

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 : ~ 4.3 T

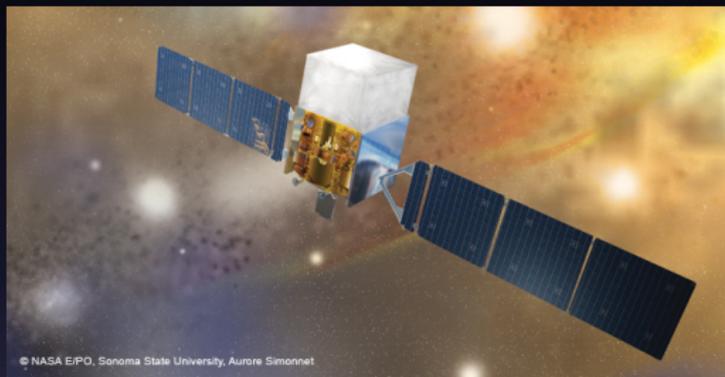
Mission : 5-10 ans

Inclinaison : 25.58°

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)

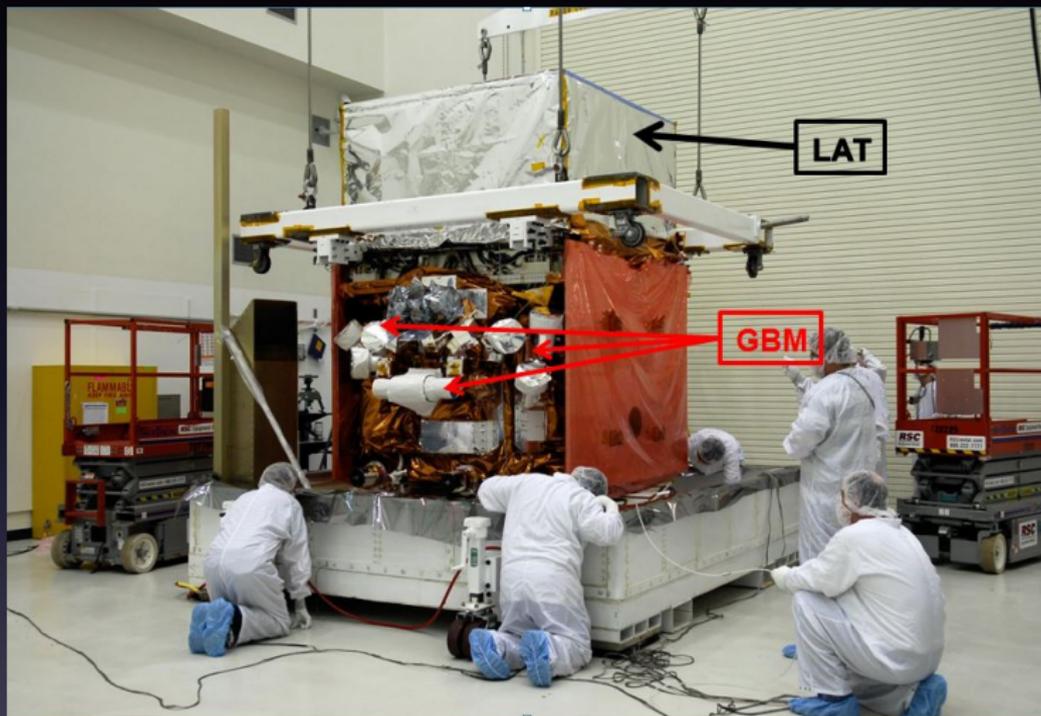
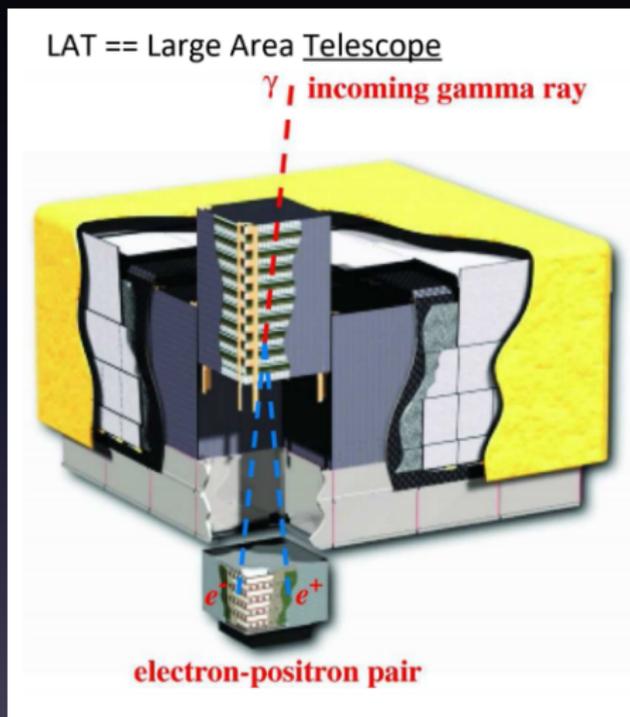
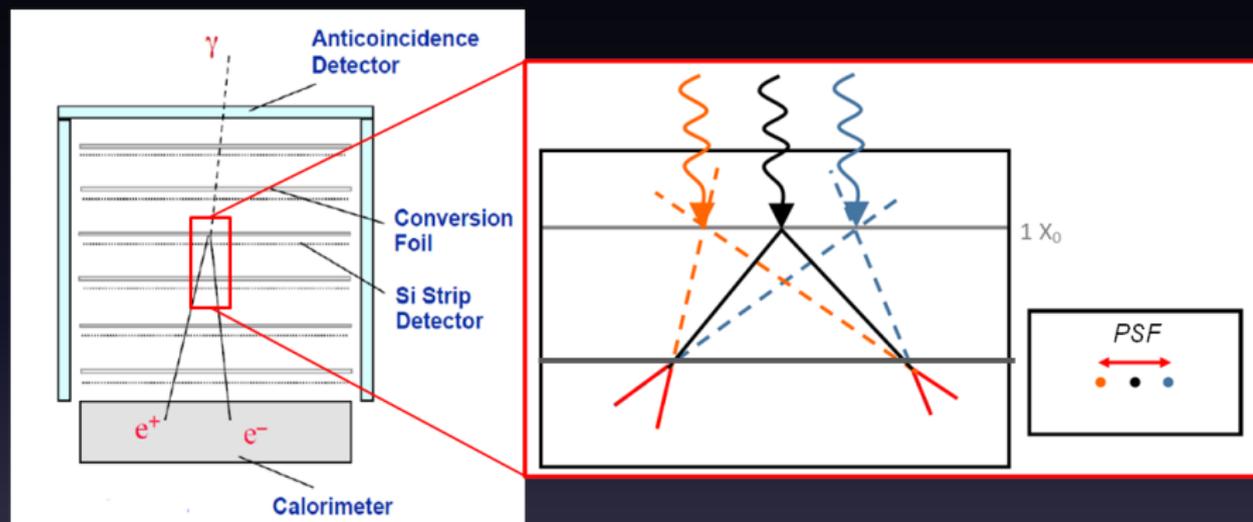


