REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE MEDEA

FACULTE DES SCIENCES



Mémoire

Présenté pour obtenir le diplôme de **Master**

En physique

Spécialité : Physique Théorique

Par :

BENTURKI Yassine

Thème :

Etude de l'évolution de la fonction de

Luminosité des GRB en fonction du Redshift

Soutenue publiquement le : 21 /06 /2020, Devant le jury composé de :

ZAGHOU Nassredine	Grade : MCB	Etablissement	Président
DEKAR Liès	Grade : MCA	Etablissement	Examinateur
AHMAD AMMAR Mohamed	Grade : MCB	Etablissement	Examinateur
ZITOUNI Hannachi	Grade : MCA	Etablissement	Encadreur
HOUATIS Djamel	Grade : MCB	Etablissement	Co-encadreur
	Année universitaire	**2019-2020**	

Résumé

Nous étudions la fonction de luminosité des sursauts gamma prompt (GRB) en utilisant le flux du pic obtenu à partir de trois échantillons de GRB dont les décalages vers le rouge z sont connus : (a) un échantillon de 264 GRB provenant du satellite/instrument *Swift/BAT*; (b) un échantillon de 49 GRB provenant du télescope *Fermi/ GBM*; (c) un échantillon de 169 GRB provenant de l'instrument *Konus-Wind*. Pour les échantillons *Swift/BAT* et \textit{Fermi/ GBM}, nous utilisons des données publiques disponibles sur les sites web des analyseurs des sursauts gamma (\url{http://www.swift.ac.uk/burst_analyser} (Evans, P. A. et al. 2010) ; \url{http://swift.gsfc.nasa.gov/archive/grb/table/}) et sur le site web de Fermi (\url{https://heasarc.gsfc.nasa.gov/W3Browse/fermi/fermigbrst.html} ;(Gruber et al. 2014; von Kienlin et al. 2020; Bhat et al. 2016)pour calculer la luminosité au pic du flux en utilisant un spectre de loi de puissance de coupure (CPL).

Pour l'échantillon obtenu de *Konus-Wind*, nous utilisons la relation de corrélation Yonetoku (D. Yonetoku et al. 2004; Daisuke Yonetoku et al. 2010) pour déterminer la luminosité isotrope à partir de l'énergie au pic du flux mesurée dans le référentiel de la source (Minaev et Pozanenko 2019). Avec ces trois échantillons (totalisant 482 GRB), nous utilisons la méthode de Monte Carlo pour synthétiser 10 000 GRB "artificiels" similaires à chaque GRB réel en considérant que chaque quantité physique observée obéit à une distribution normale, où la valeur tabulée et l'incertitude représentent la moyenne et l'erreur de 3σ. Les résultats obtenus à partir de nos échantillons sont cohérents avec ceux publiés dans les travaux précédents.

Abstract

We study the luminosity function of prompt gamma bursts (GRB) using the peak flux obtained from three GRB samples with known z redshifts: (a) a 264 GRB sample from the *Swift/BAT* satellite/instrument; (b) a 49 GRB sample from the *Fermi/GBM* telescope; (c) a 169 GRB sample from the *Konus-Wind* instrument. For the *Swift/BAT* and *Fermi/ GBM* samples, we use publicly available data from the gamma-ray bursts analyzer websites (\url{http://www.swift.ac.uk/burst_analyser}(Evans,P.A.etal.2010); \url{http://swift.gsfc.nasa.gov/archive/grb/table/}) and the Fermi website (\url{https://heasarc.gsfc.nasa.gov/W3Browse/fermi/fermigbrst.html};(Gruber et al. 2014; von Kienlin et al. 2020; Bhat et al. 2016) to calculate peak flux luminosity using a cut-off power law (CPL) spectrum.For the sample obtained from *Konus-Wind*, we use the Yonetoku correlation relationship (D. Yonetoku et al. 2004; Daisuke Yonetoku et al. 2010) to determine the isotropic luminosity from the peak flux energy measured in the source frame (Minaev and Pozanenko 2019). With these three samples (totaling 482 GRBs), we use the Monte Carlo method to synthesize 10 000 "artificial" GRBs similar to each real GRB by considering that each physical quantity observed obeys a normal distribution, where the tabulated value and uncertainty represent the mean and the error of 3σ. The results obtained from our samples are consistent with those published in previous work.

ملخص

ندرس دالة السطوع للرشقات السريعة لغاما (GRB) باستخدام ذروة تدفق تم الحصول عليها من ثلاث عينات GRB ذات انزياح أحمر z: (أ) عينة 264 GRB من القمر الصناعي *Swift/BAT*؛(ب) عينة من 49 GRB من تلسكوب؛ */Fermi GBM*(ج) عينة من 169 GRB من جهاز*Konus-Wind*.بالنسبة إلى عينات *Swift/BAT*و{Fermi/ GBM}، نستخدم البيانات العامة المتاحة على مواقع الويب الخاصة بأجهزة تحليل انفجارات أشعة غاما (\url {{http://www.swift.ac.uk/burst_analyser (Evans,P.A.etal.2010) ؛ {http://swift.gsfc.nasa.gov/archive/grb/table/}\url)؛وعلى موقع Fermi الإلكتروني (\url{https://heasarc.gsfc.nasa.gov/W3Browse/fermi/fermigbrst.html) D. Yonetoku et al.) 2004; Daisuke Yonetoku et al. 2010) لحساب السطوع في ذروة التدفق باستخدام طيف قانون الطاقة قطع (CPL).

بالنسبة للعينة التي تم الحصول عليها من *Konus-Wind*، نستخدم علاقة الارتباط Yonetoku (D. Yonetoku et al. 2004; Daisuke Yonetoku et al. 2010) لتحديد لمعان متناحي من الطاقة في ذروة التدفق المقاسة في مستودع المصدر. باستخدام هذه العينات الثلاث (التي يبلغ مجموعها 482 GRB)، نستخدم طريقة Monte Carlo لتجميع 10000 GRB "اصطناعي" مشابه لكل GRB حقيقي مع الأخذ في الاعتبار أن كل كمية مادية تمت ملاحظتها تخضع للتوزيع الطبيعي، حيث القيمة المجدولة وعدم اليقين يمثل متوسط وخطأ 3σ. تتوافق النتائج التي تم الحصول عليها من عيناتنا مع تلك المنشورة في العمل السابق.

Remerciements

D’abord et avant tout merci à ALLAH et tout ce qui nous a aidés durant notre formation depuis l’école primaire aux derniers jours à l’université Le travail présenté dans le mémoire de master est le fruit d'une étroite collaboration avec mon professeur ZITOUNI Hannachi qui était à la fois collègue et mentor, lui rendant une mention spéciale de la qualité exceptionnelle de sa formation, de son soutien inconditionnel et de ses conseils toujours éclairés. Ce fut un plaisir de travailler avec lui pendant cet hexagone. J'aimerais également remercier le président de l'université, le doyen du collège et tout le personnel administratif du collège. Je remercie ceux qui ont accepté d'être les maîtres de la thèse du Maître, ZAGHOU Nacer et le DEKAR Iliès, qui ont eu la gentillesse d'être examinateurs, et qui ont accepté une présidence défensive. Je voudrais également remercier tous mes professeurs de licence physique et de master physique théorique. Enfin, je remercie ma famille pour son soutien constant et son enthousiasme spontané pour mes aspirations professionnelles, en particulier pour ma mère et mon père, qui m'ont amenée ici. Je n'oublie pas non plus mes amis et tous ceux qui m'ont soutenu, un merci tout spécial aux autres étudiants en master de l'université, en particulier aux étudiants en physique avec qui je suis resté et qui ont partagé cette aventure avec moi pendant cinq ans.

Table des matières

Résumé ii

Abstract iii

Table des matières iv

Liste des abréviations viii

Liste des tableaux ix

Liste des figures x

Introduction 1

Chapitre 1 Généralités sur les sursauts gamma 3

1.1 Introduction 3

1.2 Profils temporels des GRBs 3

1.2.1 Durée du sursaut : 3

1.2.2 Profil temporel des sursauts gamma. 5

1.2.3 Profils temporels des rémanences 6

1.3 Spectre d'énergie du GRB : 7

1.3.1 Distribution en énergie des photons émis par le GRB 7

1.3.2 Distribution en énergie des photons émis par la rémanence 9

1.4 Distribution spatiale des sources des GRBs 11

Chapitre 2 Physique de sursauts gamma prompt et leurs rémanences 13

2.1 Introduction 13

2.2 Phénomènes de production de rayonnement gamma 13

2.3 Processus de production de rayonnement : 16

2.3.1 Effet synchrotron 16

2.3.2 Effet Compton inverse 17

2.4 Collimation du flux gamma 18

Chapitre 3 Etude de la fonction de luminosité. 20
3.1 Introduction 20
3.2 Calcul de la luminosité : 20
3.3 Evolution de la luminosité avec le Redshift : 23
3.4 Taux de formation des sursauts gamma 24
3.5 Fonction de luminosité 26
3.6 Discussion 29
Conclusion 31
Bibliographie 32

Liste des acronymes

GRB	Gamma ray bursts
XRT	X ray transient
BAT	Burst alert télescope
GBM	Gamma Burst Monitor
CPL	Cut off power Law
OT	Optical transient
UV	Ultra-Violet
SWIFT	Society for Worldwide Interbank Financial Telecommunication
LGRB	Long Gamma ray bursts
SGRB	Short Gamma ray bursts
BATSE	Burst and Transient Source Experiment
LIGO	Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory
VIRGO	Variability of Solar Irradiance and Gravity Oscillations
VLT	Very Large Area Telescope
BeppoSAX	Satellite per Astronomia X, "Beppo" in honor of Giuseppe Occhialini
FERMI	Fermi Gamma-ray Space Telescope

Liste des tableaux

Table 1: Dépendance entre la luminosité et le Redshift z. Ref1 : (Deng & al, 2016) ; Ref2 : (Salvaterra & al, 2012) ; Ref3 : (Yu & al, 2015)..... 24

Table 2: Les trois paramètres de la fonction de luminosité obtenus pour les trois échantillons de Swift/BAT, Fermi/GBM et Konus-Wind. Ref1: (Buttler & al, 2010) ; Ref2: (Amaral-Rogers & al, 2016) ; Ref3: (Lan & al, 2019) ; Ref4: (Salvaterra & al, 2012); Ref5: (Wandermann & T., 2010). 27

Liste des figures

Figure 1 : Distribution des sursauts gamma en fonction de leurs durées. 4
Figure 2: la distribution de la durée de 2731 GRBs observés par Fermi/GBM..... 4
Figure 3: Une représentation canonique pour la variation du flux d'un sursaut gamma pendant son activité (Salafia & al., 2016). 5
Figure 4: Profil temporel de quelques sursauts gamma. 6
Figure 5: La rémanence de GRB 050724 [(Barthelmy, Chincarini, Burrows, & al., 2005)], montrant les résultats de Swift sur l'émission rapide de MTD extrapolée à la gamme des rayons X et l'émission ultérieure de rayons XRT, ainsi que le suivi tardif de Chandra. ... 7
Figure 6: Le spectre des rayons gamma du GRB110721A. 8
Figure 7:La courbe de lumière optique et proche infrarouge de la rémanence du GRB 050904, y compris les données VLT et Calar Alto. Son Redshift est z = 6,295. 10
Figure 8: Exemple la rémanence radio de GRB030329..... 11
Figure 9: la distribution angulaire de 153 rafales en coordonnées galactiques. il n'y a pas d'écart statistiquement significatif par rapport à l'isotropie 12
Figure 10 :Mécanisme de sursauts gamma produit par la coalescence de deux étoiles compacts..... 14
Figure 11: La production des rayonnements gamma prompt par chocs internes et des rémanences par chocs externes..... 15
Figure 12: Schémas de l'effondrement d'étoile massive et l'émission des jets relativistes responsable de production de sursauts gamma longs. 15
Figure 13: Emission de rayonnement par un corps noir dit rayonnement thermique. 16
Figure 14: Spectre du rayonnement synchrotron. 17
Figure 15: Spectre du rayonnement de l'effet inverse de Compton .**Error! Bookmark not defined.**
Figure 16: Spectre d'un sursaut Gamma interpolé par un spectre synchrotron + un spectre Compton inverse. 18
Figure 17: Jet break dû à la collimation induite par le mouvement relativiste. 19
Figure 18: La variation de luminosité en fonction du Redshift z pour l'échantillon de Swift/BAT composé de 264 GRBs. 22

Figure 19: Evolution de la luminosité en fonction du Redshift z pour l'échantillon de Fermi/GBM composé de 49 GRBs. 22
Figure 20: Evolution de la luminosité en fonction de Redshift pour l'échantillon observé par Konus-Wind composé de 169 GRBs. 23
Figure 21: Taux de formation des étoiles suivant trois suppositions différentes 26
Figure 22:Fonction de luminosité obtenue à partir de l'échantillon de Swift/BAT. 28
Figure 23: Fonction de luminosité obtenue à partir de l'échantillon de Fermi/GBM. 28
Figure 24: Fonction de luminosité obtenue pour l'échantillon de Konus-Wind. 29

Introduction

Les sursauts gamma prompt (GRB) sont des explosions extrêmement puissantes qui impliquent soit la mort d'étoiles massives, soit la fusion d'objets stellaires compacts. L'énergie isotrope équivalente des GRB peut dépasser 10^{45} erg, et leur spectre non thermique atteint un pic entre 10 et 10^4 keV (Atteia et al. 2017). Leurs courbes de lumière présentent des impulsions intenses qui peuvent durer de moins d'une seconde à des centaines de secondes, elles sont souvent irrégulières et comprennent parfois des impulsions multiples. Bien que l'on pense que les radiations émises par les GRB sortent principalement par des jets (avec des collisions à l'intérieur), le mécanisme précis de formation derrière ces jets n'est pas entièrement compris.(Le et Dermer 2007)

Étant donné la nature complexe de leur apparition et de leur déroulement, il n'est pas surprenant que les GRB soient parmi les sujets et les phénomènes les plus étudiés en astrophysique aujourd'hui, tant sur le plan théorique que sur celui de l'observation. De nombreux modèles théoriques ont été proposés pour tenter d'expliquer ce phénomène très spectaculaire; mais étant donné la quantité stupéfiante d'énergie impliquée et les courtes échelles de temps de ces explosions, aucun de ces modèles n'a été pleinement couronné de succès (Dainotti et al. 2019).

Il existe actuellement de nombreuses missions d'observation, tant au sol que depuis l'espace, qui participent à l'étude des GRB dans les différentes bandes du spectre électromagnétique. En outre, un nouvel outil d'observation a récemment fait son apparition, à savoir les ondes gravitationnelles, qui sont produites par la fusion d'étoiles à neutrons ou trous noirs. Ce nouvel outil fournit déjà un aperçu des mécanismes de formation des GRB courtes de type fusion et est devenu une partie intégrante de l'approche multi-messagers pour l'étude des GRB (Schmidt 1999; 2001; Sethi et Bhargavi 2001; D. Yonetoku et al. 2004; Liang et al. 2007; Virgili, Liang, et Zhang 2009; Butler, Bloom, et Poznanski 2010; Cao et al. 2011; Salvaterra et al. 2009; Wanderman et Piran 2010; Amaral-Rogers, Willingale, et O'Brien 2016a; Paul 2017; Kinugawa, Harikane, et Asano 2019; Lan et al. 2019).

L'étude de la fonction de luminosité (LF), qui est définie comme le nombre de sursauts par unité d'intervalle de luminosité, fait partie de la vérification et de la validation des modèles théoriques des processus physiques impliqués dans l'apparition des GRB. Elle nous permet, entre

autres, de prédire les taux de production des GRB et la probabilité de détecter les ondes gravitationnelles associées à certaines d'entre elles. En outre, il peut fournir des informations sur le taux de formation des étoiles.

Des recherches antérieures sur les fonctions de luminosité ont été effectuées sur différents échantillons de données, dont la plupart contenaient un nombre limité de rafales de rayons gamma (Schmidt 1999; 2001; Sethi et Bhargavi 2001; 2001; D. Yonetoku et al. 2004; Liang et al. 2007; Virgili, Liang, et Zhang 2009; Butler, Bloom, et Poznanski 2010; Cao et al. 2011; Salvaterra et al. 2009; Wanderman et Piran 2010; Amaral-Rogers, Willingale, et O'Brien 2016a; Paul 2017; Kinugawa, Harikane, et Asano 2019; Lan et al. 2019)

Notre travail actuel utilise trois échantillons de données plus importants provenant de trois satellites/instruments, à savoir Swift/BAT (264 GRB), Konus/Wind (169 GRB), et Fermi/BAT (49 GRB), puis élargit l'ensemble de données avec des GRB simulés (artificiels).

Dans le chapitre un nous présenterons des généralités sur les sursauts gamma et sur leurs rémanences dans d'autres longueurs d'ondes. Dans le chapitre deux nous éssayerons de présenter les différents modèles théoriques qui expliquent ce phénomène très mystérieux en astrophysique. Dans le chapitre trois, nous étudierons la fonction de luminosité en utilisant des données de trois télescopes à savoir Swift, Fermi et Konus-Wind. Ce dernier chapitre fera l'objet d'un article soumis dans une revue scientifique internationale de catégorie A.

Chapitre 1

Généralités sur les sursauts gamma

1.1 Introduction

Les sursauts gamma (GRB) sont des éclairs lumineux de rayons gamma provenant du cosmos. Ils se produisent environ une fois par jour, durent généralement des dizaines de secondes et sont les événements les plus lumineux de l'univers, ont été découverts à la fin des années 1960 par les satellites Vela(Mészáros, 2012), On pense généralement qu'ils proviennent de magnétars ou de trous noirs résultant de la fusion de binaires compacts (NS-NS ou BH-NS) ou de la mort d'étoiles massives (Wang, 2020), réparties dans le ciel avec des isothertos et la densité du nombre augmente lentement avec l'intensité des tremblements Déclin(Paczyñski, 1986), ces sursauts libèrent généralement plus d'énergie en quelques secondes que notre Soleil durant toute sa vie .

1.2 Profils temporels des GRBs

1.2.1 Durée du sursaut :

Lorsque les astronomes ont examiné le nombre de salves par rapport à leur durée, ils ont trouvé deux classes différentes de salves: de longue durée et de courte durée.BATSE a également constaté que les GRB se séparent en deux classes de durée, les GRB courts (SGRB) et les longs GRB (LGRB), avec une ligne de division à ~ 2 s (Kouveliotou, 1993). Dans la figure Figure 1 on donne cette distribution bien connue.

LGRB de 2 secondes à quelques centaines de secondes (plusieurs minutes), avec un temps moyen d'environ 30 secondes. Ils sont associés à la mort d'étoiles massives dans les supernovas; bien que toutes les supernovæ ne produisent pas un sursaut gamma.

Les SGRB sont ceux qui durent moins de 2 secondes; d'une durée allant de quelques millisecondes à 2 secondes avec une durée moyenne d'environ 0,3 seconde (ou 300 millisecondes). Les sursauts gamma de courte durée (SGRB) sont des éclairs soudains et brefs de rayonnement

gamma d'une durée inférieure à 2 secondes(Kouveliotou, 1993)Leur origine est traditionnellement liée à la coalescence de deux étoiles à neutrons(David Eichler, 1996).

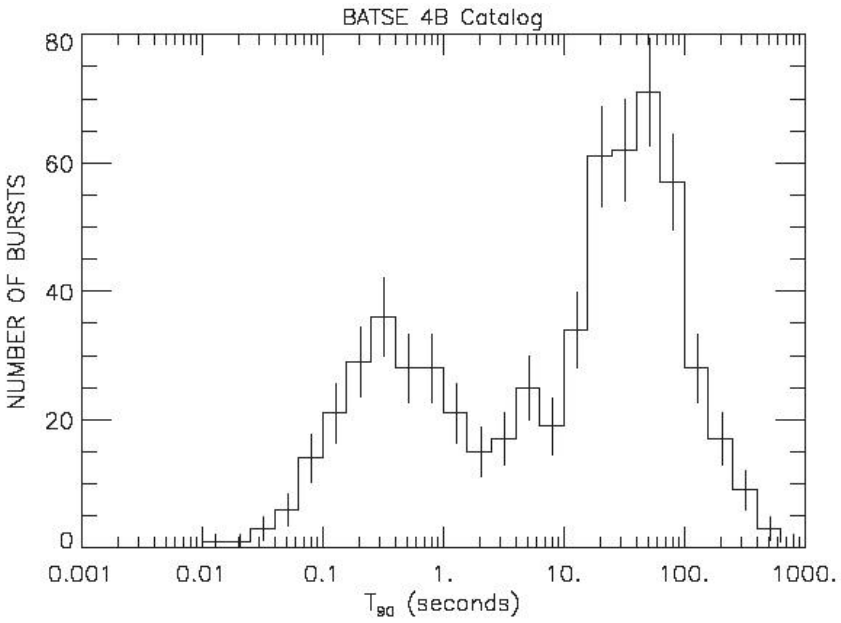


Figure 1 : Distribution des sursauts gamma en fonction de leurs durées(https://gammaray.nsstc.nasa.gov/batse/grb/duration/).

