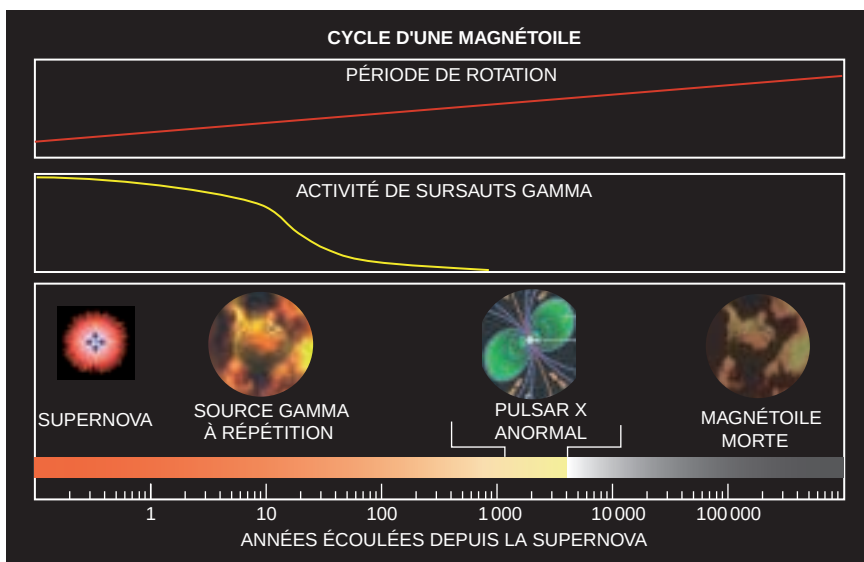




7. UNE MAGNÉTOILE COMMENCE SA VIE en tant que supernova, une explosion d'étoile. Durant l'explosion, l'étoile à neutrons se transforme en une puissante source de rayonnement gamma à répétition. Cette phase dure 10 000 ans environ, après quoi, durant 40 000 ans environ, l'étoile à neutrons devient un pulsar X «anormal», une étoile à neutrons à la rotation particulièrement lente. Finalement, la magnétoile n'émet plus de rayonnement décelable et devient un objet sombre.

de leur lieu de naissance. Les astrophysiciens supputent que le fort champ magnétique des magnétoiles, 1 000 fois plus intense que celui des étoiles à neutrons ordinaires, focalise les neutrinos émis juste après l'explosion. Comme un tuyau d'arrosage qui part dans la direction opposée à celle du jet d'eau, par réaction, l'étoile à neutrons résultante est accélérée jusqu'à 1 000 kilomètres par seconde. Les observations confirment la mobilité des magnétoiles : on ne les observe pas au centre des vestiges de leur supernova, mais assez décentrées, voire très éloignées.

Autre caractéristique attendue : les magnétoiles perdraient leur énergie de rotation assez vite par émission d'ondes radio, car le freinage de la rotation est proportionnel au carré du champ magnétique et à l'inverse de la période. La vérification de cette prédiction n'était pas chose aisée, car l'allongement prévu n'est que de deux millisecondes par an. Grâce au satellite X de la NASA Rossi, Ch. Kouveliotou et ses collègues ont observé ce ralentissement.

Le modèle semble en mesure d'expliquer un autre mystère de l'astrophysique, celui des prétendus pulsars atypiques à rayons X. Ces derniers sont des étoiles à neutrons en rotation lente, sans compagnon apparent. Ils sont anormaux, dans le sens où ils sont plus lents que ce que l'on attendrait d'une étoile à neutrons isolée et que leur spectre X est plus mou. S'agit-il de vieilles magnétoiles ? La lenteur de leur

rotation corrobore cette idée, puisque la période de rotation des magnétoiles est supérieure à celle des étoiles à neutrons ordinaires.

