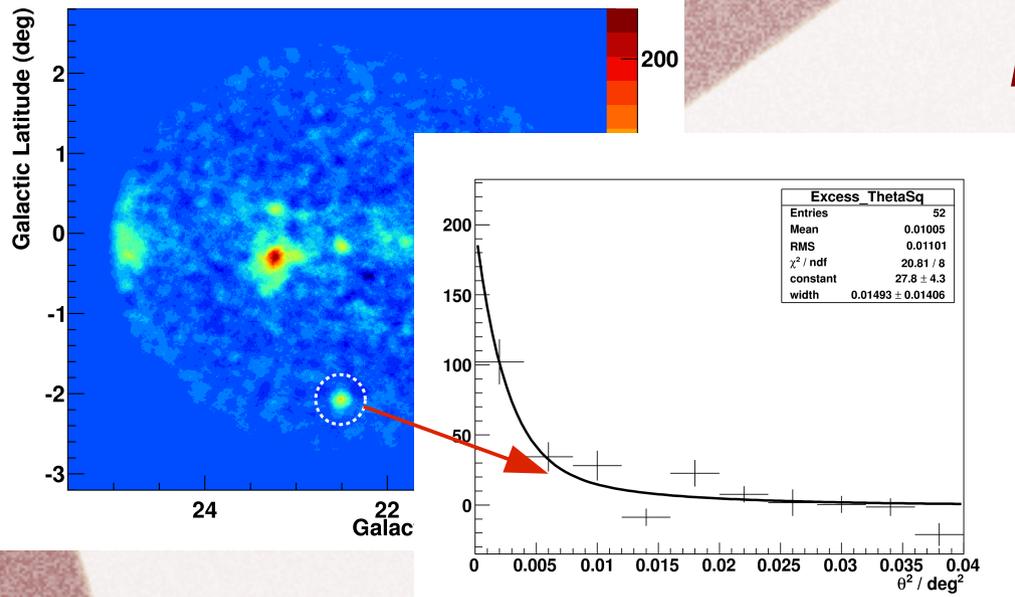


- Simulation de sources de différentes tailles intrinsèques avec le même excès que la source HESS J1832-092
- Ajustement des sources par une gaussienne 2D symétrique
- 100 simulations pour chaque taille intrinsèque
- Biais dépendant de la taille intrinsèque
- Biais nul pour la taille ajustée de la source HESS J1832-092 (taille=0.036°  $\pm$  0.012°)

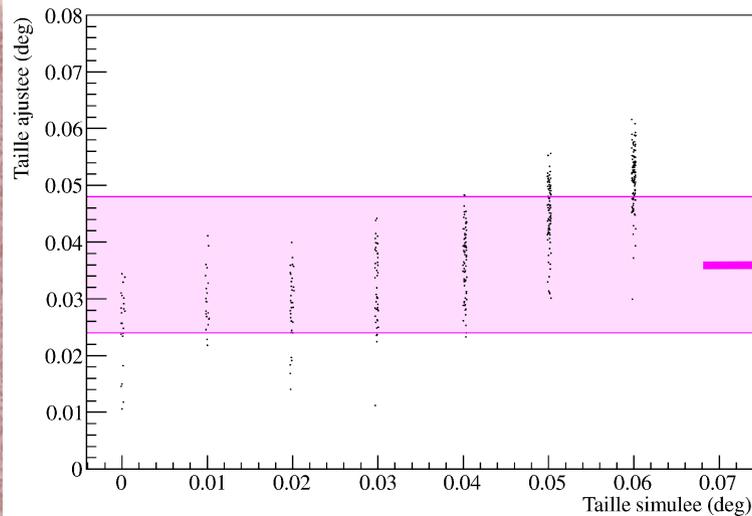


Ajustement de la courbe  $\text{taille ajustée} = f(\text{taille simulée})$  par des polynomes

