

L'EVOLUTION HYDRODYNAMIQUE DES AFTERGLOWS POUR LE MODELE DE FENG

E. ZOUAOU¹, M. FOUKA² AND S. OUICHAOU³

¹Laboratoire de Physique Mathématique et Subatomique, Université des Frères Mentouri, Constantine, Algérie.

²CRAAG, Observatoire d'Alger, B.P 63, Bouzareah, Alger (Algérie)

³Faculté de physique, Département de Rayonnement, Université USTHB, Algérie

Reçu le 12/08/2013 – Accepté le 02/05/2015

Résumé

Nous avons modélisé l'évolution du choc externe produit par la décélération d'un jet relativiste, éjecté par un progéniteur d'un sursaut gamma, par un milieu interstellaire (MIS). Nous avons adopté le modèle de Feng et al. (2002), étant donné qu'il est le modèle le plus réaliste dans la description de l'énergie interne produite par le choc et celle restituée dans la boule de feu, dans un autre côté son accord avec les solutions de Sedov avec ses conditions.

Mots clés : Sursaut Gamma, Emission rémanente, relativité, Chocs externes, boule de feu, hydrodynamique.

Abstract

This paper presents a hydrodynamic evolution of the external shock produced by the deceleration of a relativistic jet ejected from a progenitor of the GRB by an interstellar medium (ISM). We adopted the Feng et al. (2002), since it is the most realistic model for the description of the internal energy generated by the shock and the remnant in the fireball, in another side its agrees with Sedov solution conditions.

Keywords: GRBs Afterglows, relativity, external Shock, fireball, hydrodynamics.

ملخص

يتعرض هذا البحث لدراسة هيدروديناميكية لتصادم المقذوفة المتسارعة الناتجة عن انفجارات أشعة غاما مع الوسط بين النجمي. اعتمدنا نموذج فنغ وآخرين. (2002)، لأنه الأكثر واقعية في وصف الطاقة الداخلية الناتجة عن التصادم، والمتبقية في كرة نارية إلى جانب آخر التوافق مع حلول سيدوف في شروطه المفروضة.

الكلمات المفتاحية : إنبعثات أشعة مابعد انفجارات أشعة غاما، النسبية، التصادم الخارجي، كرة النار، الهيدرودناميك.

I. INTRODUCTION

Suite à la décélération d'un jet relativiste par la matière du milieu interstellaire (MIS), une fraction de l'énergie cinétique du choc est convertie en énergie interne, U . Dans le modèle de Feng et al. (2002), on suppose qu'une fraction, U_{rest} , de cette dernière est restituée dans la boule de feu. Les deux quantités sont liées par [1].

$$dU = (1 - \varepsilon)dU_{ex} = (1 - \varepsilon)(\Gamma - 1)dmc^2 + mc^2d\Gamma \quad (1)$$

ε étant l'efficacité de rayonnement, Γ le facteur de Lorentz global du jet, m la masse balayée par la boule de feu.

En établissant l'équilibre énergétique, on aboutit à l'équation hydrodynamique suivante [2]:

$$\frac{d\Gamma}{dm} = - \frac{\Gamma^2 - 1}{M_0 + m + U/c^2 + (1 - \varepsilon)\Gamma m} \quad (2)$$

M_0 étant la masse initiale du jet. En tenant compte des échelles de temps, de rayonnement et du choc externe, l'efficacité de rayonnement peut être exprimée par [3]:

$$\varepsilon = \varepsilon_e \frac{t_{syn}}{(t'_{syn} + t'_{ex})}$$

t'_{syn} et t'_{ex} étant, respectivement, le temps de refroidissement synchrotron et le temps caractéristique du choc externe, et ε_e correspondant à la fraction de l'énergie interne prise par

II. RESULTATS NUMERIQUES

Nous avons supposé un jet relativiste de facteur de Lorentz initial, $\Gamma_0=250$, d'une masse initiale, $M_0=2.10^{-6} M_\odot$, de demi angle d'ouverture $\theta = 10^\circ$, décéléré dans un milieu externe homogène de densité $n_0 = 1$ proton.cm⁻³, en supposant trois type d'expansion: (i) une expansion purement radiative, $\varepsilon=1$, (ii) une expansion purement adiabatique, $\varepsilon=0$,

(iii) une expansion partiellement radiative, $\varepsilon=0.5$. Nous avons supposé une efficacité de rayonnement variable, suivant l'équation (3).

