

Observation des PWN avec l'expérience H.E.S.S.



Vincent Marandon

Journées Jeunes Chercheurs 2008

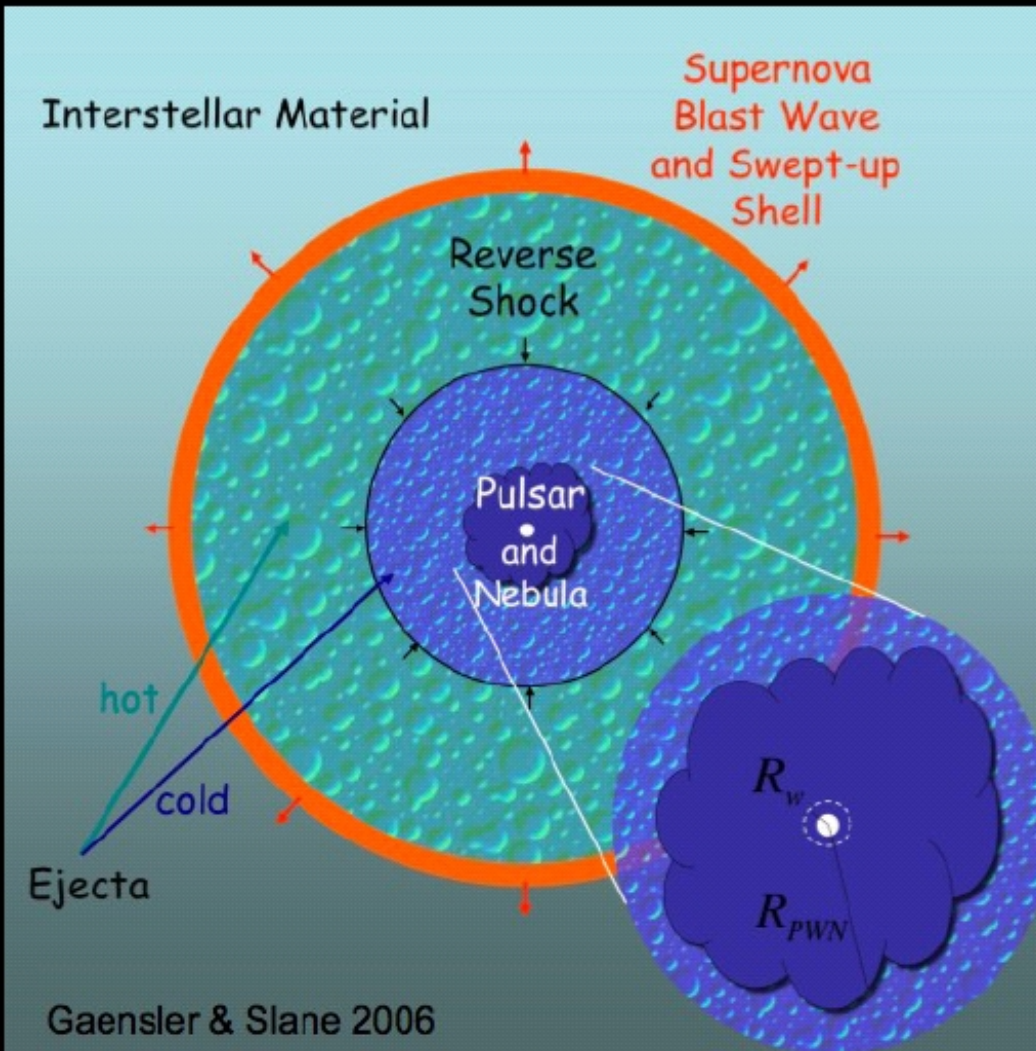
Plan

- **PWN avec HESS**
 - Description des Pulsar Wind Nebulae
 - Point sur les observations
 - Quelques exemples
 - Études de populations
- **Amélioration de la discrimination de HESS**
 - Intérêt
 - Méthode utilisée
 - Quelques résultats prometteurs
- **Conclusions**

Plan

- **PWN avec HESS**
 - Description des Pulsar Wind Nebulae
 - Point sur les observations
 - Quelques exemples
 - Études de populations
- **Amélioration de la discrimination de HESS**
 - Intérêt
 - Méthode utilisée
 - Quelques résultats prometteurs
- **Conclusions**

Une PWN : Qu'est-ce que c'est ?



- Pulsar : Étoile à neutron en rotation rapide
- Perte d'énergie rotationnelle
→ Vent relativiste
- Vent Supersonique
→ Choc Terminale
- Choc → Accélération de particules (ex : Fermi I)

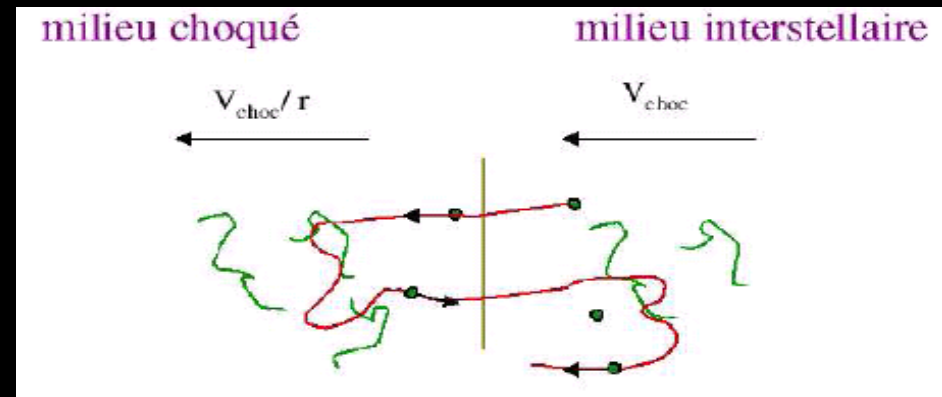
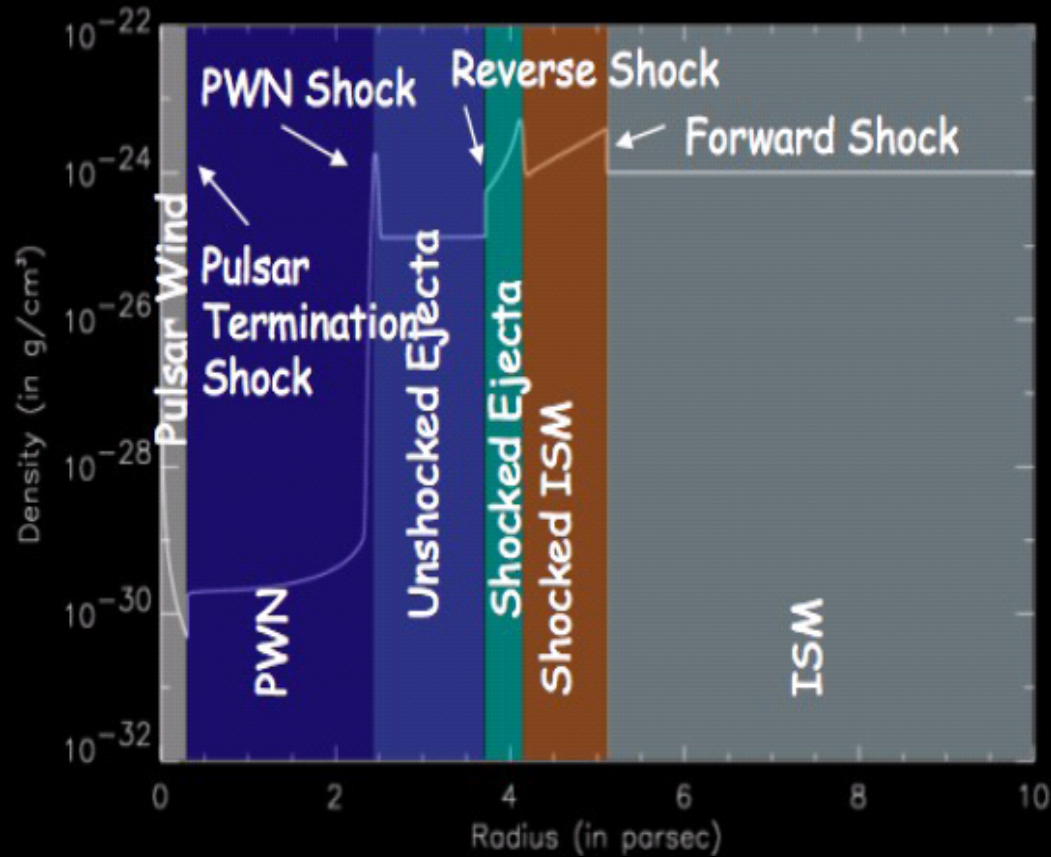
Paramètres du pulsars :

$$\dot{E}(t) = \frac{d}{dt} E = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} I \Omega^2 \right) = 4 \pi I \frac{\dot{P}}{P^3}$$