Combien y a-t-il de magnétoiles ? Une supernova sur dix donnerait naissance à une magnétoile, c'est-à-dire environ une tous les mille ans (dans une galaxie comme la nôtre, il y a une nouvelle supernova par siècle). La raison n'en est pas très claire, mais cette fréquence est vraisemblablement liée aux détails de l'explosion. L'étoile à neutrons nouvellement formée commence son existence en rotation très rapide, ce qui engendre à l'intérieur de l'étoile un mécanisme qui multiplie son champ magnétique par un facteur compris entre 100 et 1 000. Pendant les 10 000 premières années de sa vie, la magnétoile est une source gamma à répétition, et connaît des périodes d'activité au cours desquelles elle émet soit une succession de sursauts courts et relativement faibles (à des intervalles de quelques années), soit un sursaut majeur (à peu près un par siècle). Elle évolue ensuite en un pulsar à rayons X anormal et reste observable sous cette forme pendant environ 40 000 ans environ. Après cette période, la magnétoile sombre dans l'inactivité et l'obscurité. Elle cesse d'évoluer et rentre dans les rangs des milliards d'objets sombres de notre Galaxie (voir la figure 6).

Si ces estimations sont justes, il devrait y avoir, à un moment donné, environ dix sources gamma à répétition

dans notre Galaxie. Jusqu'à aujourd'hui, nous en avons trouvé trois, dont deux dans notre Galaxie. Ces derniers mois, Ch. Kouveliotou, E. Mazets et moi-même avons analysé les données de nos expériences et en avons conclu à la présence d'une troisième magnétoile au sein de notre Galaxie. Cet objet, SGR 1627-41, a les mêmes caractéristiques que les trois autres magnétoiles, à savoir la répétition, le spectre énergétique mou, les sursauts courts et une localisation près d'un reste de supernova avec une émission de rayonnement X associée.

Nous avons peut-être ainsi identifié le tiers des magnétoiles de notre Galaxie, mais il est également possible que la théorie surestime légèrement le nombre d'objets de ce type en activité à un moment donné. En astrophysique, un résultat exact à un facteur trois près constitue déjà une approximation satisfaisante.

Des prédictions vérifiables sont souvent le talon d'Achille d'un modèle par ailleurs solide. Faute de prévisions, un modèle peut être impossible à vérifier, mais, dans le cas où des prédictions sont possibles, elles conduisent souvent à l'abandon du modèle, quand les observations les mettent en défaut. Jusqu'à présent, le modèle de la magnétoile a passé avec succès les tests qu'on a pu lui faire subir.

À mesure que le temps passera et que nous en apprendrons davantage sur ces étranges objets grâce à une instrumentation spatiale plus élaborée, nous devons peut-être ajuster la théorie pour incorporer de nouvelles données. Ce modèle constitue pour l'instant la meilleure explication d'une énigme astronomique vieille de vingt ans, en invoquant les champs magnétiques les plus intenses connus de l'Univers.

Kevin HURLEY est astronome à l'Université de Berkeley.

K. HURLEY et al., *Precise Interplanetary Network Localization of a New Soft Gamma Repeater SGR1627-41*, in *Astrophysical Journal Letters*, vol. 519, pp. L143, 1999.

K. HURLEY et al., *ASCA Discovery of an X-ray Pulsar in the Error Box of SGR1900+14*, in *Astrophysical Journal Letters*, vol. 510, pp. L111, 1999.

K. HURLEY et al., *A Giant Periodic Flare from the Soft Gamma Ray Repeater SGR1900+14*, in *Nature*, vol. 397, p. 41, 1999.

Réquisitoire contre les simulations nucléaires

CHRISTOPHER PAINE

Le remplacement des essais nucléaires par des simulations numériques a de nombreux inconvénients.

La première utilisation militaire de la bombe atomique, en août 1945, a fait 210 000 victimes à Hiroshima et à Nagasaki. Dans les décennies qui ont suivi, l'urbanisation croissante et l'accroissement de la puissance des armes thermonucléaires ont centuplé leur pouvoir destructeur : aujourd'hui, l'explosion d'une ou deux bombes nucléaires au-dessus de Bombay ou de Tokyo anéantirait 15 millions de personnes.

À la fin de la guerre froide, de nombreux pays ont négocié un traité qui interdit les essais nucléaires : le Traité d'interdiction totale des essais nucléaires limite les recherches sur la fabrication de nouveaux types de bombes, ainsi que les tests de validation des armes entreposées. À lui seul, ce traité ne peut empêcher la dissémination des armes nucléaires, mais il devrait ralentir la mise au point d'armes fondées sur les réactions de fusion.