Figure – Les instruments du satellite Fermi

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

γ détectés : 30MeV à ~ 800
GeV

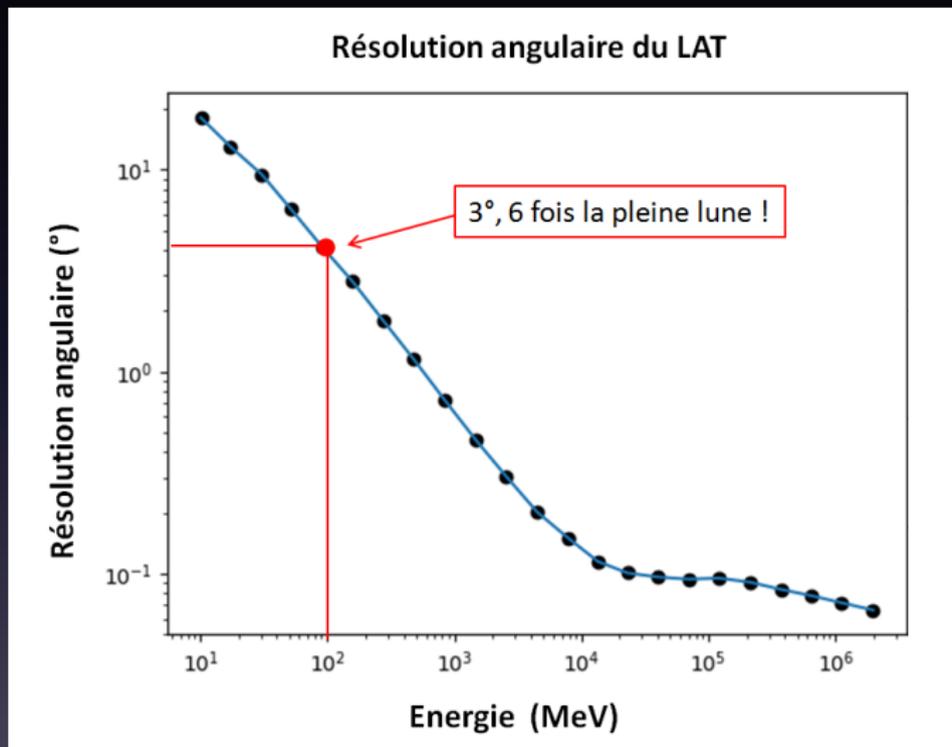




Diffusion multiple des électrons

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

Evolution de la résolution angulaire

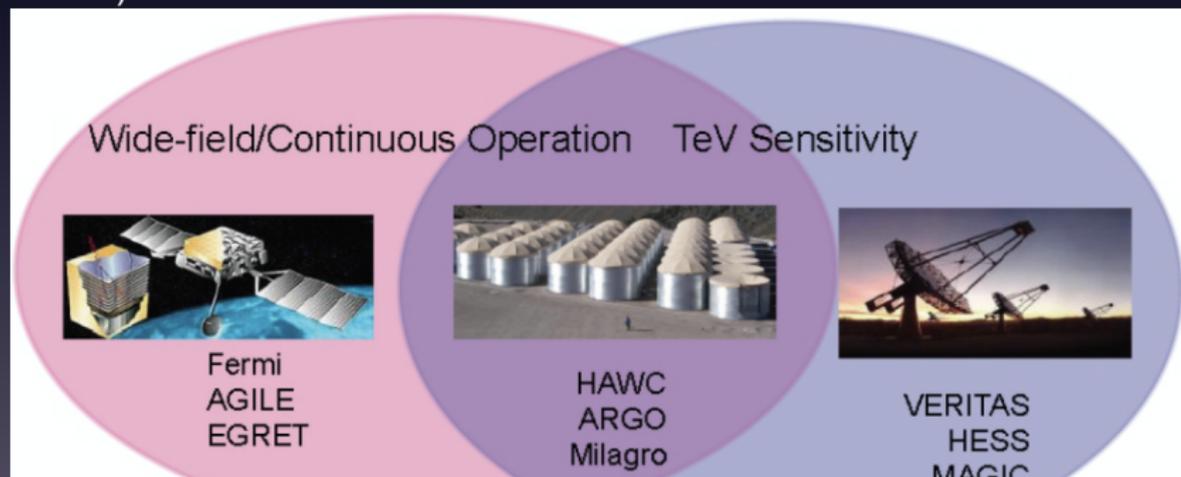


Complémentarité des instruments γ 5

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