III. DISCUSSION

Le modèle hydrodynamique de Feng est le modèle le plus général et réaliste du point de vue de l'efficacité qui change ou varie pendant l'évolution de la boule de feu [3], et nous avons confirmé le succès de ce modèle par la comparaison avec la solution de Sedov [4] qui justifie la validité de ce modèle dans la phase ultra-relativiste vers la phase non relativiste (cf., fig.1-2).

Dans toutes les figures nous pouvons voir clairement qu'il y a trois sections de la décélération correspondant à : (i) la phase ultra-relativiste, (ii) la phase de décélération relativiste, (iii) la phase non-relativiste.

Dans le cas d'une expansion adiabatique, l'énergie interne produite par le choc externe est complètement restituée dans la boule de feu, c'est-à-dire la décélération du facteur de Lorentz est plus lente par rapport à un régime radiatif qui provoque une décélération plus rapide à cause du rayonnement(fig.5-6), mais pour une efficacité variable; et si $\varepsilon_e=1$ dans ce cas la décélération est similaire au régime radiative pour le premier temps et finis par une expansion adiabatique (fig.4-7-8), et nous pouvons confirmée ça dans la figure (10) qui représente l'évolution de la masse totale de la boule de feu en fonction de la distance. Dans cette figure nous voyons que dans le régime adiabatique la masse de la boule de feu augmente plus rapidement par rapport à une expansion totalement radiative (cf., fig.9).

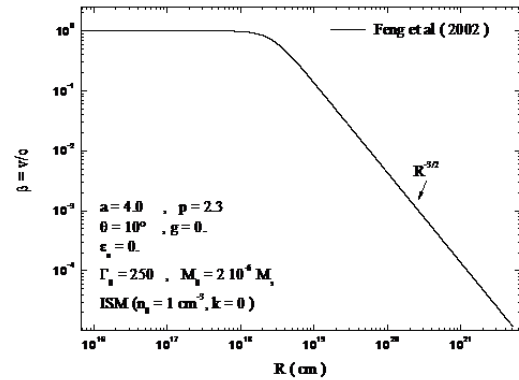
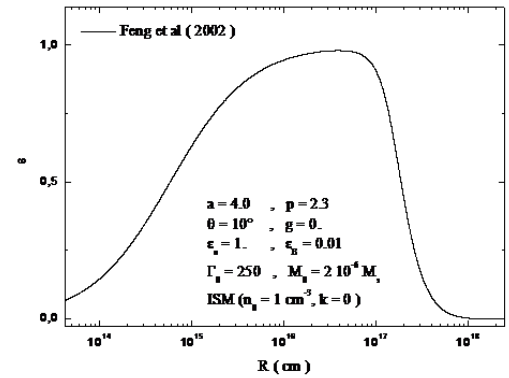


Fig. 2. Evolution de la vitesse de la boule de feu $\beta=v/c$ en fonction du rayon R (cm), pour le modèle de Feng et al et pour le régime adiabatique $\varepsilon=0$.