Dans laFigure 2 nous présentons la distribution de la durée faite sur les sursauts observés par Fermi depuis son lancement en 2008 jusqu'à aujourd'hui. Il a collecté environ 2731 GRBs.

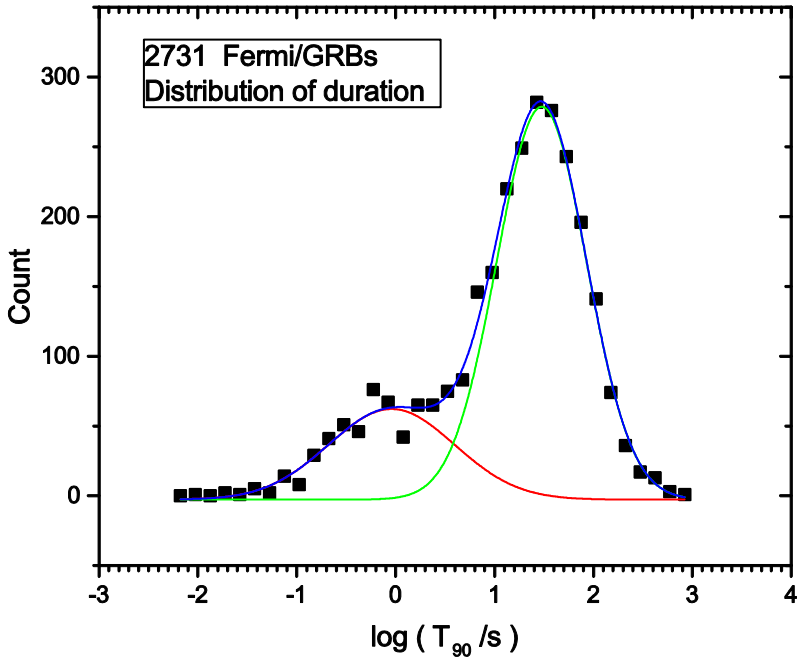


Figure 2: la distribution de la durée de 2731 GRBs observés par Fermi/GBM. Les carrées sont les données observées ; ligne rouge : interpolation de la distribution de la durée des sursauts courts ;

ligne verte : interpolation des données sursauts longs. Ligne bleu : la somme des sursauts longs et courts.

1.2.2 Profil temporel des sursauts gamma.

Le flux est une énergie de photon par l'unité de surface par l'unité de temps. Pour chaque sursaut gamma, la distribution des photons varie dans le temps durant la durée du sursaut. On observe plusieurs formes de profil temporel allant d'un seul pic à plusieurs pics de forme irrégulière. Dans laFigure 4, nous donnons des exemples de ces profils. Dans figure on donne une forme canonique faite pour exprimer théoriquement la forme de ces profils. Il est formé par une monté rapide et décroissante exponentielle.

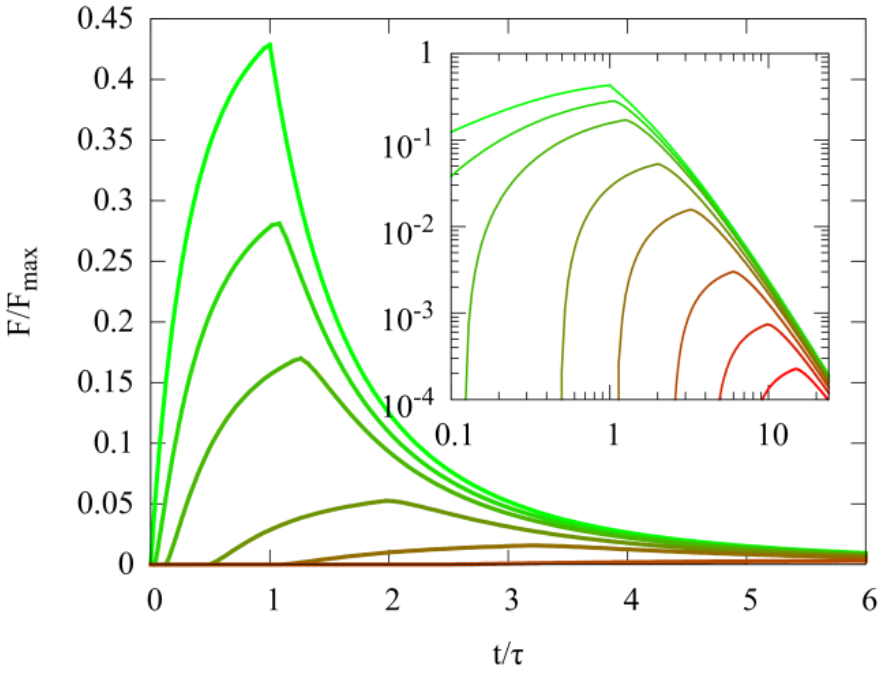


Figure 3: Une représentation canonique pour la variation du flux d'un sursaut gamma pendant son activité (Salafia & al., 2016).

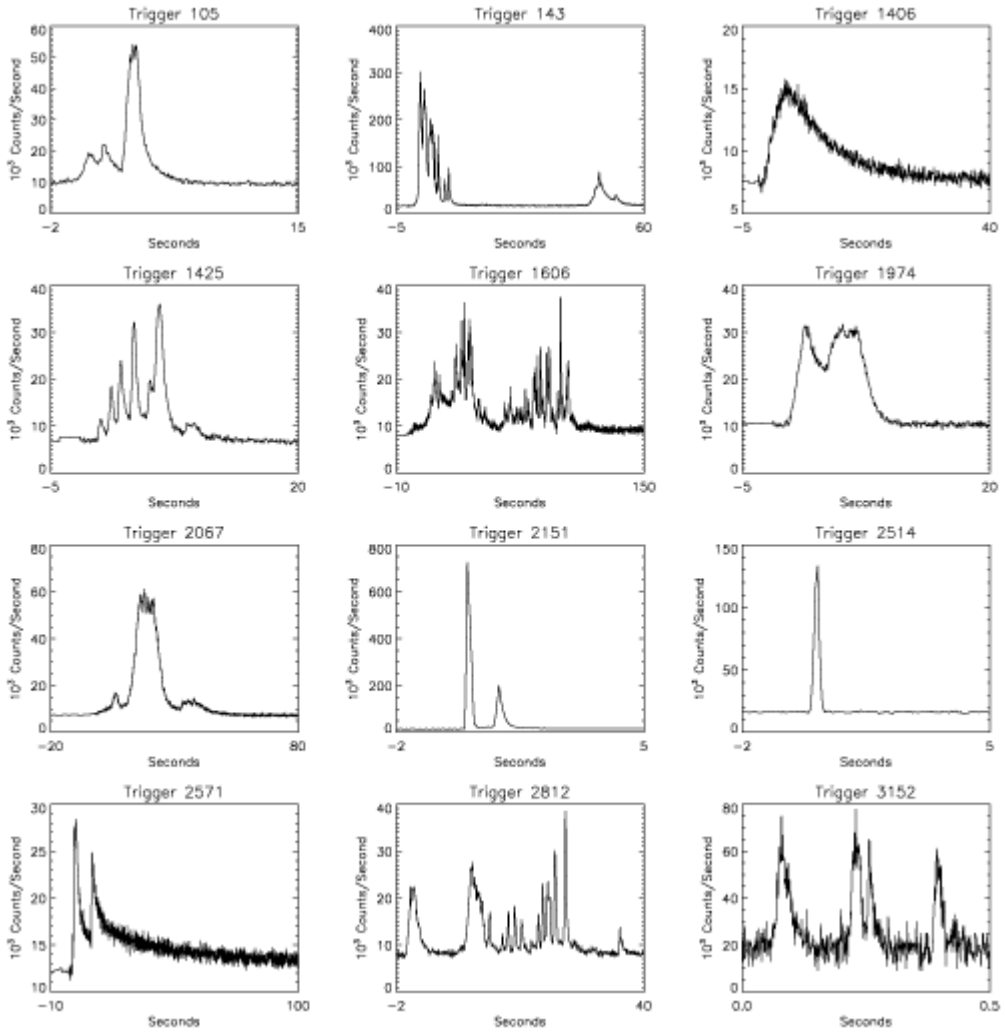


Figure 4: Profil temporel de quelques sursauts gamma (https://www.wikiwand.com/fr/Sursaut_gamma).

1.2.3 Profils temporels des rémanences

La rémanence est ce qui suit les explosions initiales d'un sursaut gamma, qui peuvent prendre des heures ou des jours(Qingqing Miao, 2017) , son intensité de brillance est forte en premier et diminue avec le temps jusqu'à ce qu'elle disparaisse complètement,en fait, un mélange de rayonnement électromagnétique de différentes longueurs d'onde, y compris des rayons X, des rayons ultraviolets, de la lumière visible, des infrarouges et des ondes radio.

Satellite BeppoSAX qui a découvert l'émission de rayons X décoloration en 1997 qui était insoluble à l'époque, le télescope William Herschel a identifié un isotope optique décoloration 20 heures après l'explosion(J. van Paradijs, 1997) , c'était la première fois Redshift a été identifié comme z =

0,835Ce qui permet de mesurer distance de GRB (Reichart, 1998). Dans la figure, on donne une forme représentative d'une rémanence :

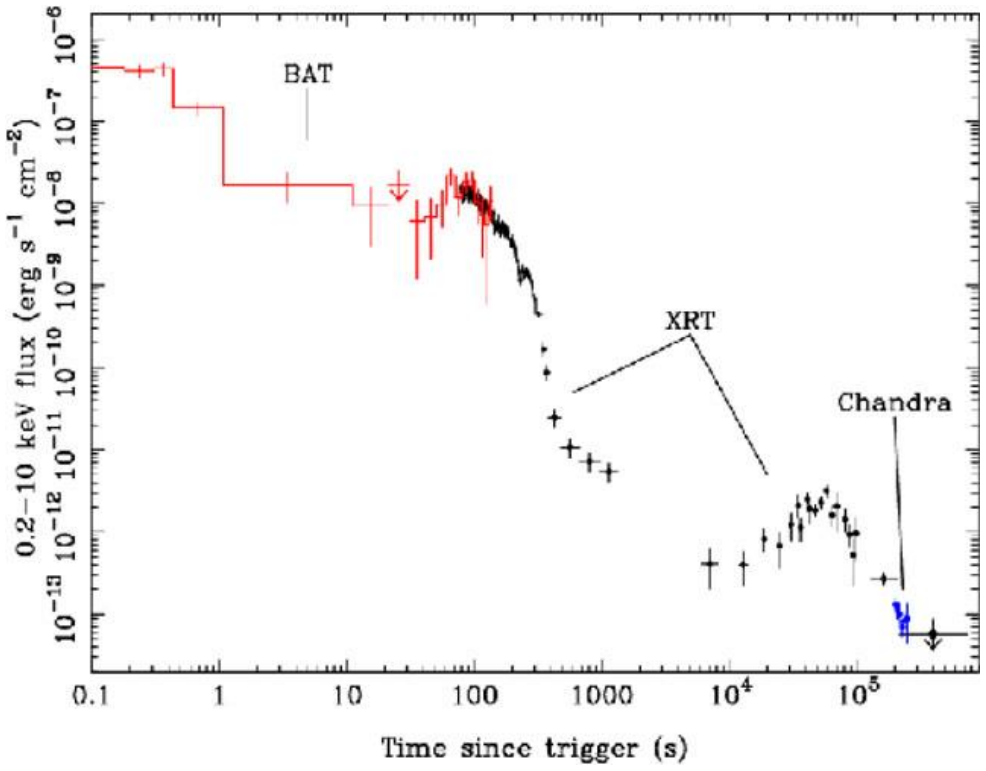


Figure 5: La rémanence de GRB 050724 [(Barthelmy, Chincarini, Burrows, & al., 2005)], montrant les résultats de Swift sur l'émission rapide et extrapolée à la gamme des rayons X et l'émission ultérieure de rayons XRT, ainsi que le suivi tardif de Chandra.

1.3 Spectre d'énergie du GRB :

Les rayons gamma sont la forme la plus élevée d'énergie de rayonnement électromagnétique en raison de leur longueur d'onde courte, généralement émise dans la gamme d'énergie de quelques keV à 10 MeV. La forme la plus acceptée pour représenter le spectre des sursauts gamma et la fonction dite de Band (Band, et al., 1993). La Figure 6 est l'une de ces formes qui concerne le GRB110721A.

1.3.1 Distribution en énergie des photons émis par le GRB

La valeur de l'énergie électromagnétique émise lors d'un seul éclair de rayonnement gamma est équivalente à l'énergie produite par le soleil pendant une dizaine de milliards d'années(Buchallr, 2009), et le taux de son émission équivaut à un éclair chaque jour. Chaque éclair gamma se caractérise par la force de luminosité allant de 10^{48}erg.s^{-1}à 10^{54} erg.s^{-1}

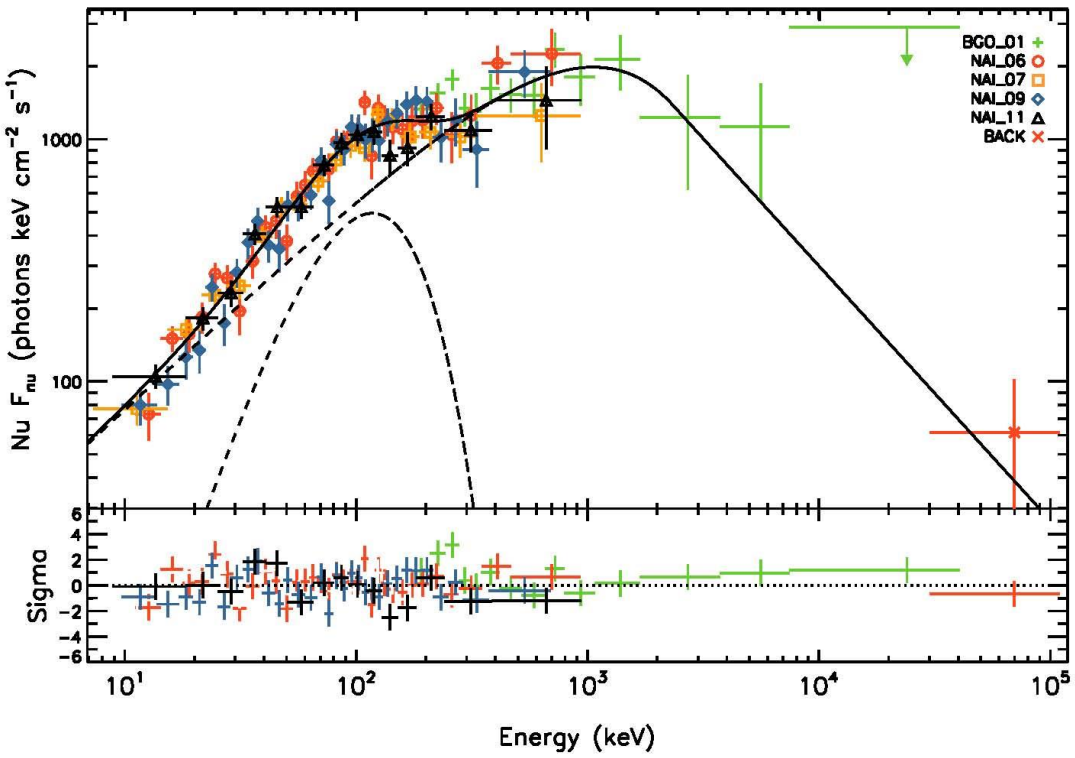


Figure 6: Le spectre des rayons gamma du GRB110721A.

Distribution en énergie du nombre de photons d'un sursaut gamma. E est l'énergie du photon détecté par le détecteur du télescope. Le spectre de beaucoup des sursauts ont été étudiés et modélisés selon la fonction dite de band (Band, et al., 1993):

$$\mathrm{N}(\nu) = \begin{cases} (E)^{\alpha}\ e^{\frac{-E}{E_0}} \mathrm{E} < (\alpha-\beta)E_0 \\ e^{\alpha-\beta}[(\alpha-\beta)E_0]^{\alpha-\beta}(\mathrm{E})^{\beta} E > (\alpha-\beta)E_0 \end{cases} \quad (1)$$

où α et β représentent respectivement les indices spectraux aux basses et hautes énergies,et il n'y a pas de modèle théorique spécifique qui prédit cette forme spectrale(Buchallr, 2009).

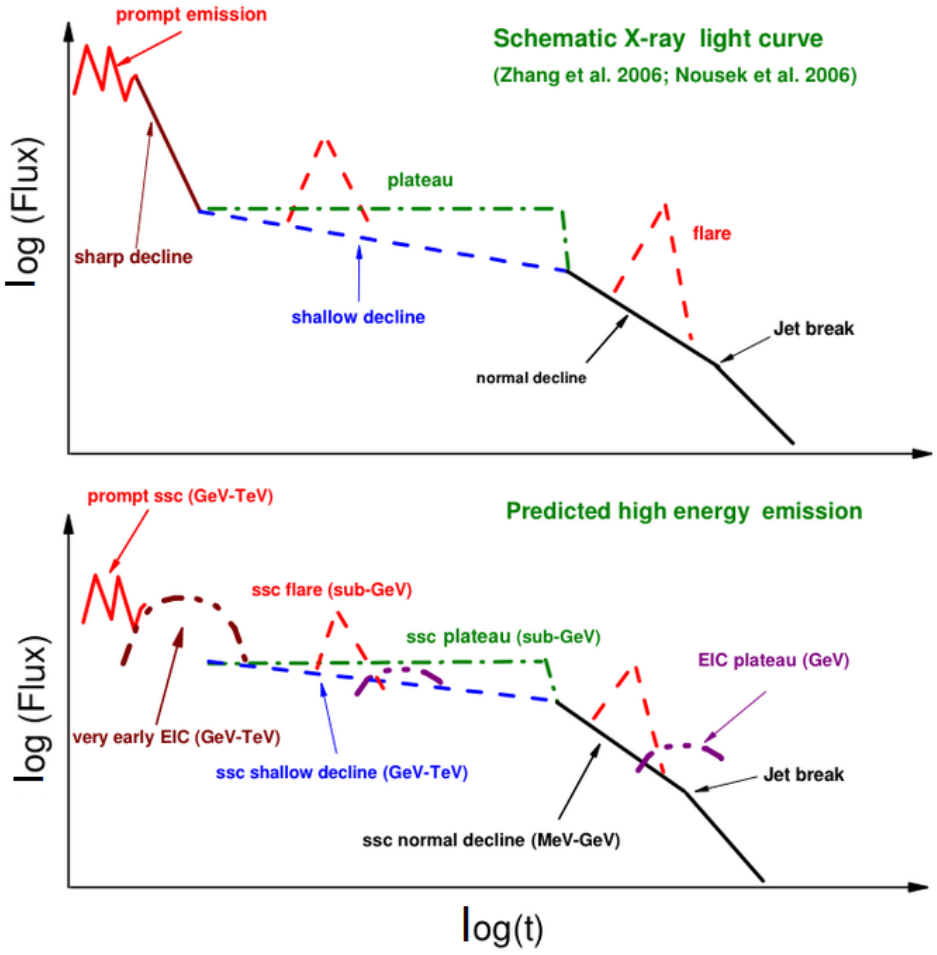
Certain sursauts gamma obéissent à une loi de puissance brisée qu'on peut l'exprimer comme suit :

$$\mathrm{N}(\nu) = (E)^{\alpha}\ e^{\frac{-E}{E_0}} \quad (2)$$

1.3.2 Distribution en énergie des photons émis par la rémanence

1.3.2.1 Rémanence X :

Ce rayonnement est retardé d'environ une heure sur les sursauts gamma. Le premier télescope à observer la rémanence X est le télescope BeppoSAX. La distribution temporelle des photons en bande X caractérisant ces rémanences est généralement formée par plusieurs parties. Les parties essentielles sont la descente rapide qui vient juste après la partie gamma puis le plateau et enfin la brisure du jet (Figure 7).



1.3.2.2 Rémanence Visible :

Ce rayonnement est retardé d'environ une journée sur les sursauts gamma. En utilisant des filtres on peut différentier entre les couleurs du spectre visible (Rouge, bleue , Vert ….). On remarque dans

la Figure 7 que leurs magnitudes sont différentes. On remarque aussi que, pour GRB 050904, l'émission dans le visible commence presque une heure après le sursaut gamma prompt.