-détecteurs au sol : sensibilité au TeV

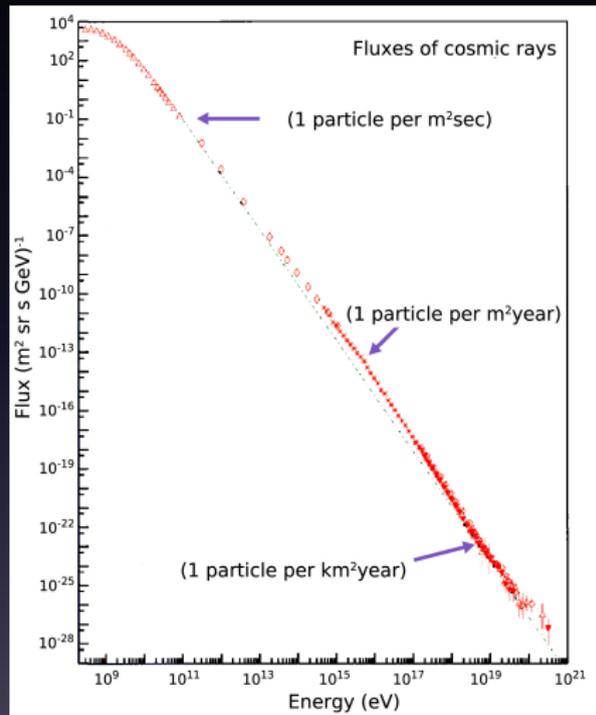
- Excellente résolution angulaire et en énergie, mais champ de vue de 3.5° et cycle utile de 10%.
- Détecteur de particules ont des champs de vue 120° et un cycle utilise de 90% mais une résolution angulaire de $\sim 0.6^\circ$ (@ 1 TeV)



Pourquoi ?

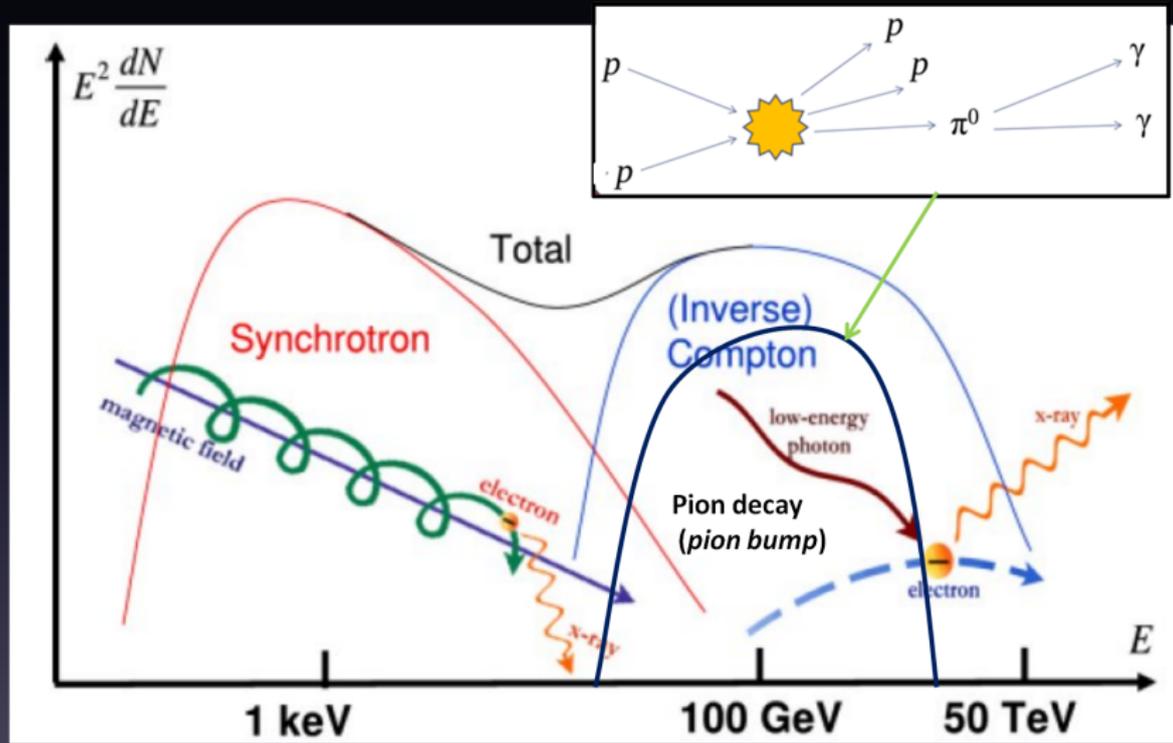
- rayons cosmique : 87% proton
- quels mécanisme pour les accélérer ?
- par quelle source ?