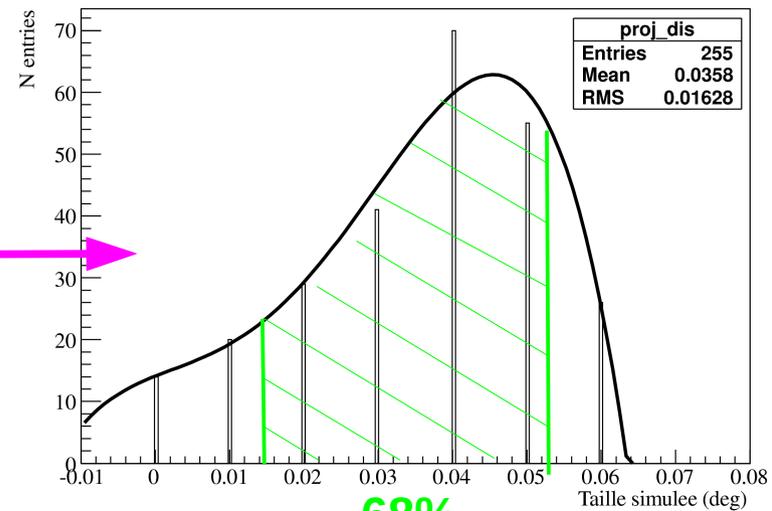
# Extension intrinsèque : étude des systématiques



- Simulation de sources de différentes tailles intrinsèques
- Ajustement par une gaussienne 2D symétrique



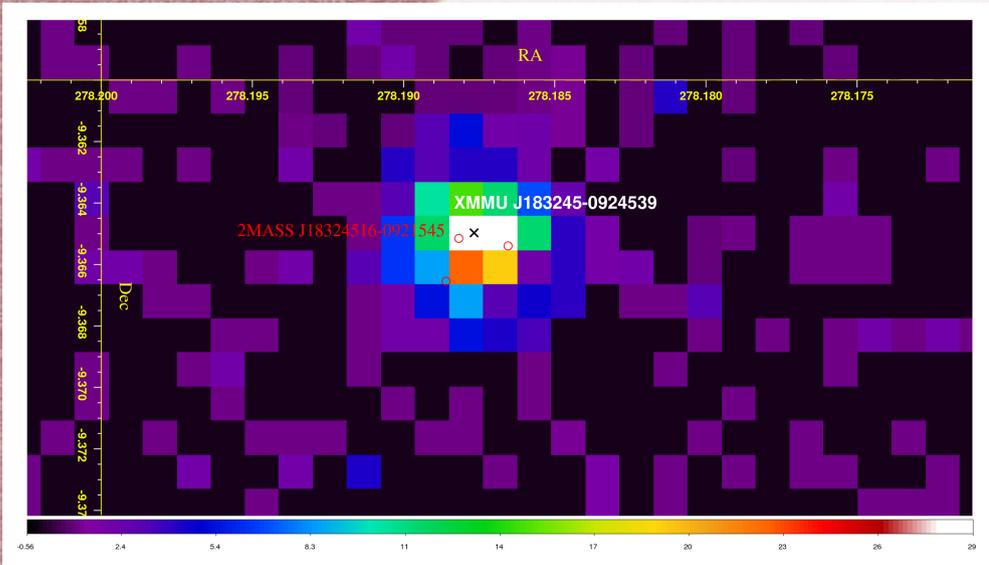
Distribution des tailles ajustées en fonction des tailles simulées



Projection de la sélection sur l'axe des abscisses (tailles intrinsèques simulées)

- Taille intrinsèque ajustée :  $0.036^\circ \pm 0.012^\circ$
- Taille intrinsèque corrigée:  $0.036^\circ \text{ }^{+0.015^\circ}_{-0.023^\circ}$

# Contreparties multi-longueurs d'onde : Infrarouge



- Découverte d'une source 2MASS à 1.9" du centre de gravité de XMMU J183245-0924539 :

