

Etude des sursauts gamma avec l'expérience embarquée en satellite Fermi

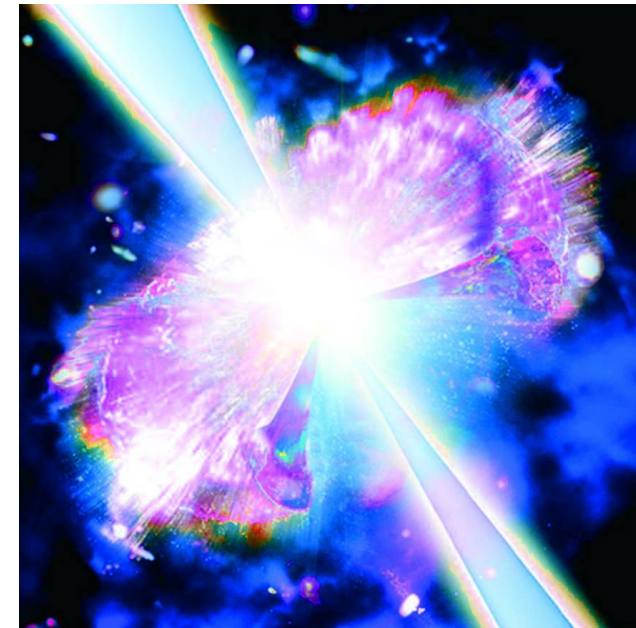
Véronique Pelassa

Frédéric Piron

Laboratoire de Physique Théorique et Astroparticules
Montpellier

4 décembre 2008

Journées Jeunes Chercheurs, Saint-Flour



Plan

Qu'est-ce qu'un sursaut Gamma?

Ce qu'on sait

Ce qu'on en déduit

Mécanisme d'émission prompt à haute énergie

Dynamique des chocs internes

Processus radiatifs

Observations de sursauts en Gamma avec Fermi

Motivation et principe

Exemple de GRB080916C

Plan

Qu'est-ce qu'un sursaut Gamma?

Ce qu'on sait

Ce qu'on en déduit

Mécanisme d'émission prompt à haute énergie

Dynamique des chocs internes

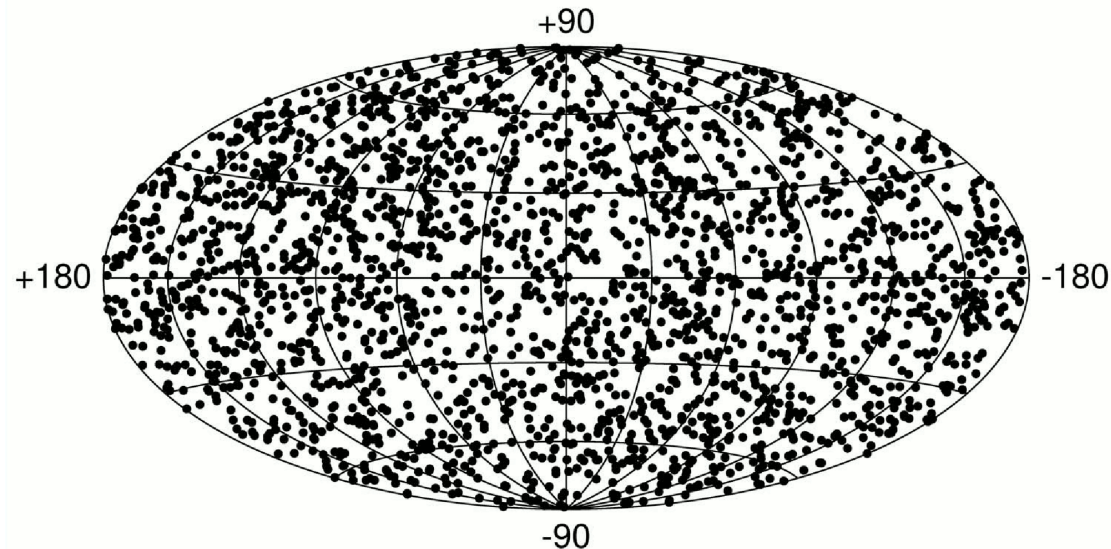
Processus radiatifs

Observations de sursauts en Gamma avec Fermi

Motivation et principe

Exemple de GRB080916C

2365 BATSE Gamma-Ray Bursts

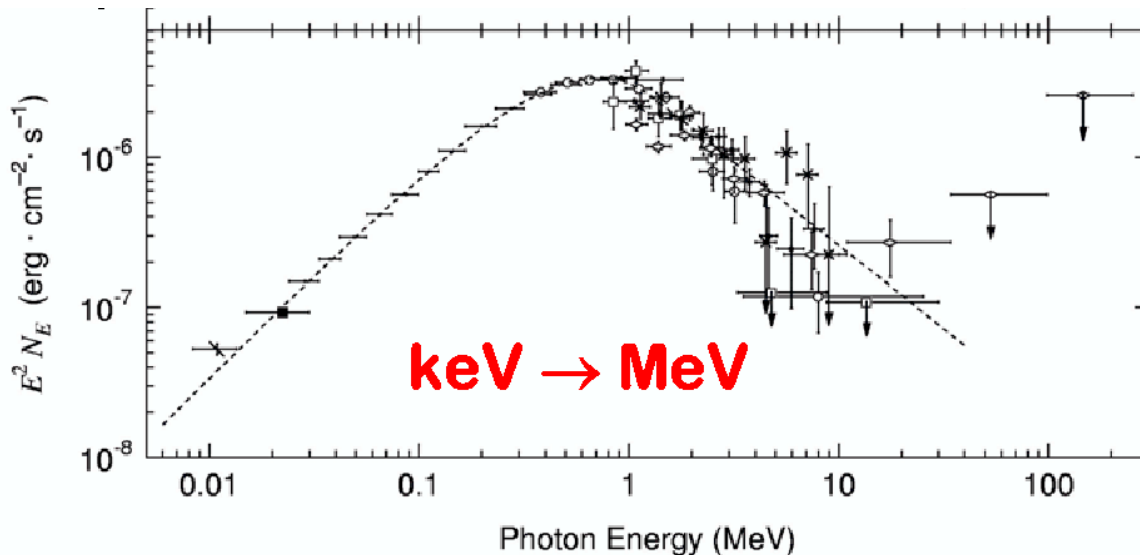
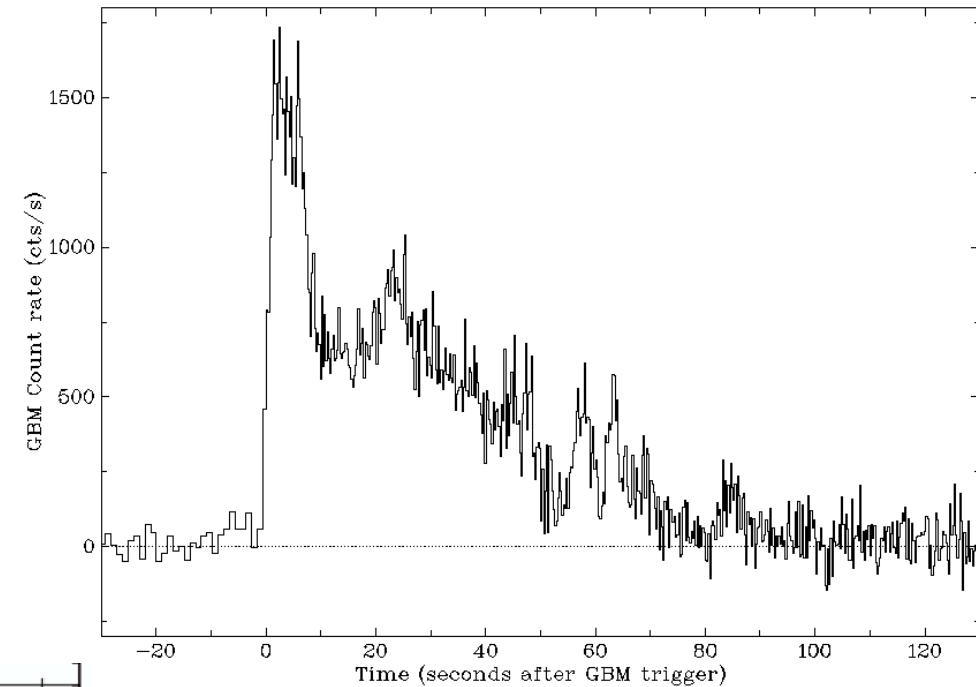


Les sursauts gamma : ce qu'on sait (1/3)

Qu'est-ce qu'un sursaut gamma?

Réponse courte : on ne sait pas exactement...
on y travaille...

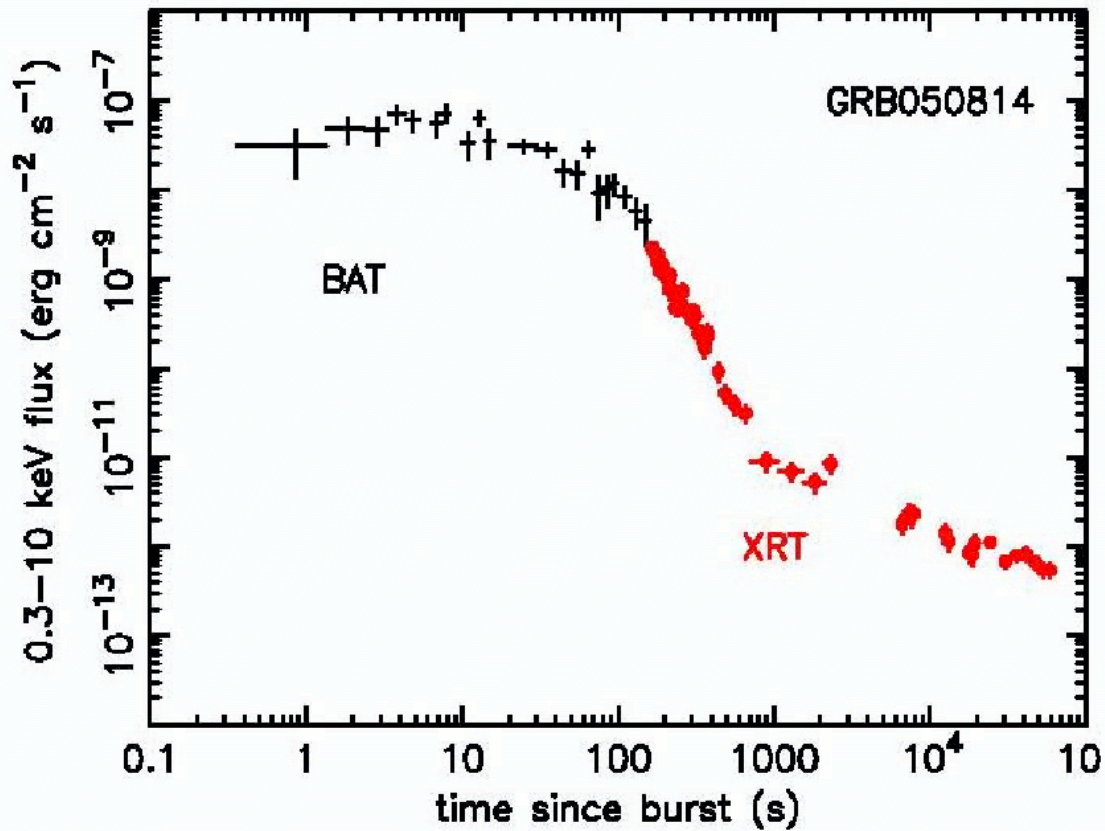
réponse longue :
émission brève et intense de rayons X-gamma
(qq 0.1 sec à qq minutes) ...