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



Processus radiatif

7

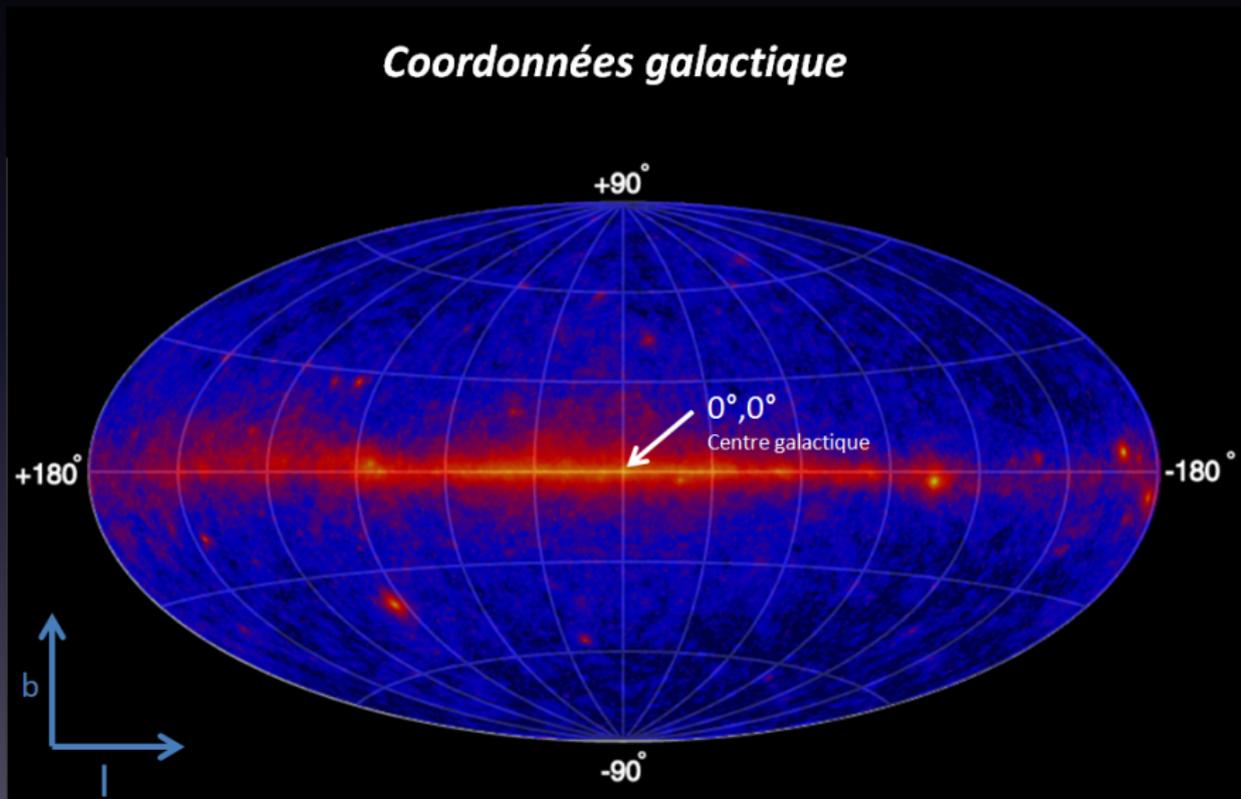


Pour les sources répertoriées, seul les électrons sont responsables du rayonnement observé !

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.



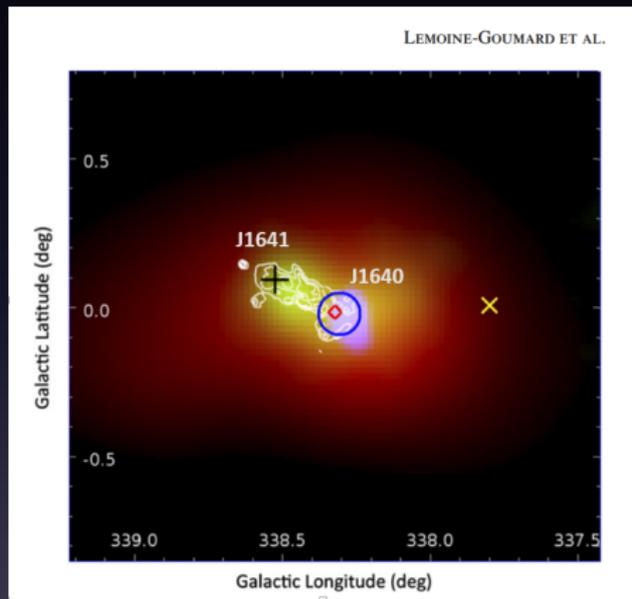


- ▶ Localisation : plan galactique
- ▶ Séparation : 0.25°

J1640 : étendue, coincide avec SNR 338.3-0.0

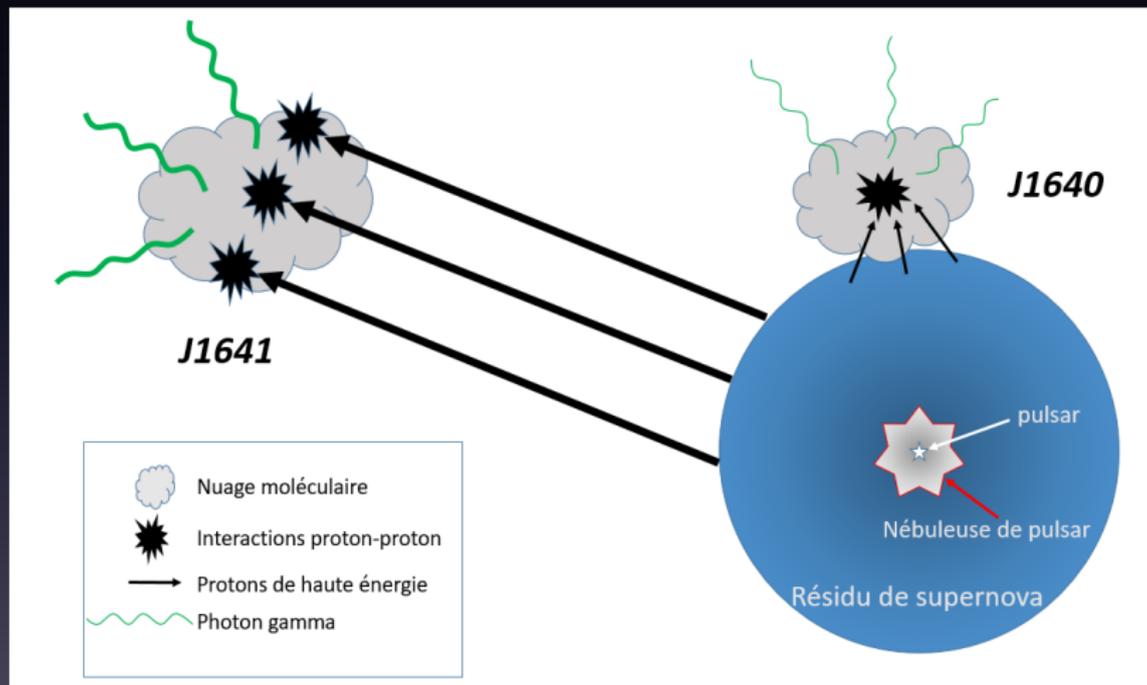
J1641 : ponctuelle, candidat comme pévatron

