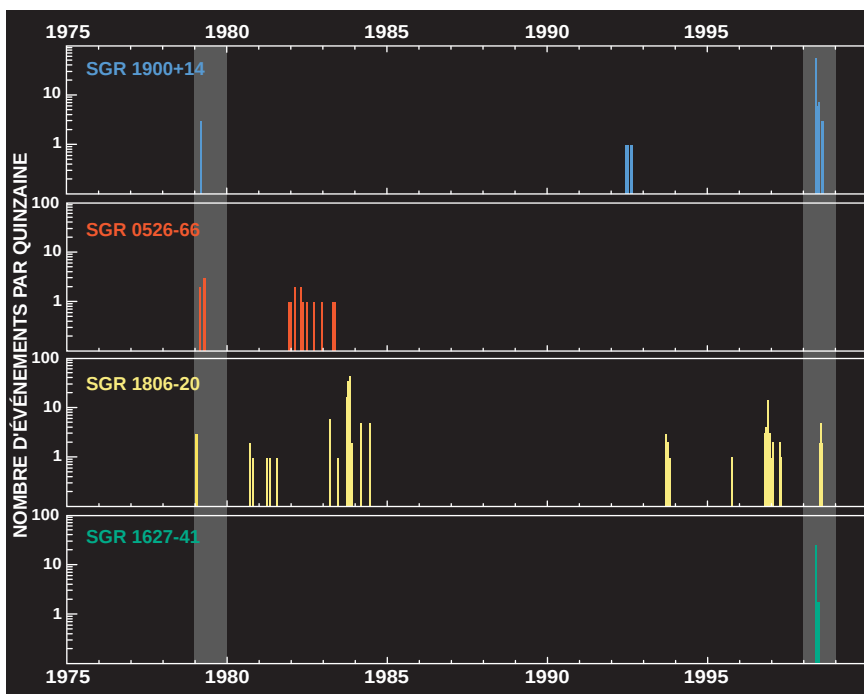




6. L'HISTOIRE DE LA DÉCOUVERTE DES MAGNÉTOILES commence à la fin des années 1970 avec la découverte de la première source de sursauts gamma à répétition. À la fin des années 1980, on connaissait trois telles sources, mais on ignorait leur origine. En 1992, la théorie des magnétoiles a unifié ces observations en un modèle cohérent, corroboré par l'observation récente d'une quatrième source gamma à répétition.

d'angle. Nous avons alors confirmé la présence d'une source X à la position de la source gamma, mais il n'était toujours pas exclu qu'il s'agisse d'une coïncidence. Néanmoins, nous étions alors enclins à penser que deux des sources gamma à répétition connues émettaient des rayons X en continu.

Peu de temps après, Richard Rothschild, de l'Université de San Diego, ajouta la troisième source à répétition à cette liste : à l'aide de ROSAT, il montra que SGR 0525-66, d'où nous était parvenu le puissant sursaut du 5 mars 1979, était également une source continue de rayonnement X.

Outre leur caractéristique d'émission de rayonnement gamma, ces sources gamma à répétition avaient deux autres propriétés communes : elles émettaient du rayonnement X, et elles semblaient localisées dans des restes de supernovae. Vraisemblablement, ces émissions gamma émanaient d'étoiles à neutrons, mais d'un type

nouveau. La question s'imposait : par quel mécanisme des étoiles à neutrons émettraient-elles des sursauts de rayonnement gamma ?

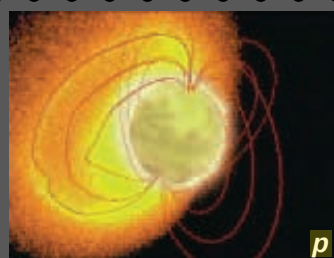
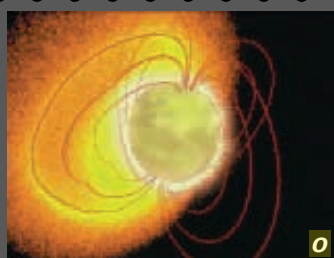
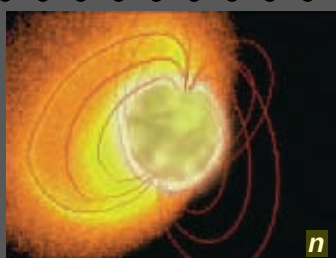
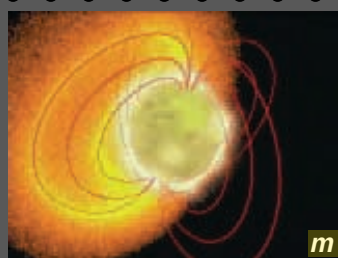
Les séismes émetteurs