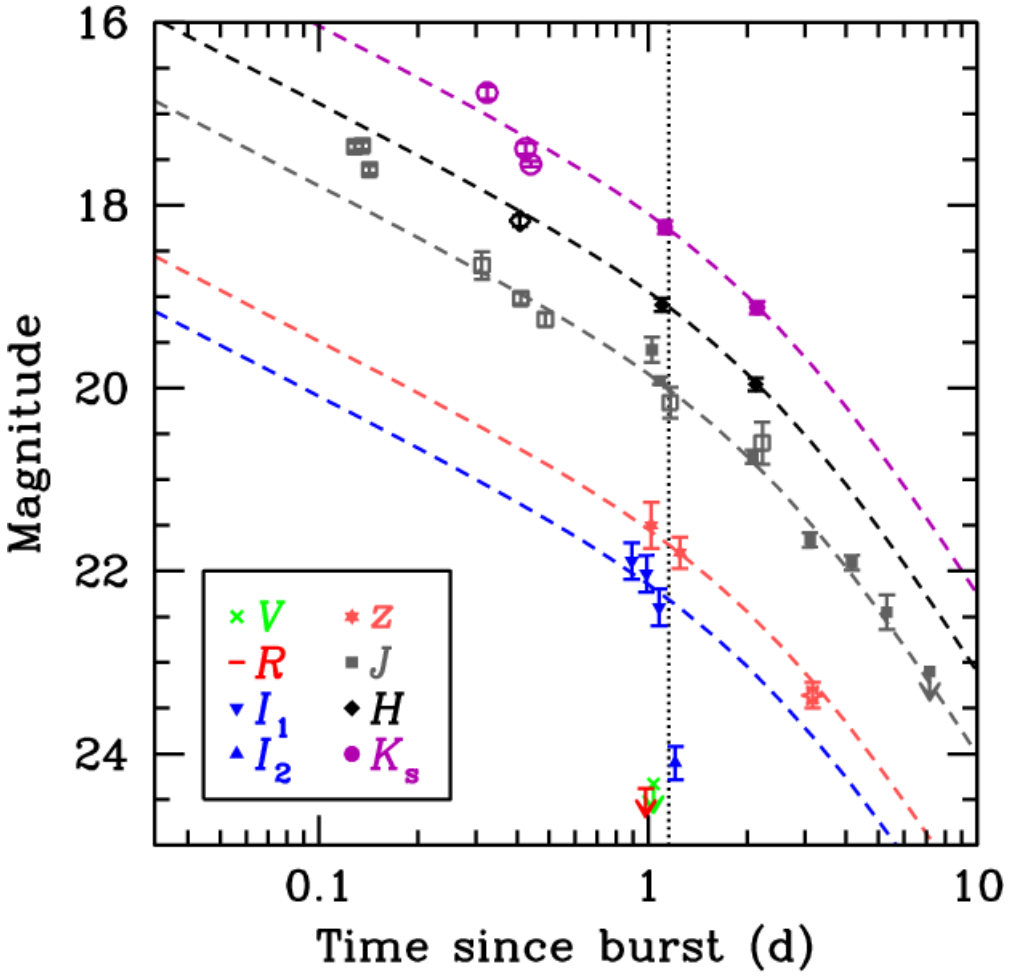


Figure 7:La courbe de lumière optique et proche infrarouge de la rémanence du GRB 050904, y compris les données VLT et Calar Alto.Son Redshift est z = 6,295(Tagliaferri et al. 2005).

1.3.2.3 Rémanence UV

D'après les données du GRB080319, le sursaut dont sa rémanence était la plus brillante, l'émission en UV commence après quelques minutes de l'émission gamma prompt. Dans la **Error! Reference source not found.**On donne la variation de la magnitude UV de ce sursaut ainsi que la magnitude du Supernova 2012aw. On remarque que le Supernova émis dans la bande UV après 3.5 jours de l'explosion.

1.3.2.4 Rémanence Radio

Ce rayonnement est retardé de plusieurs jours sur les rayons gamma, la première découverte rémanence radio d'un sursaut gamma estGRB970508, Il se caractérise par une brillance plus forte

que celle normalement attendue pour les sources radio. Dans la Figure 8, on donne une image traitée d'une observation terrestre d'une émission radio du sursaut gamma GRB030329.

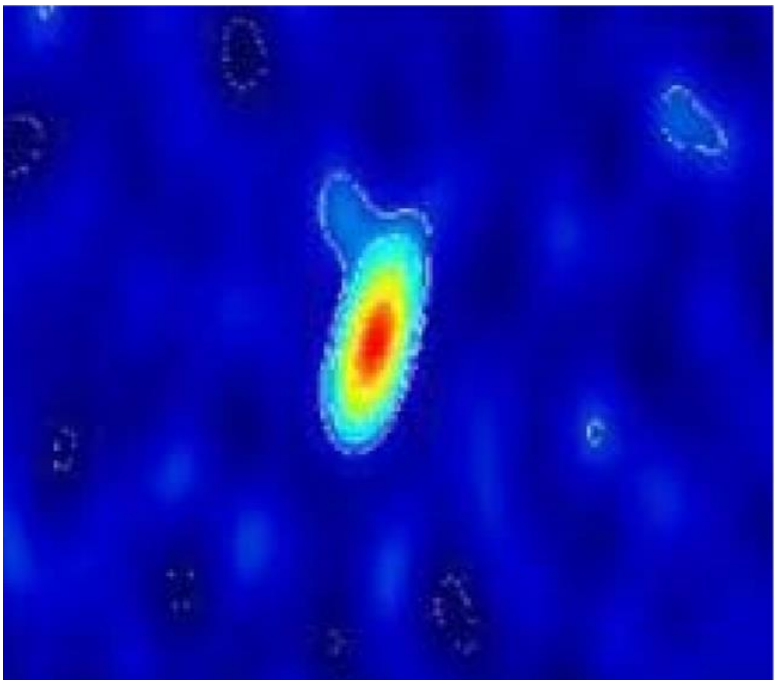


Figure 8:Exemple la rémanence radio de GRB030329. (https://astronomy.com/-/media/Images/)

1.4 Distribution spatiale des sources des GRBs

La distribution spatiale des éclats classiques de rayons gamma (GRB) est également répartie avec une grande précision, mais le nombre d'explosions faibles est significativement perceptible par rapport à la distribution majoritaire(C. A. Meegan, 1992).

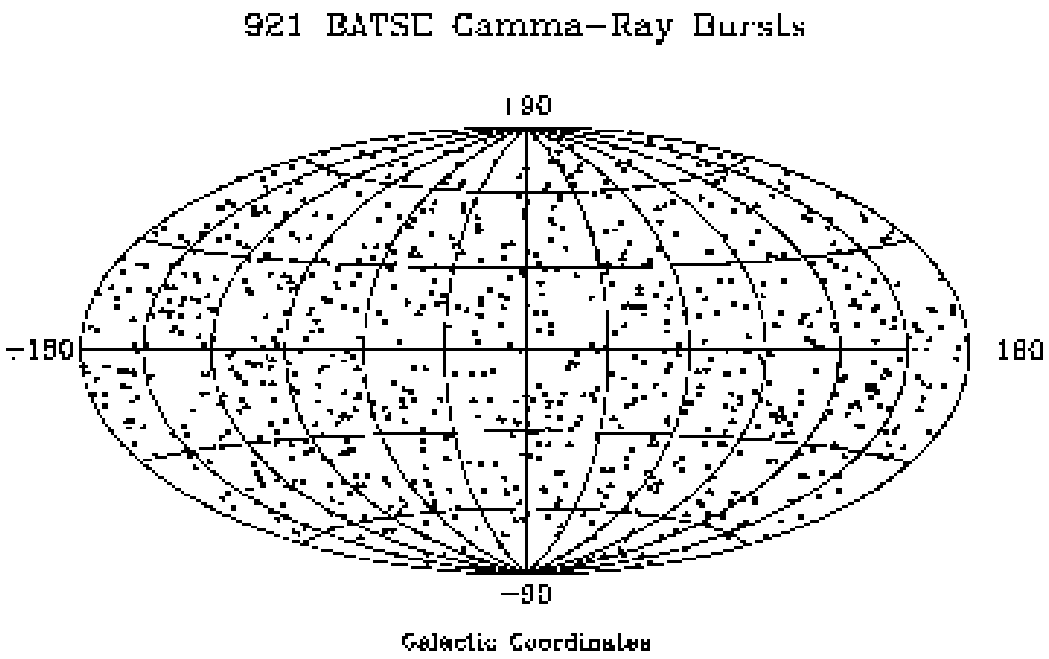


Figure 9: la distribution angulaire de 921 rafales en coordonnées galactiques. Il n'y a pas d'écart statistiquement significatif par rapport à l'isotropie (https://aether.lbl.gov/www/projects/neutrino/grb/burst_distribution.html).

Chapitre 2

Physique de sursauts gamma prompt et leurs rémanences

2.1 Introduction

Le lancement des satellites équipés de puissance télescopes Batse, BeppoSAX, Hete2, Swift et Fermi ont révolutionné la compréhension de l'émission de rayonnements gamma prompt. Ces satellites ont permis de faire des études statistiques plus détaillées sur un grand nombre de sursauts gamma(Piran 2005).

Il existe principalement deux modèles pour expliquer une bonne partie de la physique des sursauts gamma. Le premier est basé sur l'effondrement des étoiles massives et le second est basé sur la fusion de deux objets stellaires très compacts.

Pour les deux scénarios, l'hypothèse commune, que le sursaut gamma résulte des chocs internes entre les couches formant l'éjecta, est actuellement la plus répandue(Daigne 1999; Daigne et Mochkovitch 1998; Piran 2005; Meszaros 2006). Il est généralement admis que le GRB et la rémanence résultante surviennent en raison de la dissipation de l'énergie cinétique du jet relativiste. La dissipation de cette énergie à l'intérieur du jet est dit par choc interne. Le jet relativiste peut aussi dissiper son énergie quand il rencontre le milieu interstellaire extérieur à la matière du jet. On appelle ce procédé de dissipation choc externe.

2.2 Phénomènes de production de rayonnement gamma

Les sursauts gamma sont subdivisés en deux grandes catégories : ceux de longue durée (LGRB) qui dépasse les deux secondes et ceux de courte durée (SGRB) qui est moins de deux secondes. On les appelle généralement deux populations de sursauts gamma. La population des SGRBs est reliéeà la coalescence de deux étoiles compactes formant un système binaire. Ces

systèmes binaires peuvent être formé par deux étoiles de neutrons ou une étoile de neutrons et un trou noir.

Dans ce cas l'évènement de coalescence est très rapide et violente quand les deux étoiles se rapprochent étroitement l'une de l'autre en ayant un moment angulaire très important. Lorsque les deux étoiles à neutrons sont en orbite l'une autour de l'autre à faible distance mutuelle, cette distance diminue au cours du temps en raison du rayonnement gravitationnel. Les deux étoiles finissent par se rencontrer et fusionner en émettant de la matière et des photonsen un jet relativiste qui sort des deux pôles de l'axe de rotation du système binaire. Ce qui reste des deux étoiles devient une étoile à neutrons plus massive ou un trou noir, selon que la masse de ce reste est inférieure ou non à la limite d'Oppenheimer-Volkoff .

La fusion de systèmes binaires pour des corps compacts, des naines blanches ou des étoiles à neutrons est l'hypothèse actuellement préférée pour les courtes GRBs. Ce système est le plus favori pour la production d'ondes gravitationnelles prédites par Einstein et longuement attendues par les deux télescopes terrestres LIGO et VIRGO.

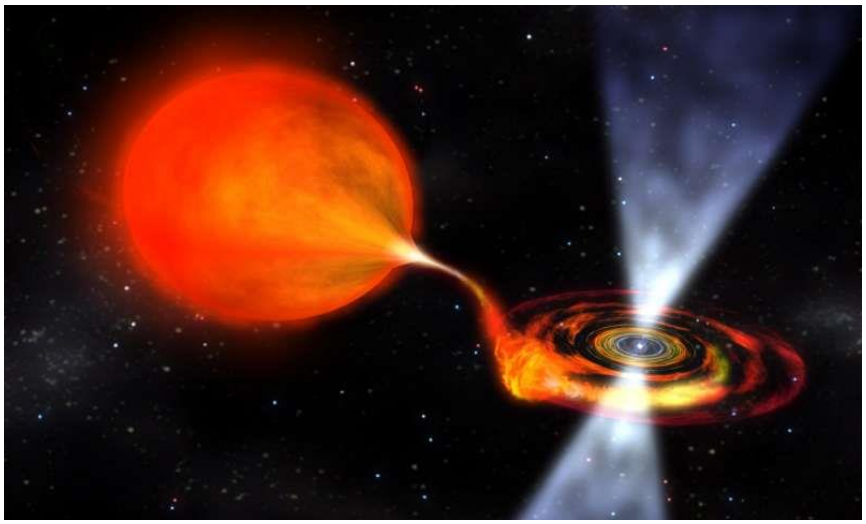


Figure 10 :Mécanisme de sursauts gamma produit par la coalescence de deux étoiles compacts (https://phys.org/news/2018-12-astronomers-atmosphere-accretion-disk-x-ray.html).

A l'intérieur du jet relativiste on pense que le choc entre les couches éjectées à des vitesses relativistes produit le rayonnement gamma quand observe. Ce rayonnement est produit par effet synchrotron (détaillé ci-dessous) du à l'accélération des électrons relativistes dans un champ magnétique très intense. Quand ce jet rencontre le milieu interstellaire formé essentiellement par les restes du système binaire il produit des rayonnements dans d'autres longueurs d'ondes à savoir le

rayonnement X, le rayonnement ultra-violet, le rayonnement optique et le rayonnement Radio. La structure du jet peut être représentée par la figure ci-dessous :

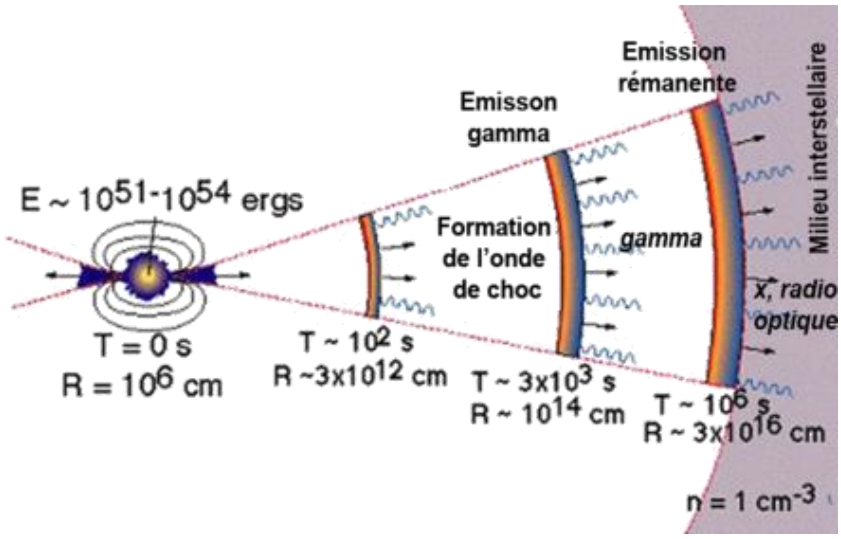


Figure 11: La production des rayonnements gamma prompt par chocs internes et des rémanences par chocs externes (https://www.wikiwand.com/fr/Sursaut_gamma).

Les sursauts gamma longs sont supposées dues à l'effondrement d'étoile massive qui a fini par épuiser son combustible et s'effondre pour former un trou noir. Cet effondrement donne naissance à l'émission d'un jet relativiste vers les deux pôles de l'axe de rotation de l'étoile massive. La production de rayonnement se fait de la même manière que nous venons d'expliquer, ci-dessus, pour les sursauts gamma courts.



Figure 12: Schémas de l'effondrement d'étoile massive et l'émission des jets relativistes responsable de production de sursauts gamma longs (https://skyandtelescope.org/astronomy-news/black-holes/black-hole-destroys-star-and-shoots-jet/).

2.3 Processus de production de rayonnement :

D'après les données observationnelles à savoir le spectre d'énergie des photons émis, le processus de production de rayonnement est essentiellement relié à deux phénomènes physiques qui sont l'effet synchrotron et l'effet de Compton-inverse. Le spectre observé ne correspond pas au spectre de l'émission d'un corps noir ou thermique pourtant bien connu en Astrophysique.

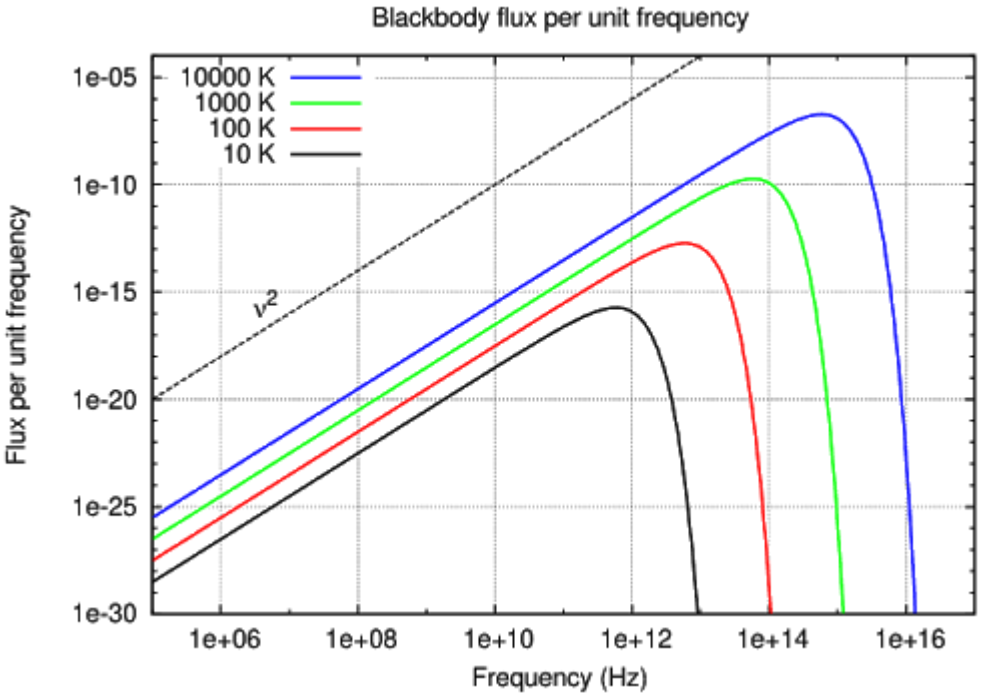


Figure 13: Emission de rayonnement par un corps noir dit rayonnement thermique (https://png.pngitem.com/pimgs/s/151-1514220_plot-hd-png-download.png).

2.3.1 Effet synchrotron

C'est l'émission d'électrons ultra-oscillants relativiste qui tournent dans un champ magnétique, et c'est aussi le processus qui domine de nombreuses astrophysiques à haute énergie. Ce processus est responsable de l'émission de rayonnement radio de la galaxie, des restes de supernova et des sources radio en dehors de la galaxie. La plupart des spectres énergétiques observés proviennent de l'émission synchrotron et non de l'émission d'un corps noir. Il est également responsable des émissions optiques et des rayons X non thermiques. C'est une source importante de rayonnement en astrophysique.

Le rayonnement synchrotron est émis par des particules chargées (généralement des électrons ou des positrons relatifs) qui se déplacent dans un champ magnétique intense (Lewin WH, 1995).

L'énergie typique des photons synchrotron en plus du temps de refroidissement du synchrotron dépend du facteur Lorentz relatif de l'électron et de l'intensité du champ magnétique. Dans un jet relativiste, le rayonnement produit par effet synchrotron est décalé vers le bleu (Piran 2005) par rapport au référentiel de l'observateur.

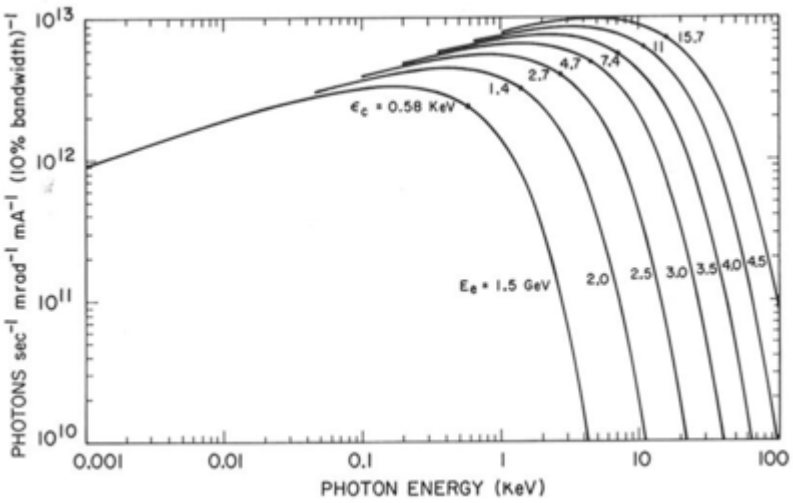


Figure16: Spectre du rayonnement synchrotron
(https://en.wikipedia.org/wiki/Synchrotron_radiation).

2.3.2 Effet Compton inverse

L'effet Compton est la diffusion de photons due à sa collision avec une particule chargée libre (généralement un électron). Comme cet effet provoque une diminution de l'énergie (augmentation de la longueur d'onde) pour le photon, il s'applique au rayonnement électromagnétique à haute énergie. L'effet Compton inverse est le transfert d'une énergie d'une particule chargée, essentiellement l'électron, à un photon (Lewin WH, 1995).L'effet Compton inverseestime que des photons de faible énergie sont diffusés à des énergies élevées par des électrons hautement relativistes. Il en résulte que les photons gagnent de l'énergieet les électrons perdent de l'énergie. Le processus est appelé l'inverse parce que les électrons perdent de l'énergie au lieu des photons, ce qui est l'opposé de l'effet Compton standard.