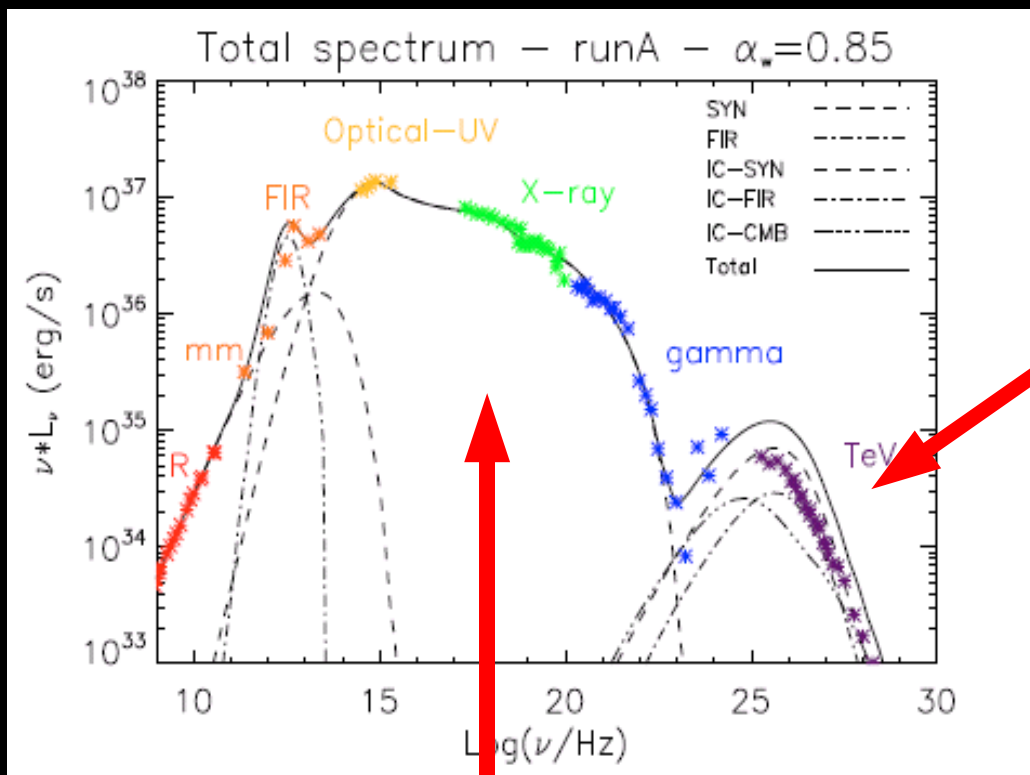
$$\dot{E}(t) = \frac{\dot{E}_0}{\left(1 + \frac{t}{\tau}\right)^{\frac{b+1}{b-1}}} \quad \tau_c = \frac{P}{2\dot{P}}$$

Une PWN : Qu'est-ce que c'est ?

- Pulsar : Étoile à neutron en rotation rapide
- Perte d'énergie rotationnelle
→ Vent relativiste
- Vent Supersonique
→ Choc Terminal
- Choc → Accélération de particules
(ex : Fermi I)

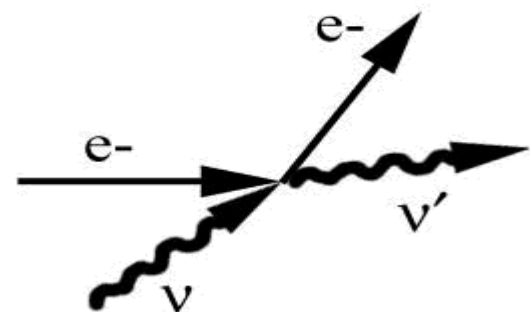


Les PWN : Observation Multilongueur d'onde



Inverse Compton

Inverse Compton scattering



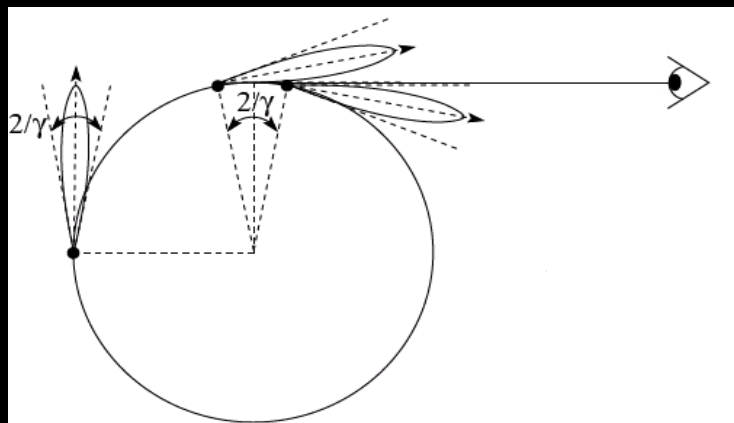
$$\nu' > \nu$$

High energy e- initially
e- loses energy

$$P_{IC} = \frac{4}{3} \sigma_t c \beta^2 \gamma^2 U_{rad}$$

From Volpi et al. 2008

Synchrotron Emission

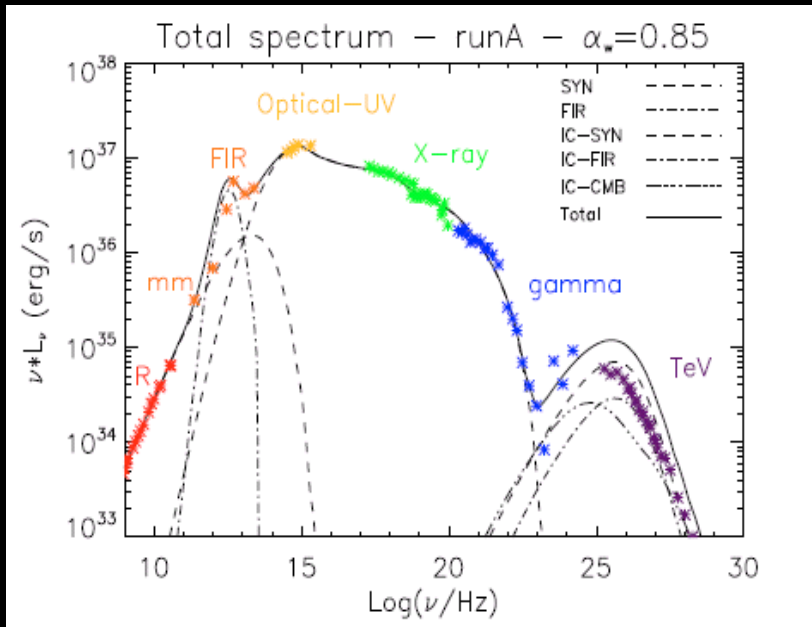


$$P_{sync} = \frac{4}{3} \sigma_t c \beta^2 \gamma^2 U_B$$

$$\frac{L_X}{L_\gamma} = \frac{B^2}{8\pi U_{Rad}}$$

HESS apporte une information sur le champ B !

Des électrons au TeV moins énergétique que les X



Quelques ordres de grandeurs :

$$E_{e^-, IC} \simeq 20 E_{ph, TeV}^{1/2} \text{ TeV}$$

$$E_{e^-, sync} \simeq 70 \left(\frac{B}{5 \mu G} \right)^{-1/2} E_{ph, keV}^{1/2} \text{ TeV}$$

$$\tau(E_\gamma) \sim 4800 \left(\frac{B}{5 \mu G} \right)^{-2} E_{ph, TeV}^{-1/2} \text{ ans}$$

$$\tau(E_X) = 1200 \left(\frac{B}{5 \mu G} \right)^{-3/2} E_{ph, keV}^{-1/2} \text{ ans}$$

→ La composante IC est issu d'électrons moins énergétique que les rayons X

→ La durée de vie des électrons est plus grande au TeV!

PWN avec HESS : Deux types de sources

- Majeur partie des sources galactiques (Revelé par le scan du plan galactique de HESS)

- Associé avec :
 - Pulsar Jeunes: age $< 10^5$ ans
 - Energetique : $\dot{E} > 10^{35}$ erg/s

- Deux classes émergent :

