

Étude des sources gamma HESS J1640.6-4633 et HESS  
J1641.0-4619 :  
source d'accélération de rayons cosmiques de hautes  
énergies ?

Arnaud Mares

Centre d'Etude nucléaire de Bordeaux Gradignan

Groupe astroparticules

Directeur de thèse : Marianne Lemoine Goumard

18 octobre 2018

# Table des matières

- I] Fermi : Présentation
- II] Présentation des sources
- III] Sélection des données et création du modèle
- IV] Résultats
  - Distribution spectrale en énergie de J1640
  - Modélisation
  - Spectre + Etude de variabilité de J1641
- IV] Conclusion et perspective

# La mission Fermi

Lancé le 11 Juin 2008

Masse :  $\sim 4.3$  T

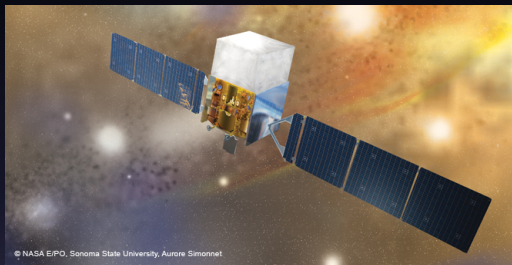
Mission : 5-10 ans

Inclinaison :  $25.58^\circ$

Période : 95.33min (1h30)

Précession : 54j

**Objectif : Observation du ciel  
en rayonnements gamma**



Deux instruments :

- Le Large Area Telescope (LAT)
- Gamma ray Burst Monitor (GBM)

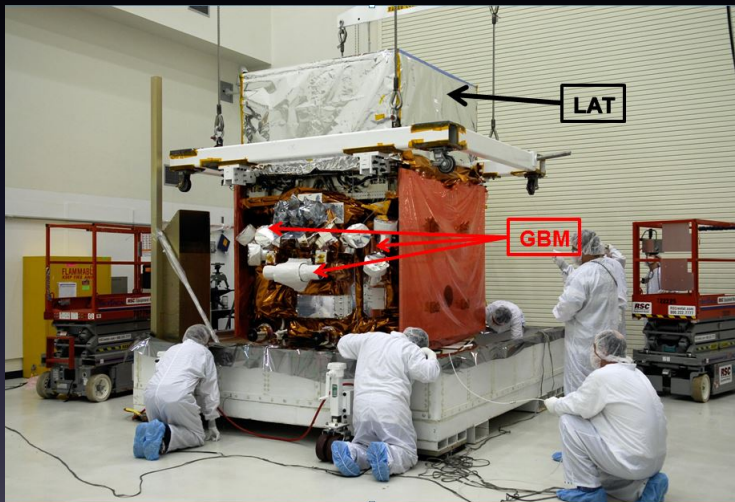
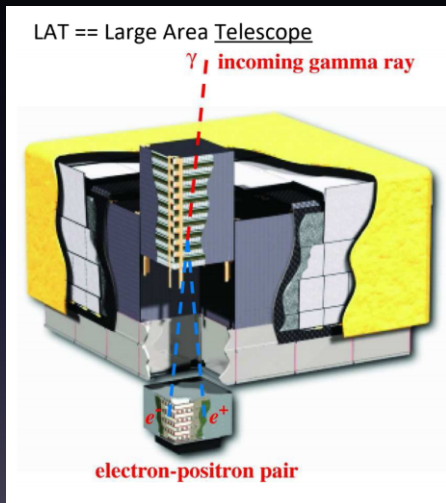
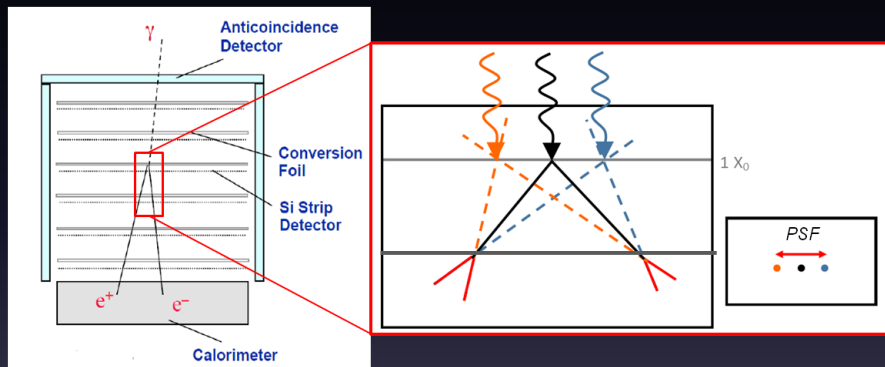