2MASS J18324516-0921545

- $m_J = 15.52 \pm 0.06$
- $m_H = 13.26 \pm 0.04$
- $m_K = 12.17 \pm 0.02$

- Pas de contreparties en optique

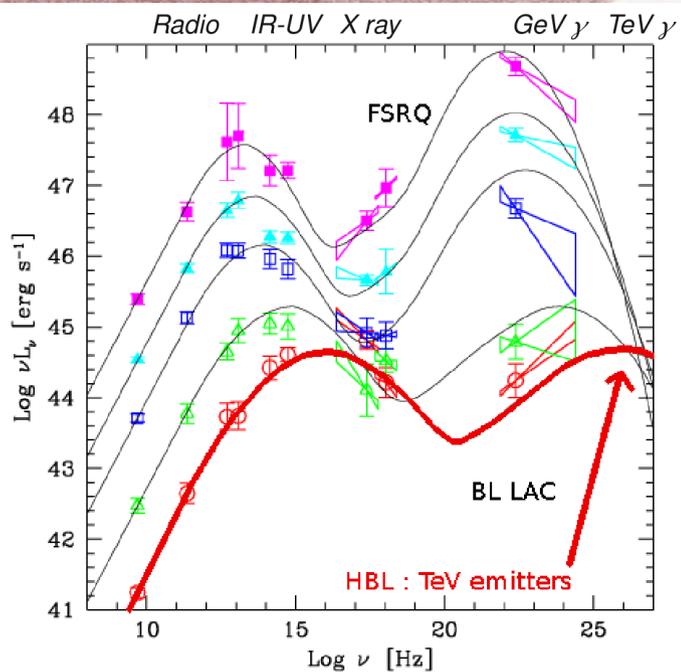
- Absorption optique :  $A_v = 0.56 \left( \frac{N_H}{10^{21} \text{ cm}^{-2}} \right) + 0.23$  Predehl 1995  $\rightarrow A_v = 59$

- $A_J / A_v = 0.282$  Cardelli 1989  $\rightarrow A_J = 16.6$

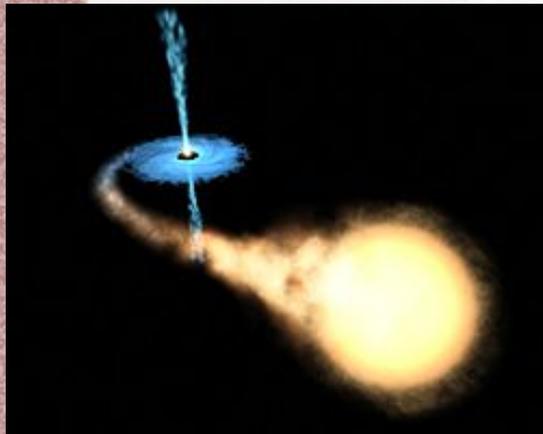
- Magnitude absolue :  $M_J = -5 \log \left( \frac{D}{\text{pc}} \right) + m_J - A_J$

$\rightarrow M_J = -14.6$  pour  $D = 5$  kpc  $\rightarrow$  trop important

# AGN/Systeme binaire



Séquence d'unification des AGNs (Ghisellini 2005)



Vue d'artiste d'un système binaire X

- Colonne d'absorption dérivée du fit en loi de puissance de XMMU J183245-0924539 compatible avec nature extragalactique
- Indice très dur en rayons X + pas d'émission au GeV → FSRQ ou LBL peu probable
- Limite supérieure sur l'indice :  $\Gamma=1.8$  → HBL ok

- Possibilité de système binaire formé par un objet compact X et son compagnon IR
- Ok si absorption mesurée est locale à l'objet
- Probabilité d'association par hasard :

$$p(n) = \frac{N}{n(N-n)!} \left(\frac{s}{S}\right)^n \left(1 - \frac{s}{S}\right)^{N-n} \quad \text{Akujor (1987)}$$

- $p=2\%$  → non négligeable