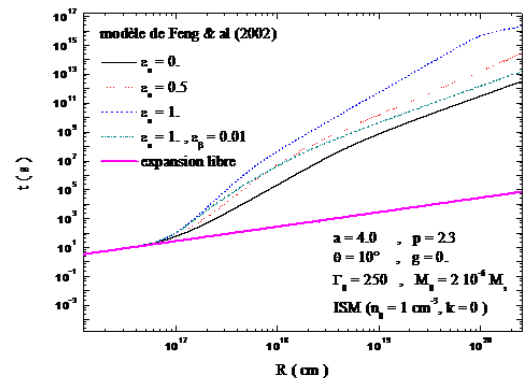
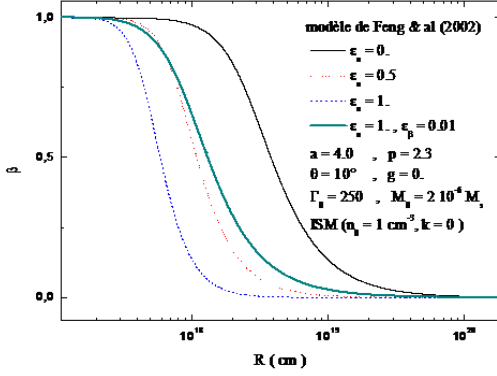


Fig. 3. Représentation du temps d'arrivée des photons t (s) en fonction de la distance R (cm), suivant le modèle de Feng et al (2002), dans les cas suivants : (i) adiabatique $\varepsilon=0$, (ii) partiellement radiative $\varepsilon=0.5$, (iii) totalement radiatif $\varepsilon=1$, et (iv) le cas d'une efficacité de rayonnement variable par l'équation 3. La relation entre la distance et le temps :

$$dr = \frac{\beta}{1-\beta} c dt = \beta(\beta+1)\Gamma^2 c dt$$



$$\Gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

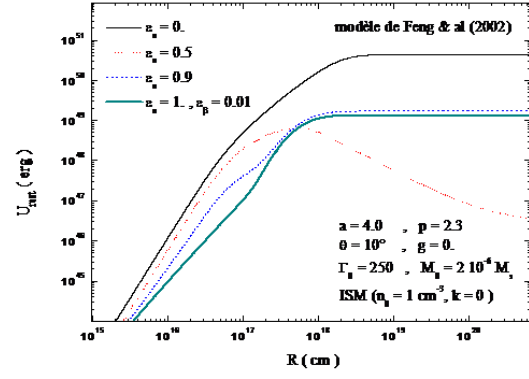
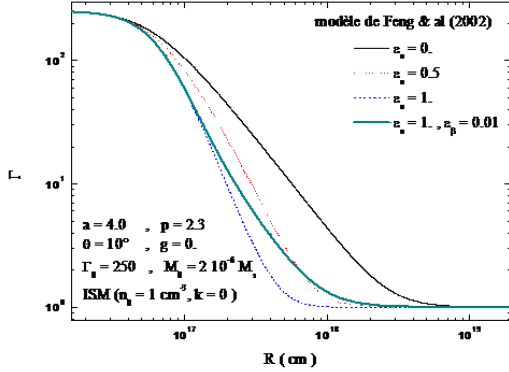
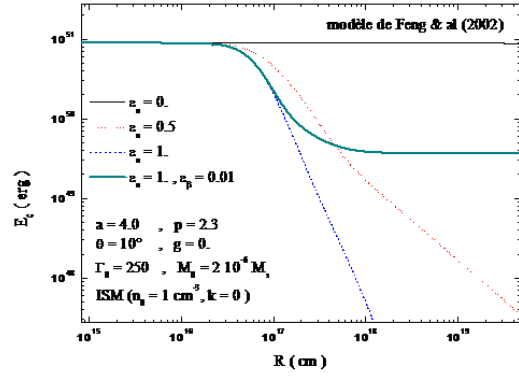
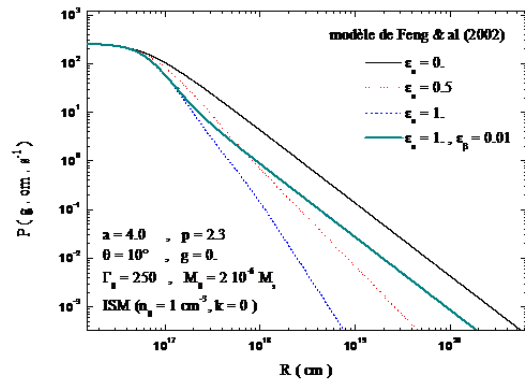


Fig. 6. Energie interne U (eq. 2) de la boule de feu, en fonction du rayon R , pour : (i) adiabatique $\varepsilon=0$, (ii) partiellement radiative $\varepsilon=0.5$, (iii) totalement radiatif $\varepsilon=1$, et (iv) le cas d'une efficacité de rayonnement variable par l'équation 3.