Figure – Les instruments du satellite Fermi

- Large Area Telescope :  
téléscope à conversion de paires
- Trajectographe : provenance  
des photons (+énergie)
- Calorimètre : énergie  
(+provenance)

$\gamma$  détectés : 30MeV à  $\sim$  800  
GeV

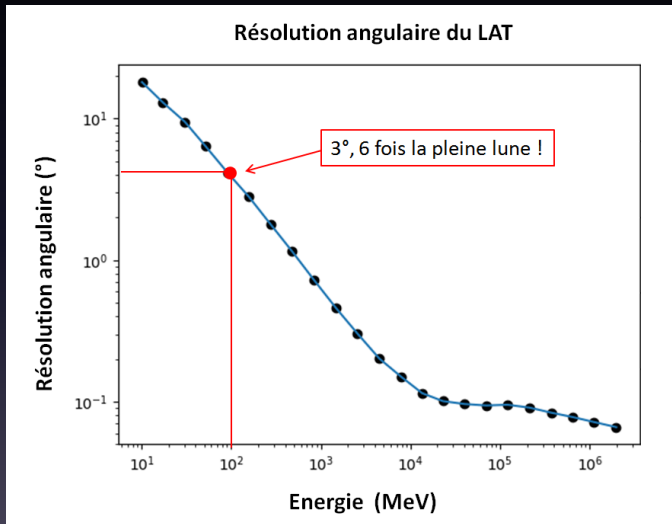




Diffusion multiple des électrons

⇒ La résolution angulaire ( et énergétique) dépend de l'énergie du photon

# Evolution de la résolution angulaire

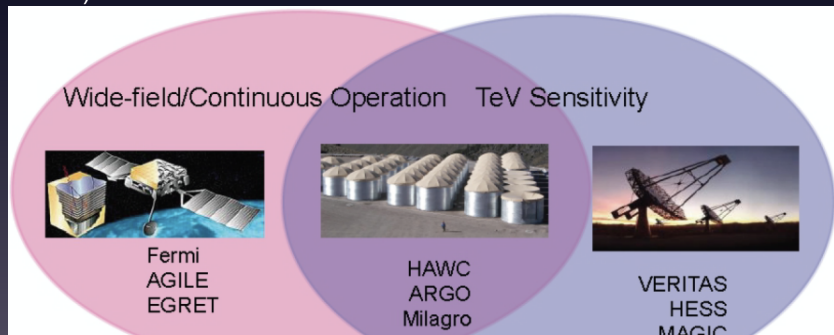


# Complémentarité des instruments $\gamma$ 5

-Satellite : couverture en continue et large du ciel du MeV  $\rightarrow$  GeV

-détecteurs au sol : sensibilité au TeV

- Excellente résolution angulaire et en énergie, mais champ de vue de  $3.5^\circ$  et cycle utile de 10%.
- Détecteur de particules ont des champs de vue  $120^\circ$  et un cycle utilise de 90% mais une résolution angulaire de  $\sim 0.6^\circ$  (@ 1 TeV)