... Pic : entre qqkeV et 1MeV ...

GRB990123

Les sursauts gamma : ce qu'on sait (2/3)



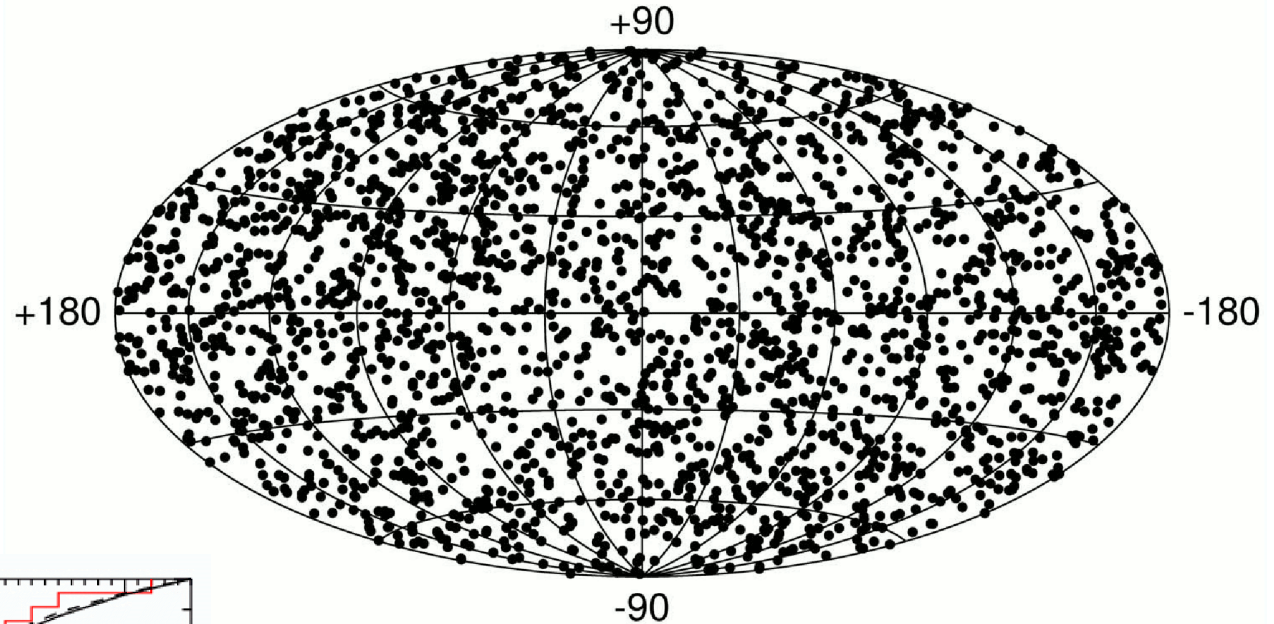
... émission multi-longueur d'onde ...

... émission prompt et rémanente ...

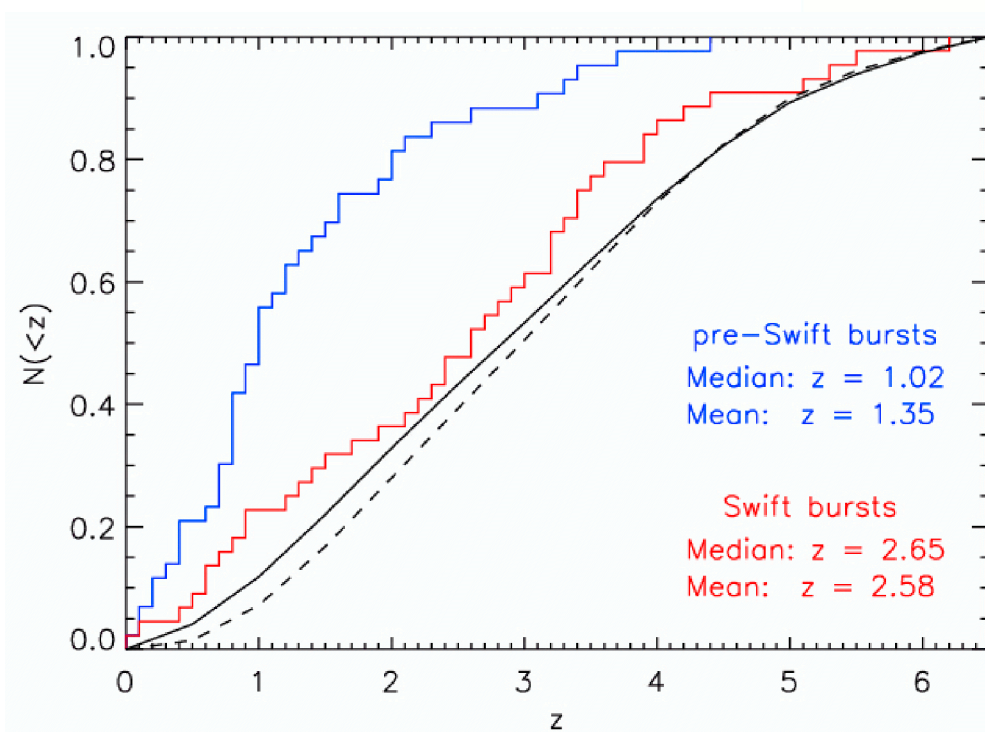
Les sursauts gamma : ce qu'on sait (3/3)

2365 BATSE Gamma-Ray Bursts

... répartition isotrope
dans le ciel ...



... redshifts parfois élevés ...



3@Saint-Flour

Les sursauts gamma : ce qu'on déduit de l'observation

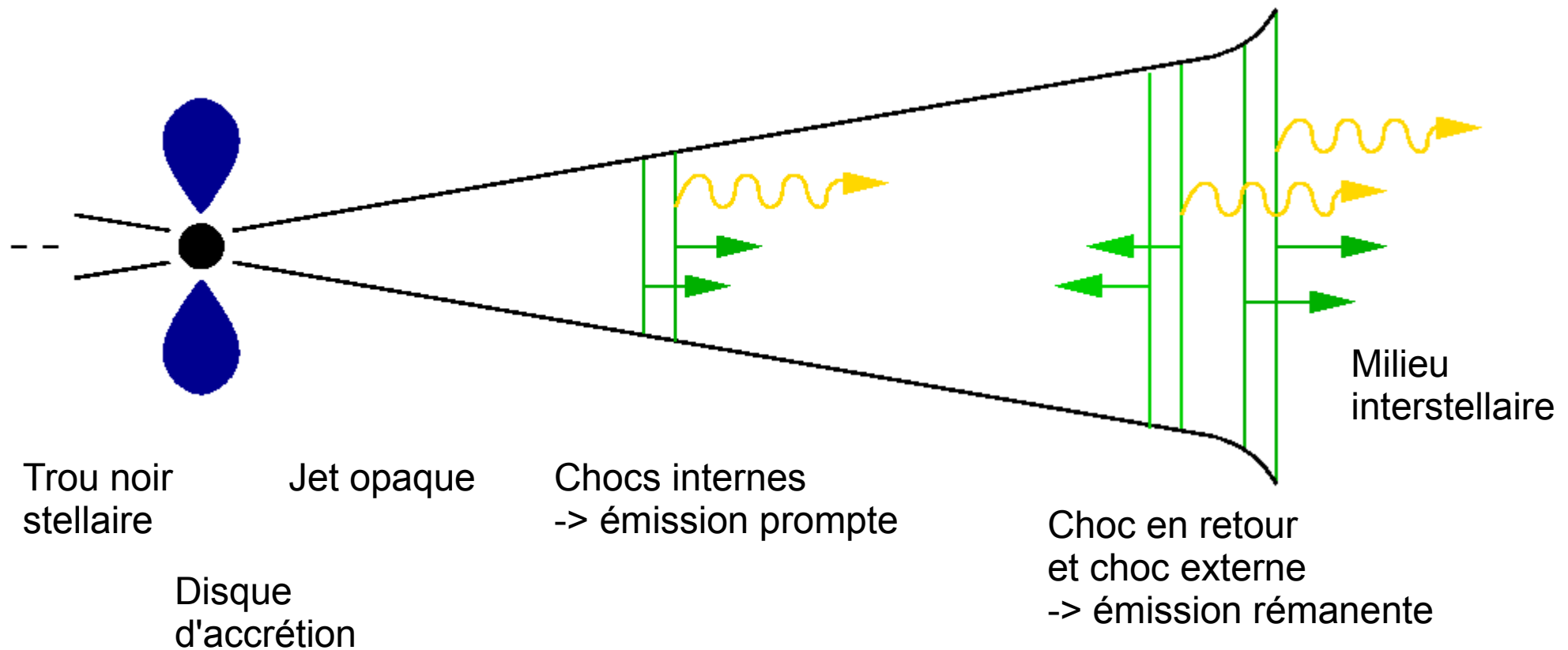
Répartition isotrope (puis mesures de redshift) -> origine pas uniquement galactique