⇒ Accélérateur de protons ?



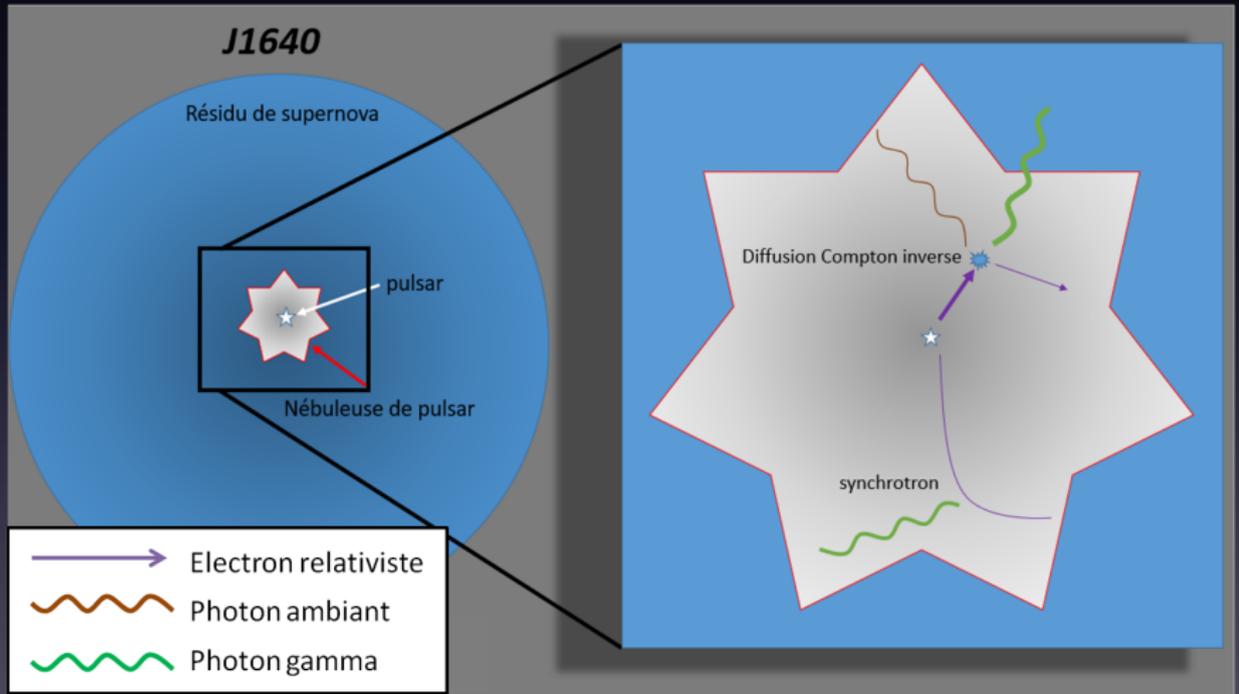
Scénario hadronique : accélération et échappement de protons