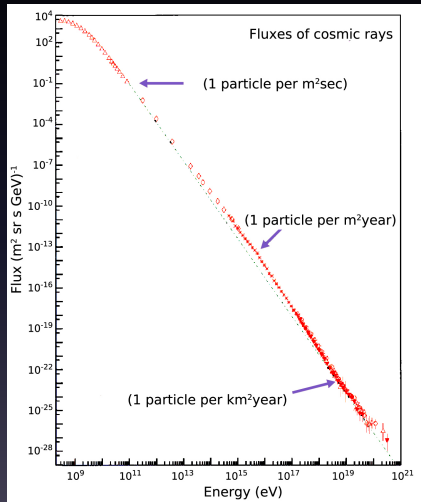


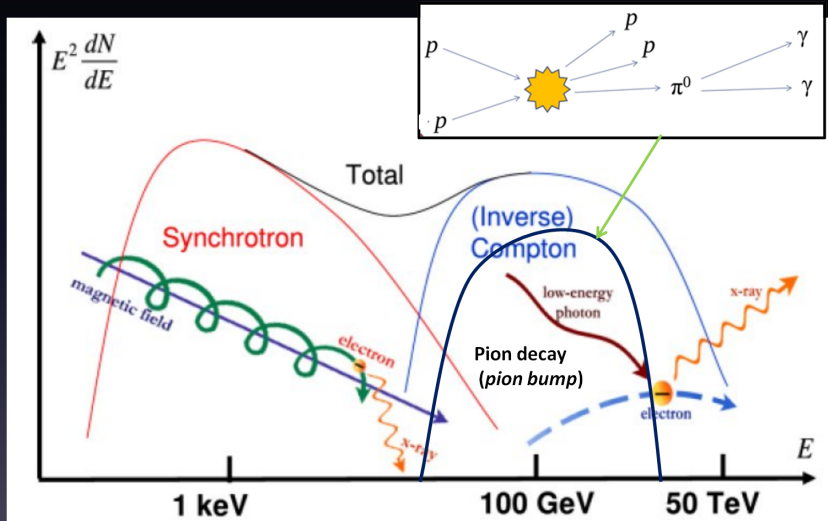


# Pourquoi ?

- rayons cosmique : 87% proton
- quels mécanisme pour les accélérer ?
- par quelle source ?

**observation gamma  $\Rightarrow$   
observation indirecte de  
l'interaction des rayons  
cosmiques avec le milieu  
interstellaire**





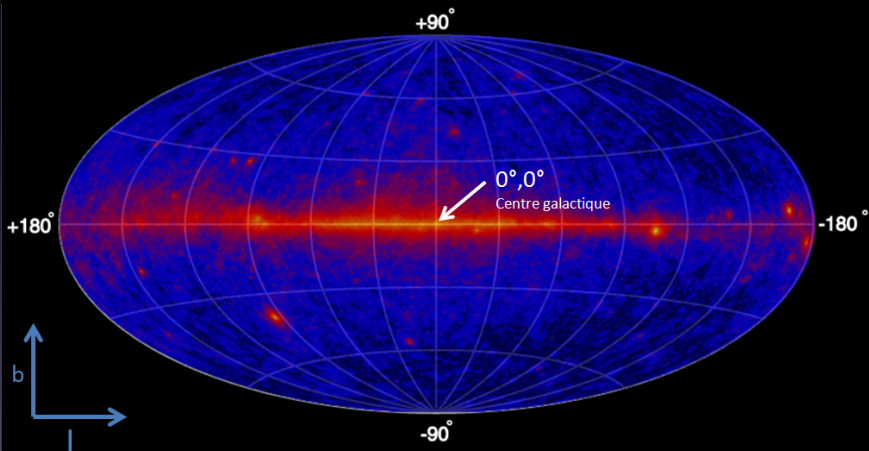
Pour les sources répertoriées, seul les électrons sont responsables du rayonnement observé !

**Où sont les protons ?**  $\Rightarrow$  La thèse : rechercher le "pion bump" , la preuve que les protons sont accélérer dans différentes sources.

C'est comme trouver les quelques huîtres capables de donner des perle parmi des milliers d'autres.