Rayonnement gamma non-thermique -> particules accélérées

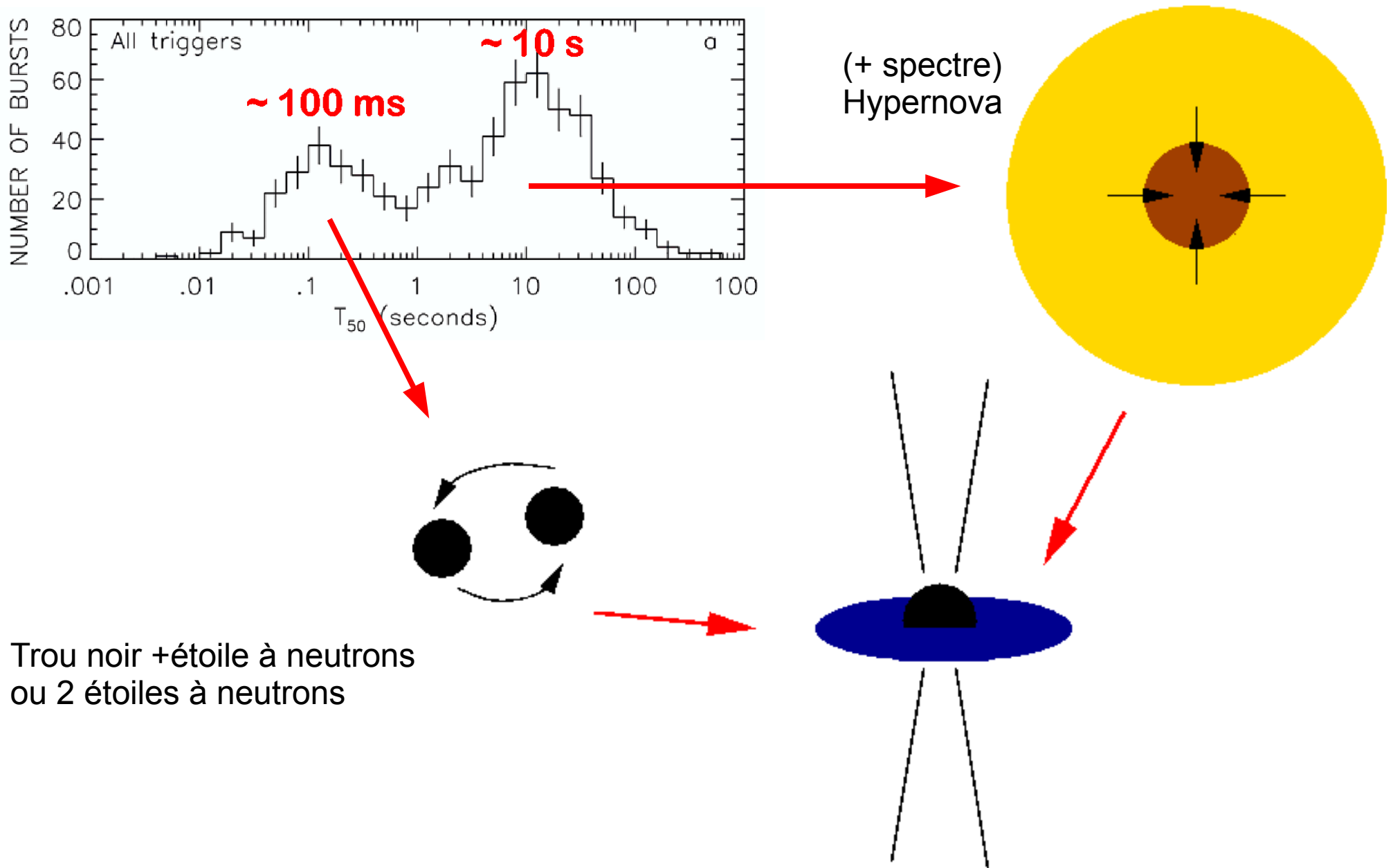
Emission brève, forte variabilité -> objet compact, peu massif

Importante quantité d'énergie émise -> événement "violent" (fusion d'objets compacts, SN)

(Rees & Meszaros, '96)



Les sursauts gamma : encore un peu d'observation et de déduction



Plan

Qu'est-ce qu'un sursaut Gamma?

Ce qu'on sait

Ce qu'on en déduit

Mécanisme d'émission prompt à haute énergie

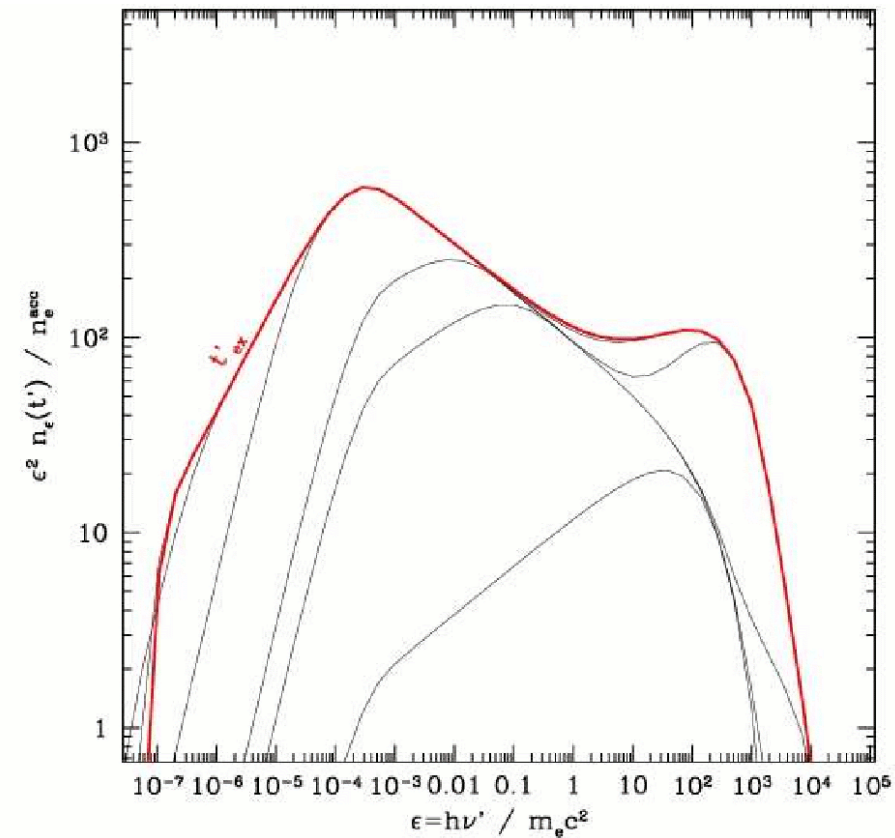
Dynamique des chocs internes

Processus radiatifs

Observations de sursauts en Gamma avec

Motivation et principe

Exemple de GRB080916C

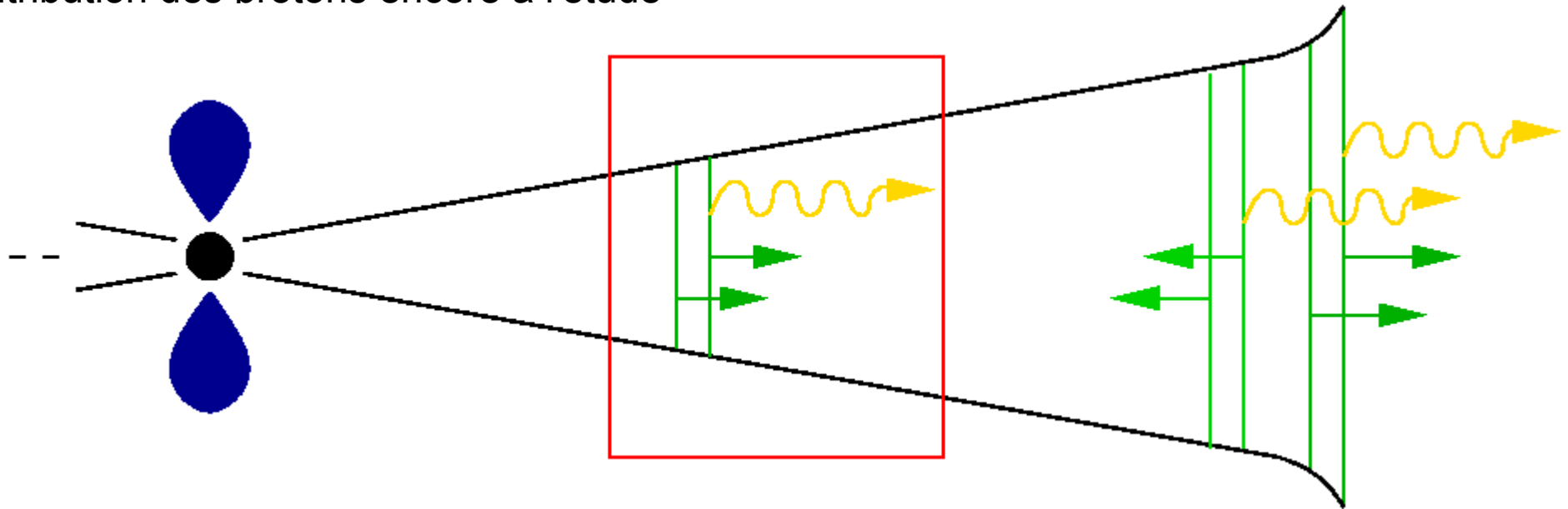


Mécanisme d'émission prompt à haute énergie

modèle développé par F. Daigne, R.Mochkovitch, Z. Bosnjak (IAP), G. Dubus (LAOG)
(A&A, 18 nov 2008)

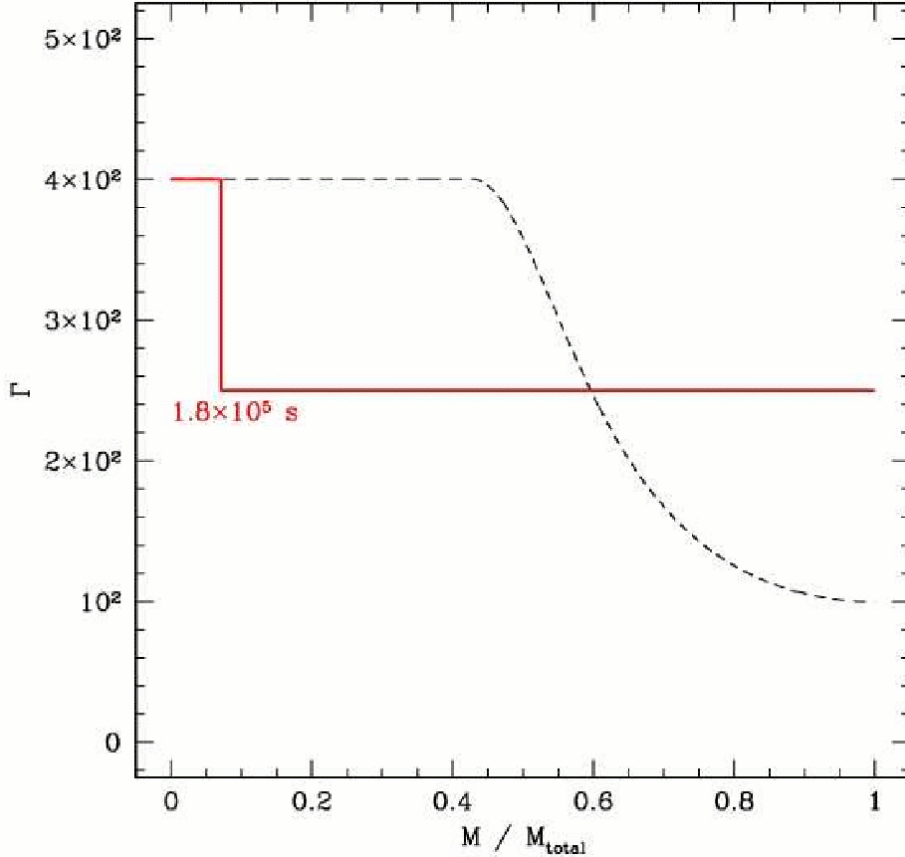
modèle leptonique = des électrons sont accélérés dans le jet
et produisent le rayonnement observé