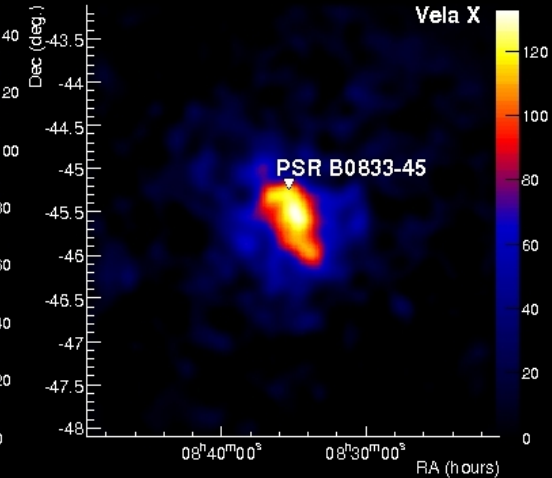
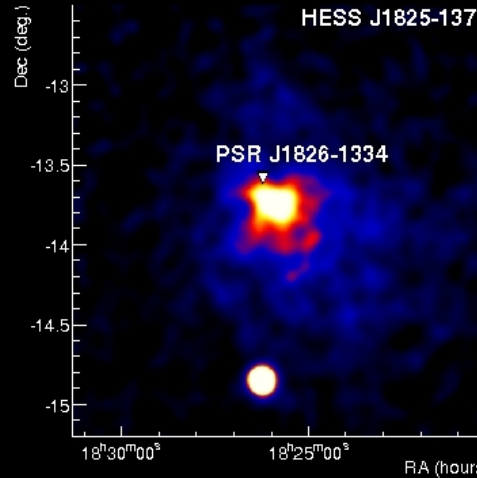
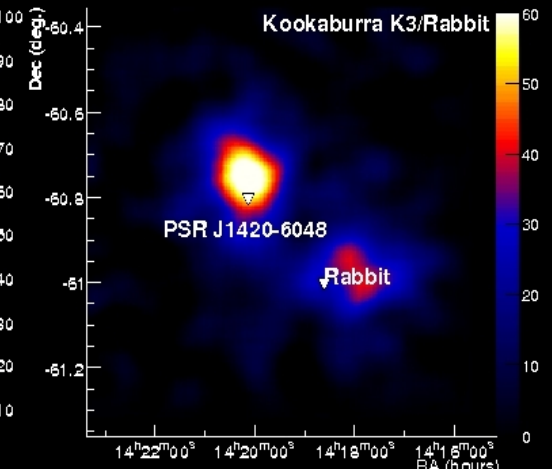
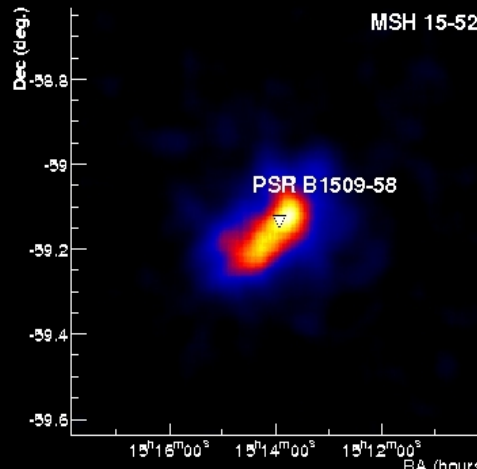
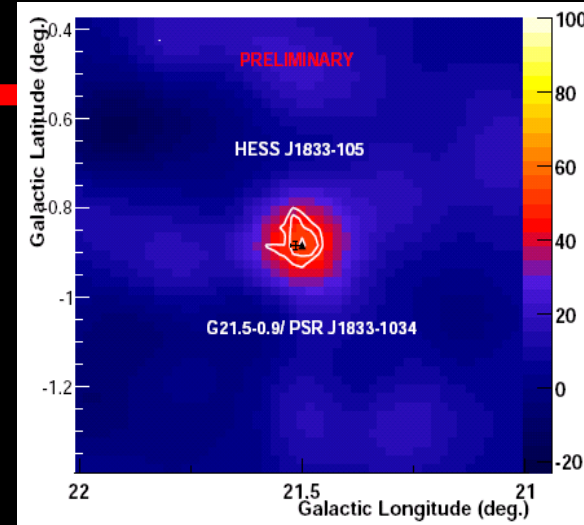
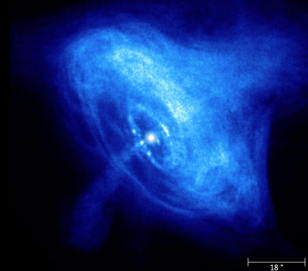
Jeunes Plerions

- Source Ponctuelle, centrée sur le candidat pulsar
- exemple : Crab, Kes 75, G21.5-0.9...

PWN évolué

- Nébuleuse étendue
- ~ quelques dizaines de parsec (1pc ~ 3.26 a.l)

- La plupart sont décalés par rapport à la position du pulsar.



Exemple de PWN jeune : le SNR Kes75

- SNR Composite (Coquille + PWN)
- PSR J1846-0258, à la limite des magnetars

$$E_{\text{dot}} = 8.3 \times 10^{36} \text{ erg/s}$$

$$\tau_c = 723 \text{ yr}$$

$$d = 6 \text{ kpc}$$

$$B_{\text{surf}} = 5 \times 10^{13} \text{ G} \quad (B_{\text{QED}} = 4.4 \times 10^{13} \text{ G})$$

- 32 h, 1.5' limite supérieure sur l'extension

$$\Gamma = 2.29 \pm 0.14_{\text{stat}} \quad \Gamma_x = 1.9$$

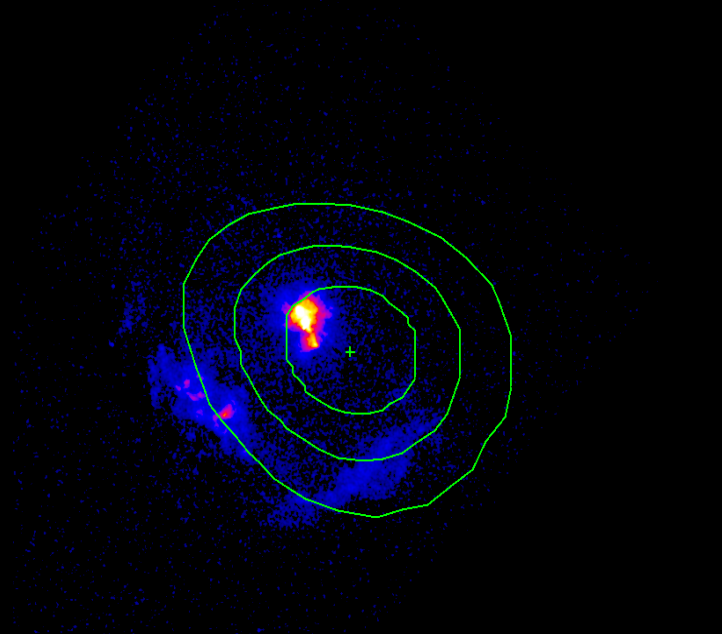
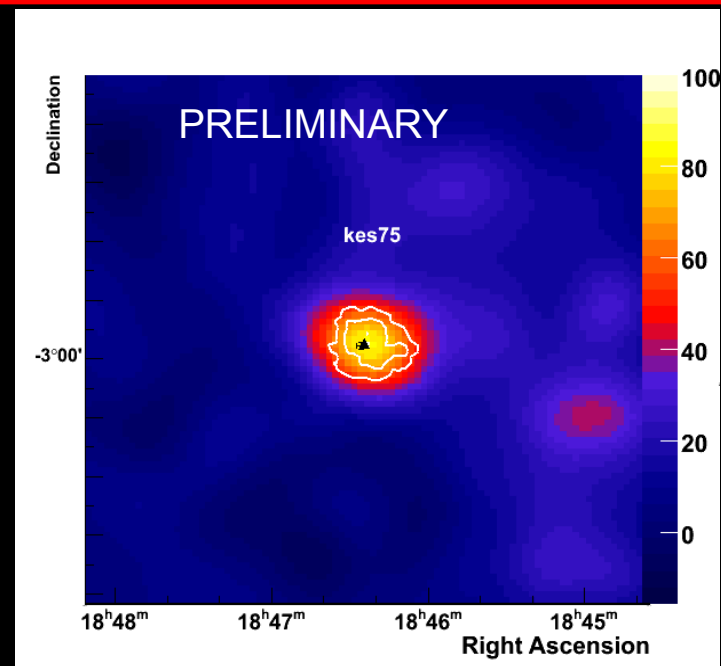
$$\Phi = (6.15 \pm 0.77_{\text{stat}}) \times 10^{-13} \text{ TeV}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

Flux \sim 10% Crabe

0.12% de E_{dot}

- PWN ou SNR?

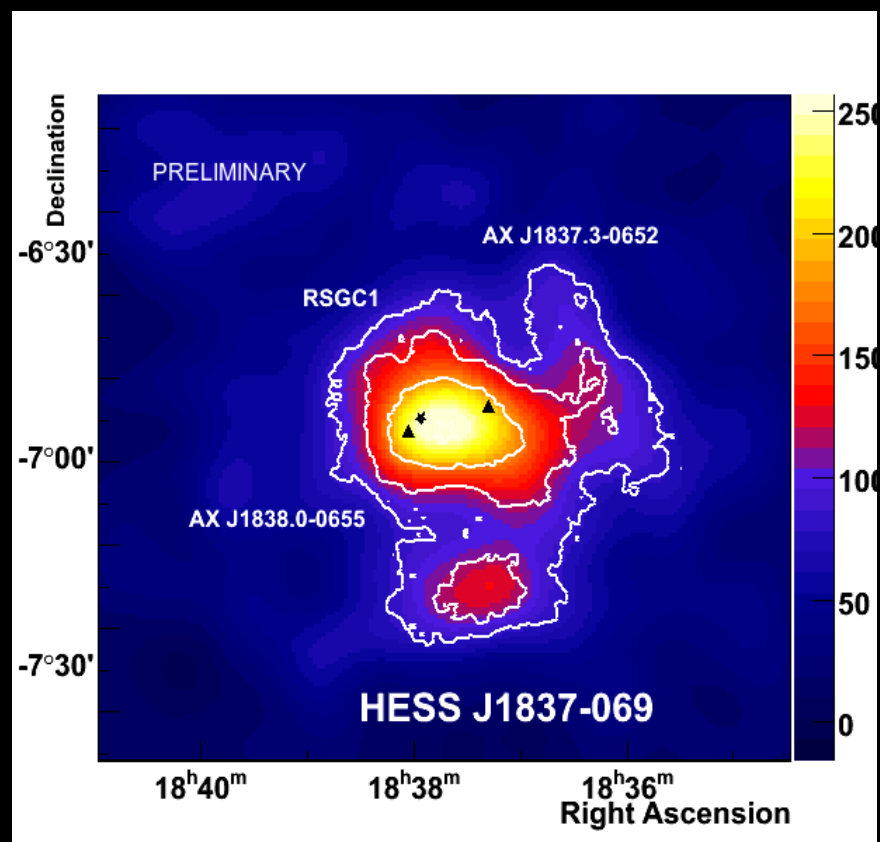
- Champ Magnétique $B \sim 15 \mu\text{G}$
(nébuleuse dominé par les particules)