12



Scénario leptonique : diffusion inverse compton + synchrotron

13





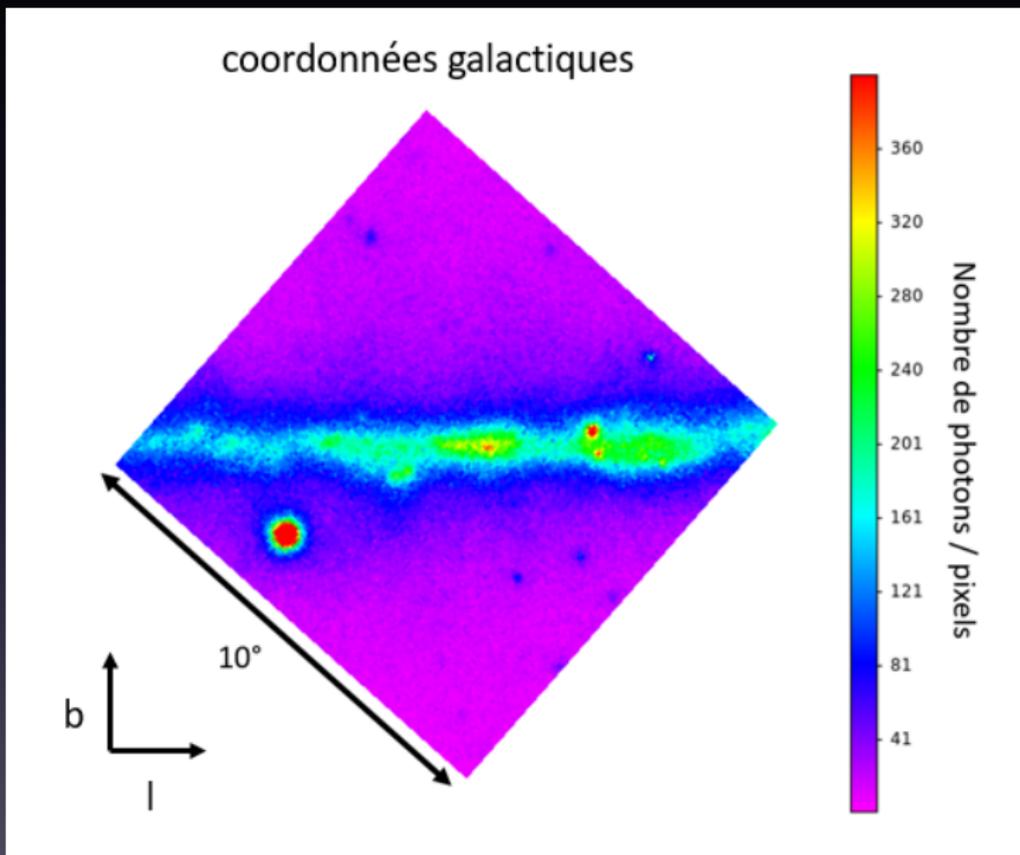
Critères de sélection des données

Position de nos sources

ROI : 10°

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

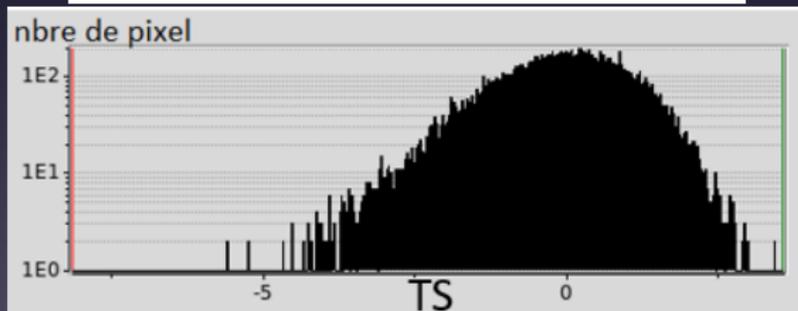
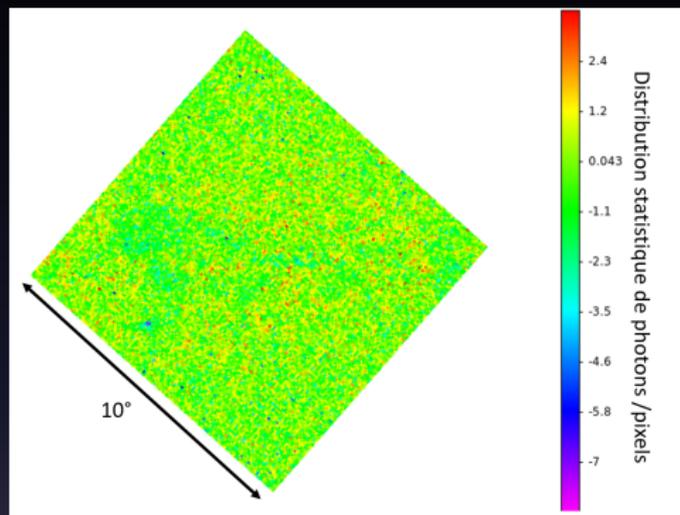
Critère : sources susceptibles de contribuer aux données

\Rightarrow sources dans 20° :

-libres dans 4°

-Préfacteurs libres pour sources variables + sources Test
Statistique >150 dans 12°

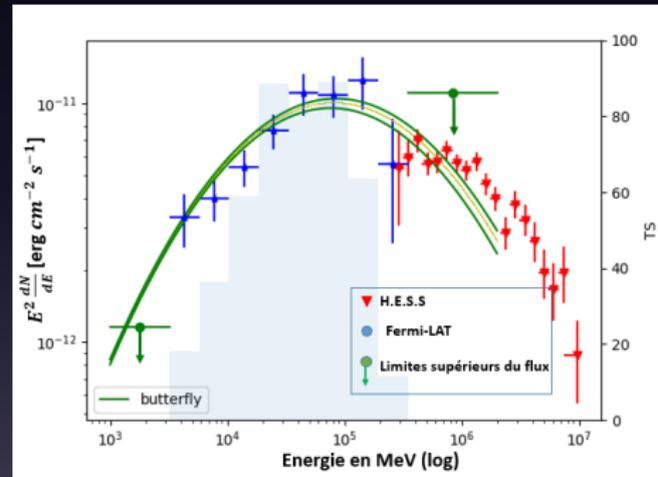
spectre J1640 modélisée comme parabole logarithmique



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

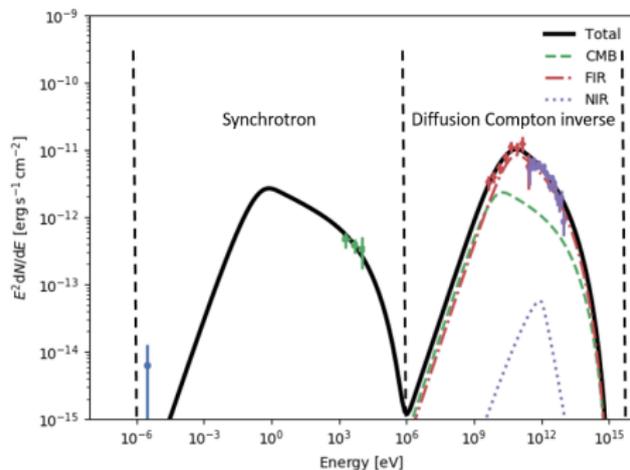
-*naima* : modélisation des points multi- λ en simulant des processus physiques