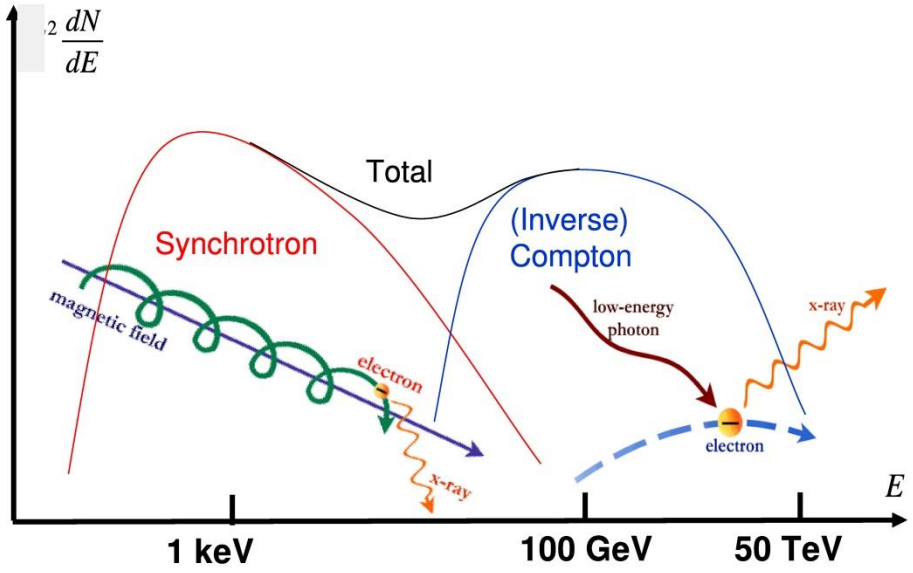


Figure 14: Spectre d'un sursaut Gamma interpolé par un spectre synchrotron + un spectre Compton inverse (https://storage.googleapis.com/groundai-web-prod/media/users/user_38794/project_233749/images/ssc.png).

2.4 Collimation du flux gamma

Les données « afterglows » ou rémanences des sursauts gamma montrent que le flux du ce rayonnements est colmaté dans un cône d'angle d'ouverture de quelque degrés au début du jet. Cette collimation est due à la vitesse relativiste du jet ou les chocs avaient eu lieu. Cet aspect est bien connu en la théorie de la relativité restreinte. Si le jet possède un facteur de Lorentz Γ, l'angle d'ouverture θ est inversement proportionnelle à Γ. D'après les observations et les modèles théoriques, la vitesse du jet diminue en fonction du temps à cause des chocs externes par dissipation de son énergie. A un certain moment, la vitesse du jet devient faible de telle façon que le facteur de Lorentz décroit énormément et le jet s'ouvre de plus en plus. Avec l'ouverture du jet le flux observé décroit lui aussi et on observe une brisure dite « jet break » qui correspond à un angle θ_b. Cette angle varie de 5 à 10 degrés pour le flux des rémanences en bande X.

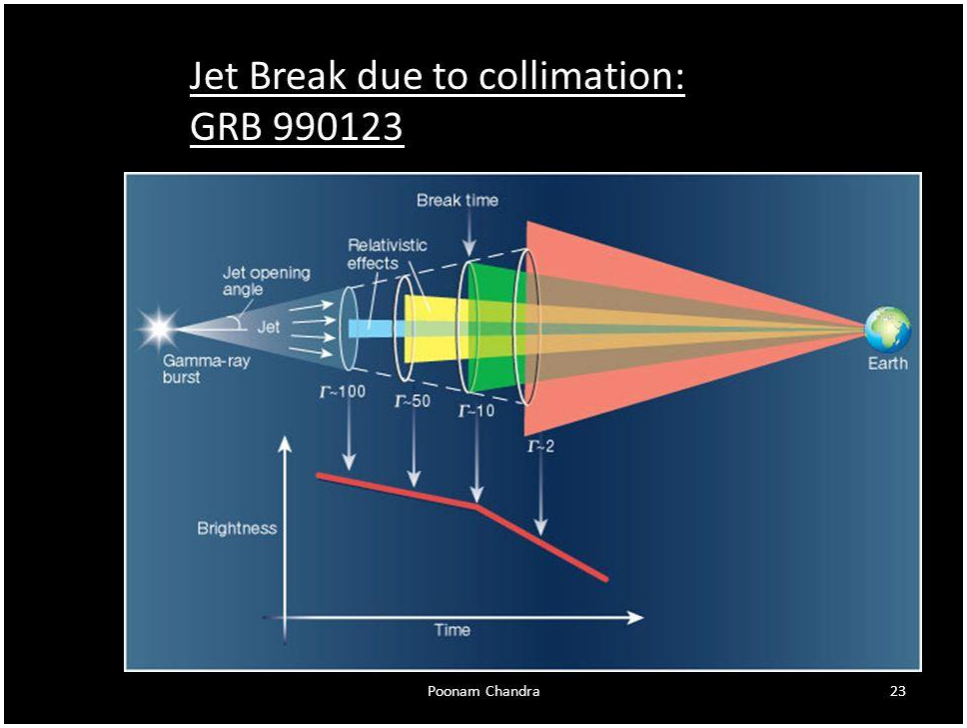


Figure 15: Jet break dû à la collimation induite par le mouvement relativiste (https://images.slideplayer.com/25/8115009/slides/slide_23.jpg).

Chapitre 3

Etude de la fonction de luminosité.

3.1 Introduction

Dans ce travail, nous essayons d'exploiter les idées théoriques de base et les données observationnelles de Swift/BAT, Fermi/GBM et Konus-Wind pour nous approcher de la forme de la fonction de luminosité notée par la suite φ(L). La fonction φ(L) représente ici la fonction de luminosité normalisée. La fonction de luminosité normalisée est différente de la fonction de luminosité intrinsèque φ_0(L), qui s'obtient avec tous les sursauts vus sur l'axe. La forme la plus adaptée et communément utilisée pour φ(L) est une simple loi de puissance:

$$\varphi(L) \ \alpha \ (L)^{-\alpha} \quad , \tag{3}$$

qui est valable entre L_{min} et L_{max}. Cette fonction dépend de ces trois paramètres. La méthode adoptée est de contraindre ces trois paramètres, variant entre des limites raisonnables, par des indicateurs observationnels. En plus de ces trois paramètres, nous avons d'autres qui caractérisent le taux des sursauts et le spectre observé du sursaut. Suivant cette procédure, plusieurs études ont convergé vers des valeurs très proches et similaires, à savoir.

3.2 Calcul de la luminosité :

Pour les échantillons Swift/BAT et Fermi/GBM, la luminosité au pic du flux peut être calculée en utilisant les données spectrales de chaque sursaut, caractérisée par un Redshift connu z. Le flux de photons d'une seconde au pic peut être trouvé dans les données Swift/BAT et Fermi/GBM. Ce flux donne le nombre total de photons par unité de surface et par unité de temps, indépendamment de leurs énergies individuelles. Le spectre d'énergie de \Swift/BAT est divisé en quatre bandes : 15-25 keV, 25-50 keV, 50-100 keV, 100-350 keV. Fermi/GBM couvre la bande plus large de 10-1000 keV.

Dans ce travail, nous utilisons une loi de puissance brisée présentée par (Band, et al., 1993), qui est caractérisée par deux paramètres spectraux : l'énergie de pointe observée, $E^{obs}{}_p$, et l'indice spectral alpha (α) :

$$N_E(E) = A\, E^{\alpha} \exp(-\frac{E}{E_0}), \tag{4}$$

Avec $E_0 = E^{obs}{}_p/ (1+\alpha)$.

La luminosité bolométrique du pic de flux isotrope d'une seconde, désignée par L, est l'énergie maximale rayonnée par unité de temps dans tout l'espace. Elle est calculée en intégrant la fonction E N_E dans la bande d'énergie correspondant à la bande de rayonnement gamma observée dans le repère de la source, c'est-à-dire E_1 = 1 keV à $E_2 = 10^4$ keV. Et en raison des effets cosmologiques, la bande d'énergie observée correspondante est : $E_1/ (1+z)$ à $E_2/(1+z)$. Ainsi, le k-corrigé $\boldsymbol{L}$ est calculé via :

$$L = 4\pi\, D_L^2(z)\, P\, k_c\,, \qquad erg.s^{-1} \tag{5}$$

Ou D_L est la distance de luminosité, P est le flux observé en erg/s/cm^2 et k_c est le facteur de correction cosmologique donnée par :

$$k_c = \frac{\int_{E1/(1+z)}^{E2/(1+z)} E\, N(E) dE}{\int_{Emin}^{Emax} E\, N(E) dE}, \tag{6}$$

Nous avons calculé la luminosité directement pour les deux échantillons de Fermi et Swift. Les résultats sont représentés graphiquement dans Figure 1620 et Figure 1721.

Pour l'échantillon de Konus-Wind, nous avons utilisé la relation de (Yonutoku & al, 2004).

$$L = 2.34\,{}^{+2.29}_{-1.76} 10^{47} \frac{E_p(1+z)^{2.0\pm0.2}}{1\, keV}\ \ (erg.s^{-1}\ ), \tag{7}$$

Pour cette dernière équation, la luminosité est calculée à partir du tableau de données de l'échantillon du télescope de Konus-Wind. Ce tableau donne le Redshift z et l'énergie au pic du spectre. Nous utilisons la méthode de Monte Carlo pour évaluer les erreurs de la luminosité. Ce résultat est représenté graphiquement dans la Figure 1822.

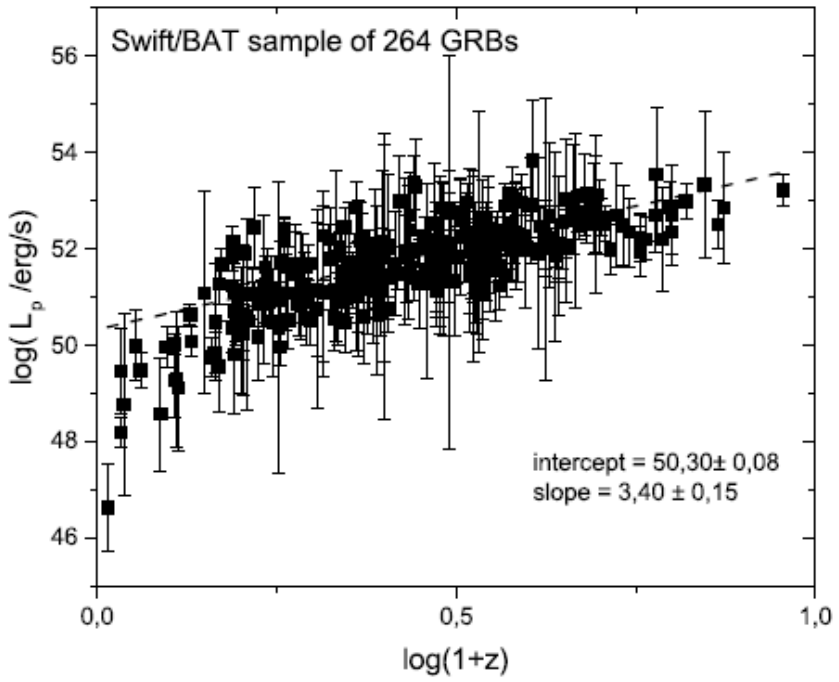


Figure 16: La variation de luminosité en fonction du Redshift z pour l'échantillon de Swift/BATcomposé de 264 GRBs. Les points carrés sont les données observées avec leur barres d'erreurs.

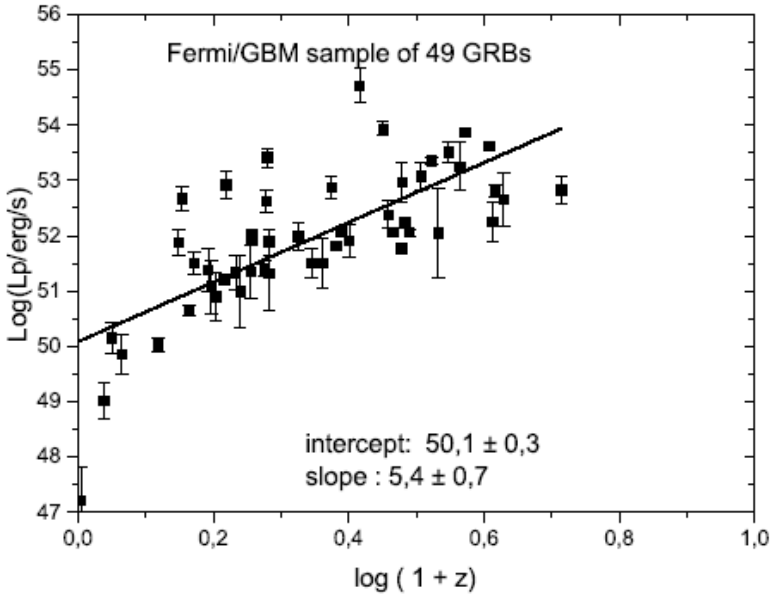


Figure 17: Evolution de la luminosité en fonction du Redshift z pour l'échantillon de Fermi/GBM composé de 49 GRBs. Les points carrés sont les valeurs observées avec leurs barres d'erreurs. Le trait est une interpolation linéaire.

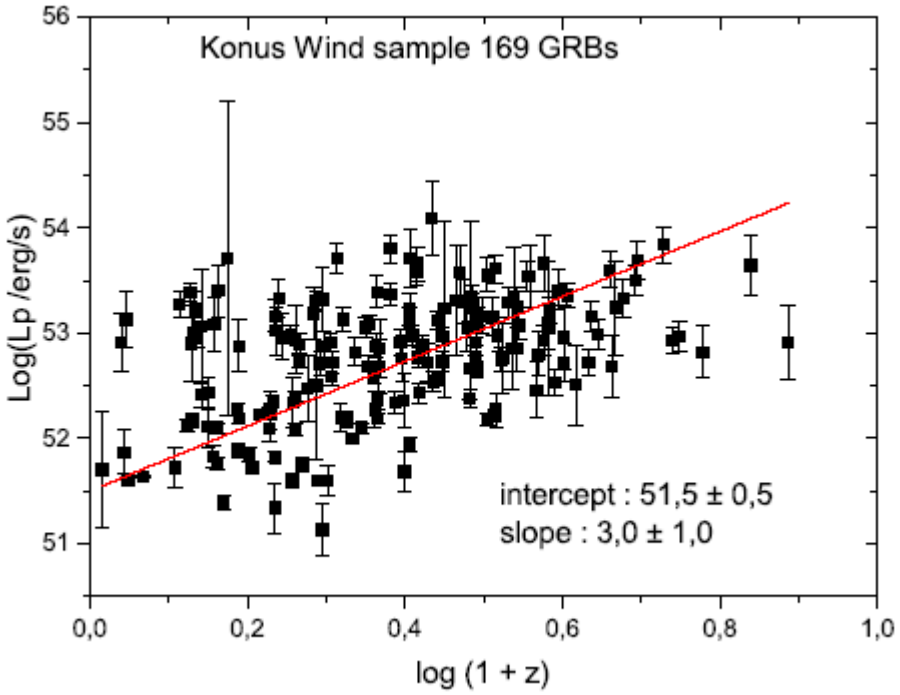


Figure 18: Evolution de la luminosité en fonction de Redshift pour l'échantillon observé par Konus-Wind composé de 169 GRBs. Les points carrés sont les valeurs observées avec leurs barres d'erreurs. Le trait rouge est une interpolation linéaire.

Dans la section suivante, nous essayons d'étudier l'évolution de la luminosité en fonction du Redshift z ou exactement en fonction de (z+1).

3.3 Evolution de la luminosité avec le Redshift :

Dans cette section, nous essayons d'évaluer l'évolution de la luminosité en fonction de z. D'après les figures ci-dessus, on remarque une dépendance entre la luminosité et le facteur (z+1) en utilisant une échelle log-log. D'après plusieurs recherches antérieures, on peut généralement représenter cette dépendance par l'expression :

$$L = L_0(1+z)^{\delta}, \qquad (8)$$

Où L_0 correspond à la luminosité correspondant à z = 0 (leprésent). Les valeurs des interpolations des résultats trouvés sont résumées dans le Table 1.

	L_0 $erg.s^{-1}$	δ
Swift	50.30 ± 0.08	3.40 ± 0.15
Fermi	50.1 ± 0.3	5.4 ± 0.7
Konus/Wind	51.5 ± 0.5	3.0 ± 1.0
Ref1	49.98 ± 0.09	2.95 ± 0.19
Ref2		2.5
Ref3		$2.43^{+0.41}_{-0.38}$

Table 1: Dépendance entre la luminosité et le Redshift z. Ref1 : (Deng & al, 2016) ; Ref2 : (Salvaterra & al, 2012) ; Ref3 : (Yu & al, 2015)

3.4 Taux de formation des sursauts gamma

Le nombre des sursauts gamma total observé par un télescope d'angle de vue Ω pendant une période d'activité effective T ~ (ans) est:

$$N = \frac{\Omega T}{4\pi} \int_0^z \frac{R_{grb}(z)}{1+z} \frac{dV}{dz}\, dz \int_{Lmin}^{Lmax} \varphi(L)\, dL, \qquad (9)$$

$R_{grb}(z)$ est le taux de sursauts gamma au Redshift z exprimé en Mpc^{-3} yr^{-1}. Le facteur (1+z) introduit le facteur de dilatation cosmologique et dV/dz est la variation du volume de l'univers en fonction du Redshift donné par l'équation :

$$\frac{dV}{dz} = \frac{c}{H_0} \frac{4\pi D^2{}_L}{(1+z)^2(\Omega_M(1+z)^3 + \Omega_\Lambda)^{1/2}}, \qquad (10)$$

Elle exprime lavariationduvolumecosmologiqueenfonctionduRedshiftzdansununiversΛCMD caractérisé par(Ω_Λ=0.7 ; Ω_Λ=0.3 et H0 = 73 km .s^{-1}.Mpc^{-1}).

Pour estimer donc le nombre total des sursauts gamma observés par un télescope, nous devons connaître le taux de sursauts gamma R_{GRB} et la fonction de luminosité $\phi(L)$. En fait nous n'avons pas de solutions directes ce qui nous oblige à supposer des formes empiriques soutenues par des justifications physiques acceptables.

D'après les observations, on a remarqué que certains sursauts longs accompagnent des supernovæ. En effet, on pense que les sursauts gamma sont reliés à ce phénomène d'effondrement d'étoile

massive et par conséquent le taux des sursauts est proportionnel au taux d'effondrement à travers un paramètre k_1 constant et le taux de sursauts courts est relié au taux de coalescence de deux étoiles formant un système binaire (BH-NS ou NS-NS : neutron star et BH : black hole):

$$R_{GRB}(z) = \begin{cases} k_1 R_{collapse} \\ k_2 R_{merging} \end{cases}, \quad (11)$$

$R_{collapse}$ représente le taux d'effondrement d'étoiles massives qui donnent des sursauts gamma longs et $R_{merging}$ est la coalescence d'un trou noir avec une étoile de neutron donnant un sursaut gamma court. Dans le cas de l'effondrement, certain pense que ce taux proportionnelle au taux de supernova noté R_{SN}(Daigne & al, 2006). Ce dernier est lui-même proportionnel au taux de formation des étoiles noté R_{SFR} :

$$R_{SN} = 0.0122\ M_s^{-1}\ \ R_{SFR} \quad (12)$$

D'après (Porciani & al, 2001), le taux de formation peut être exprimé suivant trois modèles différents donnés comme suit :

$$R_{SFR1}(z) = 0.3\ h_{65}\frac{e^{3.4z}}{e^{3.8z}+48}[M_s yr^{-1}Mpc^{-3}] \quad (13)$$

$$R_{SFR2}(z) = 0.15\ h_{65}\frac{e^{3.4z}}{e^{3.4z}+45}[M_s yr^{-1}Mpc^{-3}] \quad (14)$$

$$R_{SFR3}(z) = 0.133\ h_{65}\frac{e^{3.05z-0.4}}{e^{2.93z}+15}[M_s yr^{-1}Mpc^{-3}] \quad (15)$$

Ces trois formes peuvent être représentées graphiquement par la Figure 19.