Chandra 2-10 keV

Exemple de nébuleuse associée avec des pulsars « âgés »

HESS J1837-069

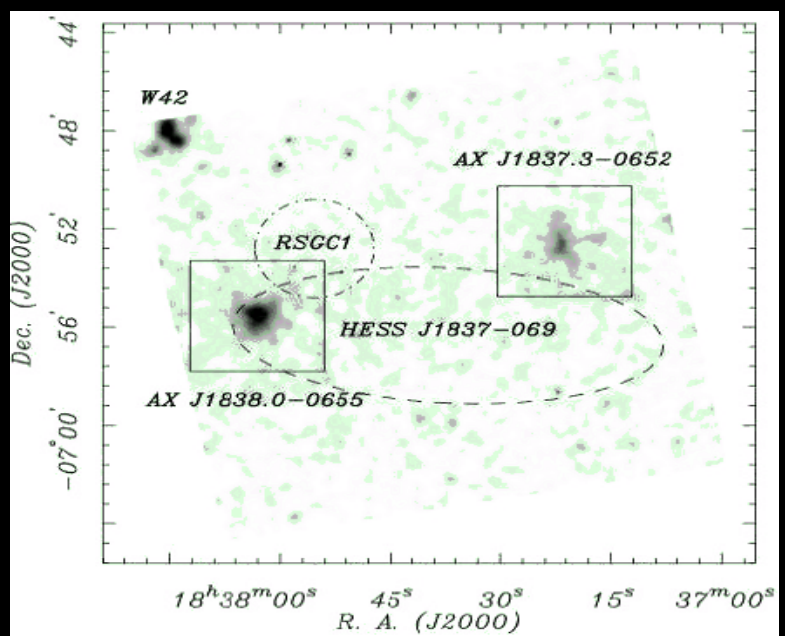


Marandon et al. gamma08

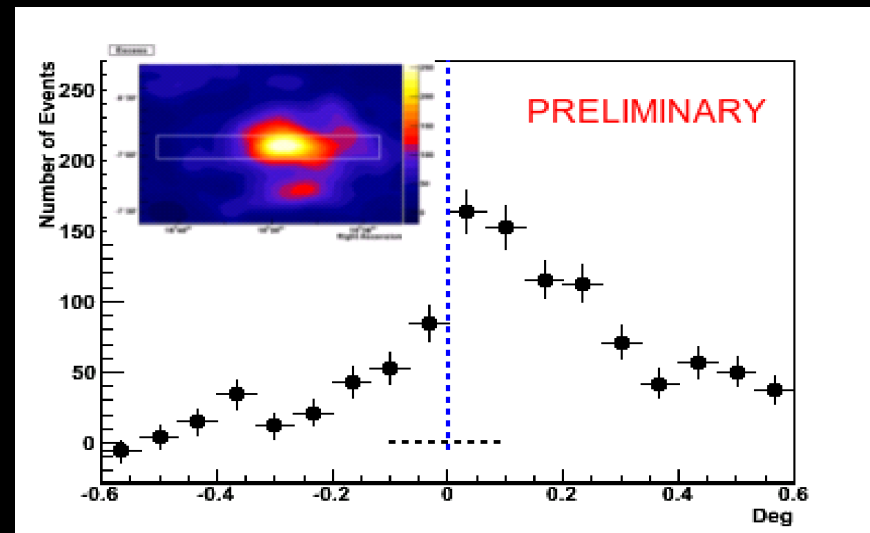
HESS Source découverte pendant le premier scan du plan Galactique.
 Source étendue $\sigma = 0.22^\circ$

Découverte récente d'un pulsar en rayons X avec RXTE grâce aux observations HESS (Gotthelf et al. 2008, Kuiper et al. 2008)

$P = 70.5 \text{ ms}$, $\dot{E} = 5.5 \cdot 10^{36} \text{ erg.s}^{-1}$, $\tau = 23 \text{ kyr}$



Gotthelf et Halpern, 2008

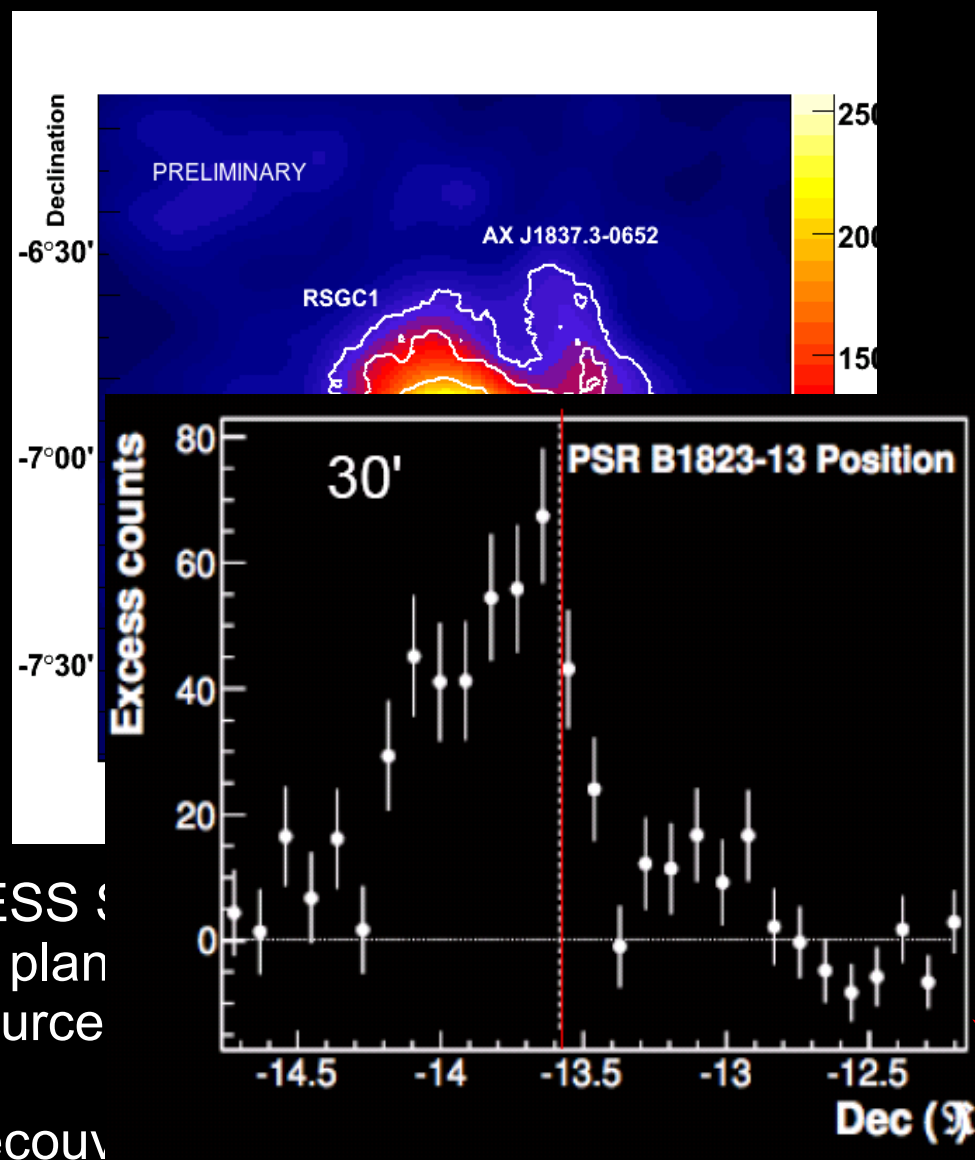


Marandon et al. gamma08

Asymétrie rappelant le profil de HESS J1825-137

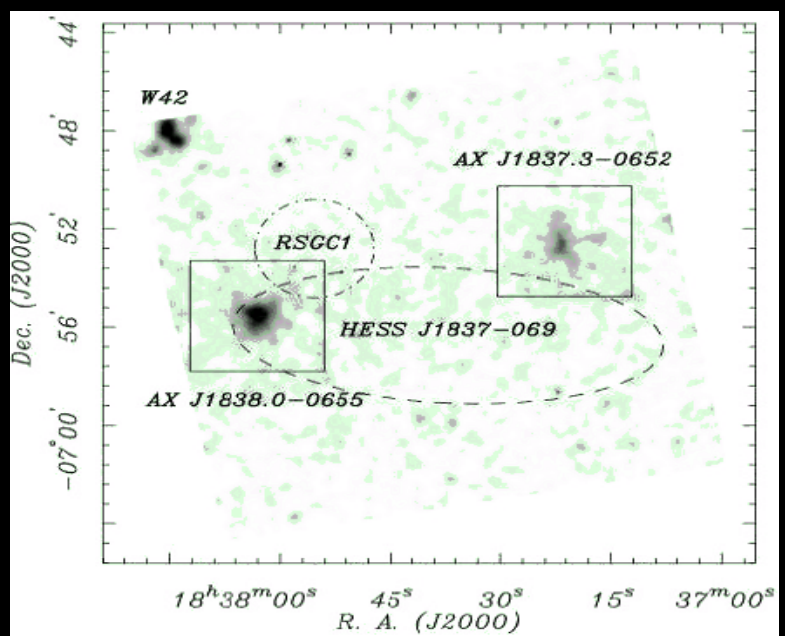
Exemple de nébuleuse associée avec des pulsars « âgés »