## Coordonnees galactiques

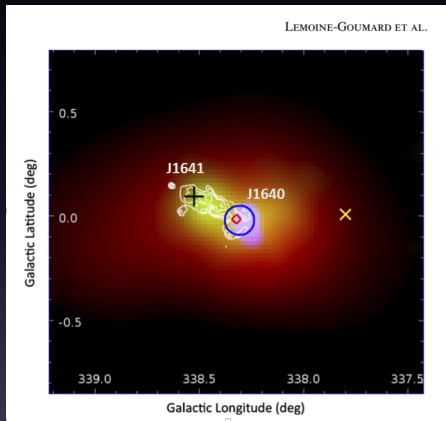


- ▶ Localisation : plan galactique
- ▶ Séparation :  $0.25^\circ$

J1640 : étendue, coincide avec SNR 338.3-0.0

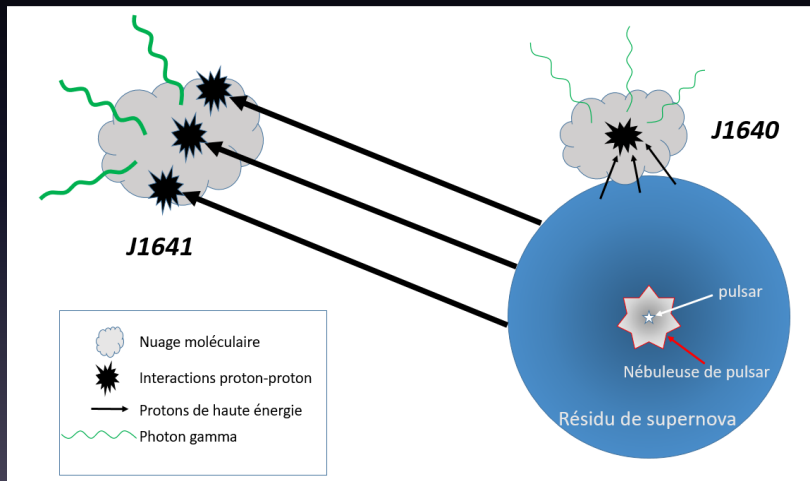
J1641 : ponctuelle, candidat comme pévatron

⇒ Accélérateur de protons ?



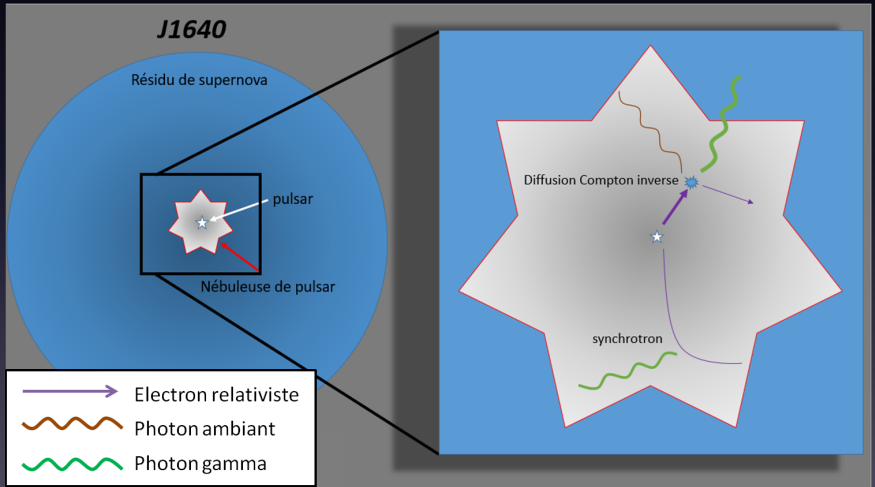
# Scénario hadronique : accélération et échappement de protons