contribution des protons encore à l'étude



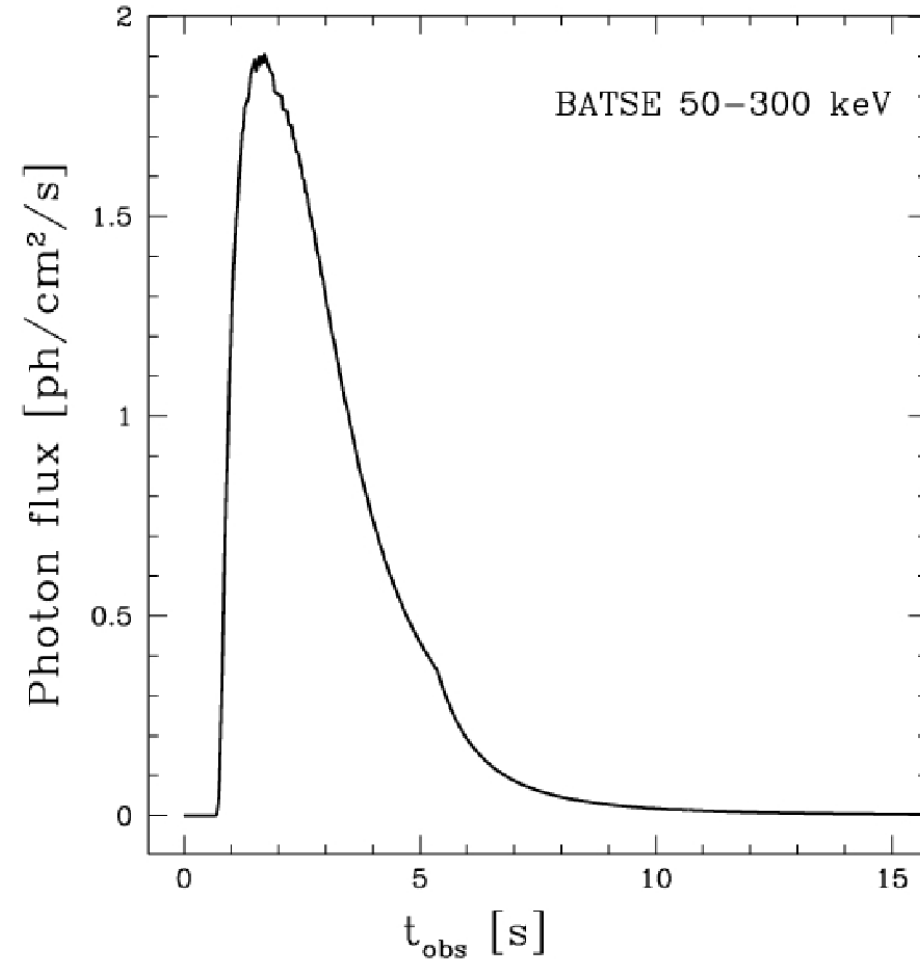
Chocs internes
-> émission prompt

Dynamique des chocs internes (1)



Couhes solides :
une couche rapide rattrappe une plus lente
=> onde de choc légèrement relativiste

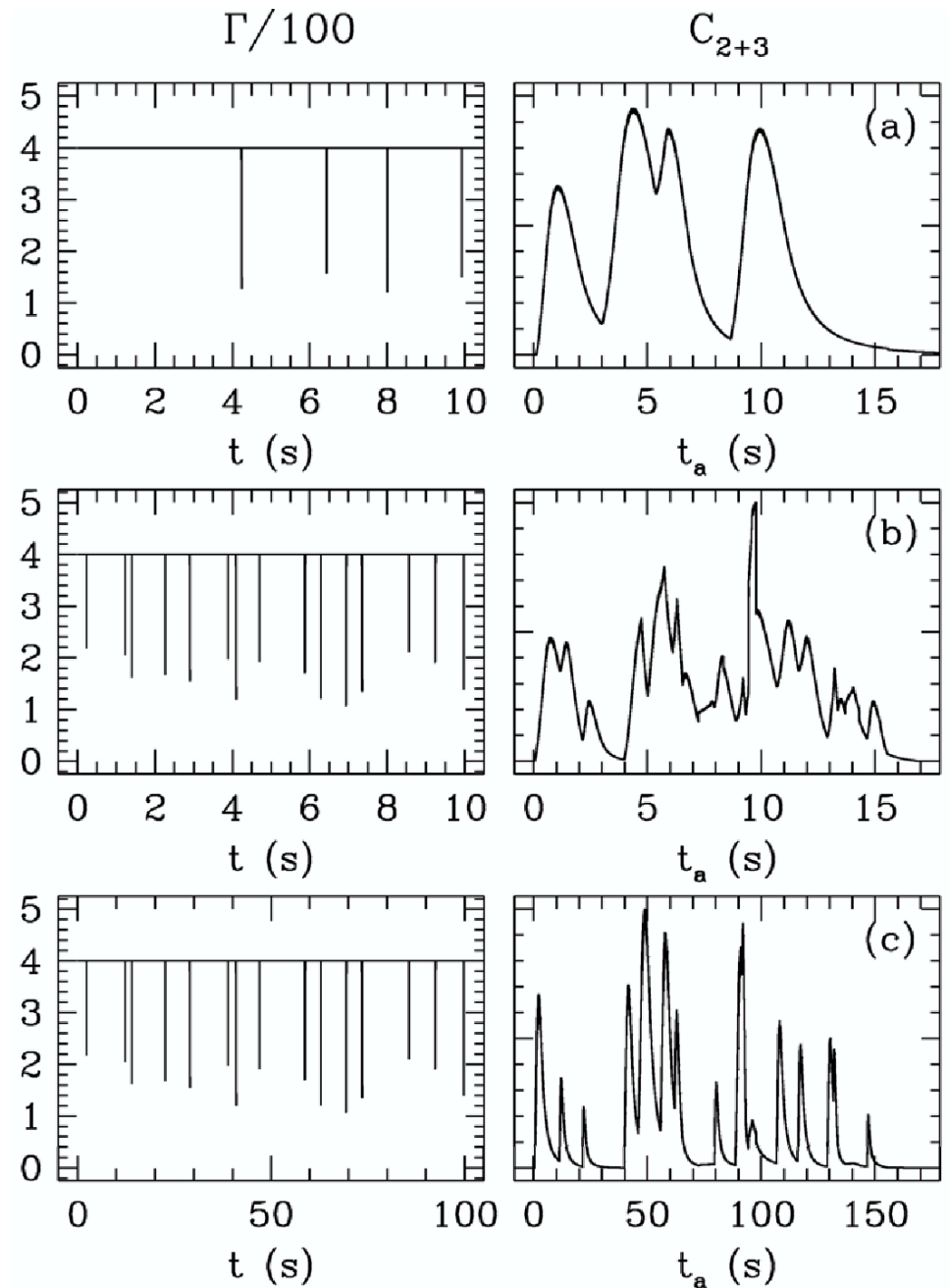
électrons accélérés au niveau du choc
=> rayonnement gamma



Courbe de lumière en gamma :
pic = montée rapide au moment du contact
décroissance plus lente

Dynamique des chocs internes (2)

Variabilité de la source
-> variabilité de l'émission gamma

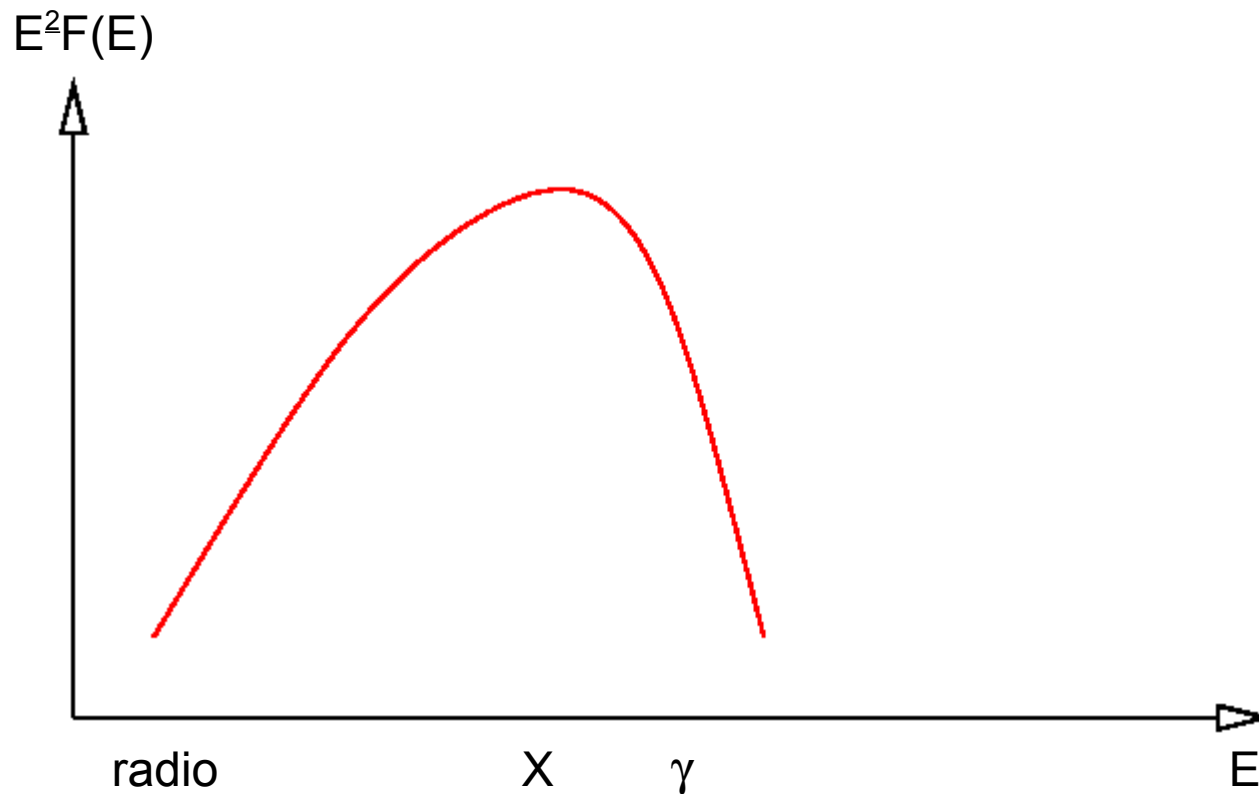


Daigne et Mochkovitch, 98

Processus radiatifs (1)