HESS J1837-069

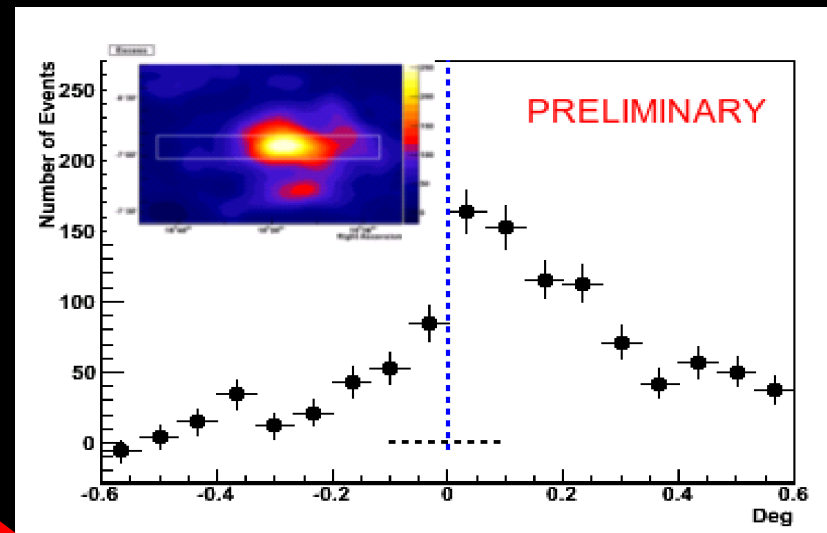


HESS :
du plan
Source

Découv
RXTE grâce aux observations HESS
(Gotthelf et al. 2008, Kuiper et al. 2008)
 $P = 70.5 \text{ ms}$, $\dot{E} = 5.5 \cdot 10^{36} \text{ erg.s}^{-1}$, $\tau = 23 \text{ kyr}$



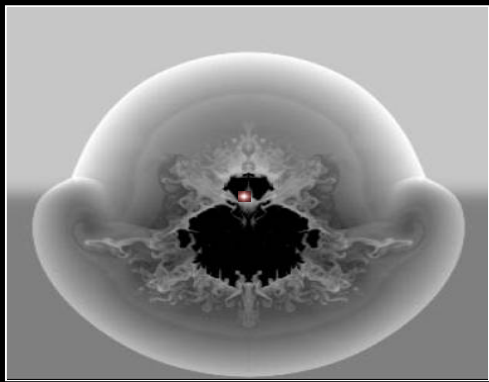
Gotthelf et Halpern, 2008



Marandon et al. gamma08

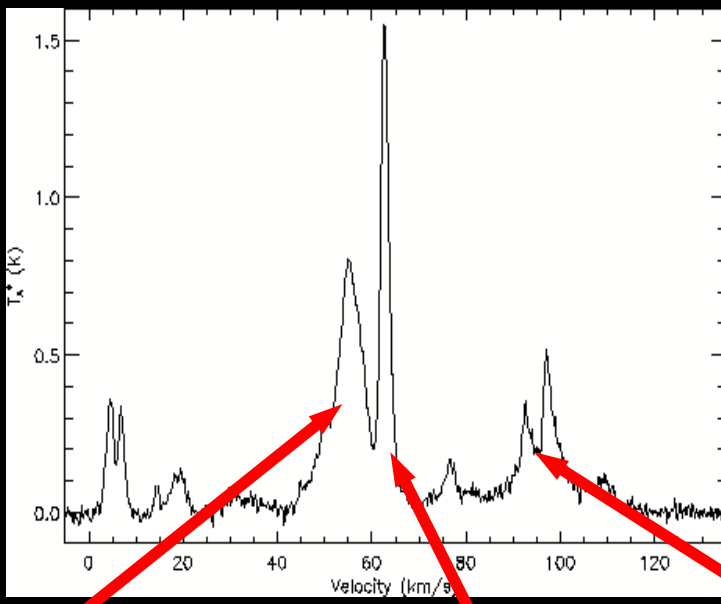
Asymétrie rappelant le profil de
HESS J1825-137

Explication de l'asymétrie et application à HESS J1837

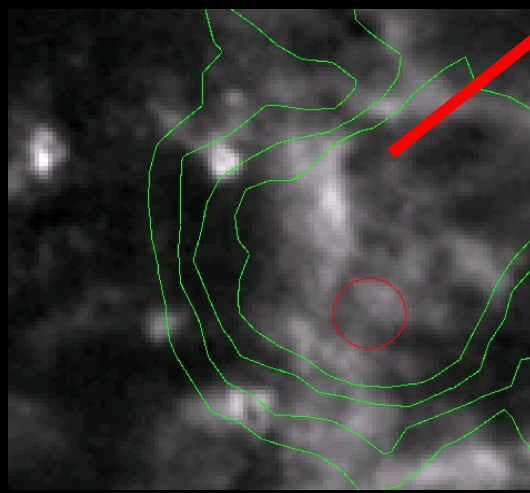


Blondin et al. 2001

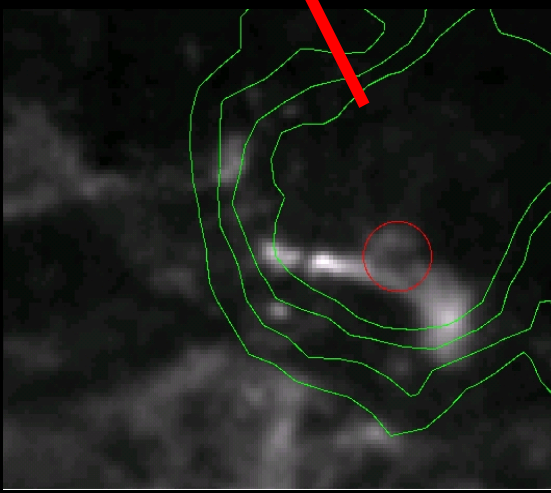
Explosion de la Super Nova dans un milieu inhomogène
→ Le choc en retour pousse la nébuleuse



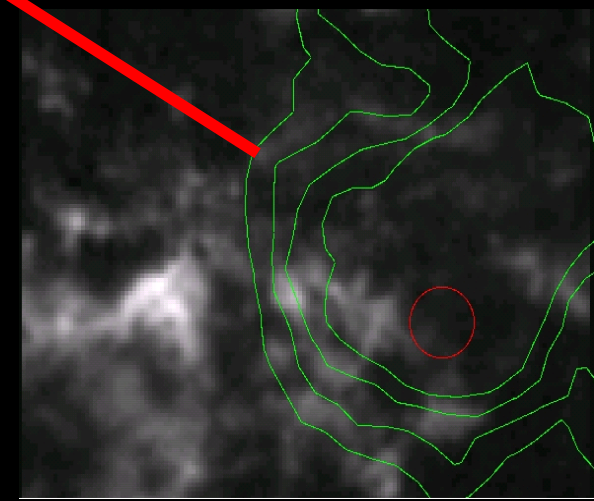
Distribution de la température moyenne dans un cercle de rayon 0.2° autour de la position du pulsar, en fonction de la vitesse.