12



# Scénario leptonique : diffusion inverse compton + synchrotron

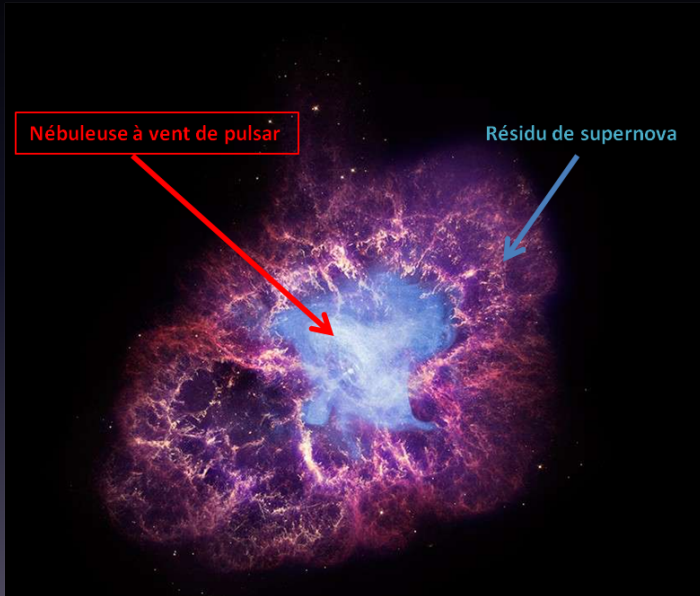
13





# Nébuleuse du Crabe

14



## Critères de sélection des données

---

---

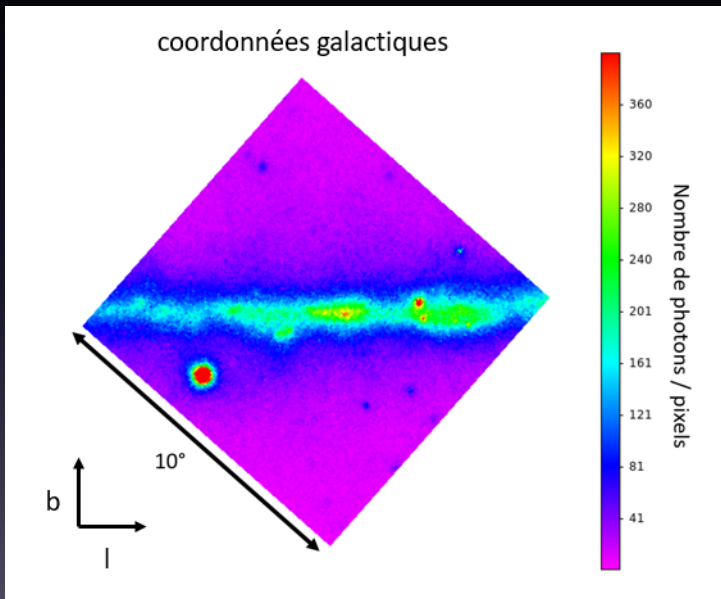
Position de nos sources

ROI :  $10^\circ$

Intervalle en énergie :  $1 \text{ GeV} \leq E_\gamma \leq 2 \text{ TeV}$

Intervalle de temps : 9ans de données

---



Modèle  $\Rightarrow$  liste de sources + caractéristiques :

- position
- morphologie
- forme spectrale

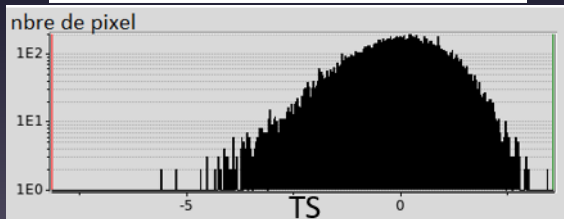
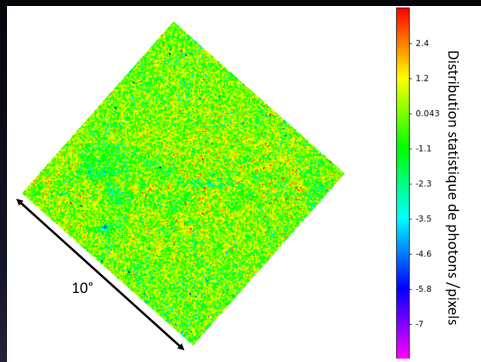
Critère : sources susceptibles de contribuer aux données

$\Rightarrow$  sources dans  $20^\circ$  :

-libres dans  $4^\circ$

-Préfacteurs libres pour sources variables + sources Test  
Statistique  $>150$  dans  $12^\circ$

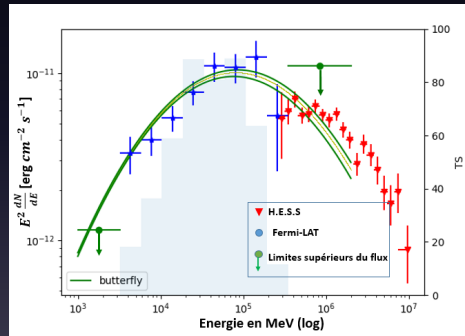
*spectre J1640 modélisée comme parabole logarithmique*



# Distribution spectrale en énergie : J1640

19

- Très bon raccord entre Fermi et HESS
- Indice dur et courbure significative
- Bonne contrainte par les limites supérieures
- Très différent de la précédente analyse



# Modélisation *naima* : Compton inverse + synchrotron

20

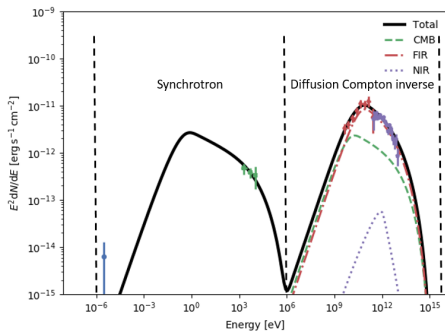
-*naima* : modélisation des points multi- $\lambda$  en simulant des processus physiques