Rayonnement synchrotron

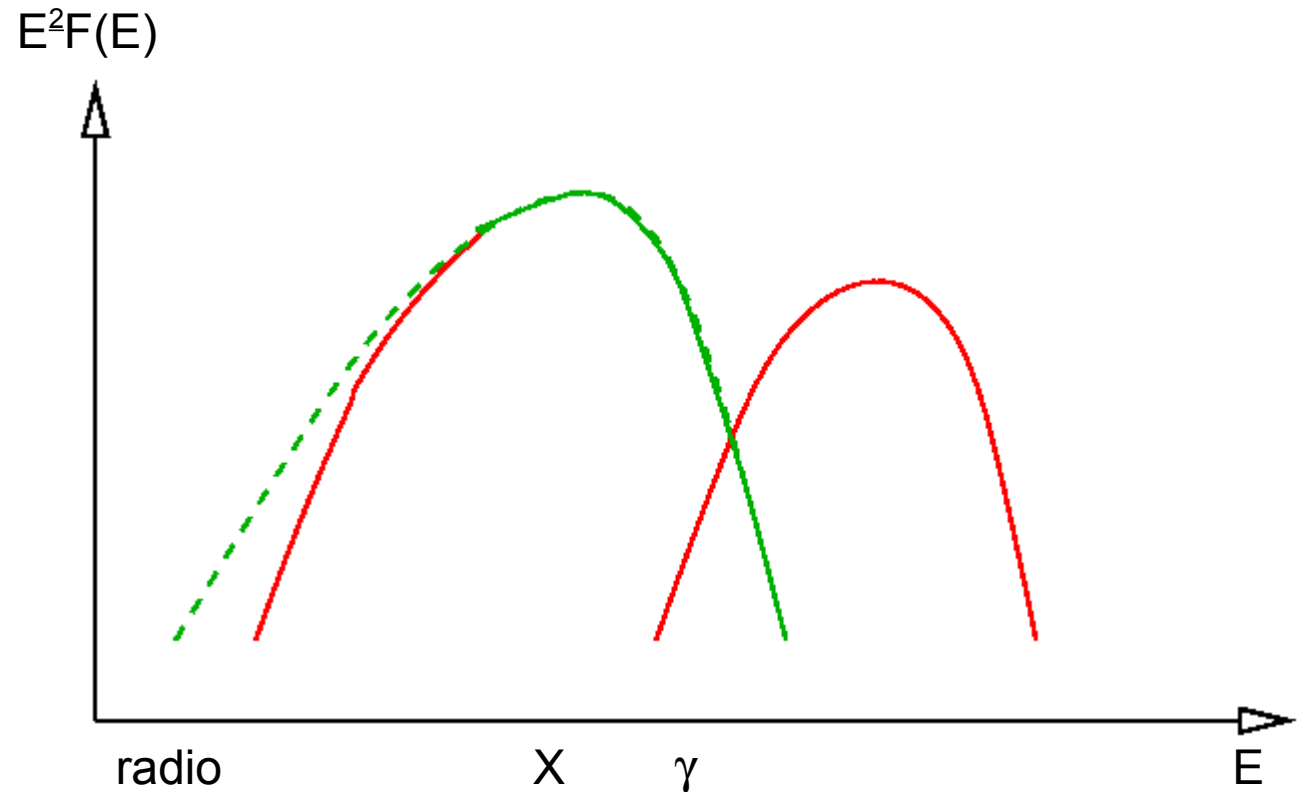
Interaction des électrons avec le champ magnétique dans le jet
=> dépend de la vitesse des électrons et du champ magnétique dans le jet



Processus radiatifs (2)

Diffusion Compton Inverse

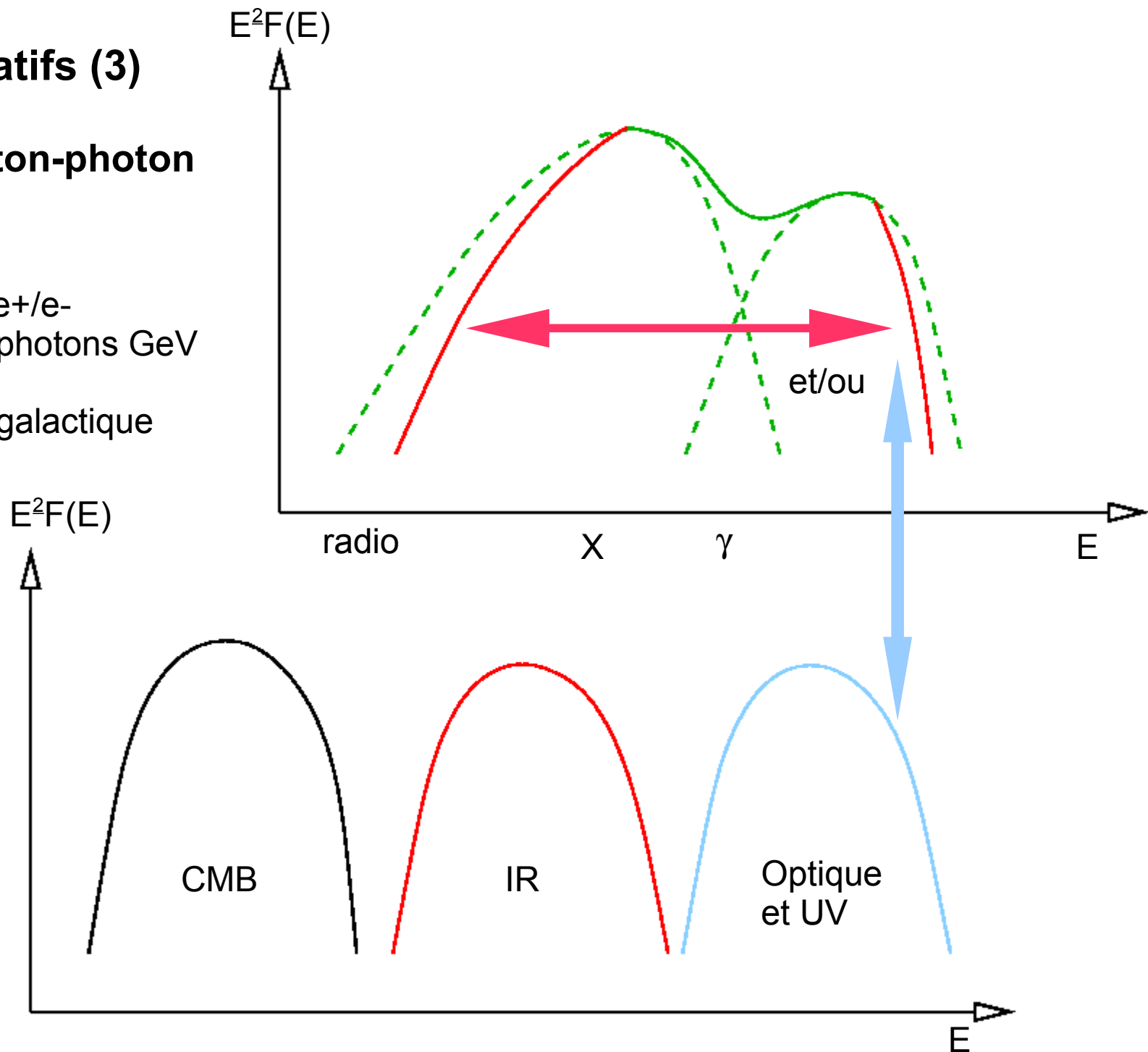
Électron rapide transmet de son énergie cinétique à un photon peu énergétique du synchrotron ou du rayonnement ambiant



Processus radiatifs (3)

Annihilation photon-photon

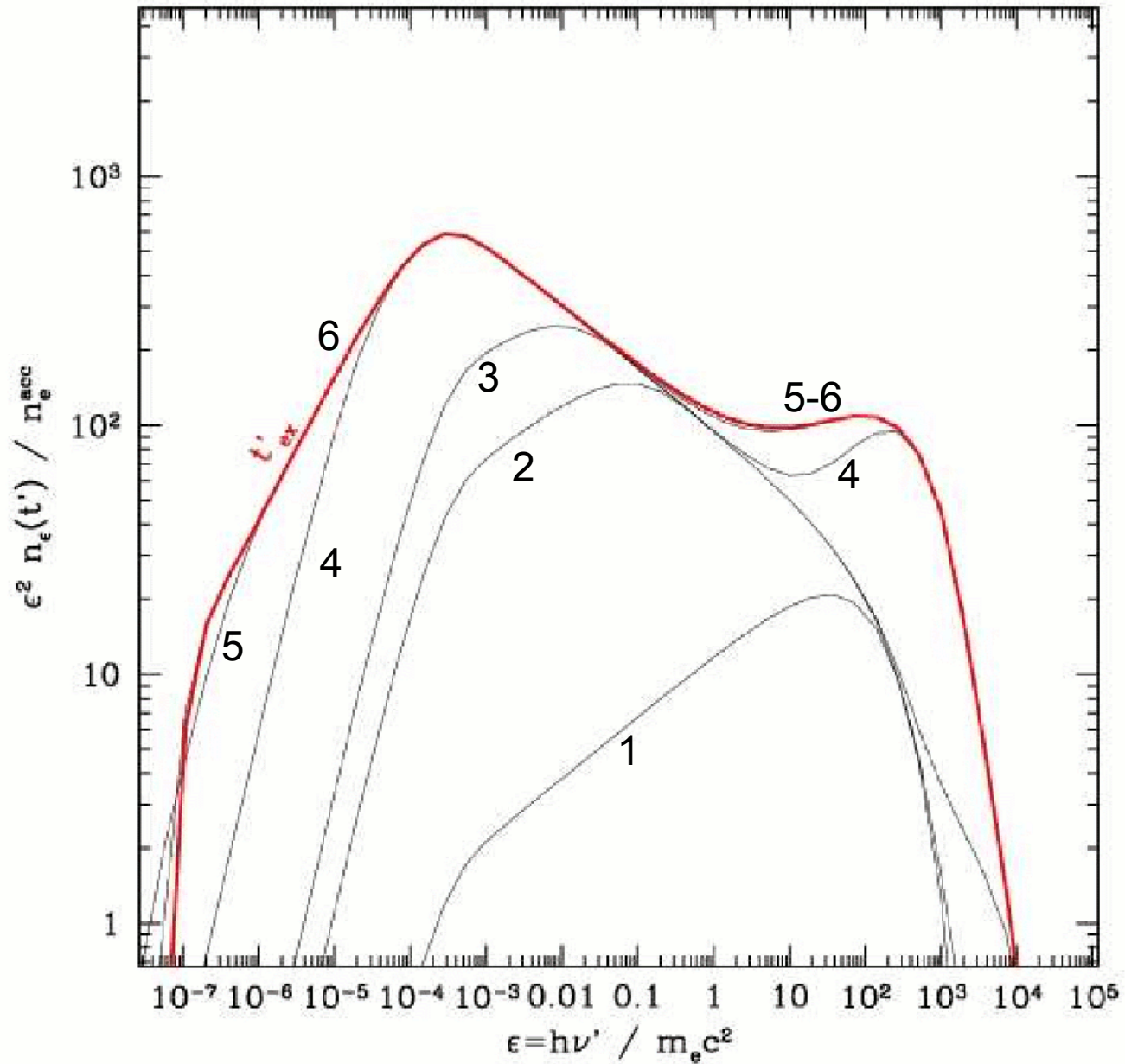
Création de paires e^+/e^-
par absorption des photons GeV
sur le synchrotron
ou sur le fond extragalactique