Dans notre présent travail on suppose que l'équation (4) peut être écrite sous la forme :

$$N = N_{tot}\int_{Lmin}^{Lmax}\varphi(L)\ dL, \quad (16)$$

Tel que :

$$N_{tot} = \frac{\Omega T}{4\pi} \int_0^z \frac{R_{grb}(z)}{1+z} \frac{dV}{dz}\, dz \qquad (17)$$

Ce qui permet de déduire que la fonction de luminosité normalisée peut être calculée suivant :

$$\varphi(L) = \frac{1}{N_{tot}} \frac{dN}{dL}, \qquad (18)$$

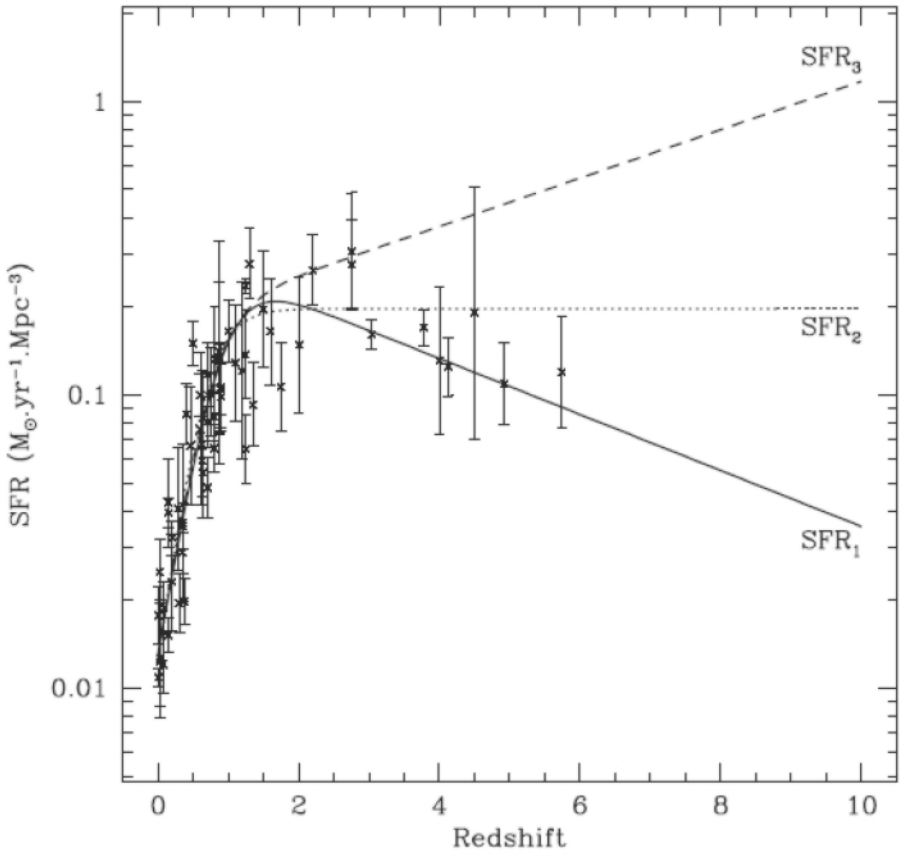


Figure 19: Taux de formation des étoiles suivant trois suppositions différentes(Porciani et Madau 2001).

En utilisant les données des trois échantillons de Swift/BAT (264 GRBs), Fermi/GBM (49 GRBs) et Konus-Wind (169 GRBs), nous pouvons trouver les valeurs numériques de la fonction de luminosité exprimée dans l'équation (13).

3.5 Fonction de luminosité :

Dans la littérature, on trouve beaucoup d'auteurs(Sethi et Bhargavi 2001; Daigne, Mochkovitch, et Zitouni 2006; Liang et al. 2007; Salvaterra et al. 2009; Zitouni et al. 2008; Amaral-Rogers,

Willingale, et O'Brien 2016a; Pescalli, A. et al. 2016; Lan et al. 2019; Wanderman et Piran 2015) pensent que la fonction de luminosité des sursauts gamma suit une loi de puissance brisée qui peut être exprimée comme suit :

$$\varphi(L) = \varphi_0 \begin{cases} (\frac{L_b}{L})^{\nu 1}, & \mathrm{L} \leq Lb \\ (\frac{L_b}{L})^{\nu 2} & \mathrm{L} > Lb \end{cases} , \tag{19}$$

Les calculs faits sur les trois échantillons sont résumés dans le tableau Table 2. Nous les représentons aussi graphiquement dans les Figure 20, Figure 21 et Figure 22.

Dans le même tableau nous donnons les résultats trouvés par d'autres chercheurs dans le but de les comparer avec les nôtres.

	$\frac{\log L_b}{erg.s^{-1}}$	ν_1	ν_2
Swift	$52.4^{+0.2}_{-0.1}$	$-0.47^{+0.01}_{-0.03}$	$-2.68^{+0.05}_{-0.08}$
Fermi	$52.1^{+0.1}_{-0.2}$	$-0.29^{+0.01}_{-0.01}$	$-1.79^{+0.04}_{-0.02}$
KW	$52.8^{+0.2}_{-0.2}$	$-0.23^{+0.03}_{-0.03}$	$-1.94^{+0.03}_{-0.02}$
Ref1	$52.74^{+0.43}_{-0.43}$	$-0.22^{+0.31}_{-0.18}$	$-2.89^{+1.06}_{-2.05}$
Ref2	$52.22^{+0.08}_{-0.23}$	$-0.79^{+0.04}_{-0.04}$	$-1.91^{+2.04}_{-2.04}$
Ref3	$52.14^{+0.18}_{-0.14}$	$-0.36^{+0.16}_{-0.16}$	$-1.28^{+0.09}_{-0.09}$
Ref4	$51.45^{+0.15}_{-0.15}$	$-1.32^{+0.21}_{-0.21}$	$-1.84^{+0.24}_{-0.24}$
Ref5	$52.30^{+0.20}_{-0.12}$	$-0.90^{+0.17}_{-0.12}$	$-2.1^{+0.7}_{-1.0}$

Table 2: Les trois paramètres de la fonction de luminosité obtenus pour les trois échantillons de Swift/BAT, Fermi/GBM et Konus-Wind. Ref1:(Buttler & al, 2010) ; Ref2:(Amaral-Rogers & al, 2016) ; Ref3:(Lan & al, 2019) ; Ref4:(Salvaterra & al, 2012); Ref5: (Wandermann & T., 2010).

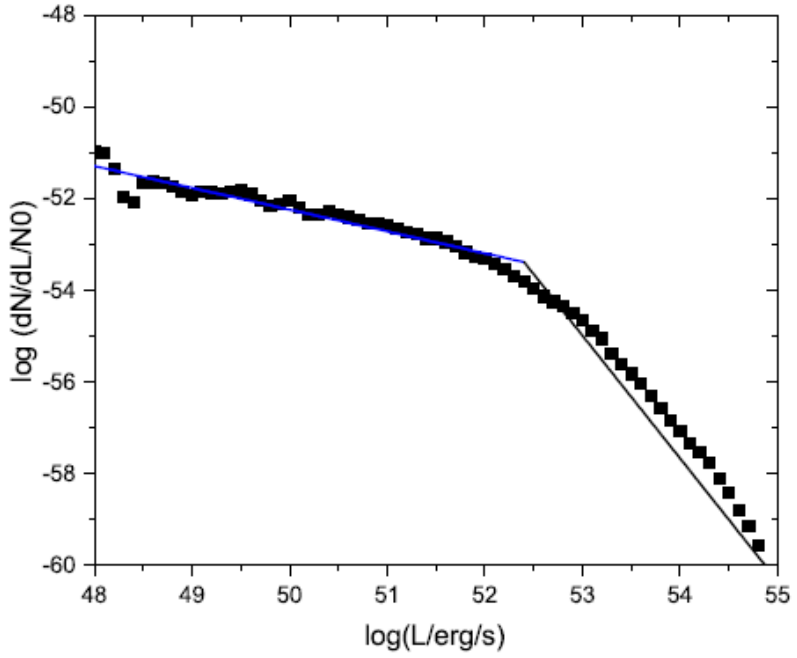


Figure 20:Fonction de luminosité obtenue à partir de l'échantillon de Swift/BAT. Les points carrés sont les valeurs tabulées. Le trait brisé est une interpolation en loi de puissance brisée.

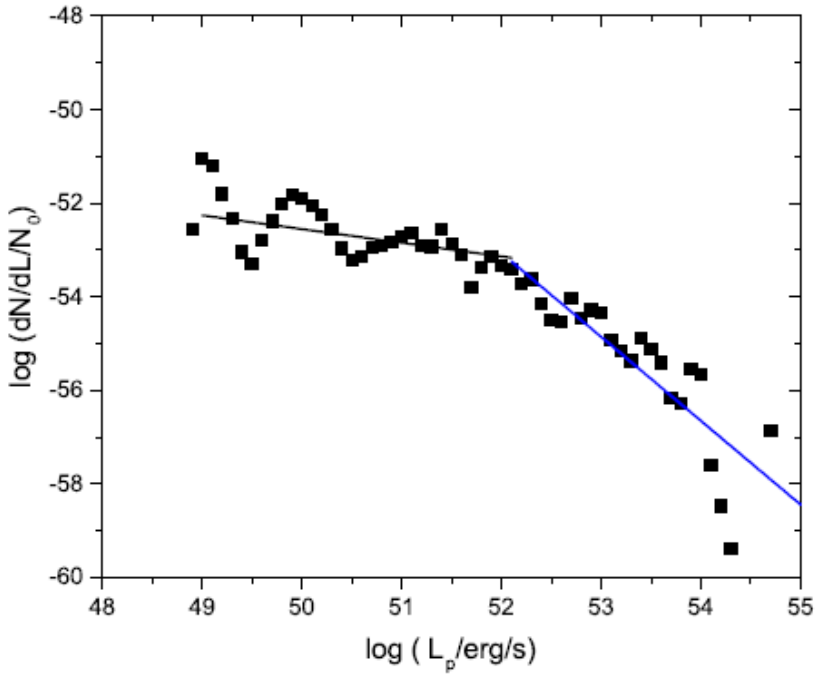


Figure 21: Fonction de luminosité obtenue à partir de l'échantillon de Fermi/GBM.Les points carrés sont les valeurs tabulées. Le trait bleu brisé est une interpolation en loi de puissance brisée.

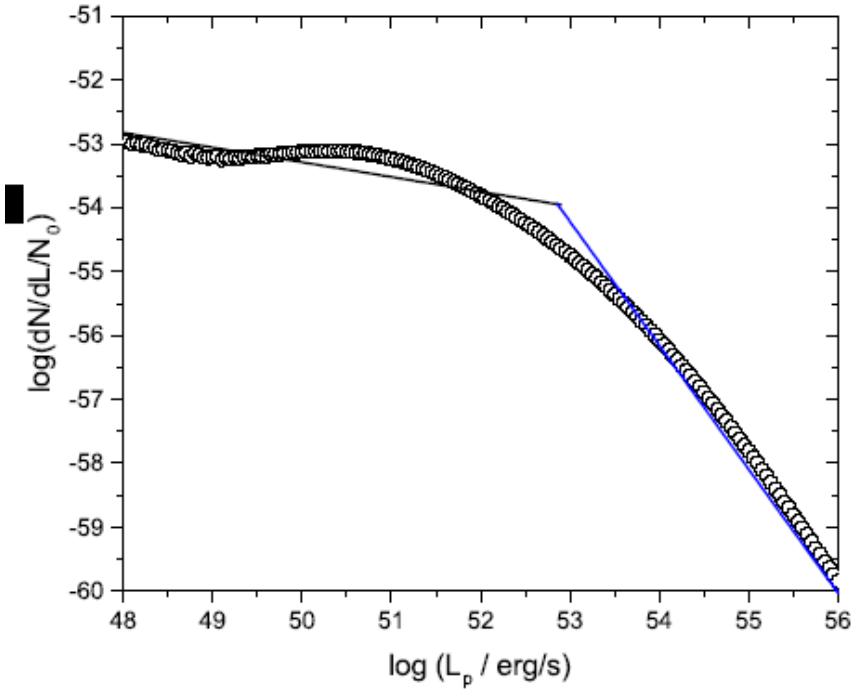


Figure 22: Fonction de luminosité obtenue pour l'échantillon de Konus-Wind. Les points ronds sont les valeurs tabulées. Le trait bleu brisé est une interpolation en loi de puissance brisée.

3.6 Discussion

Comparons maintenant nos travaux et nos résultats à ceux d'autres chercheurs. Comme le nôtre, le travail de (Wanderman et Piran 2015) a consisté en une analyse conjointe des GRB provenant de différents satellites, avec des données de Swift, Fermi et CGRO-BATSE, visant à déterminer la fonction de luminosité et le taux de formation des GRB.

Cependant, contrairement à notre étude, leur travail s'est limitée plus spécifiquement à des sursauts courtes sans effondrement alors qu'ils avaient constaté sa "contamination" par des effondrements, ce qui a affecté leur échantillon de données. Avec ces restrictions, ils ont obtenu une fonction de luminosité qui correspondait le mieux à une loi de puissance brisée avec une rupture à $L_b = 2 \times 10^{52}$ erg/s, ce qui est cohérent avec nos résultats.

Le travail de (Pescalli, A. et al. 2016)est très intéressant. Il étudie la fonction de luminosité des GRB et cherche brièvement à savoir si les GRB subissent une évolution de la luminosité. Toutefois, ces auteurs limitent leur échantillon de données aux longues GRB de Swift, ce qui réduit leur échantillon à seulement 99 GRBs, contre 482 GRBs dans la nôtre.

En outre, nos données sont complétées par des milliers de GRBs "artificielles" simulées à des fins de simulation. Malgré ces différences, (Pescalli, A. et al. 2016) trouve que leurs données peuvent être mieux adaptées à une loi de puissance brisée avec L_b = 51,45, ce qui est cohérent avec ce que nous obtenons. Cependant, bien que leur indice de luminosité élevé ν_2= -1,84est cohérent avec notre valeur, leur indice de luminosité faible ν_1= -1,32 ne l'est pas, ce qui indique que la partie inférieure de leur fonction de luminosité est plus raide que la nôtre.

La différence pourrait être due au fait que leur échantillon de données est limité à de longues GRB tirées de Swift uniquement, alors que notre échantillon est constitué de données combinées de trois sous-échantillons. Nous devons noter qu'un examen attentif de nos résultats révèle que parmi nos trois sous-échantillons, la valeur $\nu_1$pour le sous-échantillon Swift était significativement la plus forte parmi les trois, ce qui est au moins qualitativement en accord avec (Pescalli, A. et al. 2016),et cela pourrait laisser entendre que la partie basse de la fonction de luminosité est plus forte pour les GRB Swift en particulier. De plus, comme nous, Pescalli(2016) a trouvé qu'il y avait une corrélation entre la luminosité et le redshift mais a conclu que cette évolution ne devait pas être interprétée comme étant purement due à l'évolution de la luminosité. Nous sommes d'accord avec eux, car la corrélation avec le redshift pourrait également être due à l'évolution de la densité. Nous admettons que cette question doit être approfondie, au-delà de la portée de notre étude actuelle, car la simulation des évolutions de la luminosité et de la densité et l'extraction de l'impact de chacune sur la fonction de luminosité et la découverte de l'étendue et de la forme de son évolution est un sujet distinct et à part entière. C'est également la conclusion à laquelle est parvenu (Lan et al. 2019)) qui a analysé le même échantillon de données que celui utilisé par (Pescalli, A. et al. 2016)) pour étudier la fonction de luminosité du GRB et l'utiliser pour déterminer le taux de formation des étoiles.

Le travail de recherche de(Amaral-Rogers, Willingale, et O'Brien 2016b)) adopte une approche distincte de la nôtre. Ces auteurs explorent la fonction de luminosité des impulsions pour les GRB Swift. Ils utilisent un échantillon de 118 GRBs pour générer un total de 607 impulsions et calculent ensuite la fonction de luminosité des impulsions en employant trois modèles différents de taux de formation des GRB. Malgré cette approche nettement différente qui inclut les contributions de toutes les impulsions ajustées et pas seulement des plus brillantes, les paramètres les mieux ajustés pour leur fonction de luminosité sont, L_b = 1,5 10^{51} erg/s, ν_1= -0,70, et ν_2 = -1,69, sont conformes à nos résultats, bien qu'une fois de plus leur fonction de luminosité basse soit un peu plus raide que ce que nous obtenons.

Conclusion

L'étude de la fonction de luminosité des GRB est une question importante dans la recherche sur les GRB car elle donne un aperçu de la physique impliquée dans le mécanisme de production des GRB. Non seulement elle met en lumière l'intensité de luminosités que peuvent avoir les sursauts gamma, mais elle révèle également s'il existe une "échelle" pour les luminosités des GRBs. Le fait que les trois sous-échantillons que nous avons étudiés avaient une fonction de luminosité à loi de puissance brisée, avec des luminosités brisées cohérentes les unes avec les autres, indique fortement que la physique derrière la formation des GRBs n'est pas "sans échelle", un résultat qui peut être utile lors de l'étude d'autres aspects physiques des GRBs.

Dans cette étude, nous avons effectué des analyses séparées des données Swift/BAT, Fermi/GBM, et Konus/Wind pour toutes les GRBs ayant des redshifts connus, dans le but de déterminer leurs fonctions de luminosité. Ce faisant, nous avons exclu de nos considérations le taux de formation des GRB. Nous avons obtenu les meilleurs paramètres pour les fonctions de luminosité en utilisant la méthode des vraisemblances. Nous avons constaté qu'elles peuvent être bien représentées par une loi de puissance brisée - la fonction de luminosité dite brisée.

La fonction de luminosité exprimée en log-log correspond bien à une loi de puissance brisée avec une rupture L_b dans la luminosité, qui varie de 1.2×10^{52} erg/s à 6.3×10^{52} erg/s. L'indice de l'exposant de la partie basse luminosité, ν_1, varie entre -0,23 et -0,47 et celui de la partie haute luminosité, ν_2, varie entre -1,79 et -2,68. Ces indices de loi de puissance sont conformes à ceux trouvés dans les études précédentes (les valeurs et les références sont données dans le tableau 2.

A l'avenir, nous prévoyons d'examiner l'évolution de la densité et de la luminosité des GRB, ce que nous n'avons que brièvement effleuré dans cette étude. Une telle étude est importante car elle mettra en lumière plusieurs questions critiques telles que le taux de formation des étoiles, le degré d'utilisation des GRB comme "bougie standard" et l'évolution de la fonction de luminosité elle-même.

Bibliographie

Amaral-Rogers, A., R. Willingale, et P. T. O'Brien. 2016a. « The pulse luminosity function of Swift gamma-ray bursts ». *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 464 (2): 2000-2017.

———. 2016b. « The pulse luminosity function of Swift gamma-ray bursts ». *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 464 (2): 2000-2017.

Atteia, J.-L., V. Heussaff, J.-P. Dezalay, A. Klotz, D. Turpin, A. E. Tsvetkova, D. D. Frederiks, Y. Zolnierowski, F. Daigne, et R. Mochkovitch. 2017. « The Maximum Isotropic Energy of Gamma-Ray Bursts ». *The Astrophysical Journal* 837 (2): 119. https://doi.org/10.3847/1538-4357/aa5ffa.

Bhat, P. Narayana, Charles A. Meegan, Andreas von Kienlin, William S. Paciesas, Michael S. Briggs, J. Michael Burgess, Eric Burns, et al. 2016. « THE THIRD FERMI GBM GAMMA-RAY BURST CATALOG: THE FIRST SIX YEARS ». *The Astrophysical Journal Supplement Series* 223 (2): 28.

Butler, Nathaniel R., Joshua S. Bloom, et Dovi Poznanski. 2010. « The Cosmic Rate, Luminosity Function, and Intrinsic Correlations of Long Gamma-Ray Bursts ». *apj* 711 (1): 495-516.

Cao, Xiao-Feng, Yun-Wei Yu, K. S. Cheng, et Xiao-Ping Zheng. 2011. « The luminosity function of Swift long gamma-ray bursts ». *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 416 (3): 2174-81.

Daigne, F. 1999. « Etude théorique des sursauts gamma: moteur central et mécanismes d'émission. » *Journal des Astronomes Francais* 60 (décembre): 36-37.

Daigne, F, et R Mochkovitch. 1998. « Gamma-Ray Bursts from Internal Shocks in a Relativistic Wind: Temporal and Spectral Properties », 12.

Daigne, F., R. Mochkovitch, et H. Zitouni. 2006. « The GRB luminosity function in the internal shock model ». In *Gamma-Ray Bursts in the Swift Era*, édité par S. S. Holt, N. Gehrels, et J. A. Nousek, 836:209-12. American Institute of Physics Conference Series.

Dainotti, Maria, Vahé Petrosian, Malgorzata Bogdan, Blazej Miasojedow, Shigehiro Nagataki, Trevor Hastie, Zooey Nuyngen, Sankalp Gilda, Xavier Hernandez, et Dominika Krol. 2019. « Gamma-ray Bursts as distance indicators through a machine learning approach ». *arXiv e-prints*, juillet, arXiv:1907.05074.

Evans, P. A., Willingale, R., Osborne, J. P., O'Brien, P. T., Page, K. L., Markwardt, C. B., Barthelmy, S. D., et al. 2010. « The Swiftst Analyser - I. BAT and XRT spectral and flux evolution of gamma ray bursts ». *A&A* 519: A102.