-Distance : 10 kpc

-Densité moyenne : 1 cm^{-3}

Résultats

indice 1	$1.00^{+0.20}_{-0.15}$
B (μG)	3.5 ± 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 : $\sim 3.44 * 10^{48} \text{erg} \Rightarrow 0.3\% E_{SN}$

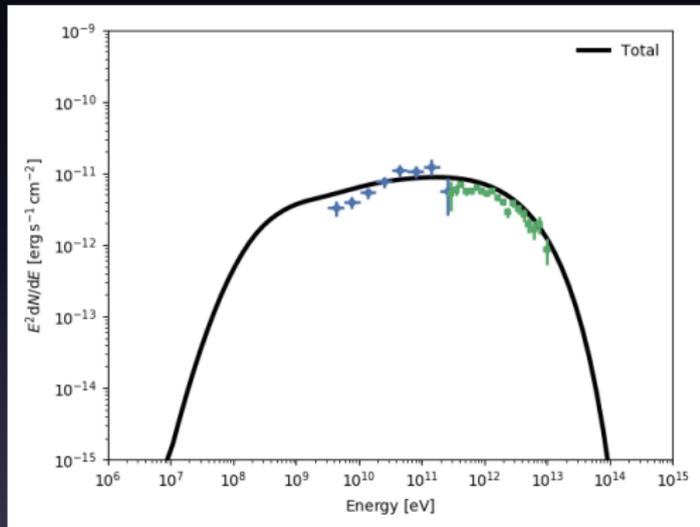
!!! Erreurs systématiques en dessous de 10 GeV + J1641 !!!

-Pas aussi bon que la diffusion Compton

-Problème : courbure

Artefact du diffus ?

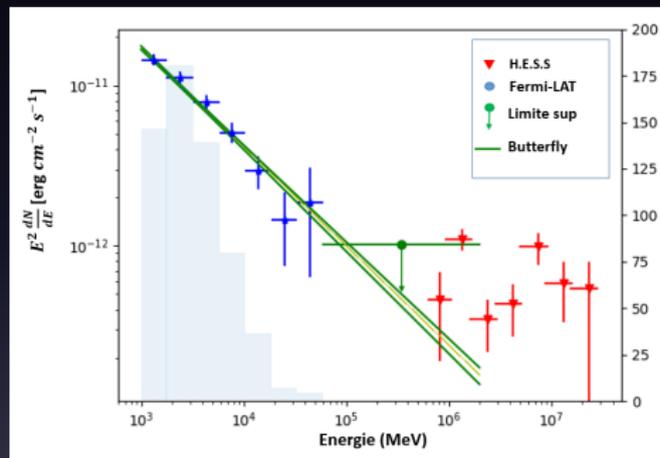
Nécessite une analyse à basse énergie



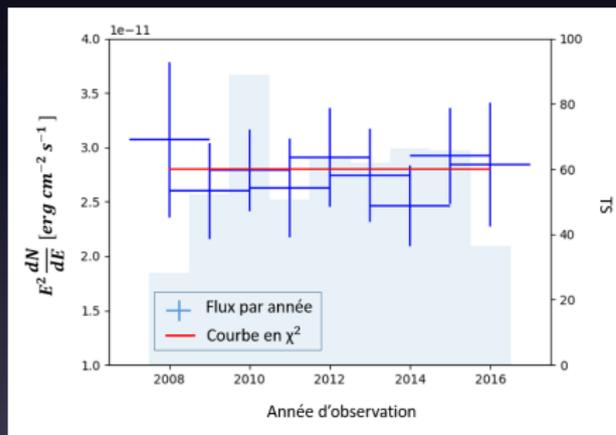
$$E_{proton} = 235 \% E_{supernova}$$

	2014	2018
Indice	2.6 ± 0.2	2.54 ± 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.

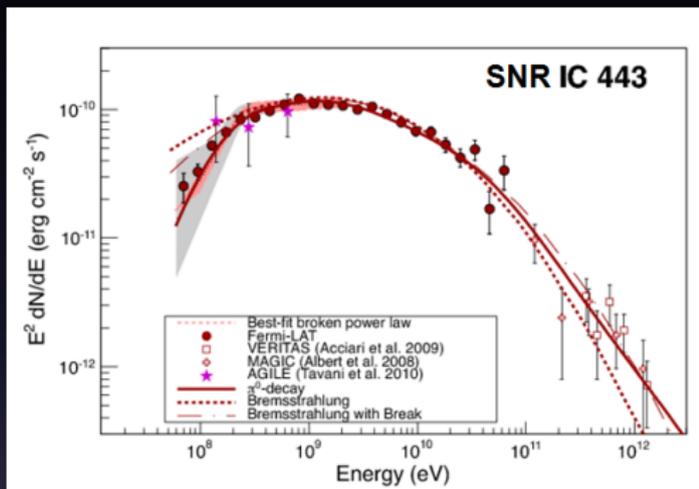
- Radiation par accélération + échappement de protons remis en question
 - γ de J1640 \Rightarrow PWN relique par Compton inverse
- vérification : analyse à basse E \Rightarrow nouveau modèle de diffus
- Pas d'explication pour J1641, pas de variabilité sur 9ans de données