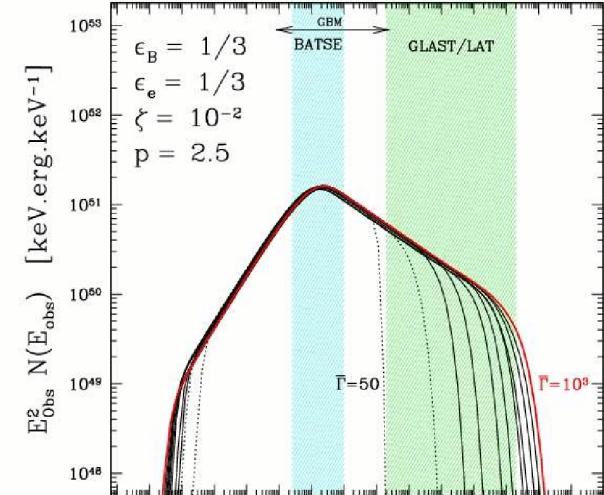
Evolution spectrale

Bosse synchrotron -> basses E
(refroidissement)

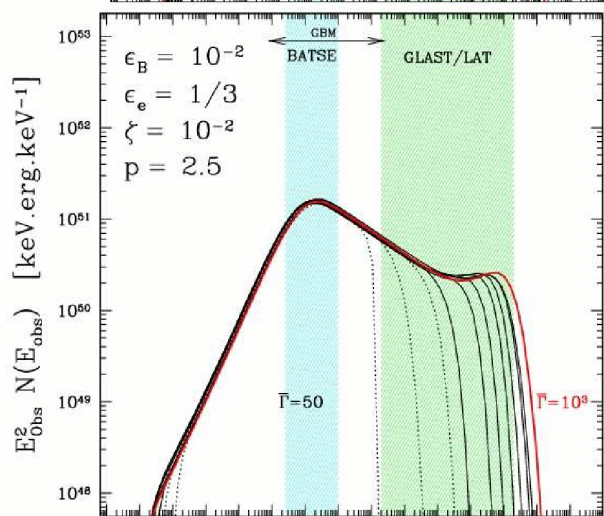
apparition progressive de
l'Inverse Compton (s'il y a)



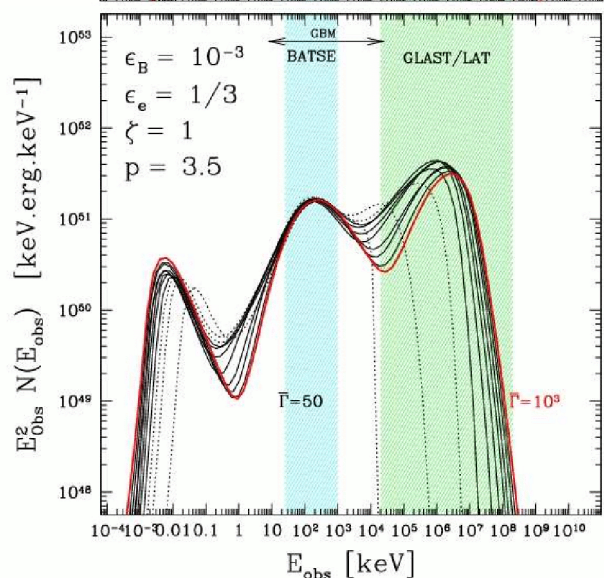
Spectres produits : différents cas possibles



Spectre des électrons “dur” et champ magnétique fort
seul le synchrotron est visible



Spectre des électrons “dur” et faible champ magnétique
le rayonnement Compton Inverse est visible dans le LAT



Spectre des électrons “mou” et faible champ magnétique
...BATSE a vu de l'Inverse Compton!
GBM et LAT voient deux bosses d'Inverse Compton

Plan

Qu'est-ce qu'un sursaut Gamma?

Ce qu'on sait

Ce qu'on en déduit

Mécanisme d'émission prompt à haute énergie

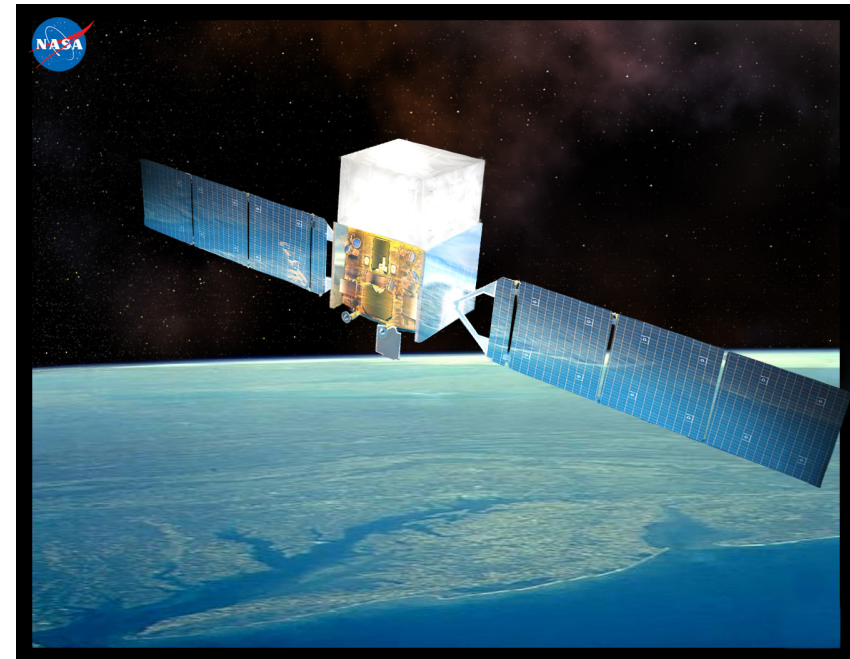
Dynamique des chocs internes

Processus radiatifs

Observations de sursauts en Gamma avec Fermi

Motivation et principe

Exemple de GRB080916C



Observation des sursauts gamma avec Fermi

Motivation

- observations par EGRET d'un signal à haute énergie pour quelques sursauts photon à 18GeV (GRB940217)
- émission retardée au GeV (GRB940217)
- émission non-synchrotron (GRB941017, Gonzalez '03)

Principe de l'étude

Spectre

- => processus radiatifs mis en jeu
- fond diffus extragalactique
- vitesse moyenne du jet
- champ magnétique
- etc. (contribution des électrons et baryons)

Evolution temporelle

- => profil de vitesses du jet, i.e. variabilité de la source centrale
- etc. (champ magnétique ...)

... et bien sûr pour cela il faut bien caractériser ce que l'on voit !

- => étude des erreurs systématiques

GRB080916C (080916.009)

Déecté par le GBM
le 16 septembre 2008 à 0h12mn45s UTC

localisation :

GBM : RA= 121.8 , Dec= -61.3
rayon d'erreur= 1(stat), 2-3 (syst)

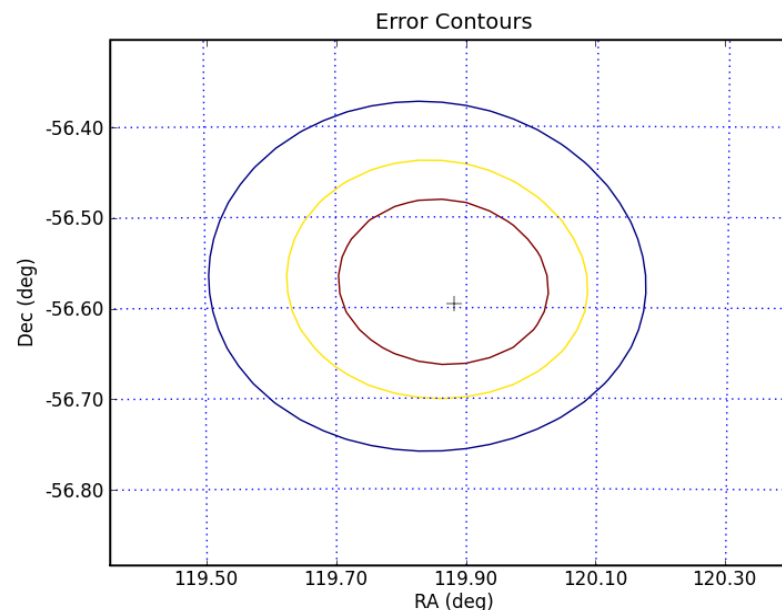
LAT : RA= 119.88 , Dec= -56.59
rayon d'erreur= 0.09 (stat)

suivi de l'émission rémanente :
(et localisation plus précise)

Swift : RA= 119.8468 , Dec= -56.6380
rayon d'erreur= 1.9''

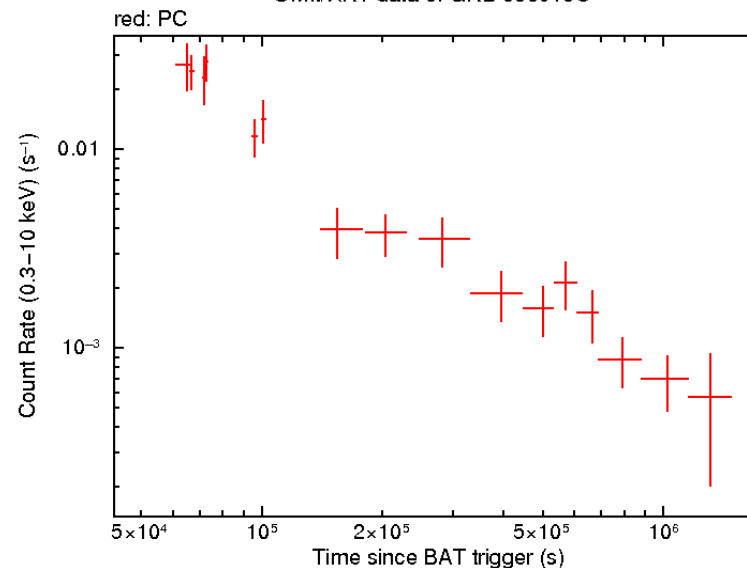
GROND : RA= 119.8472, Dec= -56.6383
rayon d'erreur= 0.5''