Gruber, David, Adam Goldstein, Victoria Weller von Ahlefeld, P. Narayana Bhat, Elisabetta Bissaldi, Michael S. Briggs, Dave Byrne, et al. 2014. « THEFERMI GBM GAMMA-RAY BURST SPECTRAL CATALOG: FOUR YEARS OF DATA ». *The Astrophysical Journal Supplement Series* 211 (1): 12.

Kienlin, A. von, C. A. Meegan, W. S. Paciesas, P. N. Bhat, E. Bissaldi, M. S. Briggs, E. Burns, et al. 2020. « The Fourth Fermi-GBM Gamma-Ray Burst Catalog: A Decade of Data ». *The Astrophysical Journal* 893 (1): 46. https://doi.org/10.3847/1538-4357/ab7a18.

Kinugawa, Tomoya, Yuichi Harikane, et Katsuaki Asano. 2019. « Long Gamma-Ray Burst Rate at Very High Redshift ». *apj* 878 (2): 128.

Lan, Guang-Xuan, Hou-Dun Zeng, Jun-Jie Wei, et Xue-Feng Wu. 2019. « The luminosity function and formation rate of a complete sample of long gamma-ray bursts ». *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 488 (4): 4607-13.

Le, T., et C. D. Dermer. 2007. « On the Redshift Distribution of Gamma-Ray Bursts in the Swift Era ». *apj* 661 (mai): 394-415. https://doi.org/10.1086/513460.

Liang, Enwei, Bing Zhang, Francisco Virgili, et Z. G. Dai. 2007. « Low-Luminosity Gamma-Ray Bursts as a Unique Population: Luminosity Function, Local Rate, and Beaming Factor ». *apj* 662 (2): 1111-18.

Meszaros, P. 2006. « Gamma-ray bursts. » *Reports of Progress in Physics* 69: 2259-2322.
Minaev, P Y, et A S Pozanenko. 2019. « The Ep,i–Eiso correlation: type I gamma-ray bursts and the new classification method ». *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 492 (2): 1919-36.
Paul, Debdutta. 2017. « Modelling the luminosity function of long gamma-ray bursts using Swift and Fermi ». *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 473 (3): 3385-93.
Pescalli, A., Ghirlanda, G., Salvaterra, R., Ghisellini, G., Vergani, S. D., Nappo, F., Salafia, O. S., Melandri, A., Covino, S., et Götz, D. 2016. « The rate and luminosity function of long gamma ray bursts ». *A&A* 587: A40. https://doi.org/10.1051/0004-6361/201526760.
Piran, T. 2005. « The physics of gamma-ray bursts ». *Reviews of Modern Physics* 76 (janvier): 1143-1210. https://doi.org/10.1103/RevModPhys.76.1143.
Porciani, C., et P. Madau. 2001. « On the Association of Gamma-Ray Bursts with Massive Stars: Implications for Number Counts and Lensing Statistics ». *apj* 548 (février): 522-31. https://doi.org/10.1086/319027.
Salvaterra, R., C. Guidorzi, S. Campana, G. Chincarini, et G. Tagliaferri. 2009. « Evidence for luminosity evolution of long gamma-ray bursts in Swift data ». *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 396 (1): 299-303.
Schmidt, Maarten. 1999. « Luminosities and Space Densities of Gamma-Ray Bursts ». *apjl* 523 (2): L117-20.
———. 2001. « Luminosity Function of Gamma-Ray Bursts Derived without Benefit of Redshifts ». *apj* 552 (1): 36-41.
Sethi, S., et S. G. Bhargavi. 2001. « Luminosity function of GRBs ». *aap* 376 (septembre): 10-16.
Tagliaferri, G., L. A. Antonelli, G. Chincarini, A. Fernández-Soto, D. Malesani, M. Della Valle, P. D'Avanzo, et al. 2005. « GRB 050904 at redshift 6.3: observations of the oldest cosmic explosion after the Big Bang ». *Astronomy & Astrophysics* 443 (1): L1-5. https://doi.org/10.1051/0004-6361:200500196.
Virgili, Francisco J., En-Wei Liang, et Bing Zhang. 2009. « Low-luminosity gamma-ray bursts as a distinct GRB population: a firmer case from multiple criteria constraints ». *mnras* 392 (1): 91-103.
Wanderman, David, et Tsvi Piran. 2010. « The luminosity function and the rate of Swift's gamma-ray bursts ». *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 406 (3): 1944-58.
———. 2015. « The rate, luminosity function and time delay of non-Collapsar short GRBs ». *mnras* 448 (4): 3026-37.
Yonetoku, D., T. Murakami, T. Nakamura, R. Yamazaki, A. K. Inoue, et K. Ioka. 2004. « Gamma-Ray Burst Formation Rate Inferred from the Spectral Peak Energy-Peak Luminosity Relation ». *apj* 609 (2): 935-51.
Yonetoku, Daisuke, Toshio Murakami, Ryo Tsutsui, Takashi Nakamura, Yoshiyuki Morihara, et Keitaro Takahashi. 2010. « Possible Origins of Dispersion of the Peak Energy-Brightness Correlations of Gamma-Ray Bursts ». *pasj* 62 (décembre): 1495.
Zitouni, H., F. Daigne, R. Mochkovich, et T. H. Zerguini. 2008. « The GRB luminosity function: predictions from the internal shock model and comparison with observations ». *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 386 (3): 1597-1604.

Annexe A

Table 1 : Data for 264 *Swift/BAT* GRBs.

GRB	z	T_{90} sec	E_p^{obs} keV	α	flux $ph/cm^2/s$	$\log \frac{L}{erg/s}$
050126	1.29	24.80	131.10 ± 131.10	-0.74 ± 0.72	0.71 ± 0.17	$51.00^{+1.12}_{-0.39}$
050223	0.59	22.50	234.70 ± 234.70	-1.78 ± 0.74	0.69 ± 0.16	$50.30^{+1.31}_{-0.50}$
050315	1.95	95.60	32.20 ± 24.30	-1.53 ± 0.66	1.93 ± 0.22	$51.80^{+0.31}_{-0.28}$
050318	1.44	32.00	70.30 ± 20.90	-0.88 ± 0.46	3.16 ± 0.20	$51.61^{+0.37}_{-0.20}$
050319	3.24	152.50	36.20 ± 36.20	-1.46 ± 0.96	1.52 ± 0.21	$52.22^{+0.34}_{-0.34}$
050401	2.90	33.30	99.10 ± 30.00	0.04 ± 0.70	10.70 ± 0.92	$52.97^{+0.57}_{-0.33}$
050406	2.44	5.40	26.20 ± 18.60	-0.05 ± 2.50	0.36 ± 0.10	$51.08^{+0.55}_{-0.27}$
050416A	0.65	2.50	13.00 ± 10.30	-1.23 ± 1.20	4.88 ± 0.48	$51.05^{+0.25}_{-0.39}$
050505	4.27	58.90	133.80 ± 133.80	-0.99 ± 0.51	1.85 ± 0.31	$52.69^{+1.08}_{-0.34}$
050509B	0.23	0.07	69.40 ± 69.40	0.30 ± 1.91	0.28 ± 0.10	$48.57^{+1.17}_{-0.80}$
050525A	0.61	8.80	109.00 ± 9.00	-0.78 ± 0.14	41.70 ± 0.94	$51.90^{+0.08}_{-0.09}$
050802	1.71	19.00	140.00 ± 140.00	-0.83 ± 1.00	2.75 ± 0.44	$51.91^{+1.40}_{-0.45}$
050813	1.80	0.45	65.90 ± 48.80	0.94 ± 1.95	0.94 ± 0.23	$51.27^{+0.93}_{-0.72}$
050814	5.30	150.90	58.00 ± 58.00	-1.19 ± 0.74	0.71 ± 0.25	$52.36^{+0.47}_{-0.25}$
050908	3.35	19.40	49.90 ± 59.70	-1.16 ± 0.75	0.70 ± 0.14	$51.85^{+0.57}_{-0.22}$
050915A	2.53	52.00	122.60 ± 122.60	-0.96 ± 0.61	0.77 ± 0.14	$51.74^{+1.04}_{-0.34}$
050922C	2.20	4.50	153.10 ± 138.90	-0.91 ± 0.30	7.26 ± 0.32	$52.63^{+0.82}_{-0.36}$
051001	2.43	189.10	68.20 ± 68.20	-0.78 ± 1.77	0.49 ± 0.11	$51.35^{+1.24}_{-0.30}$
051006	1.06	34.80	118.20 ± 118.20	-0.52 ± 1.27	1.62 ± 0.30	$51.12^{+1.79}_{-0.43}$
051016B	0.94	4.00	15.00 ± 15.30	-1.74 ± 0.66	1.30 ± 0.16	$50.91^{+0.21}_{-0.36}$
051109A	2.35	37.20	84.00 ± 84.00	-0.59 ± 1.22	3.94 ± 0.69	$52.26^{+1.36}_{-0.31}$
051109B	0.08	14.30	53.60 ± 53.60	-1.96 ± 0.99	0.55 ± 0.13	$48.20^{+0.31}_{-0.54}$
051117B	0.48	9.00	62.80 ± 43.90	1.70 ± 2.05	0.49 ± 0.14	$49.55^{+0.95}_{-0.98}$
060108	2.03	14.30	196.00 ± 196.00	-2.03 ± 0.53	0.77 ± 0.12	$51.77^{+1.60}_{-0.62}$
060124	2.30	13.42	74.80 ± 74.80	-1.09 ± 1.38	0.89 ± 0.18	$51.60^{+0.95}_{-0.33}$
060206	4.04	7.60	74.00 ± 17.00	-0.75 ± 0.43	2.79 ± 0.17	$52.66^{+0.38}_{-0.18}$
060210	3.91	255.00	164.20 ± 164.20	-1.28 ± 0.33	2.72 ± 0.28	$52.82^{+0.96}_{-0.34}$
060218	0.03	2100.00	29.10 ± 18.50	-0.20 ± 2.17	0.25 ± 0.11	$46.63^{+0.89}_{-0.55}$
060223A	4.41	11.30	72.00 ± 121.80	-1.22 ± 0.52	1.35 ± 0.18	$52.48^{+0.83}_{-0.23}$
060502A	1.51	28.40	324.70 ± 324.70	-0.73 ± 0.71	1.69 ± 0.21	$51.91^{+2.27}_{-0.74}$
060502B	0.29	0.13	102.00 ± 101.80	0.16 ± 1.10	0.62 ± 0.12	$49.29^{+1.40}_{-0.38}$
060505	0.09	4.00	99.30 ± 99.30	-0.27 ± 3.15	2.65 ± 0.63	$48.78^{+1.88}_{-1.26}$
060512	0.44	8.50	23.00 ± 16.00	-1.01 ± 1.75	0.88 ± 0.20	$49.75^{+0.40}_{-0.83}$
060522	5.11	71.10	75.60 ± 110.70	-0.80 ± 0.76	0.55 ± 0.15	$52.20^{+1.08}_{-0.24}$
060526	3.21	298.20	84.80 ± 59.60	-0.25 ± 0.92	1.67 ± 0.18	$52.21^{+0.81}_{-0.31}$
060602A	0.79	75.00	108.70 ± 108.70	1.31 ± 3.65	0.56 ± 0.20	$50.37^{+3.01}_{-1.58}$
060604	2.14	95.00	177.40 ± 177.40	-1.65 ± 0.74	0.34 ± 0.13	$51.33^{+1.13}_{-0.44}$
060614	0.13	108.70	245.10 ± 245.10	-1.52 ± 0.32	11.50 ± 0.74	$49.98^{+0.73}_{-0.38}$
060707	3.43	66.20	63.40 ± 15.40	-0.64 ± 0.65	1.01 ± 0.23	$52.01^{+0.43}_{-0.18}$
060714	2.71	115.00	51.00 ± 51.00	-1.77 ± 0.74	1.28 ± 0.13	$52.09^{+0.20}_{-0.40}$
060719	1.53	66.90	51.60 ± 10.00	-0.62 ± 0.72	2.16 ± 0.20	$51.44^{+0.45}_{-0.17}$
060729	0.54	115.30	109.00 ± 109.00	-1.78 ± 0.54	1.17 ± 0.13	$50.36^{+0.50}_{-0.38}$
060814	0.84	145.30	182.00 ± 133.80	-1.34 ± 0.15	7.27 ± 0.29	$51.62^{+0.42}_{-0.29}$
060904B	0.70	171.50	315.20 ± 315.20	-1.02 ± 0.48	2.44 ± 0.21	$51.15^{+1.56}_{-0.62}$
060906	3.69	43.50	48.70 ± 38.70	-1.53 ± 0.46	1.97 ± 0.28	$52.50^{+0.31}_{-0.26}$
060908	1.88	19.30	150.70 ± 112.40	-0.97 ± 0.27	3.03 ± 0.25	$52.08^{+0.58}_{-0.36}$
060912A	0.94	5.00	92.80 ± 118.70	-1.30 ± 0.34	8.58 ± 0.44	$51.68^{+0.63}_{-0.23}$
060926	3.21	8.00	15.50 ± 16.00	-1.69 ± 1.03	1.09 ± 0.14	$52.18^{+0.21}_{-0.45}$
060927	5.60	22.50	72.00 ± 17.65	-0.92 ± 0.38	2.70 ± 0.17	$52.99^{+0.38}_{-0.17}$
061110A	0.76	40.70	322.50 ± 322.50	-1.61 ± 0.41	0.53 ± 0.12	$50.48^{+1.12}_{-0.46}$
061210	0.41	85.30	328.90 ± 328.90	-0.51 ± 0.57	5.31 ± 0.47	$51.08^{+2.10}_{-0.80}$
061222A	2.09	71.40	210.70 ± 74.10	-0.88 ± 0.15	8.53 ± 0.26	$52.76^{+0.39}_{-0.42}$
061222B	3.35	40.00	29.10 ± 21.10	-0.64 ± 2.49	1.59 ± 0.36	$52.11^{+0.50}_{-0.33}$
070103	2.62	18.60	43.60 ± 10.70	0.11 ± 1.60	1.04 ± 0.15	$51.63^{+0.53}_{-0.16}$
070129	2.34	460.60	43.50 ± 43.50	-1.45 ± 0.74	0.55 ± 0.12	$51.43^{+0.34}_{-0.26}$
070208	1.17	47.70	47.30 ± 47.30	-1.38 ± 0.74	0.90 ± 0.22	$50.87^{+0.35}_{-0.25}$
070306	1.50	209.50	306.00 ± 306.00	-1.67 ± 0.74	4.07 ± 0.21	$52.10^{+1.53}_{-0.52}$
070318	0.84	74.60	249.70 ± 249.70	-1.26 ± 0.26	1.76 ± 0.15	$51.08^{+0.80}_{-0.42}$
070411	2.95	121.50	139.10 ± 139.10	-1.34 ± 1.01	0.91 ± 0.13	$52.02^{+1.26}_{-0.42}$
070429B	0.90	0.47	65.10 ± 65.10	-1.05 ± 0.85	1.76 ± 0.24	$50.86^{+0.65}_{-0.25}$
070506	2.31	4.30	47.30 ± 12.00	0.04 ± 1.23	0.96 ± 0.13	$51.47^{+0.51}_{-0.17}$
070508	0.82	20.90	189.70 ± 56.40	-0.64 ± 0.18	24.10 ± 0.61	$52.19^{+0.44}_{-0.43}$
070521	0.55	37.90	158.40 ± 68.90	-0.55 ± 0.29	6.53 ± 0.27	$51.13^{+0.57}_{-0.42}$
070529	2.50	109.20	229.60 ± 229.60	-1.18 ± 0.45	1.43 ± 0.36	$52.16^{+1.10}_{-0.45}$

Continued on next page

Table 1 – continued from previous page

GRB	z	T_{90} (sec)	E_p^{obs} (keV)	α	flux $(ph/cm^2/s)$	$\log \frac{L}{erg/s}$
070611	2.04	12.20	57.70 ± 57.70	-0.37 ± 0.74	0.82 ± 0.21	$51.33^{+0.77}_{-0.17}$
070612A	0.62	368.80	171.30 ± 171.30	-0.87 ± 1.42	1.51 ± 0.38	$50.62^{+1.98}_{-0.55}$
070714B	0.92	64.00	129.60 ± 129.60	-0.96 ± 0.68	2.70 ± 0.20	$51.21^{+1.09}_{-0.36}$
070721B	3.63	340.00	184.40 ± 184.40	-0.53 ± 1.07	1.50 ± 0.30	$52.58^{+1.83}_{-0.56}$
070724A	0.46	0.40	41.20 ± 41.20	-1.06 ± 0.74	1.00 ± 0.20	$49.84^{+0.42}_{-0.20}$
070802	2.45	16.40	96.50 ± 96.50	-2.22 ± 0.74	0.40 ± 0.10	$51.68^{+0.59}_{-0.62}$
070810A	2.17	11.00	52.40 ± 52.40	-1.17 ± 0.88	1.90 ± 0.20	$51.83^{+0.56}_{-0.24}$
071010A	0.98	6.00	35.60 ± 35.60	-0.69 ± 0.74	0.80 ± 0.30	$50.50^{+0.51}_{-0.15}$
071010B	0.95	36.12	52.20 ± 6.40	-1.52 ± 0.22	7.70 ± 0.30	$51.63^{+0.29}_{-0.15}$
071028B	0.94	55.00	268.00 ± 49.80	-2.80 ± 0.74	1.40 ± 0.50	$51.20^{+0.71}_{-0.45}$
071117	1.33	6.60	127.20 ± 94.00	-1.23 ± 0.24	11.30 ± 0.40	$52.23^{+0.48}_{-0.27}$
071122	1.14	68.70	79.40 ± 79.40	-1.42 ± 0.94	0.40 ± 0.20	$50.56^{+0.69}_{-0.33}$
080207	2.09	340.00	271.00 ± 271.00	-0.84 ± 2.18	1.00 ± 0.30	$51.93^{+4.10}_{-0.71}$
080310	2.43	365.00	41.90 ± 17.50	-0.67 ± 1.45	1.30 ± 0.20	$51.70^{+0.48}_{-0.21}$
080319C	1.95	34.00	244.00 ± 244.00	-0.86 ± 0.41	5.20 ± 0.30	$52.53^{+1.24}_{-0.55}$
080413A	2.43	46.00	160.30 ± 111.60	-0.73 ± 0.30	5.60 ± 0.20	$52.65^{+0.77}_{-0.38}$
080413B	1.10	8.00	102.00 ± 35.50	-1.00 ± 0.29	18.70 ± 0.80	$52.18^{+0.52}_{-0.23}$
080430	0.75	16.20	268.00 ± 268.00	-1.75 ± 0.43	2.60 ± 0.20	$51.14^{+0.70}_{-0.46}$
080516	3.20	5.80	69.10 ± 222.80	-0.35 ± 1.35	1.80 ± 0.30	$52.19^{+2.92}_{-0.23}$
080520	1.54	2.80	28.70 ± 13.10	-0.42 ± 2.50	0.50 ± 0.10	$50.76^{+0.50}_{-0.57}$
080605	1.64	20.00	257.60 ± 226.30	-0.68 ± 0.22	19.90 ± 0.60	$52.98^{+0.93}_{-0.58}$
080607	3.04	79.00	326.60 ± 326.60	-0.62 ± 0.32	23.10 ± 1.10	$53.83^{+1.24}_{-0.73}$
080707	1.23	27.10	27.80 ± 27.80	-1.34 ± 1.30	1.00 ± 0.10	$50.96^{+0.37}_{-0.29}$
080710	0.84	120.00	49.00 ± 49.00	-1.13 ± 1.74	1.00 ± 0.20	$50.52^{+0.61}_{-0.69}$
080804	2.21	34.00	143.90 ± 143.90	-1.02 ± 0.82	3.10 ± 0.40	$52.24^{+1.19}_{-0.39}$
080805	1.50	78.00	135.30 ± 319.50	0.29 ± 1.06	1.10 ± 0.10	$51.43^{+2.98}_{-0.51}$
080906	2.00	147.00	81.20 ± 81.20	-0.81 ± 1.33	1.00 ± 0.20	$51.49^{+1.28}_{-0.32}$
080913	6.44	8.00	78.40 ± 78.40	-0.58 ± 1.33	1.40 ± 0.20	$52.84^{+1.17}_{-0.30}$
080916A	0.69	60.00	108.70 ± 30.30	-0.03 ± 0.47	2.70 ± 0.20	$50.86^{+0.50}_{-0.34}$
080928	1.69	280.00	148.60 ± 148.60	-1.25 ± 0.38	2.10 ± 0.10	$51.80^{+0.90}_{-0.35}$
081008	1.97	185.50	113.40 ± 113.40	-0.88 ± 0.76	1.30 ± 0.10	$51.68^{+1.10}_{-0.37}$
081118	2.58	67.00	72.30 ± 72.30	-1.25 ± 1.72	0.60 ± 0.20	$51.57^{+1.08}_{-0.35}$
081121	2.51	14.00	72.30 ± 72.30	-1.25 ± 1.72	4.40 ± 1.00	$52.41^{+1.11}_{-0.36}$
081203A	2.10	294.00	111.30 ± 85.40	-0.63 ± 0.51	2.90 ± 0.20	$52.09^{+0.87}_{-0.31}$
081221	2.26	34.00	112.90 ± 19.30	-0.75 ± 0.19	18.20 ± 0.50	$52.97^{+0.19}_{-0.20}$
081222	2.70	24.00	157.50 ± 51.30	-0.74 ± 0.17	7.70 ± 0.20	$52.89^{+0.44}_{-0.34}$
090102	1.55	27.00	101.30 ± 105.80	0.18 ± 1.13	5.50 ± 0.80	$52.02^{+1.50}_{-0.37}$
090205	4.70	8.80	33.00 ± 33.00	-0.54 ± 0.74	0.50 ± 0.10	$51.95^{+0.51}_{-0.14}$
090407	1.45	310.00	153.20 ± 153.20	-0.38 ± 1.26	0.60 ± 0.10	$51.14^{+1.76}_{-0.52}$
090423	8.00	10.30	84.50 ± 28.60	-1.20 ± 0.52	1.70 ± 0.20	$53.21^{+0.33}_{-0.24}$
090424	0.54	48.00	166.00 ± 52.60	-0.92 ± 0.14	71.00 ± 2.00	$52.14^{+0.32}_{-0.35}$
090426	2.61	1.20	60.80 ± 60.80	-1.40 ± 0.91	2.40 ± 0.30	$52.20^{+0.58}_{-0.30}$
090529	2.62	10.40	50.00 ± 19.30	0.59 ± 1.04	0.40 ± 0.10	$51.22^{+0.49}_{-0.17}$
090530	1.27	48.00	70.60 ± 43.30	-0.36 ± 0.95	2.50 ± 0.30	$51.34^{+0.58}_{-0.23}$
090618	0.54	113.20	170.40 ± 68.70	-1.15 ± 0.14	38.90 ± 0.80	$51.87^{+0.33}_{-0.30}$
090715B	3.00	266.00	357.00 ± 357.00	-1.18 ± 0.25	3.80 ± 0.20	$52.91^{+1.00}_{-0.53}$
090726	2.71	67.00	40.30 ± 9.00	1.93 ± 0.28	0.70 ± 0.20	$51.43^{+0.42}_{-0.07}$
090926B	1.24	109.70	177.20 ± 177.20	-0.82 ± 0.59	3.20 ± 0.30	$51.71^{+1.25}_{-0.48}$
090927	1.37	2.20	56.00 ± 36.40	-0.68 ± 0.98	2.00 ± 0.20	$51.30^{+0.44}_{-0.22}$
091018	0.97	4.40	35.20 ± 5.00	-1.30 ± 0.31	10.30 ± 0.40	$51.70^{+0.36}_{-0.15}$
091029	2.75	39.20	52.80 ± 17.70	-0.92 ± 0.65	1.80 ± 0.10	$52.02^{+0.43}_{-0.18}$
091109A	3.50	48.00	339.80 ± 339.80	-3.24 ± 0.74	1.30 ± 0.40	$52.58^{+1.68}_{-0.61}$
091127	0.49	7.10	69.50 ± 34.20	-1.33 ± 0.40	46.50 ± 2.70	$51.68^{+0.33}_{-0.21}$
091208B	1.06	14.90	255.50 ± 255.50	-1.31 ± 0.35	15.20 ± 1.00	$52.28^{+0.93}_{-0.42}$
100302A	4.81	17.90	68.00 ± 68.00	-1.49 ± 0.74	0.50 ± 0.10	$52.20^{+0.44}_{-0.33}$
100316B	1.18	3.80	30.20 ± 21.70	-1.53 ± 0.73	1.30 ± 0.10	$51.08^{+0.31}_{-0.30}$
100418A	0.62	7.00	18.50 ± 18.50	-1.98 ± 0.74	1.00 ± 0.20	$50.50^{+0.08}_{-0.51}$
100425A	1.75	37.00	26.60 ± 26.60	-0.85 ± 1.67	1.40 ± 0.20	$51.40^{+0.46}_{-0.24}$
100615A	1.40	39.00	94.80 ± 43.50	-1.16 ± 0.24	5.40 ± 0.20	$51.90^{+0.31}_{-0.21}$
100621A	0.54	63.60	89.00 ± 11.60	-0.92 ± 0.14	12.80 ± 0.30	$51.22^{+0.10}_{-0.14}$
100704A	3.60	197.50	179.30 ± 250.70	-0.59 ± 0.33	4.30 ± 0.20	$53.01^{+1.13}_{-0.47}$
100724A	1.29	1.40	45.10 ± 9.40	0.01 ± 1.21	1.90 ± 0.20	$51.13^{+0.50}_{-0.15}$
100728B	2.80	12.10	71.20 ± 38.20	-0.10 ± 1.25	3.50 ± 0.50	$52.34^{+0.66}_{-0.26}$
100814A	1.44	174.50	183.00 ± 82.00	0.30 ± 0.70	2.50 ± 0.20	$51.91^{+1.32}_{-0.65}$
100816A	0.80	2.90	147.80 ± 44.00	-0.45 ± 0.24	10.90 ± 0.40	$51.74^{+0.41}_{-0.39}$