Distance : ~3.5 or 11.8 kpc



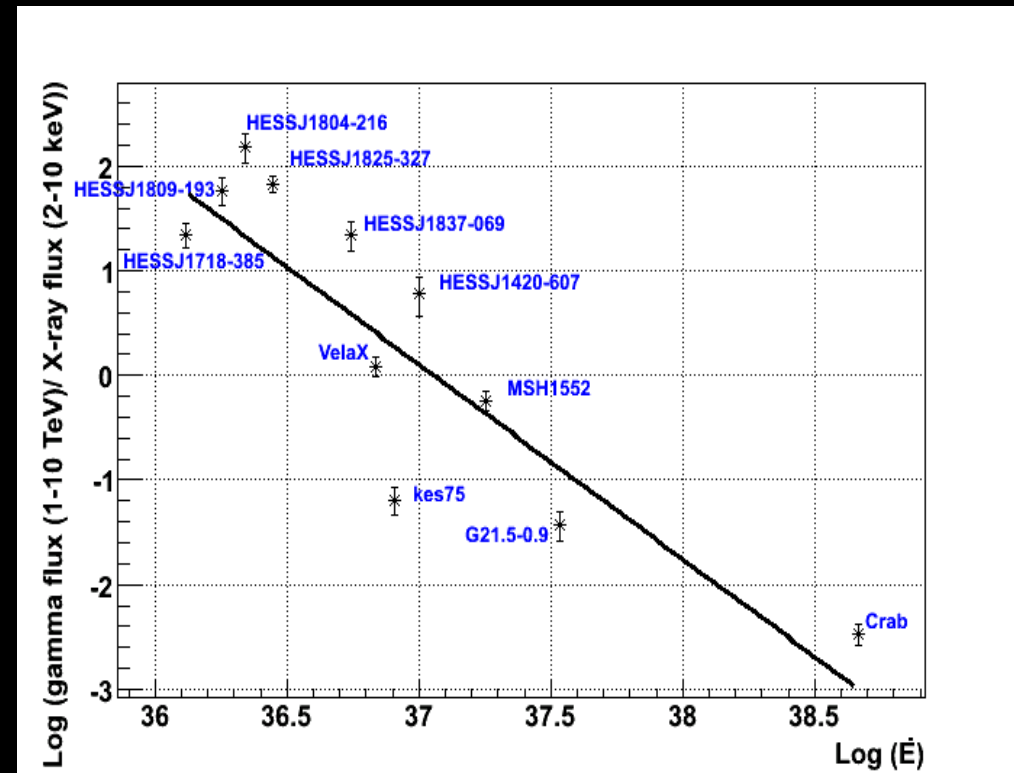
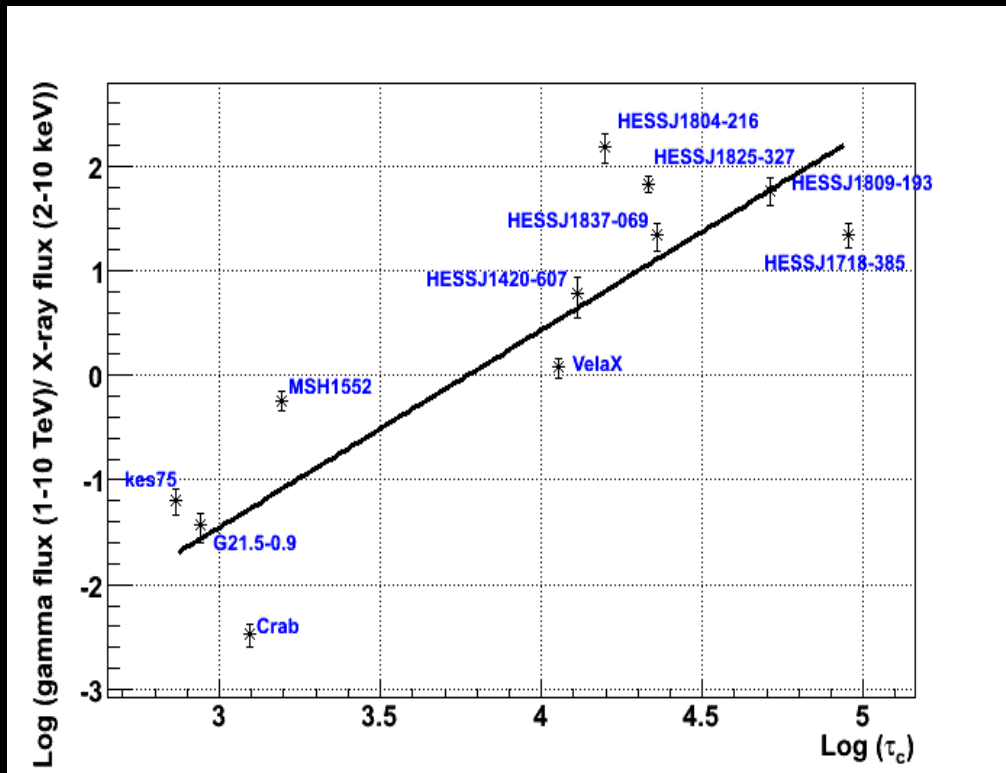
~4 or 11.4 kpc



~5.5 or 9.8 kpc

PWN : Études de populations

Le nombre de sources associées aux nébuleuses de pulsars permet de commencer des études de populations



Voir Mattana et al. 2008 & Grenier 2008

$$\frac{L_\gamma}{L_x} \propto t^{2.2}$$

$$\frac{L_\gamma}{L_x} \propto \dot{E}^{-1.9}$$

Permet de déduire des caractéristiques du pulsar à partir d'observation TeV et X !

Plan

- **PWN avec HESS**
 - Description des Pulsar Wind Nebulae
 - Point sur les observations
 - Quelques exemples
 - Études de populations
- **Amélioration de la discrimination de HESS**
 - Intérêt
 - Méthode utilisée
 - Quelques résultats prometteurs
- **Conclusions**

Analyse Multi-Variable : Les motivations

- **Après 5 ans de prise de données, la plupart des sources ~ 10% du crabe ont été détectées.**
- **Le seuil de HESS a augmenté à cause de la dégradation des télescopes : la sensibilité a diminué.**
- **Il faut plus de temps pour observer les sources à 1-2% du Crabe.**

Analyse Multi-Variable : Les ingrédients

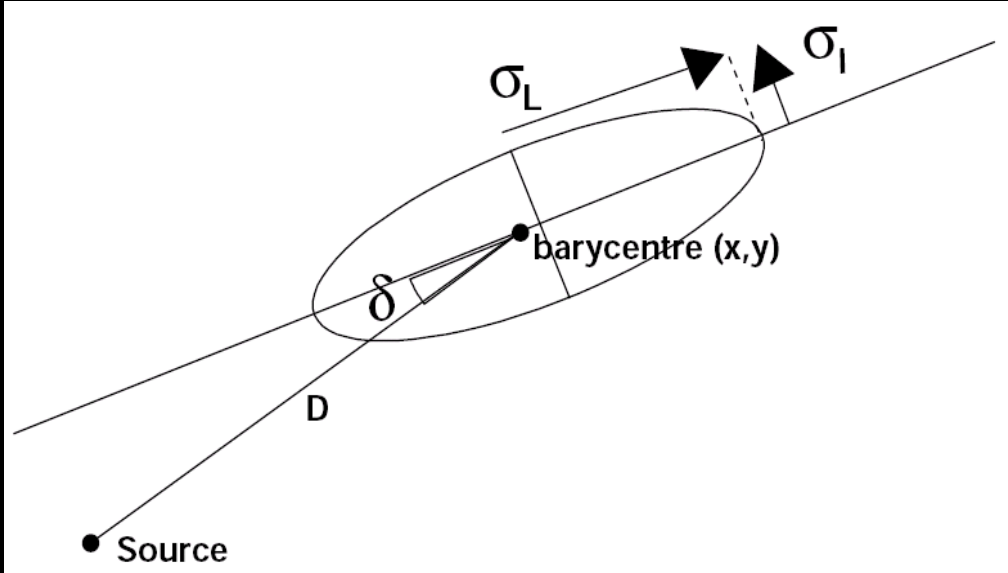
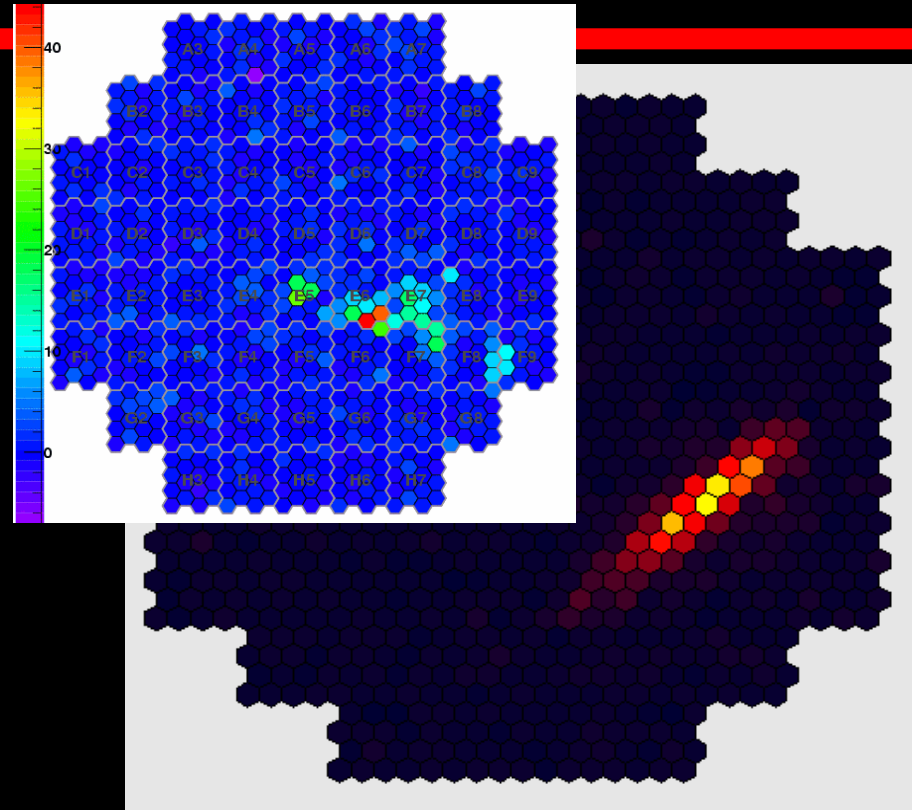
Différent type de reconstruction dans HESS :

- Hillas
- Model2D
- Model3D

Hillas :
 Fit d'une ellipse 2D sur chaque image de la caméra.
 Obtention d'une direction, des paramètres de l'ellipse et du barycentre de l'image, ainsi que la charge.
 --> Reconstruction de l'événement