-Distance : 10 kpc

-Densité moyenne :  $1 \text{ cm}^{-3}$

## Résultats

indice 1	$1.00^{+0.20}_{-0.15}$
B ( $\mu\text{G}$ )	$3.5 \pm 0.6$



- Faible B :  $3.5 \pm 0.6 \mu\text{G}$  = vieille supernova  
age estimé du résidu de supernova  $\sim 3\text{ky} \Rightarrow$  trop jeune

- Indice très dur de 1 + faible B : nébuleuse à vent de pulsar  
relique ?

-Energie des électrons :  $\sim 3.44 * 10^{48} \text{erg} \Rightarrow 0.3\% E_{SN}$

!!! Erreurs systématiques en dessous de 10 GeV + J1641 !!!

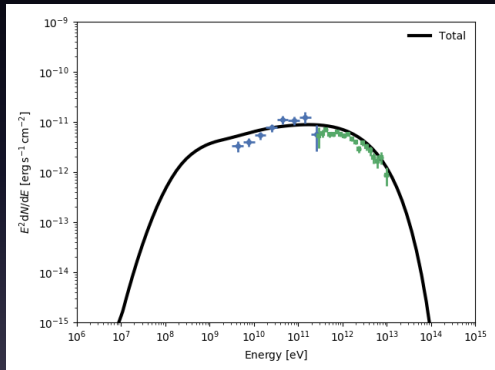


-Pas aussi bon que la diffusion Compton

-Problème : courbure

Artefact du diffus ?

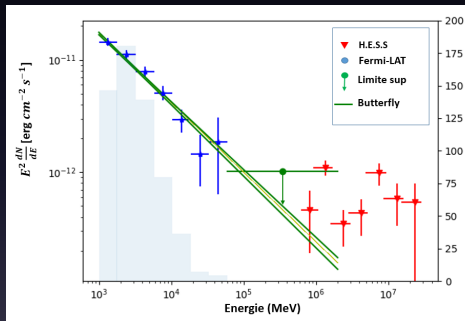
Nécessite une analyse à basse énergie



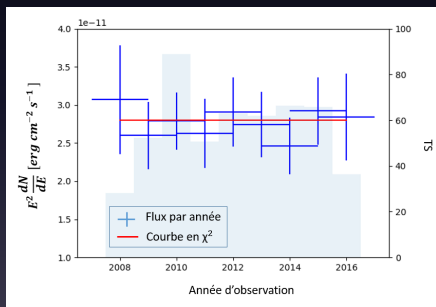
$$E_{proton} = 235 \% E_{supernova}$$

	2014	2018
Indice	$2.6 \pm 0.2$	$2.54 \pm 0.02$
TS	105	509

-Raccord Fermi - HESS : deux composantes ?



Quel type de source ?



- Analyse de vraisemblance pour chaque année.
- Modèle : tous les indices fixés.

Résultat : flux constant sur 9 ans (hors 2008), pas de variabilité.

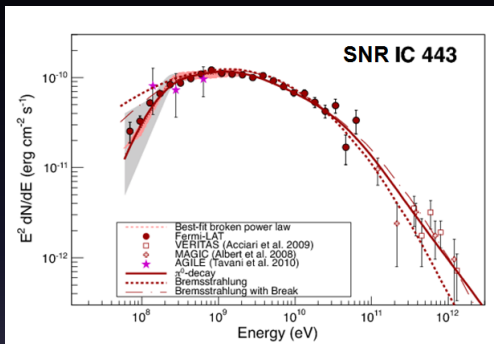
- Radiation par accélération + échappement de protons remis en question
  - $\gamma$  de J1640  $\Rightarrow$  PWN relique par Compton inverse
- vérification : analyse à basse E  $\Rightarrow$  nouveau modèle de diffus
- Pas d'explication pour J1641, pas de variabilité sur 9ans de données