Table 2 : Data for 49 *Fermi/GBM* GRBs.

GRB	z	T_{90} (sec)	E_p^{obs} (keV)	α	flux $(ph/cm^2/s)$	$\log \frac{L}{erg/s}$
171222A*	2.41	80.38	388.20 ± 3.60	-2.02 ± 0.01	1.53 ± 0.25	$52.04^{+0.49}_{-0.03}$
111117A	2.21	0.43	287.56 ± 36.99	0.99 ± 0.59	9.67 ± 0.96	$53.07^{+0.20}_{-0.40}$
170817A	0.01	2.05	229.17 ± 78.08	0.85 ± 1.38	3.02 ± 0.79	$47.21^{+0.43}_{-0.81}$
160624A	0.48	0.38	618.98 ± 209.81	0.29 ± 0.66	5.92 ± 0.81	$51.50^{+0.71}_{-1.19}$
100117A	0.92	0.26	240.03 ± 48.55	0.16 ± 0.46	7.95 ± 1.17	$51.88^{+0.27}_{-0.65}$
141225A*	0.92	56.32	252.79 ± 46.01	-0.01 ± 0.36	2.21 ± 0.25	$51.32^{+0.30}_{-0.64}$
130420A*	1.30	104.96	58.71 ± 5.75	-0.03 ± 0.49	4.72 ± 0.53	$51.51^{+0.21}_{-0.11}$
080905A	0.12	0.96	660.17 ± 181.33	-0.09 ± 0.41	6.46 ± 0.86	$50.14^{+0.46}_{-1.02}$
090227B	1.61	0.30	2170.82 ± 80.86	-0.11 ± 0.04	125.97 ± 2.70	$54.71^{+0.10}_{-0.11}$
150101B	0.09	0.08	25.73 ± 4.44	-0.23 ± 1.17	10.06 ± 1.39	$49.01^{+0.44}_{-0.17}$
140619B	2.67	0.45	311.18 ± 78.03	-0.24 ± 0.48	11.71 ± 2.08	$53.25^{+0.41}_{-0.71}$
100206A	0.41	0.18	668.77 ± 102.40	-0.32 ± 0.15	25.25 ± 1.28	$51.88^{+0.28}_{-0.41}$
120712A*	4.17	22.53	144.98 ± 24.88	-0.33 ± 0.31	2.94 ± 0.26	$52.82^{+0.22}_{-0.25}$
150727A*	0.31	49.41	263.49 ± 79.74	-0.53 ± 0.46	1.72 ± 0.30	$50.02^{+0.41}_{-0.63}$
140907A*	1.21	35.84	113.07 ± 13.67	-0.64 ± 0.22	3.80 ± 0.24	$51.51^{+0.16}_{-0.15}$
081024B	3.05	0.64	1703.05 ± 1703.05	-0.65 ± 0.23	5.78 ± 0.87	$53.62^{+0.60}_{-1.24}$
140206A*	2.73	146.69	417.65 ± 13.16	-0.68 ± 0.02	42.70 ± 0.43	$53.86^{+0.05}_{-0.05}$
091003A	0.90	20.22	481.95 ± 21.23	-0.69 ± 0.03	34.38 ± 0.47	$52.62^{+0.07}_{-0.08}$
140423A*	3.26	95.23	250.39 ± 65.21	-0.69 ± 0.26	2.58 ± 0.27	$52.65^{+0.34}_{-0.52}$
090510A	0.90	0.96	2623.30 ± 284.86	-0.70 ± 0.05	42.33 ± 1.76	$53.41^{+0.18}_{-0.26}$
141028A*	2.33	31.49	511.30 ± 34.13	-0.71 ± 0.04	16.89 ± 0.30	$53.35^{+0.09}_{-0.12}$
100414A	1.37	26.50	522.48 ± 32.42	-0.75 ± 0.04	21.33 ± 0.36	$52.88^{+0.09}_{-0.11}$
140703A*	3.14	83.97	271.85 ± 46.25	-0.77 ± 0.15	3.92 ± 0.23	$52.80^{+0.24}_{-0.33}$
170214A*	2.53	122.88	614.85 ± 47.48	-0.78 ± 0.04	17.59 ± 0.34	$53.51^{+0.12}_{-0.14}$
170705A*	2.01	22.78	207.84 ± 12.53	-0.84 ± 0.06	21.73 ± 0.50	$52.97^{+0.08}_{-0.09}$
131011A*	1.87	77.06	402.04 ± 97.23	-0.86 ± 0.16	4.11 ± 0.27	$52.38^{+0.31}_{-0.63}$
160821B	0.16	1.09	156.49 ± 58.27	-0.86 ± 0.39	8.62 ± 1.18	$49.85^{+0.41}_{-0.39}$
161129A*	0.65	36.10	272.60 ± 56.97	-0.87 ± 0.12	5.21 ± 0.30	$51.20^{+0.24}_{-0.39}$
140620A*	2.04	45.83	92.50 ± 11.96	-0.91 ± 0.21	6.31 ± 0.38	$52.23^{+0.13}_{-0.13}$
150301B*	1.52	13.31	172.35 ± 26.60	-0.95 ± 0.15	4.44 ± 0.27	$51.91^{+0.20}_{-0.17}$
180720B*	0.65	48.90	928.79 ± 40.75	-1.00 ± 0.01	109.80 ± 0.65	$52.91^{+0.06}_{-0.09}$
110402A	0.81	35.65	1131.86 ± 1131.86	-1.01 ± 0.13	6.66 ± 0.58	$51.98^{+0.71}_{-0.96}$
190114C	0.42	170.94	652.37 ± 3.80	-1.06 ± 0.00	246.86 ± 0.86	$52.66^{+0.01}_{-0.01}$
141221A*	1.45	23.81	328.13 ± 80.64	-1.08 ± 0.13	5.10 ± 0.35	$52.08^{+0.26}_{-0.45}$
130610A*	2.09	21.76	152.37 ± 38.74	-1.10 ± 0.29	3.08 ± 0.33	$52.06^{+0.24}_{-0.35}$
120922A*	3.10	182.28	73.09 ± 12.26	-1.18 ± 0.35	2.59 ± 0.26	$52.25^{+0.27}_{-0.18}$
090902B	1.82	19.33	1809.62 ± 87.60	-1.19 ± 0.01	80.25 ± 0.60	$53.93^{+0.04}_{-0.05}$
130612A*	2.01	7.42	64.28 ± 14.52	-1.20 ± 0.39	2.53 ± 0.26	$51.76^{+0.29}_{-0.18}$
180620B*	1.12	46.72	471.61 ± 142.94	-1.20 ± 0.13	6.77 ± 0.51	$51.99^{+0.29}_{-0.56}$
131004A	0.71	1.15	125.85 ± 43.68	-1.20 ± 0.49	9.59 ± 1.59	$51.33^{+0.38}_{-0.34}$
160804A*	0.74	131.59	133.34 ± 43.24	-1.23 ± 0.24	3.93 ± 0.32	$50.99^{+0.23}_{-0.28}$
170903A*	0.89	25.60	181.58 ± 52.67	-1.29 ± 0.15	5.44 ± 0.36	$51.40^{+0.24}_{-0.29}$
141004A	0.57	2.56	140.37 ± 25.42	-1.33 ± 0.12	8.71 ± 0.40	$51.08^{+0.12}_{-0.16}$
170607A*	0.56	20.93	221.14 ± 36.87	-1.37 ± 0.08	15.33 ± 0.51	$51.38^{+0.13}_{-0.18}$
130215A	0.60	143.75	396.06 ± 161.30	-1.42 ± 0.08	3.31 ± 0.27	$50.90^{+0.30}_{-0.40}$
150120A*	0.46	3.33	230.32 ± 230.32	-1.46 ± 0.64	4.49 ± 1.19	$50.64^{+0.84}_{-0.46}$
140623A*	1.92	111.10	2361.83 ± 2361.83	-1.47 ± 0.14	1.49 ± 0.23	$52.07^{+0.56}_{-0.69}$
120729A	0.80	71.46	310.55 ± 32.00	-1.61 ± 0.08	5.45 ± 0.44	$51.35^{+0.08}_{-0.07}$
180205A*	1.41	15.36	493.84 ± 81.91	-1.76 ± 0.11	3.48 ± 0.30	$51.82^{+0.16}_{-0.11}$

Table 3 : 169 Konus/Wind GRBs

GRB	z	E_p^{obs}	Log($\frac{L_p}{erg/s}$)
970228	0.695	$280.0^{+66.0}_{-42.0}$	$52.27^{+0.18}_{-0.14}$
970828	0.958	$531.0^{+47.0}_{-43.0}$	$52.71^{+0.11}_{-0.11}$
971214	3.418	$791.0^{+88.0}_{-71.0}$	$52.99^{+0.14}_{-0.13}$
990123	1.600	$1883.0^{+88.0}_{-81.0}$	$53.59^{+0.13}_{-0.13}$
990506	1.307	$683.0^{+62.0}_{-58.0}$	$52.88^{+0.12}_{-0.12}$
990510	1.619	$356.0^{+31.0}_{-26.0}$	$52.43^{+0.10}_{-0.09}$
990705	0.842	$551.0^{+17.0}_{-17.0}$	$52.74^{+0.07}_{-0.07}$
990712	0.433	$149.0^{+21.0}_{-16.0}$	$51.83^{+0.10}_{-0.08}$
991208	0.706	$315.5^{+8.5}_{-8.5}$	$52.35^{+0.05}_{-0.05}$
991216	1.020	$713.0^{+30.0}_{-30.0}$	$52.91^{+0.09}_{-0.09}$
000131	4.500	$732.0^{+72.0}_{-66.0}$	$52.93^{+0.13}_{-0.13}$
000210	0.846	$687.0^{+39.0}_{-37.0}$	$52.89^{+0.10}_{-0.10}$
000301C	2.034	$494.0^{+200.0}_{-109.0}$	$52.66^{+0.30}_{-0.21}$
000418	1.118	$246.0^{+21.0}_{-17.0}$	$52.18^{+0.08}_{-0.07}$
000911	1.058	$2229.0^{+107.0}_{-103.0}$	$53.71^{+0.14}_{-0.13}$
000926A	2.037	$328.0^{+24.0}_{-21.0}$	$52.38^{+0.09}_{-0.08}$
010222	1.477	$706.0^{+54.0}_{-50.0}$	$52.91^{+0.12}_{-0.11}$
010921	0.450	$135.0^{+12.0}_{-10.0}$	$51.76^{+0.06}_{-0.05}$
011121	0.360	$1114.0^{+147.0}_{-131.0}$	$53.22^{+0.17}_{-0.16}$
020405	0.690	$272.0^{+12.0}_{-12.0}$	$52.24^{+0.06}_{-0.06}$
020813	1.254	$512.0^{+41.0}_{-38.0}$	$52.68^{+0.11}_{-0.10}$
020819B	0.411	$224.0^{+59.0}_{-40.0}$	$52.11^{+0.19}_{-0.15}$
021211	1.004	$108.0^{+26.0}_{-50.0}$	$51.60^{+0.15}_{-0.40}$
030329	0.169	$113.3^{+2.3}_{-2.3}$	$51.64^{+0.01}_{-0.01}$
031203	0.105	$158.0^{+51.0}_{-51.0}$	$51.87^{+0.21}_{-0.27}$
040924	0.859	$133.8^{+11.2}_{-11.2}$	$51.75^{+0.06}_{-0.06}$
041006	0.716	$147.6^{+8.6}_{-8.6}$	$51.82^{+0.05}_{-0.05}$
050401	2.899	$409.0^{+55.0}_{-43.0}$	$52.53^{+0.13}_{-0.12}$
050525A	0.606	$128.5^{+3.2}_{-3.2}$	$51.72^{+0.02}_{-0.02}$
050603	2.821	$913.0^{+245.0}_{-130.0}$	$53.09^{+0.24}_{-0.17}$
050820	2.615	$1753.0^{+539.0}_{-333.0}$	$53.54^{+0.29}_{-0.23}$
051008	2.770	$2074.0^{+501.0}_{-354.0}$	$53.66^{+0.26}_{-0.22}$
051022	0.800	$794.0^{+32.0}_{-29.0}$	$52.99^{+0.09}_{-0.09}$
051109A	2.346	$569.0^{+268.0}_{-141.0}$	$52.76^{+0.34}_{-0.24}$
051221A	0.546	$677.0^{+200.0}_{-141.0}$	$52.88^{+0.25}_{-0.21}$
060121	4.600	$767.0^{+84.0}_{-67.0}$	$52.97^{+0.14}_{-0.12}$
060124	2.297	$788.0^{+112.0}_{-86.0}$	$52.98^{+0.16}_{-0.14}$
060418	1.489	$572.0^{+143.0}_{-143.0}$	$52.76^{+0.22}_{-0.24}$
060502A	1.503	$320.0^{+115.0}_{-63.0}$	$52.36^{+0.26}_{-0.18}$
060814	1.923	$1257.0^{+1055.0}_{-371.0}$	$53.31^{+0.53}_{-0.31}$
060912A	0.937	$395.0^{+589.0}_{-145.0}$	$52.50^{+0.71}_{-0.34}$
061006A	0.438	$909.0^{+260.0}_{-191.0}$	$53.08^{+0.25}_{-0.23}$
061007	1.261	$902.0^{+27.0}_{-25.0}$	$53.08^{+0.09}_{-0.09}$
061021	0.345	$702.0^{+357.0}_{-187.0}$	$52.90^{+0.36}_{-0.27}$
061121	1.314	$1405.0^{+120.0}_{-106.0}$	$53.39^{+0.15}_{-0.14}$
061201A	0.111	$970.0^{+298.0}_{-209.0}$	$53.13^{+0.27}_{-0.23}$
061222A	2.088	$920.0^{+80.0}_{-68.0}$	$53.09^{+0.13}_{-0.12}$
070125	1.547	$947.0^{+92.0}_{-79.0}$	$53.11^{+0.14}_{-0.13}$
070328	2.063	$1182.0^{+181.0}_{-144.0}$	$53.27^{+0.18}_{-0.17}$
070508	0.820	$342.2^{+9.1}_{-7.3}$	$52.40^{+0.05}_{-0.05}$
070521	2.087	$589.0^{+43.0}_{-38.0}$	$52.78^{+0.11}_{-0.10}$
070714B	0.923	$1060.0^{+285.0}_{-215.0}$	$53.19^{+0.25}_{-0.23}$
071003	1.604	$2086.0^{+188.0}_{-164.0}$	$53.66^{+0.16}_{-0.15}$
071010B	0.947	$107.1^{+7.8}_{-9.7}$	$51.60^{+0.05}_{-0.06}$
071020	2.146	$1013.0^{+138.0}_{-107.0}$	$53.16^{+0.17}_{-0.15}$
071112C	0.823	$740.0^{+326.0}_{-182.0}$	$52.94^{+0.33}_{-0.25}$
071117	1.331	$648.0^{+235.0}_{-128.0}$	$52.85^{+0.28}_{-0.20}$
071227A	0.384	$875.0^{+790.0}_{-287.0}$	$53.06^{+0.53}_{-0.33}$
080123A	0.495	$2228.0^{+12723.0}_{-1308.0}$	$53.71^{+1.49}_{-0.69}$
080319B	0.938	$1264.0^{+17.0}_{-17.0}$	$53.31^{+0.09}_{-0.09}$
080319C	1.949	$1864.0^{+472.0}_{-333.0}$	$53.58^{+0.26}_{-0.23}$
080411	1.030	$540.0^{+43.0}_{-37.0}$	$52.72^{+0.11}_{-0.10}$
080413A	2.433	$659.0^{+381.0}_{-148.0}$	$52.86^{+0.39}_{-0.23}$
080514B	1.800	$549.0^{+34.0}_{-34.0}$	$52.73^{+0.10}_{-0.09}$