--> Création aussi de paramètre réduit permettant la discrimination gamma/hadrons : MSCL et MSCW

$$MSCL = \frac{1}{N_{Tel}} \sum \frac{length - \langle length \rangle}{\sigma_{length}}$$



Analyse Multi-Variable : Les ingrédients

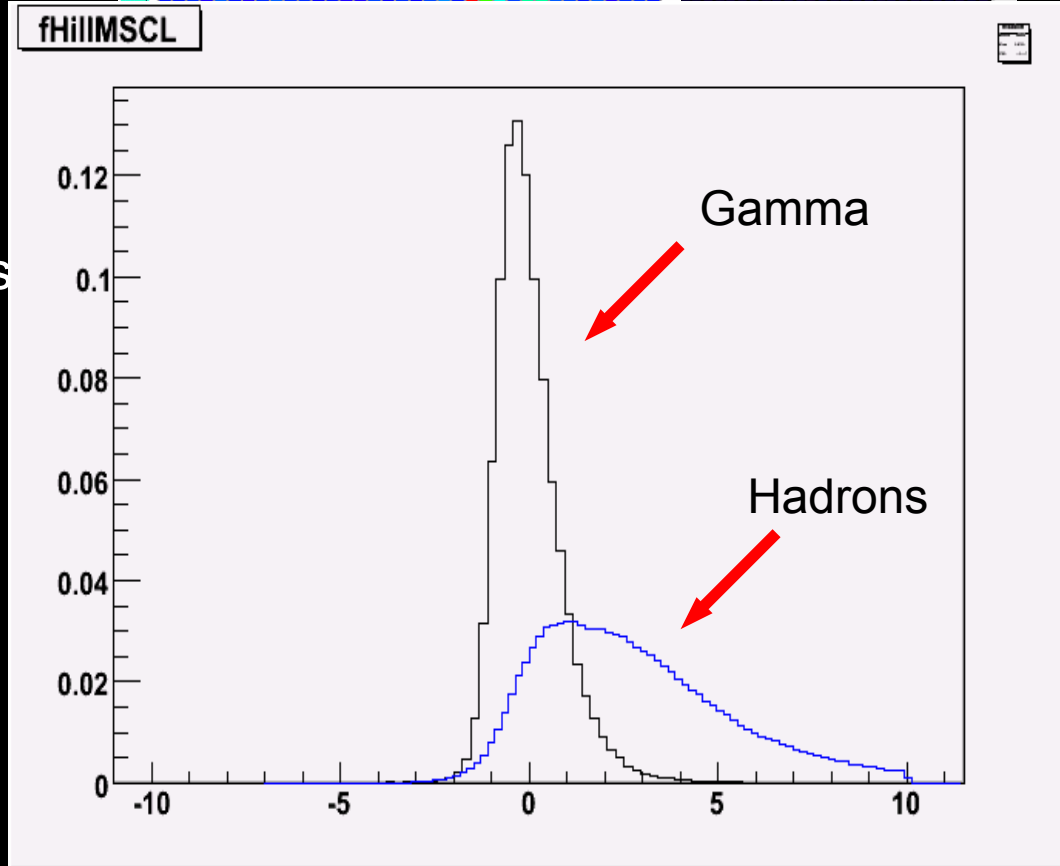
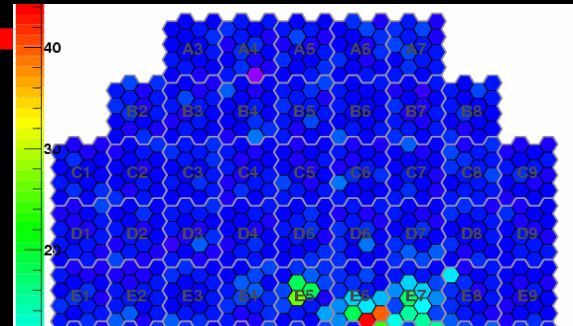
Différent type de reconstruction dans HESS :

- Hillas
- Model2D
- Model3D

Hillas :
 Fit d'une ellipse 2D sur chaque image de la caméra.
 Obtention d'une direction, des paramètres de l'ellipse et du barycentre de l'image, ainsi que la charge.

--> Reconstruction de l'événement

--> Création aussi de paramètre réduit permettant la discrimination gamma/hadrons : MSCL et MSCW



$$MSCL = \frac{1}{N_{Tel}} \sum \frac{length - \langle length \rangle}{\sigma_{length}}$$



Analyse Multi-Variable : Les ingrédients

Différent type de reconstruction dans HESS :

Hillas

Model2D

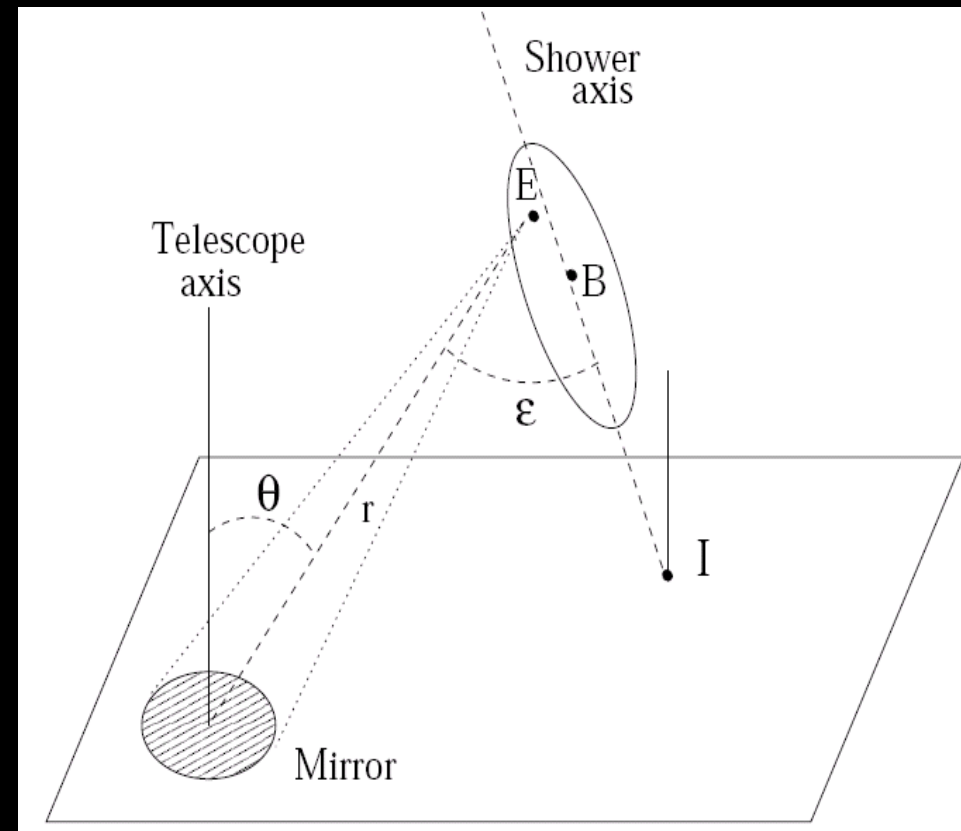
Model3D

Model 3D :

Chaque pixel correspond un angle theta et phi, ainsi qu'un angle solide.

Reconstruction de la gerbe en ajustant la charge vue dans les pixels sur un modèle d'émission (une ellipsoïde de révolution)

-->Accès a la gerbe directement.
(Longueur, largeur, direction, etc...)