Contours de confiance LAT 68%, 90%, 99%



Courbe de lumière Swift/XRT

Swift/XRT data of GRB 080916C

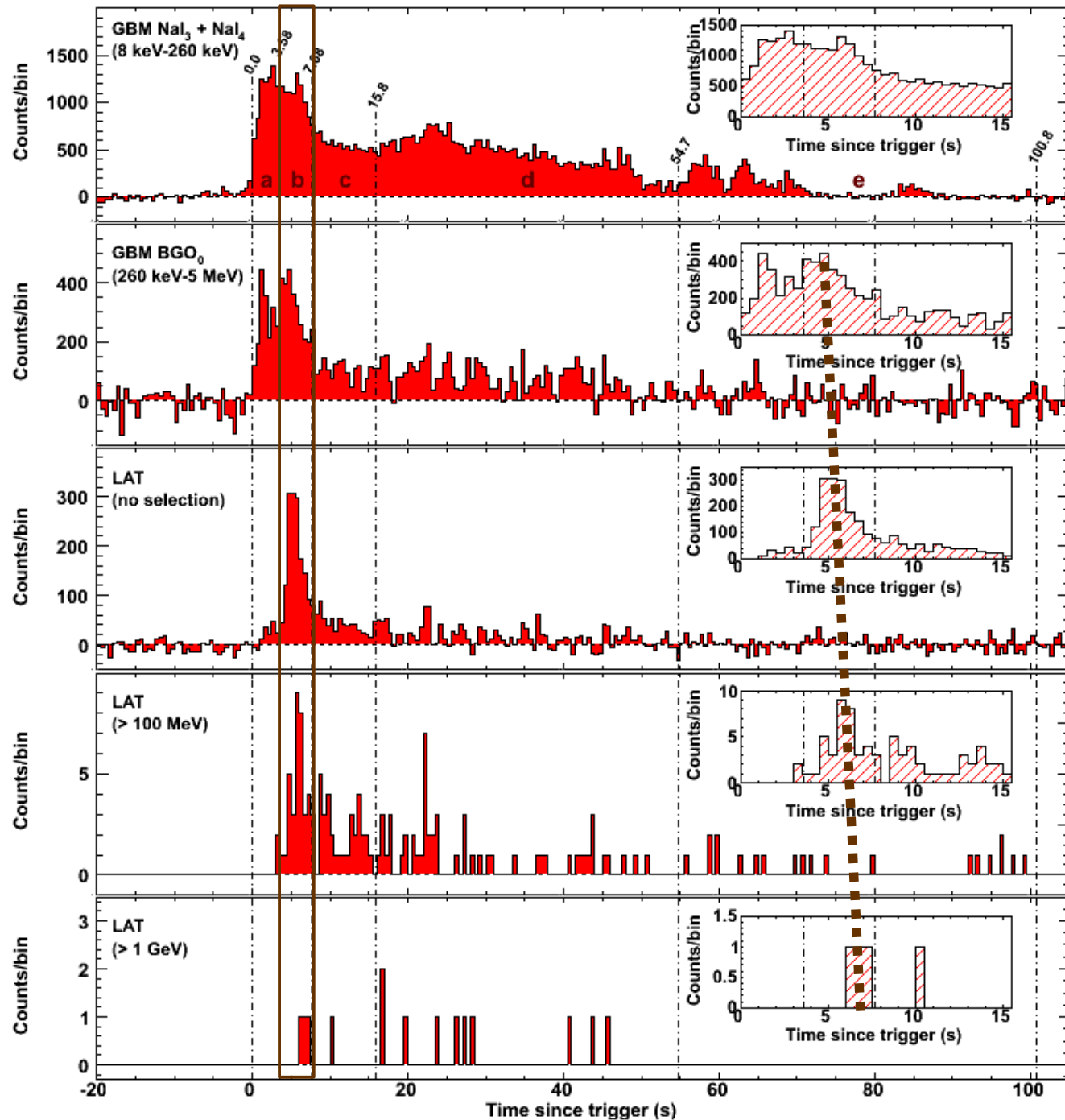


GRB080916C

courbe de lumière

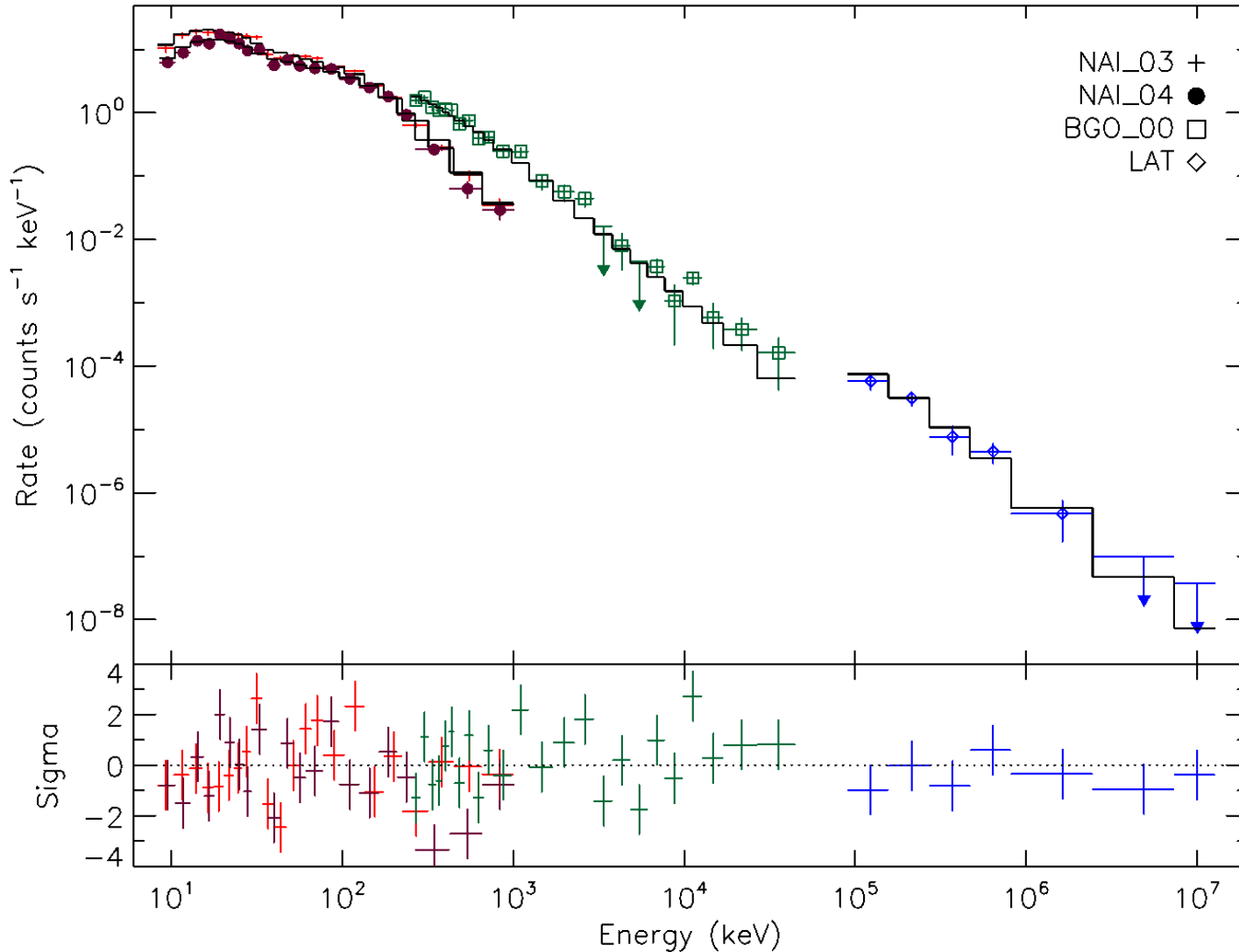
étude des pics :
en cours ...