Continued on next page

GRB	z	E_p^{obs}	Log($\frac{L_p}{erg/s}$)
080602	1.820	$1128.0^{+2084.0}_{-361.0}$	$53.23^{+0.84}_{-0.33}$
080603B	2.689	$373.0^{+137.0}_{-66.0}$	$52.46^{+0.27}_{-0.17}$
080605	1.640	$686.0^{+26.0}_{-24.0}$	$52.89^{+0.09}_{-0.08}$
080607	3.036	$1348.0^{+69.0}_{-65.0}$	$53.36^{+0.12}_{-0.12}$
080721	2.591	$1760.0^{+147.0}_{-147.0}$	$53.54^{+0.15}_{-0.15}$
080913	6.695	$710.0^{+350.0}_{-350.0}$	$52.91^{+0.35}_{-0.51}$
080916A	0.689	$218.0^{+30.0}_{-24.0}$	$52.09^{+0.11}_{-0.10}$
080916C	4.350	$2702.0^{+246.0}_{-230.0}$	$53.84^{+0.17}_{-0.17}$
081121	2.512	$892.0^{+77.0}_{-63.0}$	$53.07^{+0.13}_{-0.12}$
081203A	2.050	$1336.0^{+1854.0}_{-497.0}$	$53.35^{+0.72}_{-0.39}$
081221	2.260	$264.1^{+6.5}_{-6.5}$	$52.22^{+0.04}_{-0.04}$
081222	2.770	$724.0^{+94.0}_{-72.0}$	$52.93^{+0.15}_{-0.13}$
090102	1.547	$1100.0^{+107.0}_{-92.0}$	$53.22^{+0.15}_{-0.13}$
090201	2.100	$484.0^{+22.0}_{-19.0}$	$52.65^{+0.08}_{-0.07}$
090323	3.570	$1906.0^{+206.0}_{-206.0}$	$53.60^{+0.17}_{-0.17}$
090328	0.736	$1297.0^{+187.0}_{-151.0}$	$53.33^{+0.18}_{-0.16}$
090424	0.544	$250.1^{+9.3}_{-9.3}$	$52.19^{+0.05}_{-0.05}$
090618	0.540	$288.0^{+9.2}_{-9.2}$	$52.28^{+0.05}_{-0.05}$
090709A	1.800	$776.0^{+28.0}_{-28.0}$	$52.97^{+0.09}_{-0.09}$
090715B	3.000	$540.0^{+104.0}_{-76.0}$	$52.72^{+0.18}_{-0.15}$
090812	2.452	$1326.0^{+908.0}_{-362.0}$	$53.35^{+0.46}_{-0.29}$
090926A	2.106	$1016.0^{+25.0}_{-25.0}$	$53.16^{+0.09}_{-0.09}$
091018	0.971	$55.0^{+26.0}_{-26.0}$	$51.13^{+0.25}_{-0.39}$
091117A	0.096	$711.0^{+238.0}_{-167.0}$	$52.91^{+0.27}_{-0.24}$
100606A	1.554	$2233.0^{+618.0}_{-411.0}$	$53.71^{+0.28}_{-0.24}$
100621A	0.542	$163.0^{+14.0}_{-12.0}$	$51.89^{+0.07}_{-0.06}$
100728A	1.567	$783.0^{+41.0}_{-41.0}$	$52.98^{+0.10}_{-0.10}$
100814A	1.440	$312.0^{+32.0}_{-27.0}$	$52.34^{+0.10}_{-0.09}$
101213A	0.414	$354.0^{+58.0}_{-42.0}$	$52.43^{+0.15}_{-0.12}$
101219A	0.718	$1014.0^{+110.0}_{-96.0}$	$53.16^{+0.15}_{-0.14}$
110213B	1.083	$256.0^{+40.0}_{-40.0}$	$52.20^{+0.13}_{-0.14}$
110422A	1.770	$429.4^{+8.3}_{-8.3}$	$52.56^{+0.06}_{-0.06}$
110503A	1.613	$575.0^{+31.0}_{-31.0}$	$52.77^{+0.09}_{-0.09}$
110715A	0.820	$217.0^{+13.0}_{-13.0}$	$52.09^{+0.06}_{-0.06}$
110731A	2.830	$1103.0^{+69.0}_{-61.0}$	$53.22^{+0.12}_{-0.11}$
110918A	0.984	$667.0^{+79.0}_{-69.0}$	$52.87^{+0.14}_{-0.13}$
111008A	5.000	$624.0^{+186.0}_{-120.0}$	$52.82^{+0.25}_{-0.20}$
111228A	0.716	$74.0^{+31.0}_{-53.0}$	$51.34^{+0.24}_{-0.81}$
120119A	1.728	$417.0^{+33.0}_{-33.0}$	$52.54^{+0.10}_{-0.10}$
120624B	2.197	$1791.0^{+157.0}_{-134.0}$	$53.55^{+0.16}_{-0.15}$
120711A	1.405	$2552.0^{+91.0}_{-87.0}$	$53.80^{+0.13}_{-0.13}$
120716A	2.486	$662.0^{+174.0}_{-105.0}$	$52.86^{+0.23}_{-0.17}$
120804A	1.300	$283.0^{+62.0}_{-41.0}$	$52.27^{+0.17}_{-0.13}$
120909A	3.930	$1652.0^{+123.0}_{-123.0}$	$53.50^{+0.14}_{-0.14}$
121128A	2.200	$246.0^{+10.0}_{-10.0}$	$52.18^{+0.05}_{-0.05}$
130408A	3.758	$1289.0^{+176.0}_{-205.0}$	$53.33^{+0.18}_{-0.20}$
130427A	0.340	$1415.0^{+13.0}_{-13.0}$	$53.39^{+0.09}_{-0.09}$
130505A	2.270	$1939.0^{+85.0}_{-78.0}$	$53.61^{+0.13}_{-0.12}$
130514A	3.600	$506.0^{+193.0}_{-97.0}$	$52.68^{+0.29}_{-0.19}$
130518A	2.488	$1158.0^{+188.0}_{-157.0}$	$53.25^{+0.19}_{-0.18}$
130603B	0.356	$823.0^{+83.0}_{-71.0}$	$53.01^{+0.14}_{-0.13}$
130606A	5.913	$2032.0^{+622.0}_{-346.0}$	$53.64^{+0.29}_{-0.22}$
130701A	1.155	$191.8^{+8.6}_{-8.6}$	$52.00^{+0.05}_{-0.05}$
130831A	0.479	$79.9^{+10.4}_{-13.3}$	$51.39^{+0.07}_{-0.10}$
130907A	1.238	$866.0^{+36.0}_{-36.0}$	$53.05^{+0.10}_{-0.10}$
130925A	0.347	$244.0^{+13.0}_{-13.0}$	$52.17^{+0.06}_{-0.06}$
131030A	1.293	$449.0^{+14.0}_{-14.0}$	$52.59^{+0.07}_{-0.07}$
131105A	1.686	$540.0^{+107.0}_{-70.0}$	$52.72^{+0.18}_{-0.14}$
131108A	2.400	$1217.0^{+105.0}_{-88.0}$	$53.29^{+0.14}_{-0.13}$
131231A	0.644	$266.0^{+10.0}_{-10.0}$	$52.23^{+0.05}_{-0.05}$
140213A	1.208	$220.8^{+8.8}_{-8.8}$	$52.10^{+0.05}_{-0.05}$
140226A*	1.980	$1234.0^{+235.0}_{-235.0}$	$53.30^{+0.21}_{-0.22}$
140419A	3.956	$2161.0^{+243.0}_{-198.0}$	$53.69^{+0.18}_{-0.16}$
140506A	0.889	$378.0^{+170.0}_{-79.0}$	$52.47^{+0.31}_{-0.19}$
140508A	1.027	$446.0^{+28.0}_{-26.0}$	$52.59^{+0.09}_{-0.08}$
140512A	0.725	$826.0^{+202.0}_{-136.0}$	$53.02^{+0.23}_{-0.19}$

Annexe B

Code python

```
print('hello')
def clear_all():
    """Clears all the variables from the workspace of the spyder application."""
    gl = globals().copy()
    for var in gl:
        if var[0] == '_': continue
        if 'func' in str(globals()[var]): continue
        if 'module' in str(globals()[var]): continue

        del globals()[var]
if __name__ == "__main__":
    clear_all()
import time
start = time.time()
import os #operating system
print(os.getcwd()) #c=current w=working d=directory
#os.chdir("F:\MASTER2020_AZZAM2020\python_work") # Depuis de la racine
import csv
import numpy as np
import scipy
import matplotlib.pylab as plt
import math
from pylab import *
import scipy.integrate as integrate

#except ImportError:
 #   pass
#Tableau sera une liste de listes [[t1, acc1], [t2,acc2] ,... , [tn,accn]]
Tableau = []
name = []
T90 = []
z = []
Fluence = []
dFluence = []
Flux =[]
dFlux =[]
alpha =[]
dalpha =[]
Law =[]
z =[]
LogT90i=[]
Ep=[]
```

```
dEp=[]
LogEpi=[]
DL=[]
Kcorr=[]
Lp=[]
Lpmax=[]
Lpmin=[]
LogKcorr=[]

f=open("Fermi_49GRBs_z_final_03_02_2020.csv","r")
#f=open("transite.txt","r")
#fieldnames = ['GRB','z','T90_Obs','Epi','dEpip','alpha','dalpha', 'phflux', 'dphfl
ux']
if f.mode == 'r':
    data = csv.reader(f, delimiter=';')
    for row in data:
        Tableau.append(row)
#or, readlines reads the individual line into a list
 #x = contents[:,:]
f.close()
n = len(Tableau)
print("n=",n)
x = np.zeros(n-1)
y = np.zeros(n-1)
for i in range(n-1):
    name.append(Tableau[i][0])         #
    z.append(Tableau[i][1])
    T90.append(Tableau[i][2])           #
    Ep.append(Tableau[i][3])       #
    dEp.append(Tableau[i][4])      #
    alpha.append(Tableau[i][5])        #
    dalpha.append(Tableau[i][6])       #
    Flux.append(Tableau[i][7])          #
    dFlux.append(Tableau[i][8])         #
    LogT90i.append(Tableau[i][0])       #  provisoire
    LogEpi.append(Tableau[i][0])        #  provisoire
    DL.append(Tableau[i][0])           #  provisoire
    Kcorr.append(Tableau[i][0])
    Lp.append(Tableau[i][0])
    Lpmax.append(Tableau[i][0])
    Lpmin.append(Tableau[i][0])
    LogKcorr.append(Tableau[i][0])
for i in range(0,1):
    print("{:>7s} {:>7s} {:>7s} {:>7s} {:>7s} {:>7s} {:>7s}  {:>7s} {:>7s}".
        format(name[i],z[i],T90[i], Ep[i], dEp[i],alpha[i], dalpha[i],Flux[i], dFlu
x[i]))
for i in range(2,n-1,1):
    T90[i]= float(T90[i])
    Flux[i]= float(Flux[i])
```

```
    dFlux[i]= float(dFlux[i])
    alpha[i]= float(alpha[i])         # alpha est negative dans les données
    dalpha[i]=float(dalpha[i])
    z[i]= float(z[i])
    Ep[i]= float(Ep[i])
    dEp[i]=float(dEp[i])
    LogT90i[i]=math.log10(T90[i]/(1+z[i]))
    LogEpi[i]=math.log10(Ep[i]/(1+z[i]))
    print("{:>9s} {:7.3f} {:7.3f} {:7.3f} {:7.3f} {:7.3f} {:7.3f} {:7.3f} {:7.3f}".
format(name[i],z[i],T90[i],Ep[i],dEp[i], alpha[i],dalpha[i],Flux[i],dFlux[i]))
   # print("{:>9s} {:4.3f}  {:4.3f}  {:4.3f} {:4.3f}  {:4.3f}  {:4.3f}  {:4.3f}  {:
4.3f} {:4.3f}".
    #    format(name[i],z[i],T90[i], Ep[i], dEp[i],alpha[i], dalpha[i],Flux[i], dFl
ux[i]))
c=3*math.pow(10,5)   #  light speed in km/s
H0= 73              # Hubble constant in km/s/Mpc
omegaM = 0.27         # cosmological parameters
keV_erg=math.pow(10,-9)*1.6
for i in range(2,n-1,1):
    zmax=z[i]
    Dz=integrate.quad(lambda x: math.sqrt(1-omegaM+omegaM*(1+x**3)),0,zmax)
    DL[i]=c/H0*Dz[0]/1000         # en Gpc
    #print(DL[i], "Gpc")
Ev=100      # kev*
Emin=10                       # en keV  Fermi/GMB band
Emax=1000                       # en keV
xmin=Emin/Ev
xmax=Emax/Ev
scale=10      #  echelle utilisé pour la largeur du canal
NLp=np.zeros(scale*600)
Lpk=np.ones(scale*600)*math.pow(10,0)
mink=60*scale
maxk=40*scale
M=0
for i in range(2,n-1,1):
    DLcm=DL[i]*3.085678*math.pow(10,27)
    a=alpha[i]                     # alpha
    zi=z[i]
    E2=math.pow(10,4)/(1+zi)     # en keV gamma spectrum
    E1=1/(1+zi)                  # en keV
    Xmax=E2/Ev
    Xmin=E1/Ev
    mua , sigmaa = alpha[i] , dalpha[i]
    x0=Ep[i]/(a+2)/Ev
    if a <= -1.99:
        a = -1.99
        x0=Ep[i]/(a+2)/Ev
        Khaut=integrate.quad(lambda x: x**(a+1)*math.exp(-x/x0),Xmin,Xmax)
    Kbas=integrate.quad(lambda x: x**(a)*math.exp(-x/x0),xmin,xmax)
```

```
    Kcorr[i]= keV_erg*Ev*Khaut[0]/Kbas[0]
    Lp[i]=4*math.pi*DLcm**2*Flux[i]*Kcorr[i]
    Lpmax[i]=Lp[i]
    Lpmin[i]=Lp[i]
    LogKcorr[i]=np.log10(Kcorr[i])
    print("i",i, Lp[i])
    if Flux[i] >= 0.2:
        M=M+1
        print("i=",i, " x0=",x0, "a=", a,"  total =",M)
        for j in range(1,6000,1):
        #for j in range(1,5000,1):
            if dEp[i] > 350:                      #  problem dans les données
                dEp[i]=Ep[i]
            muEp, sigmaEp = Ep[i],dEp[i]
            Epp=np.random.normal(muEp, sigmaEp,1)
            while Epp < 10:
                Epp=np.random.normal(muEp, sigmaEp,1)

            mua , sigmaa = alpha[i] , dalpha[i]
            if mua <= -1.99:
                a=np.random.normal(-1, 0.74,1)
                while a <=-1.99:
                    a=np.random.normal(-1,0.74,1)
            else:
                a = np.random.normal(mua, sigmaa,1)
                while a <= -1.99:
                    a = np.random.normal(mua, sigmaa,1)
            x0=Epp/(a+2)/Ev
            Khaut=integrate.quad(lambda x: x**(a+1)*math.exp(-x/x0),Xmin,Xmax)
            Kbas=integrate.quad(lambda x: x**(a)*math.exp(-x/x0),xmin,xmax)
            Kc= keV_erg*Ev*Khaut[0]/Kbas[0]
            Lpp=4*math.pi*DLcm**2*Flux[i]*Kc
            Lpmax[i]=max(Lpp,Lpmax[i])
            Lpmin[i]=min(Lpp,Lpmin[i])
            Ak = math.log10(Lpp)
      #  k=int(floor(Ak*scale))
            k=int(ceil(Ak*scale))
            NLp[k]=NLp[k]+1        # nombre de GRBs par bin
            Lpk[k]= k              # luminosity
            mink=min(k,mink)
            maxk=max(k,maxk)
            #print(k,NLp[k])
print("total des GRBs traités =",M+1)
some=sum(NLp)
NLp=NLp/some
ymaxi=max(NLp[mink:maxk])
ymini=min(NLp[mink:maxk])
print("mink  maxk  ymaxi ymini", mink, maxk, ymini*0.9, ymaxi*1.1)
fileout = open("luminosity_function_Fermi.csv", "w")
```

```
writer = csv.writer(fileout)    # Création de l’écrivain CSV.
writer.writerow(("Lp","LF"))
for i in range(mink,maxk):
    writer.writerow((Lpk[i]/scale,NLp[i]))
fileout.close()

fileout2 = open("luminosity_Lp_Fermi.csv", "w")
writer2 = csv.writer(fileout2)    # Création de l’écrivain CSV.
writer2.writerow(("name","Lpmin","Lp","Lpmax"))
for i in range(2,n-1,1):
    writer2.writerow((name[i],Lpmin[i], Lp[i],Lpmax[i]))
fileout2.close()
end = time.time()
print(end)
print ('{0:10} seconds'.format(end - start))

plt.subplot(231)
plt.hist(np.log10(Lpmin[3:]), density=True, bins=20,color="red")
plt.ylabel('Probability')
plt.xlabel(r"$L_{p,min}$")

plt.subplot(232)
plt.hist(np.log10(Lpmax[3:]), density=True, bins=20,color="blue")
plt.ylabel('Probability')
plt.xlabel(r"$L_{p,max}$")
#plt.title(" Distribution of Ep intrinsic")

plt.subplot(233)
plt.hist(LogT90i[3:], density=True, bins=20)
plt.ylabel('Probability')
plt.xlabel(r"$T_{90}^i$")
print('zmax',max(z[3:]))

plt.subplot(234)
plt.scatter(LogKcorr[3:], LogEpi[3:])
plt.ylabel(r"$E_{p,i}$")
plt.xlabel(r"$Kcorr$")
plt.colorbar()
plt.subplot(235)
xmin, xmax, ymin, ymax = axis([mink/scale, maxk/scale, ymini, ymaxi])
plt.scatter(Lpk/scale,NLp)
plt.ylabel('Probability')
plt.xlabel(r"$log(Lp_{iso})$")
plt.subplot(236)
plt.loglog(Lp[3:], Ep[3:],'o')
plt.ylabel(r"$E_p $")
plt.xlabel(r"$L_p$")
print('zmax',max(z[3:]))
plt.show()
```

Annexe C

GRBs luminosity function synthesized from *Swift/BAT*, *Fermi/GBM* and *Konus-Wind* data

H. Zitouni • N. Guessoum • W. J. Azzam • Y. Benturki

zitouni.hannachi@univ-medea.dz

Abstract

We study the luminosity function of gamma-ray bursts (GRBs) using the peak flux obtained from three GRB samples with known redshifts: (a) a sample of 264 GRBs from the *Swift/BAT* satellite/instrument; (b) a sample of 49 GRBs from the *Fermi/GBM* telescope; (c) a sample of 169 GRBs from the *Konus-Wind* instrument. For the *Swift/BAT* and *Fermi/GBM* samples, we use public data available on the Swift Burst Analyser websites (http://www.swift.ac.uk/burst_analyser; (Evans, P. A. et al. 2010)) and (http://swift.gsfc.nasa.gov/archive/grb/table/) and on the Fermi website (https://heasarc.gsfc.nasa.gov/W3Browse/fermi/fermigbrst.html; (Gruber et al. 2014; von Kienlin et al. 2014; Bhat et al. 2016)) to calculate the luminosity at the peak of the flux by using a cut-off power-law spectrum (CPL). For the *Konus-Wind* sample, we use the Yonetoku correlation relationship (Yonetoku et al. 2010) to determine the isotropic luminosity from the energy at the peak of the flux measured in the source frame (Minaev and Pozanenko 2019). With these three samples (totalling 482 GRBs), we use the Monte Carlo method to synthesize 10,000 "artificial" GRBs similar to each real GRB by considering that each physical quantity observed obeys a normal distribution, where the tabulated value and uncertainty represent the mean and the 3σ error. The results obtained for the luminosity funcion from our data samples are consistent with those published in previous works.

Keywords gamma-rays bursts; luminosity function; statistical methods

H. Zitouni

PTEA Laboratory, Faculty of Science, Dr Yahia Fares University, Médéa, Algeria.

N. Guessoum

Department of Physics, College of Arts & Sciences, American University of Sharjah, UAE.

W. J. Azzam

Department of Physics, College of Science, University of Bahrain, Bahrain.

Y. Benturki

PTEA Laboratory, Faculty of Science, Dr Yahia Fares University, Médéa, Algeria.

1 Introduction

Gamma-ray bursts (GRBs) are extremely powerful explosions that involve either the death of massive stars or the merger of compact stellar objects. The equivalent isotropic energy of GRBs can exceed 10^{54} erg, and their nonthermal spectra peak between 10 and 10^4 keV (Atteia et al. (2017)). Their light curves display intense pulses that can last anywhere from less than a second to hundreds of seconds, they are often irregular and sometimes include multiple pulses. Although the radiation released by GRBs is believed to come out mainly through jets (with collisions inside), the precise formation mechanism behind these jets is not fully understood (Le and Mehta (2017)).

Given the complex nature of their occurrence and unfolding, it is not surprising that GRBs are among the most studied topics and phenomena in astrophysics today, both theoretically and observationally. Many theoretical models have been proposed to try and explain this very spectacular phenomenon; but given the astounding amount of energy involved and the short time scales of these explosions, none of these models has been fully successful (Dainotti et al. (2019)).

There are currently many observation missions, both from the ground and from space, that are involved in the study of GRBs in the different bands of the electromagnetic spectrum. Furthermore, a new observational tool has recently emerged, namely gravitational waves,