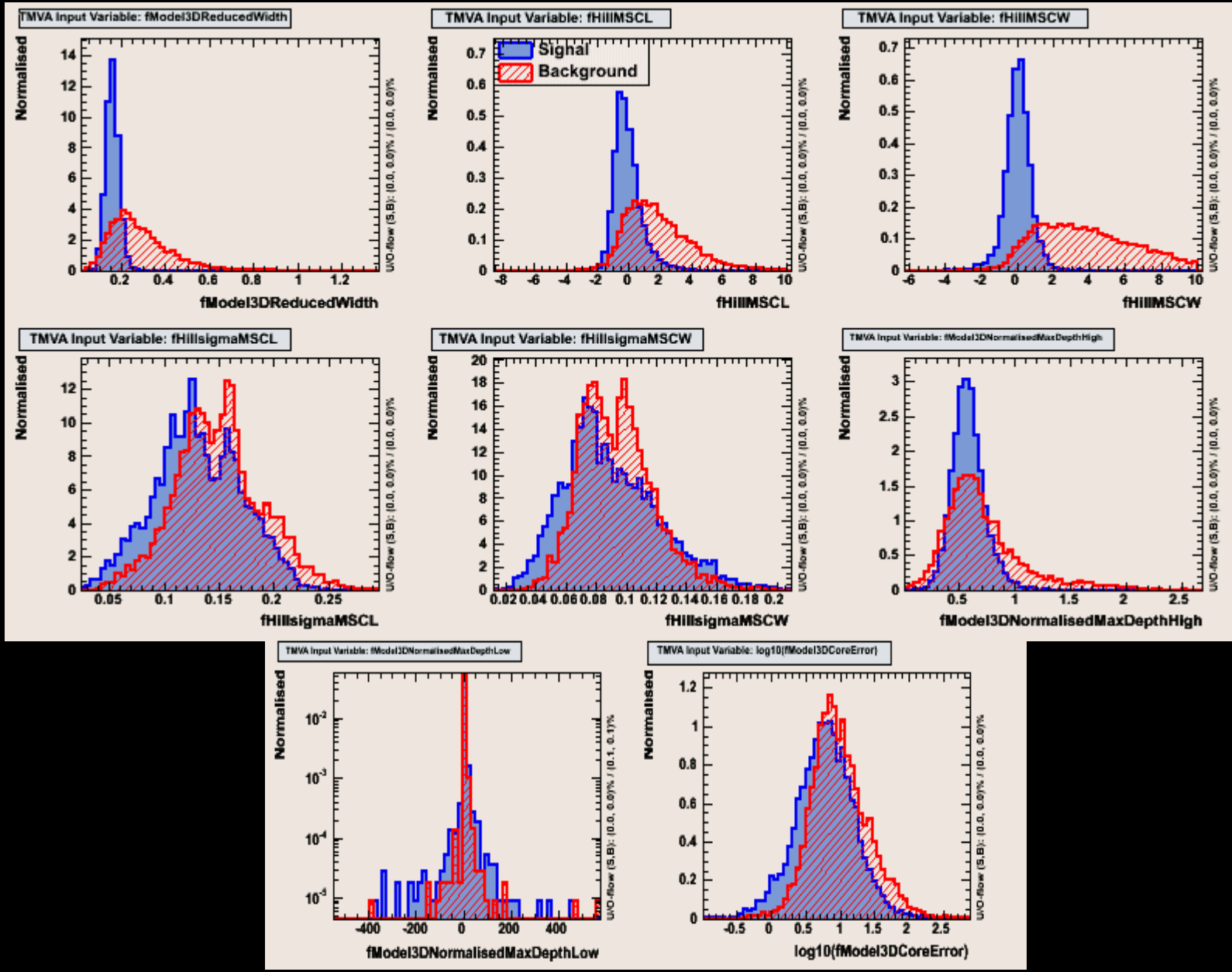


Lemoine 2006

Analyse Multi-Variable : Les ingrédients

- Paramètres d'Hillas:
 - MSCL & MSCW
 - Déviation standard de MSCL & MSCW
- Model 3D :
 - Largeur Réduite
 - CoreError (Erreur sur la position du pied de gerbe)
 - Normalized Max Depth High
 - Normalized Max Depth Low

Analyse Multi-Variable : Les ingrédients



Analyse Multi-Variable : La méthode utilisé

Boosted Decision Tree (de TMVA) :

Intérêt :

Peu sensible aux variables
non-discriminantes

« Compréhensible »

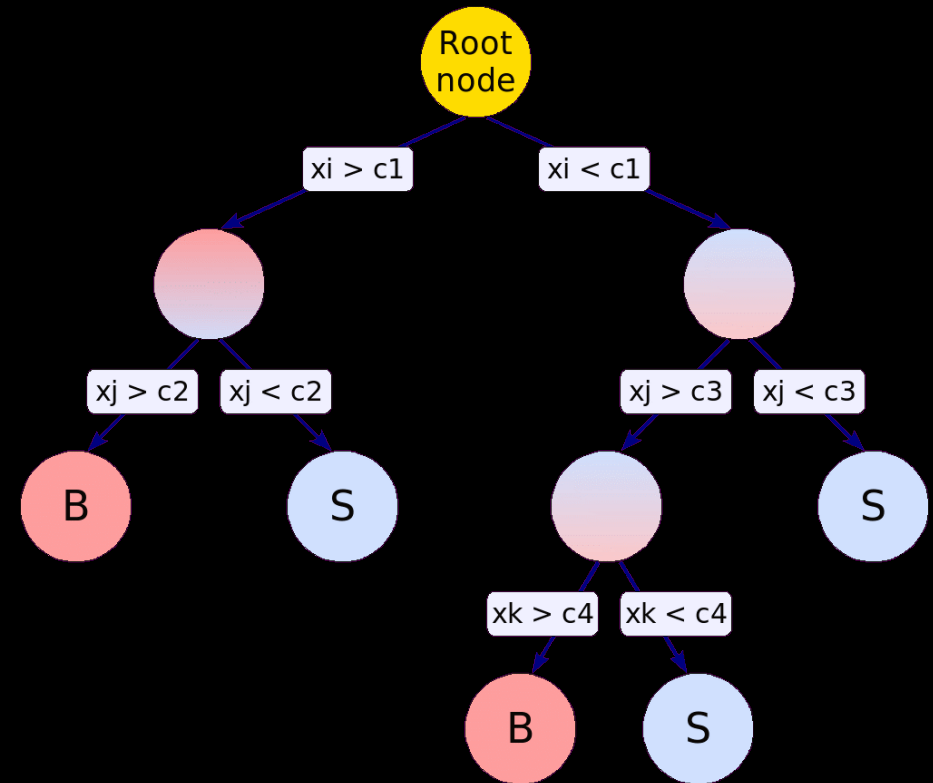
Robuste

Efficace sur les variables corrélées

Inconvénient :

Le surentraînement ! (Le système se
spécialise sur l'échantillon fourni)

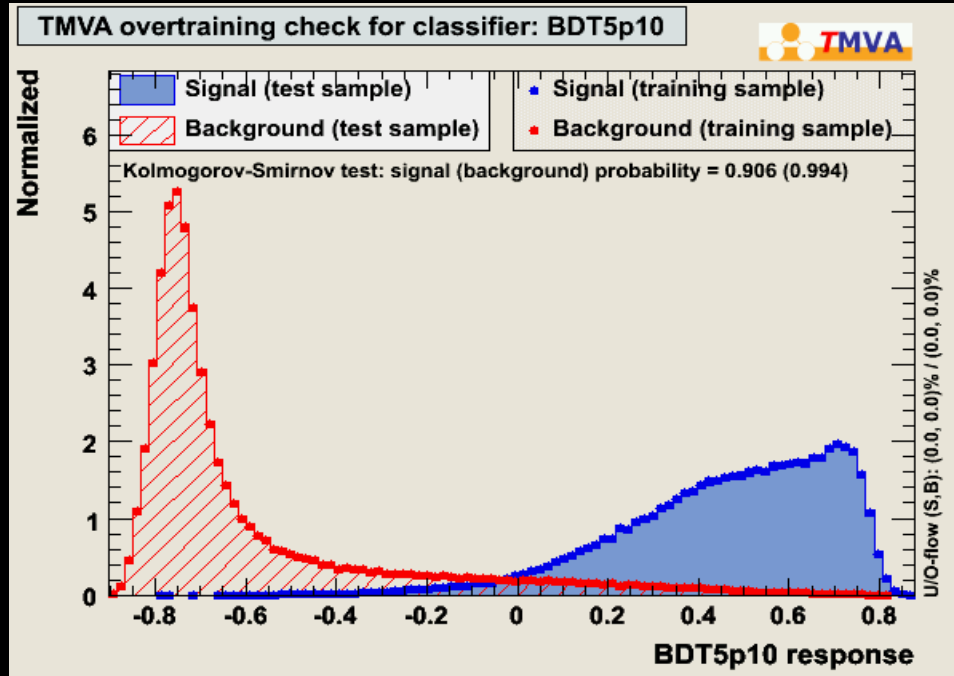
Remède : Couper les branches de faible
poids statistiques !



Analyse Multi-Variable : Des résultats prometteurs

Entraînement :
 γ : Monte-Carlo
 hadrons : Données « AGN »

Source	Standard Cuts	STD MVA	Ratio
	σ	σ	σ
A	9.52	13.65	1.43
B	96.63	88.2	0.91
C	2.22	2.78	1.25
D	4.11	7.69	1.87
E	18.41	23	1.25
F	7.31	7.85	1.07
G	0.29	2.35	8.1
H	7.16	9.04	1.26
I	3.39	5.17	1.53
J	11.94	20.14	1.69
K	10.72	15.62	1.46
L	8.27	11.28	1.36
M	3.7	2.8	0.76
N	5.25	7.69	1.46
O	4.43	6.71	1.51
P	11.96	19.66	1.64



En moyenne gain de 40% en significativité

$$S \propto \sqrt{T_{obs}}$$

Semblable à doubler le temps d'observation avec les coupures classique.

Conclusions

- Les observations H.E.S.S ont révélé toute une classe de PWN d'âge moyen grâce à l'émission IC des électrons relique complétant ainsi l'image donnée par la radio et les rayons X. Nous avons par la même occasion, accès à l'histoire de ces objets a la fois grâce à la morphologie, et leur spectre.
- Le nombre de source pouvant être associé a des Pulsars permet de mettre en place des études de populations, et de dégager des relations entre différentes longueurs d'onde. Elle peuvent donner des informations sur les pulsars non observé.
- L'analyse MVA appliqué a HESS n'en est qu'à ses débuts et les résultats sont déjà intéressant. Des gains semblent encore possible en découpant en bande en angle zénithal, en énergie, en ajoutant de nouvelles variables discriminantes... Mais beaucoup de travail encore à faire du coté de la maîtrise des systématiques! (Surface efficace, stabilité du fond, etc...)
Néanmoins, cela semble prometteur tant au niveau des sources à « découvrir », que pour celle déjà existante.