décalage entre signal GBM
et signal LAT
-> évolution spectrale



GRB080916C

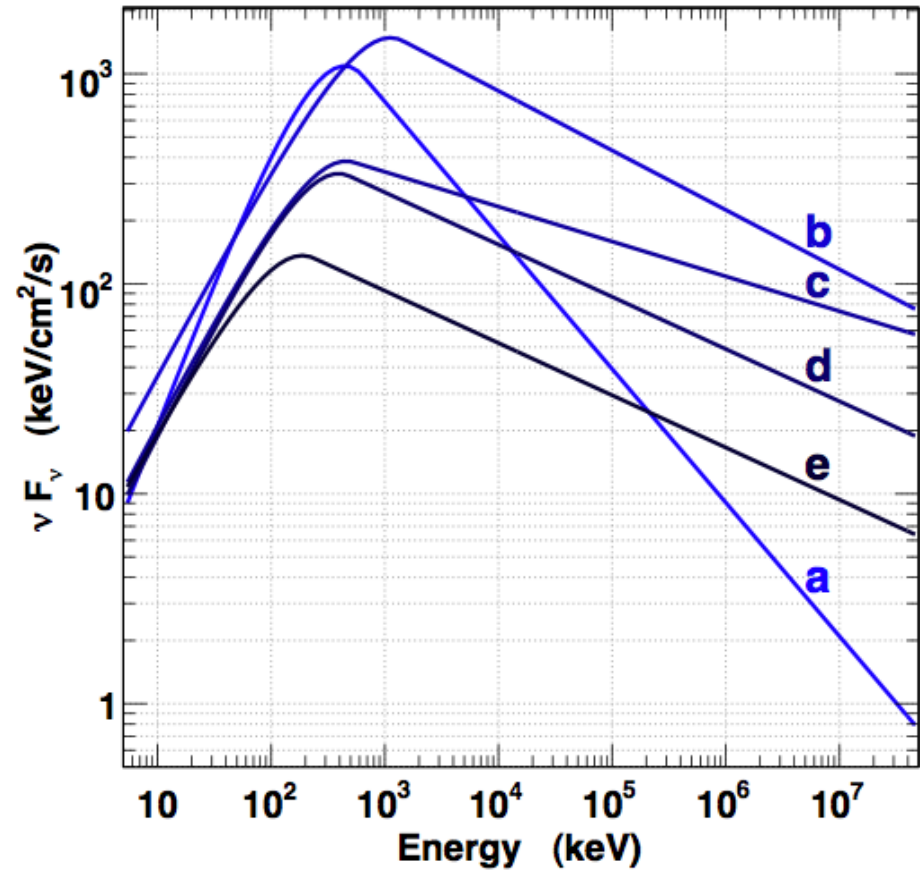
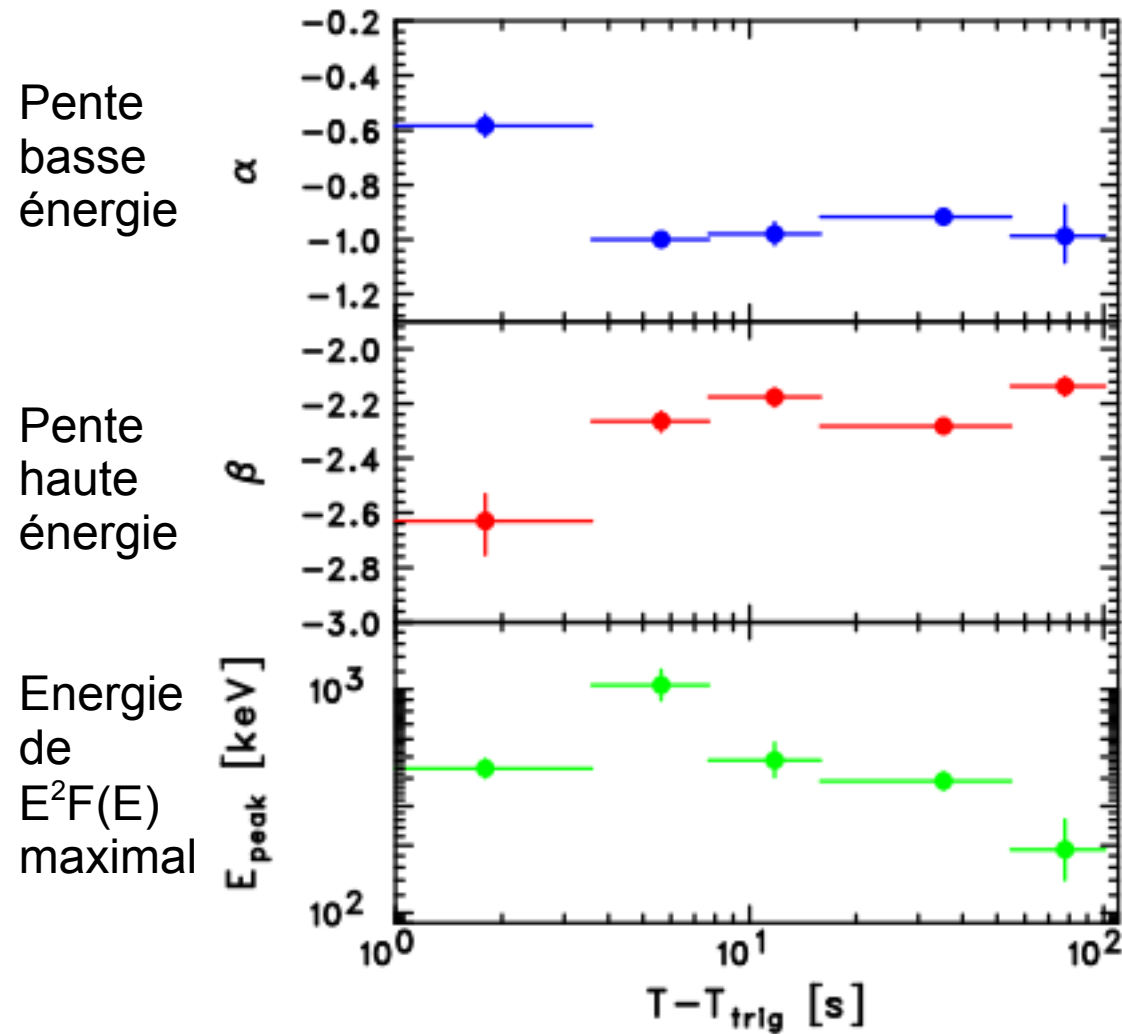
Spectre combiné GBM+LAT : pas de composante additionnelle visible
pas d'atténuation visible jusqu'à 13GeV



Intervalle "b"

GRB080916C

Evolution spectrale : pic à pic



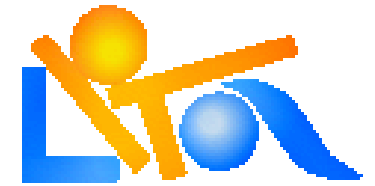
Conclusion et perspectives

Fermi voit de beaux sursauts, y compris à haute énergie :-)

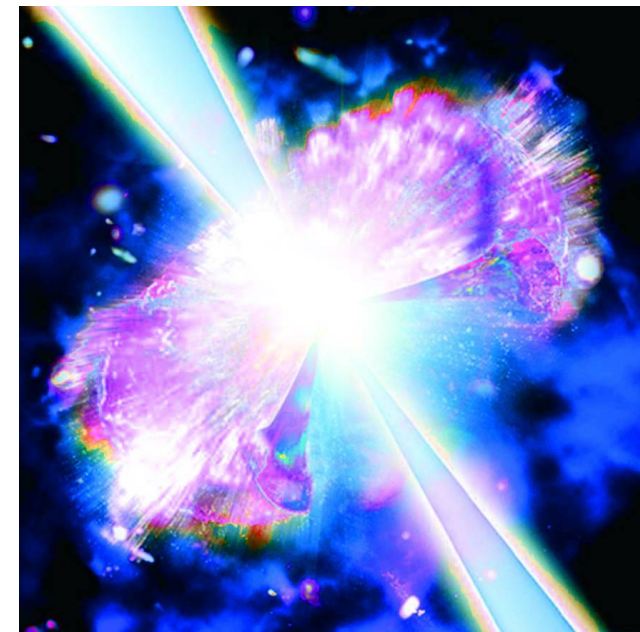
méthodes d'analyse au point pour certaines (analyse spectrale GBM, LAT, combinée),
en travaux pour d'autres (analyse temporelle)

étude des systématiques (localisation, spectre) en cours...

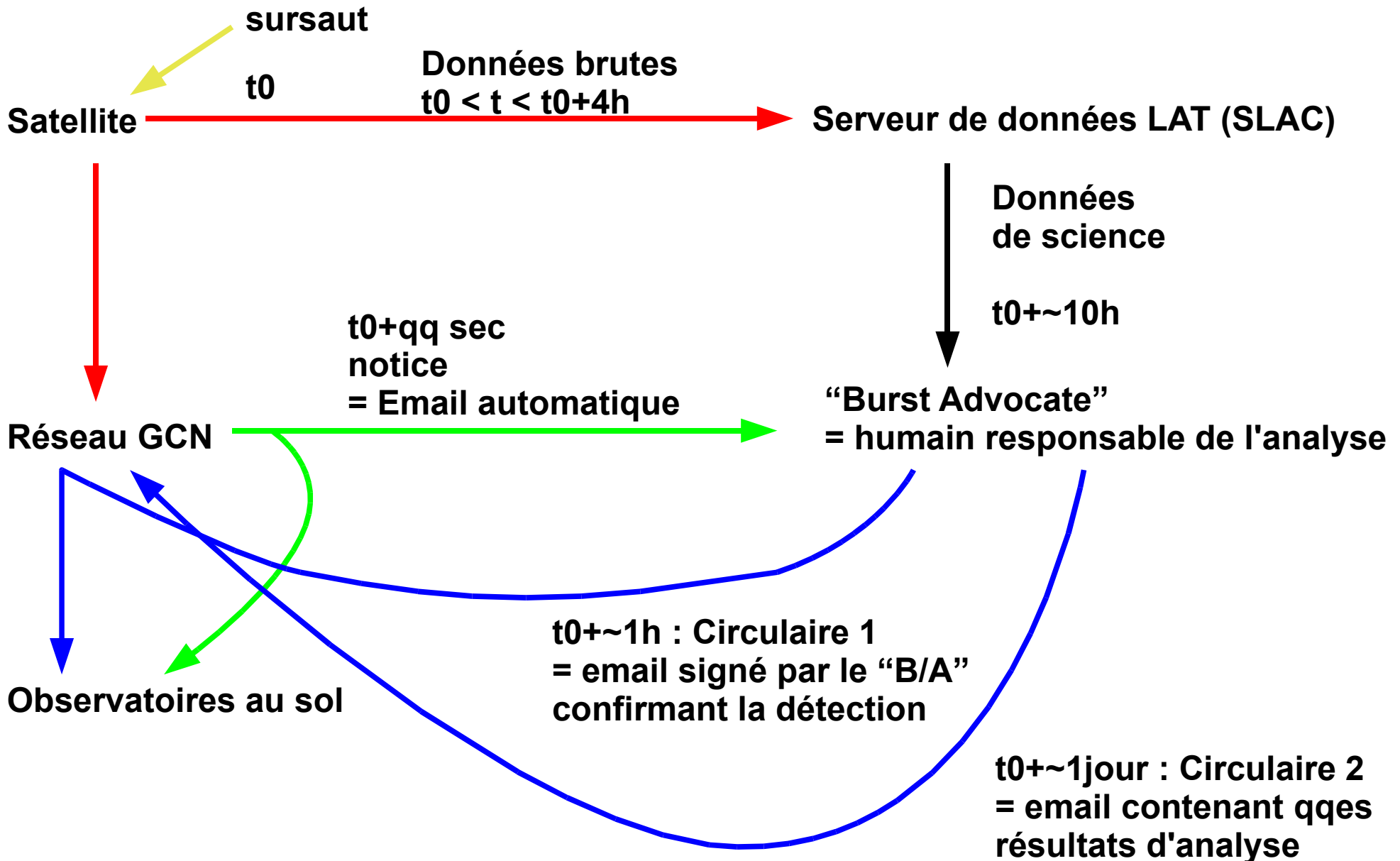
nécessité d'une population suffisante et d'événements assez brillants
pour (in)valider un(des) modèle(s) ... patience :-)



Slides de réserve



Aspects opérationnels : de la détection à l'analyse



Contribution “instrumentale” :

Etude des erreurs systématiques pour l'étude des sursauts

1. localisation

- > effet instrumental : détection des traces moins efficace
 - à grand angle d'incidence ($>50\text{deg}$) et basse énergie ($<1\text{GeV}$)
 - => reconstruction d'un angle moyen plus faible pour une source donnée
- > sources permanentes : cumul d'observations vs. occurrence unique d'un sursaut !!!
- => étude sur les données du biais de localisation (Vela : brillante, position connue)
 - + simulations pour étudier l'effet de la pente du spectre :
 - poids des événements de basse énergie

2. spectre

- > travail effectué par d'autres (David, Marie-Hélène) que j'adapte au cas des sursauts : sélection des données différente de l'étude des autres sources => réponse différente
- a. biais éventuels des outils d'analyse, isolation des erreurs systématiques “minimales”
 - => simulations de spectres de différentes pentes et différents flux
- b. propagation de l'incertitude sur la réponse du détecteur (surface efficace de détection)
 - ... particulièrement à grand angle ...
 - => comparaison de l'efficacité des coupures étudiées sur des données photon (Vela) et sur des simulations de photons, obtention de fonctions de réponse “corrigées”, comparaison de la reconstruction utilisant ces fonctions corrigées et les non-corrigées => incertitude supplémentaire