Bien que l'enjeu soit la fin de la course aux armements nucléaires et une limitation de l'accès à l'arme nucléaire par les petits États guerriers, plusieurs pays tels que les États-Unis, la Russie, la Chine ou l'Inde n'ont toujours pas ratifié le traité. Les États-Unis, notamment, qui avaient naguère prôné le désarmement, sont en queue de peloton dans la lutte contre la prolifération nucléaire. Les signataires du traité examinent l'avancement d'une entrée en vigueur de celui-ci, mais les discussions sont entravées par les hésitations américaines.

Sous la conduite de Bill Clinton, l'armée américaine se déclare prête à envisager un avenir sans essais nucléaires, mais elle veut d'abord des armes perfectionnées. Afin d'évaluer

et de perfectionner l'arsenal nucléaire, le gouvernement et la majorité républicaine du Congrès américain soutiennent un «programme de gestion et de surveillance scientifique des arsenaux», qui associe, comme le programme français, des simulations numériques de pointe et de nombreuses expériences de laboratoire ; ce programme doit, selon ses partisans, donner aux États-Unis la capacité d'effectuer des simulations tridimensionnelles détaillées d'explosions nucléaires.

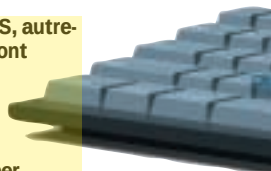
Une directive du Congrès, dissimulée dans une loi budgétaire de la défense, a créé ce programme en 1993. Le budget alloué est géré par le Bureau des programmes de défense du ministère de l'Énergie ; sur 15 ans, 420 milliards de francs devraient être dépensés. C'est près de trois fois le coût du Projet Manhattan (le projet de construction des premières bombes atomiques, lors de la Seconde Guerre mondiale) ou de la mission Apollo. Le gouvernement américain dit avoir besoin d'une capacité d'«expérimentation virtuelle» pour garantir le transport et l'entreposage des armes nucléaires en toute sécurité par temps de paix, et aussi pour connaître l'efficacité des armes qui seraient construites en cas de conflit.

Les essais virtuels remplaceraient, au moins partiellement, les explosions souterraines. Ils montreraient comment modifier les armes nucléaires pour changer leurs performances et pourraient servir à la mise au point d'armes nouvelles, qui pourraient être testées immédiatement en cas de sortie rapide du Traité d'interdiction des essais. Ce gros programme a clairement pour but d'apaiser des forces électorales qui s'opposent à l'interdiction des essais. Il

est risqué, car si ses objectifs ambitieux ne sont pas atteints, les opposants au traité auront de nouvelles raisons d'exiger le report de la ratification du traité jusqu'à ce que l'efficacité des simulations soit démontrée.

Même si le programme atteint ses buts, il est contestable à bien des égards. D'un point de vue diplomatique global, le lancement d'un programme d'essais virtuels fait perdre une occasion importante de désarmement : on se lance dans un nouveau programme militaire, au lieu de tendre vers un désarmement nucléaire global. Pourtant les États-Unis furent l'un des architectes principaux du traité, qui limitait à cinq le nombre de puissances nucléaires reconnues en échange de l'engagement pris par ces puissances de réduire leurs programmes nucléaires militaires. Avec le programme de surveillance, cependant, le ministère américain de l'Énergie cherche à accroître les capacités de conception d'armes nucléaires que l'interdiction des essais tente justement de contraindre. Pis encore, le programme risque de pousser les pays sans force nucléaire ni capacité de calcul à effectuer des essais nucléaires. Enfin il prône des collaborations, sur des thèmes stratégiques, entre les laboratoires militaires américains et la communauté scientifique internationale : autrement dit, le programme de surveillance accroît les risques de prolifération nucléaire.

1. LES ESSAIS NUCLÉAIRES, autrefois effectués sous terre, sont aujourd'hui interdits par un traité international. Plusieurs pays ont des programmes de simulation de ces essais à l'aide de superordinateurs et de lasers puissants.