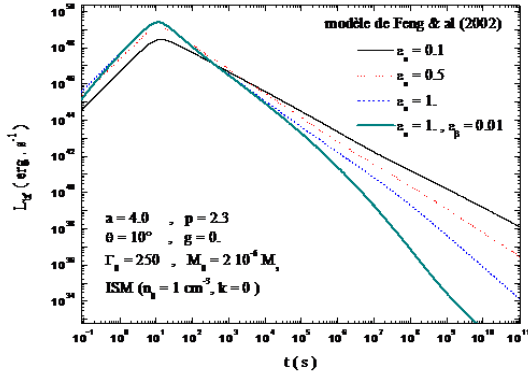
$\varepsilon=0$, (ii) partiellement radiative $\varepsilon=0.5$, (iii) totalement radiatif $\varepsilon=1$, et (iv) le cas d'une efficacité de rayonnement variable par l'équation 3. La formule de l'énergie :

$$E_c = (\Gamma - 1)(M_0 + m)c^2 + (1 + \varepsilon)\Gamma U$$

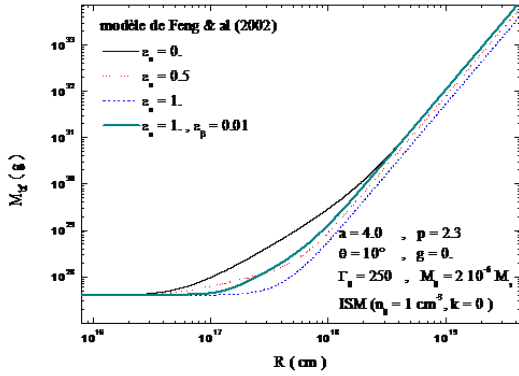


$\varepsilon=0$, (ii) partiellement radiative $\varepsilon=0.5$, (iii) totalement radiatif $\varepsilon=1$, et (iv) le cas d'une efficacité de rayonnement variable par l'équation 3. La formule de La quantité de mouvement:

$$P = \beta M_{bf} c$$



$$L = dE_c / dt$$



$$M_{bf} = E_c / c^2 (\Gamma - 1)$$

IV. CONCLUSION

Nous avons présenté l'évolution du facteur de Lorentz d'une boule de feu conique décélérée par un MIS, pour trois types d'expansion: (i) adiabatique, (ii) partiellement radiative et (iii) purement radiative. Le modèle hydrodynamique de Feng et al. (2002) est le modèle le plus général et le plus réaliste, étant donné qu'il reproduit la solution de Sedov et il définit correctement l'énergie interne restituée dans la boule de feu, dans le cas d'une efficacité de rayonnement variable.

ACKNOWLEDGMENT

We are very grateful to the Algerian Ministry of education and research as well as the DGRSDT for the financial support.

REFERENCES

- [1] J. B. Feng, Y. F. Huang, Z. G. Dai, and T. Lu, "Dynamical Evolution of Gamma-Ray Burst Remnants with Evolving Radiative Efficiency," *Chinese Journal Astronomy and Astrophysics*, vol. 2, pp. 525-532, Oct. 2002.
- [2] Z. G. Dai and T. Lu, "Gamma-ray burst afterglows: effect of radiative corrections and non-uniformity of the surrounding medium," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 298, pp. 87-92, Jun. 1998.
- [3] E. Zoauoui, M. mourad "Hydrodynamic evolution of GBRs Afterglows: Realistic model with evolving radiative efficiency," *AIP Conference Proceedings*, pp. 359-362, vol. 1444, Jun. 2012.
- [4] L. Sedov, *Similarity and Dimensional Methods in Mechanics*, New York, 1969, ch. 4.