\Rightarrow **source inconnue**

Quelques mots sur la thèse

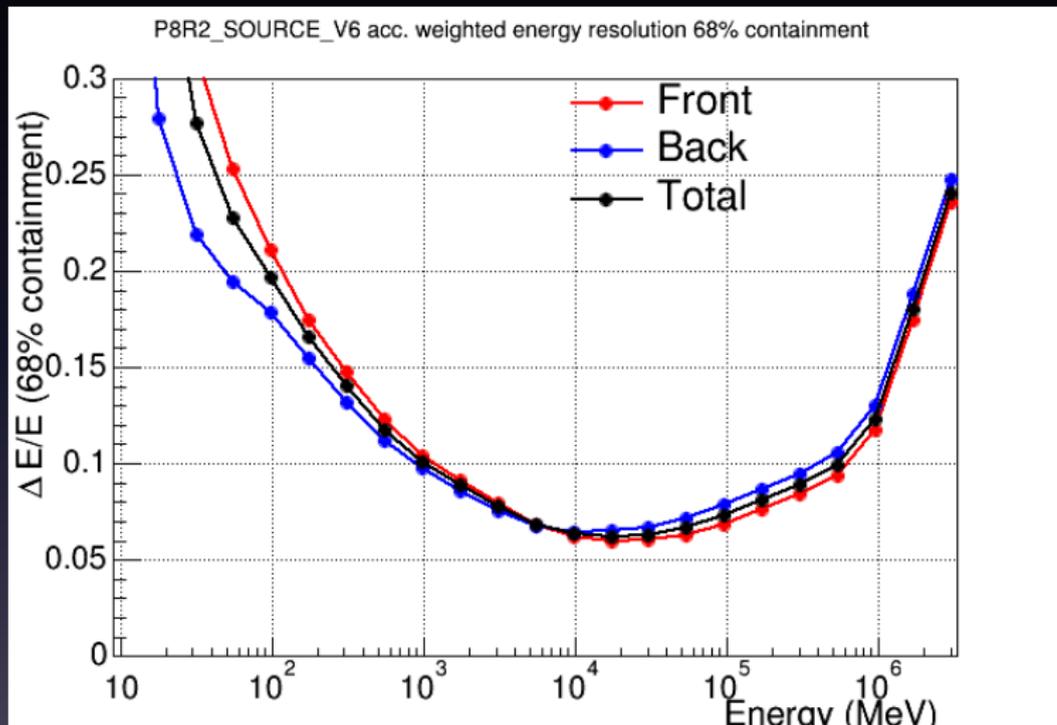
Recherche du "*pion bump*" :
cassure dans le spectre en
énergie
⇒ Preuve de l'accélération des
proton dans des sources
astrophysiques.

**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°

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 Δt : -lune, soleil hors du champs de vu,
-passage SAA
-trop poche de l'atmosphère

Résultat spectre J1640

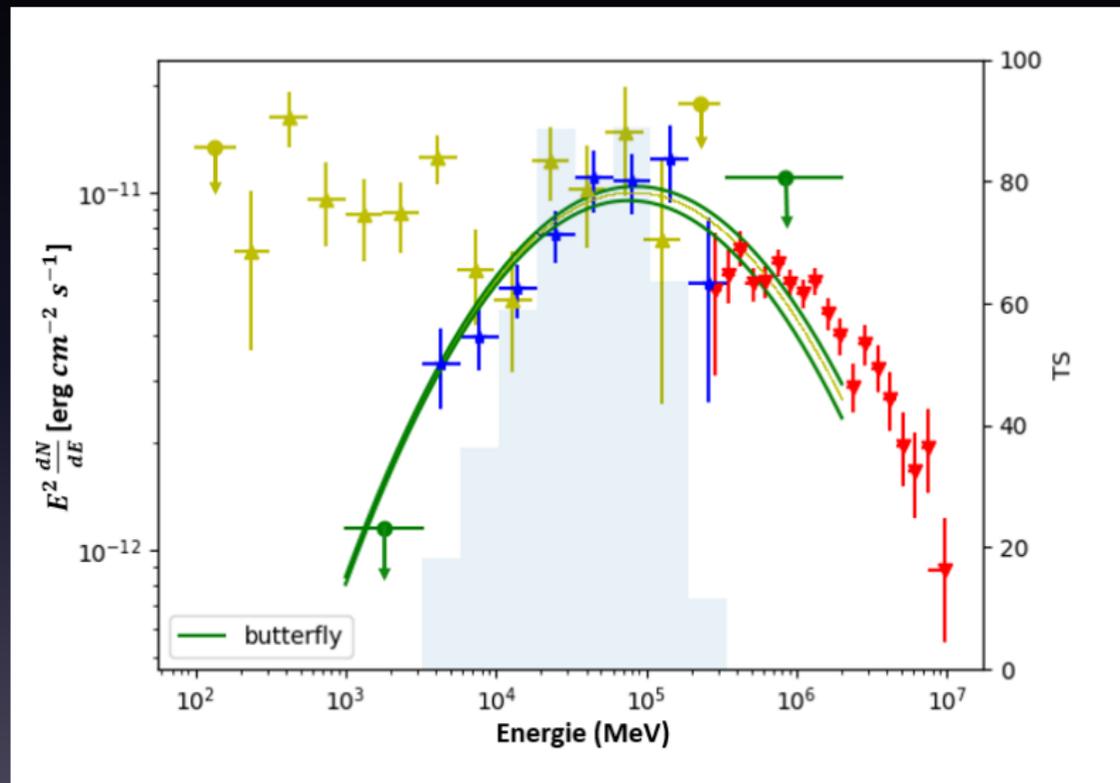
J1640 1 GeV - 2 TeV

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

