

Les crêpes stellaires flambent deux fois



Date de mise en ligne : jeudi 1er avril 2010

Des simulations numériques effectuées par deux chercheurs de l'Observatoire de Paris montrent qu'une étoile plongeant profondément dans le rayon de marée d'un trou noir massif est aplatie deux fois avant d'être déchiquetée par une explosion thermonucléaire. De puissantes ondes de choc engendrées en son centre atteignent sa surface et la chauffent de façon répétée à un milliard de degrés ou davantage. Les échelles de temps et d'énergie caractéristiques d'un tel processus sont comparables à celles observées dans certains sursauts gamma.

On sait depuis longtemps [Carter & Luminet, 1982, Nature 296, 211] que des étoiles passant suffisamment près de la surface de trous noirs massifs subissent des forces de marée si gigantesques qu'elles sont aplaties sous forme de « crêpes » avant d'être détruites. Les compressions les plus fortes déclenchent une explosion thermonucléaire dans le cœur d'étoiles frôlant des trous noirs géants tapis au centre des galaxies. Dans un article juste publié dans *Astronomy & Astrophysics*, Matthieu Brassart et Jean-Pierre Luminet, de l'Observatoire de Paris-Meudon, ont simulé numériquement le sort d'une étoile de type solaire qui pénètre profondément dans le rayon de marée d'un trou noir de 106 masses solaires (une situation typique dans un centre galactique, tel celui de notre propre Voie Lactée). Ils ont perfectionné leur précédentes simulations hydrodynamiques en prenant cette fois en compte toutes les propriétés relativistes de l'espace-temps autour du trou noir. De fait, l'orbite stellaire et le champ de marée connaissent d'importantes modifications dès lors que l'étoile frôle le rayon gravitationnel du trou noir. En raison de la précession relativiste, une orbite parabolique doit s'entrecouper et, lorsque le point de croisement est situé à l'intérieur du rayon de marée, l'étoile est soumise à plusieurs aplatissements successifs.

Une telle rencontre étoile / trou noir est illustrée sur la figure 1, avec un facteur de pénétration suffisamment grand pour que l'étoile approche tout près de la surface du trou noir et en subisse les effets relativistes. L'orbite stellaire s'enroule autour du trou noir à l'intérieur du rayon de marée, ce qui permet au champ gravitationnel d'écraser l'étoile en forme de crêpe deux fois de suite, avant et après son passage au périastre.

Outre la formation de crêpes stellaires chaudes condamnées à une explosion thermonucléaire, les compressions dues aux marées gravitationnelles engendrent une série compliquée d'ondes de choc sortantes et entrantes qui entrent en collision, interagissent et finissent par se propager jusqu'à la surface de l'étoile.

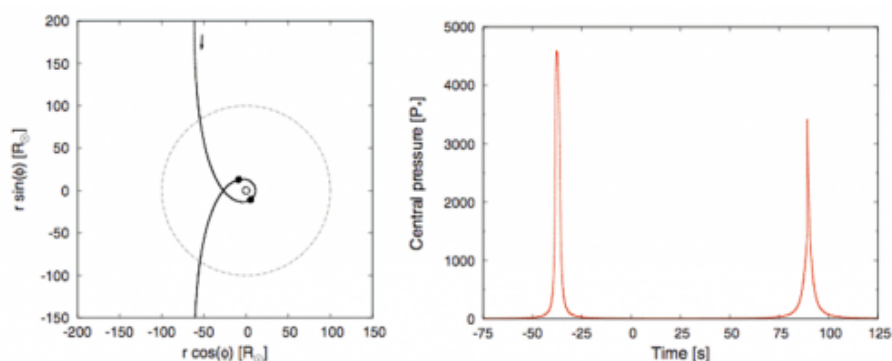


Figure 1 : A gauche : Orbite parabolique d'une étoile plongeant profondément dans le rayon de marée d'un trou noir de 1 million de masses solaires. Le petit cercle solide représente le rayon gravitationnel du trou noir, et le grand cercle en pointillés le rayon de marée. Le facteur de pénétration, c'est-à-dire le rapport entre le rayon de marée et la distance au périastre, est de 9. Comme l'orbite stellaire s'entrecoupe à l'intérieur du

rayon de marée, le champ gravitationnel du trou noir induit deux compressions successives, qui se produisent aux points de l'orbite marqués en noir. A droite : Evolution temporelle de la pression centrale (en unités de sa valeur initiale). Celle-ci contrecarre deux fois l'effondrement en chute libre de la matière stellaire, une fois avant le passage au périastre (à $t=0$), puis une centaine de secondes plus tard.