Ordinateurs et laboratoires

Le ministère américain de l'Énergie a conçu le programme de surveillance pour éviter les essais nucléaires, mais il a simultanément donné aux États-Unis un moyen de réactiver ses laboratoires militaires. La communauté nucléaire des États-Unis, et ses alliés au Congrès, ont lutté contre l'interdiction des essais pendant toute la guerre froide, mais, en septembre 1992, le Congrès a finalement interdit les tests nucléaires, fixant le 30 septembre 1996 comme date limite des essais américains et comme début d'une négociation d'un traité international d'interdiction des essais. B. Clinton a prolongé deux fois le moratoire unilatéral américain et, en août 1995, il a pris la décision de chercher une «solution zéro» – une interdiction de toutes les explosions expérimentales, quelle que soit les réactions nucléaires utilisées. Cette année-là, les laboratoires américains de recherche sur les armes nucléaires – Los Alamos, Sandia et Lawrence Livermore – n'avaient plus effectué de tir expérimental depuis près de trois ans.

Les budgets alloués aux activités nucléaires militaires décroissaient depuis dix ans, et les personnels des arsenaux nucléaires pensaient à changer d'activité ; toutefois le programme de surveillance a relancé les activités. Le financement annuel, de 27 milliards de francs en moyenne, est aujourd'hui supérieur à ce que dépensait le ministère américain de l'Énergie (22 milliards de francs par an) pour l'armement pendant la guerre froide.

Le programme se fonde principalement sur trois superordinateurs, qui sont parmi les plus rapides du monde. Équipées de plusieurs milliers de microprocesseurs qui calculent en parallèle, ces machines font deux billions d'opérations par seconde. Le ministère américain de l'Énergie prévoit d'utiliser des ordinateurs 100 fois plus rapides en l'an 2005.

Ces ordinateurs traitent des données recueillies en laboratoire : une énorme infrastructure expérimentale indique le comportement des matériaux constitutifs des armes aux températures et aux pressions extrêmes, et les concepteurs d'armes nucléaires font des expériences coûteuses pour

vérifier leurs prévisions informatiques. Par exemple, comme on connaît mal les phénomènes qui ont lieu quand les rayons X issus de la fission explosive du premier étage d'une arme chauffent l'étage secondaire, où a lieu la fusion, un budget de 12 milliards de francs a été alloué à la construction de nouveaux laboratoires, telle l'Infrastructure américaine de fusion, au Laboratoire Lawrence Livermore. Quand cette installation fonctionnera (après 2005), des faisceaux laser puissants tenteront de produire une impulsion de rayons X possédant la forme et la durée nécessaires pour comprimer et chauffer uniformément une minuscule gouttelette gelée de deutérium et de tritium, fusionnant ces isotopes lourds de l'hydrogène selon des réactions observées dans les bombes nucléaires ou dans les étoiles.

Les risques de prolifération

Un programme de recherches aussi ambitieux favorise la prolifération. Tout d'abord, il est si hypocrite qu'il prive les États-Unis de tout crédit moral dans les discussions internationales : certains signataires du Traité d'interdiction des essais nucléaires ne respectent celui-ci que s'ils sont convaincus de la bonne foi américaine. D'autre part, des pays qui disposent déjà de l'arme nucléaire et qui n'auraient pas les moyens d'un programme analogue risqueraient de percevoir un déséquilibre stratégique et de se retirer du traité.

Selon les partisans du programme d'essais virtuels, les objectifs visés ne seront atteints qu'au prix d'une collaboration renforcée entre les spécialistes des armes nucléaires et la communauté scientifique. En l'absence d'explosions expérimentales pour valider les performances des armes, des expertises scientifiques s'imposeront, et des arbitrages nécessiteront probablement l'intervention de chercheurs de la recherche civile.

D'ailleurs, le programme actuel prévoit une intervention de la communauté scientifique bien plus vaste que de simples évaluations ou que des présentations occasionnelles, lors de réunions : l'embauche de scientifiques de haut niveau semble être la condition du succès de l'opération. Financés par des subventions quinquennales s'élevant à plusieurs



Randy Montoya, Sandia National Laboratories

2. PLUSIEURS MILLIERS DE PROCESSEURS fonctionnent en parallèle dans ce superordinateur qui est utilisé pour la simulation des explosions nucléaires, aux Laboratoires Sandia. L'ordinateur est l'un des plus rapides du monde (le technicien représenté ici vérifie les câbles qui relient deux des huit blocs de l'ordinateur).