$\Rightarrow$  **source inconnue**

# Quelques mots sur la thèse

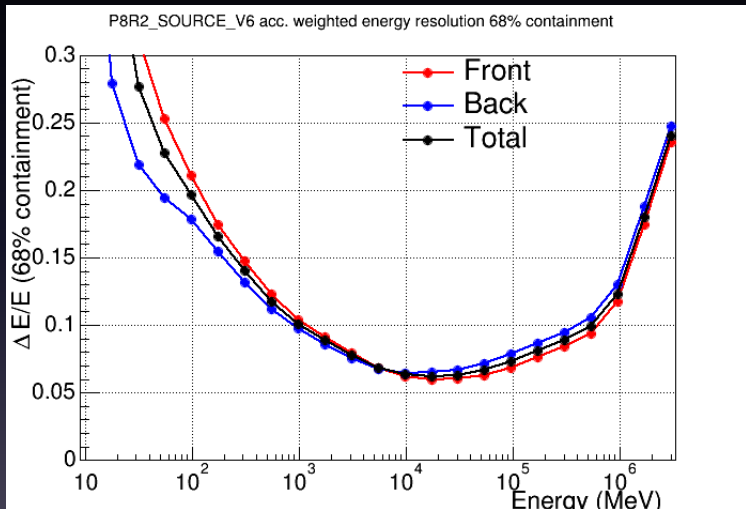
Recherche du **"pion bump"** :  
cassure dans le spectre en  
énergie  
⇒ Preuve de l'accélération des  
proton dans des sources  
astrophysiques.

**Seules quatre émetteurs  
gamma de ce type ont été  
observés dans la Galaxie !**



Thèse : Recherche systématique des meilleurs candidats  
accélérateurs de protons observés par le LAT en effectuant des  
analyses de sources entre 50 MeV et 5 GeV pour révéler leurs  
cassures spectrales.

# Résolution en énergie du LAT



## Critères de sélection des données

---

---

Position de nos sources

Angle zénithal :  $< 105^\circ$

ROI :  $10^\circ$

Intervalle en énergie :  $1 \text{ GeV} \leq E_\gamma \leq 2 \text{ TeV}$

Intervalle de temps : 04/08/2008 - 01/01/2017

---

ft2 + sélection des bon  $\Delta t$  : -lune, soleil hors du champs de vu,  
-passage SAA  
-trop poche de l'atmosphère

# Résultat spectre J1640

## J1640 1 GeV - 2 TeV

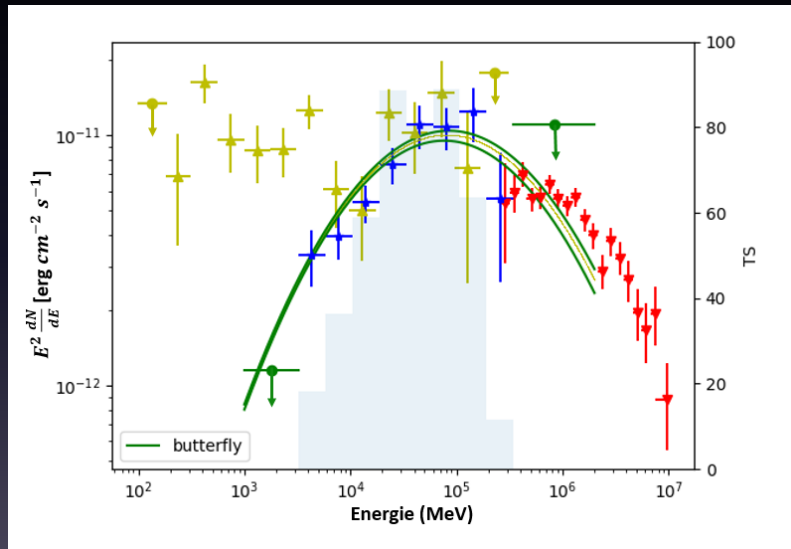
flux énergétique ( $10^{-11} \text{ erg/cm}^2/\text{s}$ )	$4.60 \pm 0.22$
indice spectral	$0.862 \pm 0.007$
courbure	$0.129 \pm 0.002$
TS	306.88

spectre en logpara :  $2\Delta\log\text{-like} = 24$

⇒ amélioration de la vraisemblance de  $\sim 5\sigma$  / loi de puissance



# Comparaison 2014-2018



# MCMC

## Walker traces