En 1992, Bohdan Paczynski, de l'Université de Princeton, émit une hypothèse audacieuse : la source de l'émission très énergétique du 5 mars 1979 serait bien une étoile à neutrons, mais dont le champ magnétique serait mille fois plus intense que celui des étoiles à neutrons ordinaires. Un tel champ constituerait un vaste réservoir d'énergie où l'étoile puiserait l'énergie des sursauts. De plus, avec un champ magnétique intense, le phénomène de diffusion est réduit. Or, dans la diffusion entre les photons du rayonnement gamma et les électrons ambiants, l'énergie des photons qui s'échappent de l'étoile est transférée aux électrons. Ainsi, avec un intense champ magné-

tique, la diffusion est faible, et le flux de rayonnement gamma s'échappe sans perte d'énergie.

Si cette hypothèse proposait une source d'énergie pour les sursauts, elle n'expliquait pas leur cause. En 1995, Chris Thompson, de l'Institut canadien d'astrophysique théorique, à Toronto, et Rob Duncan, de l'Université du Texas, publièrent un long article faisant le lien entre la théorie des champs magnétiques intenses et les nombreuses années d'observation des sources gamma à répétition. Dans ce modèle qu'ils nommèrent «magnétoile», l'intense champ magnétique de l'étoile à neutrons, ancré dans sa croûte solide (comme le champ magnétique d'un aimant est ancré dans ce dernier), exerce sur celle-ci une contrainte. Sous l'effet de cette force, la croûte de l'étoile à neutrons craque de temps à autre, ce qui réduit la contrainte. Bien que ce tremblement de croûte reste confiné à une région de la surface de l'étoile et bien qu'il ne représente qu'une faible fraction de l'énergie interne de l'étoile à neutrons, il est extrêmement puissant à l'échelle des tremblements terrestres. L'énergie libérée lors d'un tremblement de croûte typique correspondrait à un tremblement de terre de magnitude 14, d'une intensité un million de fois supérieure aux séismes terrestres de magnitude 8 qui détruisent des villes entières.

Ces tremblements de croûte secouent violemment les lignes de champ magnétique attachées à la surface de l'étoile. De la même manière que le champ magnétique terrestre piège des particules chargées, comme dans les ceintures de Van Allen, le champ magnétique de l'étoile à neutrons se comporte comme un piège à particules. Dans le cas de la magnétoile, les violentes secousses subies par les lignes de champ magnétique accélèrent des électrons créés dans les champs intenses jusqu'à des énergies très élevées qu'elles perdent par émission de rayonnement synchrotron : les sursauts gamma (le rayonnement synchrotron est émis par toute particule



chargée accélérée). Ce mécanisme explique la majeure partie de l'activité observée, y compris les sursauts moins énergiques, mais pas les phénomènes plus rares de sursauts majeurs, tels que ceux du 5 mars 1979 et du 27 août 1998, car l'énergie libérée par ces tremblements de croûte superficiels n'est pas suffisante.

Un mécanisme plus global intervient alors. Les forces exercées à la surface de l'étoile à neutrons par le champ magnétique ne sont pas totalement éliminées par les craquements localisés de la croûte. Sur une période d'une centaine d'années, les contraintes résiduelles s'accumulent sur toute la surface de l'étoile, et un tremblement de croûte ne suffit pas à les réduire. À cette étape, un séisme stellaire d'une violence inouïe survient : l'ensemble de la croûte de l'étoile se fracture en profondeur, et l'énergie engendrée équivaut à celle d'un séisme de magnitude 22.

Suite à cet événement catastrophique, la surface de l'étoile se réaménage, des régions d'où partent des lignes de champ magnétique de polarités opposées sont entraînées avec la croûte vers de nouveaux sites. Lorsque des lignes de champ de polarités opposées se rencontrent, elles s'annihilent et libèrent l'énergie qu'elles renferment. Cette énergie peut être directement utilisée pour l'accélération d'électrons à de grandes énergies ; ceux-ci se désexcitent alors en émettant des rayons gamma de haute énergie dans un sursaut important. Certaines portions de la surface sont échauffées, peut-être jusqu'au point de fusion de la croûte de l'étoile à neutrons, essentiellement constituée de fer. Cette fusion crée des points chauds qui subsistent longtemps après le sursaut initial. Eux aussi se refroidissent en émettant des rayons gamma, et comme l'étoile tourne, les points chauds en rotation apparaissent et disparaissent : le rayonnement gamma apparaît sous forme d'une émission périodique.

Déplacement rapide et rotation lente

La force du modèle de magnétoile réside dans le fait que non seulement il explique la plupart des caractéristiques des sources gamma à répétition, mais qu'il prévoit aussi certaines caractéristiques vérifiables. Entre autres, il prévoit que les étoiles à neutrons à l'origine des sources gamma à répétition sont éjectés