Des sursauts d'énergie engendrés par "marées noires"

Les ondes de choc successives chauffent trois fois la surface stellaire (fig.2), portant à chaque fois la température à un milliard de degrés ou davantage, soit dans le régime des rayons X durs et gamma. Ainsi, l'émission brutale de sursauts de haute énergie engendrés par des "marées noires" est intensifiée par les effets relativistes et les compressions multiples qui en découlent. Par ailleurs, les astronomes ont observé que les courbes de lumière de certains sursauts gamma exhibent des structures complexes à deux pics ou davantage. On est tenté de les interpréter en termes de crêpes stellaires flambées deux fois. En effet, l'échelle de temps typique d'une rencontre étoile / trou noir selon une orbite relativiste fortement enroulée correspond à celle d'un sursaut gamma court présentant deux pics d'émission séparés par une centaine de secondes, tel celui qui a été observé dans GRB 970815.

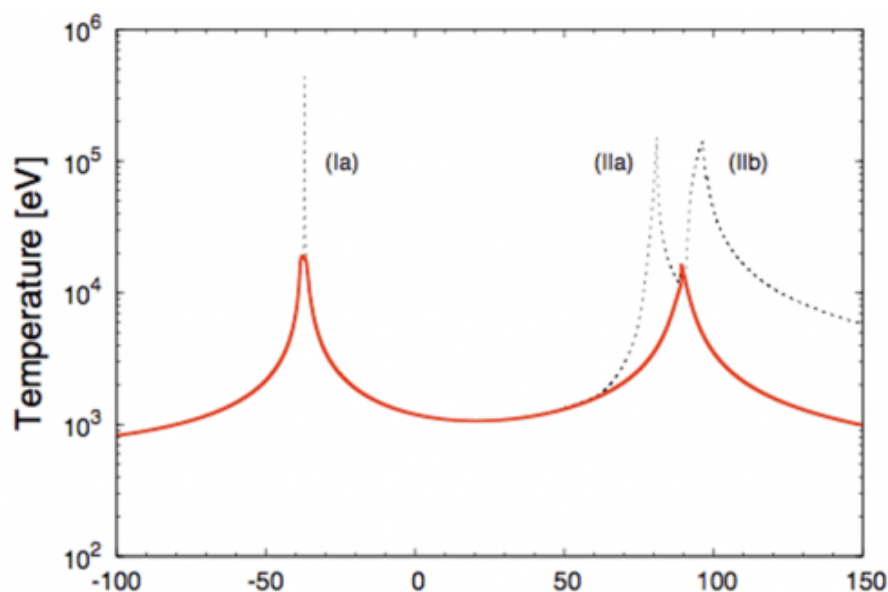


Figure 2 : Evolution temporelle de la température (l'étoile passe au périastre à $t=0$). La courbe en traits pleins retrace la température au centre de l'étoile. La compression induit un premier maximum à $2 \cdot 10^8$ K durant 4 s, et environ 115 s plus tard, une seconde compression de même amplitude durant 6 s. La courbe en pointillés donne la température transportée par les ondes de choc. Les trois maxima sont atteints à la surface stellaire. Celle-ci est d'abord portée à $4 \cdot 10^9$ K durant 0.03 s, puis à 109K durant 1.5 s, ensuite à 109 K durant 3 s.

Conclusion

Les crêpes stellaires flambent deux fois

On estime que les sursauts gamma déclenchés par « marées noires » se produisent en moyenne tous les 103-105 ans par galaxie, en fonction du profil de densité stellaire dans le noyau galactique et de la masse du trou noir central. Ce taux peut même être considérablement augmenté dans le cas d'un trou noir massif binaire. Puisque la plupart des galaxies incluant notre propre Voie lactée abritent un trou noir central massif, et puisque l'ensemble de l'univers observable est transparent aux longueurs d'ondes X et gamma, plusieurs événements de ce type pourraient être détectés annuellement.