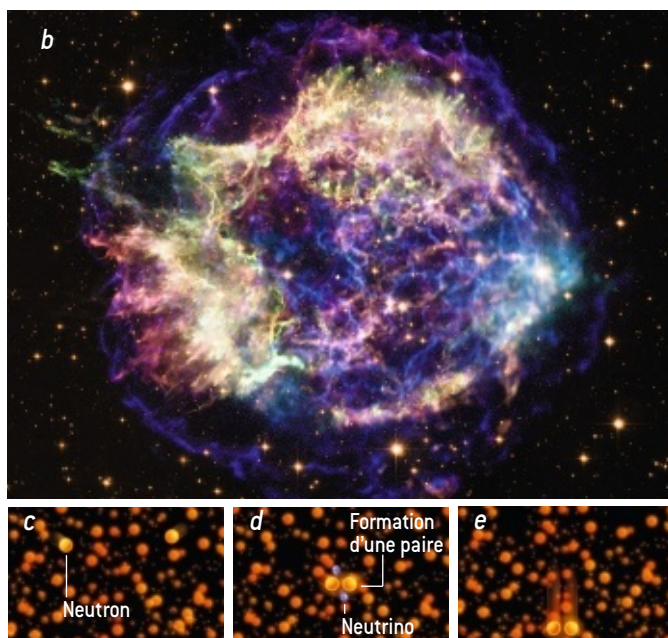
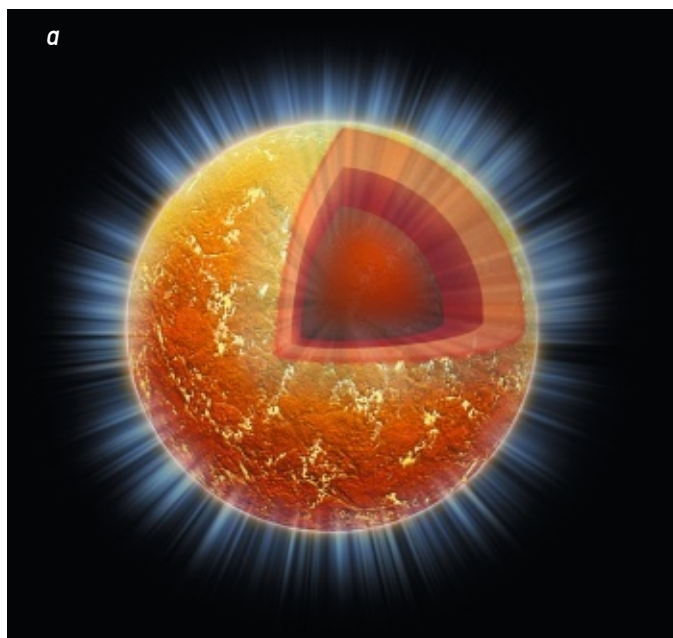


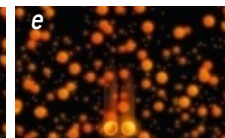
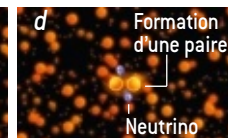
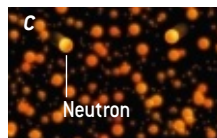
Astrophysique

Un cœur superfluide dans les étoiles à neutrons

Le refroidissement rapide d'une jeune étoile à neutrons s'expliquerait par la transition de son cœur vers une phase superfluide.



Rayons X: NASA/CXC/UNAM/Ioffe/D. Page, P. Shternin et al.; Optique: NASA/STScI



NASA/CXC/M. Weiss

Une étoile à neutrons (*a, vue d'artiste*) présente des couches de densité de plus en plus élevée, de la croûte (*en orange*) au noyau interne (*en rouge foncé*). Cassiopee A, distante de 11 000 années-lumière, est le vestige d'une étoile massive ayant explosé entre 1667 et 1680 (*b, image qui superpose des vues en rayons X et en lumière visible*). Elle abrite en son centre une étoile à neutrons, et le cœur de cet astre serait superfluide. La formation de cette phase (*c, d, e*) suppose un appariement des neutrons, avec émission de neutrinos. Ces particules, qui interagissent très peu, évacueraient efficacement l'énergie du cœur de l'étoile (*a, rayons bleutés*). Cela expliquerait le refroidissement rapide de l'étoile.

La superfluidité est un état de la matière étonnant, où la viscosité du fluide est nulle et sa conductivité thermique infinie. En laboratoire, l'hélium, refroidi à une température proche du zéro absolu, devient superfluide. Selon les calculs menés indépendamment par deux équipes d'astrophysiciens, conduites par Dany Page, de l'Université de Mexico, et par Peter Shternin, de l'Institut Ioffe à Saint-Petersbourg, le cœur des étoiles à neutrons serait également dans un état superfluide.

Les étoiles à neutrons sont des résidus d'étoiles ayant explosé en supernova. Ce sont les objets les plus denses connus: de l'ordre de un milliard de tonnes par centimètre cube. La pression y est telle que les électrons fusionnent avec les protons, formant des neutrons. L'intérieur est ainsi une soupe de noyaux riches en neutrons, de protons et de neutrons libres, ces derniers étant de plus en plus

majoritaires à mesure que l'on s'approche du centre de l'étoile.

Dans quel état est cette matière exotique? Les données du satellite à rayons X *Chandra* concernant la jeune étoile à neutrons située au centre de Cassiopee A, le vestige d'une supernova qui a explosé il y a environ 330 ans, montrent une diminution rapide de la température de l'astre, de l'ordre de quatre pour cent sur les dix dernières années.

Selon les deux équipes, ce refroidissement très rapide ne peut s'expliquer par la dissipation thermique de la région superficielle de l'étoile. D'après leurs calculs, ce serait le résultat d'une transition vers une phase superfluide des neutrons dans le noyau de l'étoile. En effet, la superfluidité peut être décrite par un modèle analogue à celui de la supraconductivité (la théorie BCS), où des particules identiques s'associent deux à deux pour former des « paires de Cooper ». Dans le

cas d'un fluide de neutrons, la formation d'une paire s'accompagne de l'émission de deux neutrinos. Ces particules, qui interagissent très peu avec la matière, évacuent efficacement l'énergie de l'intérieur de l'étoile.

D'après les astrophysiciens, la rapidité du refroidissement implique que les protons résiduels sont aussi dans un état superfluide. Comme ils portent une charge électrique, ils forment un milieu matériel supraconducteur.

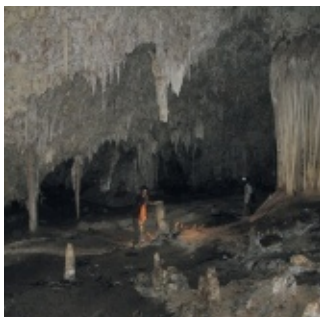
Le modèle de D. Page et ses collègues leur a permis d'estimer la température critique (très difficile à calculer directement) au-dessous de laquelle les neutrons deviennent superfluides: entre 500 millions et un milliard de degrés. La température critique des protons serait plus élevée encore.

→ Philippe Ribeau-Gésippe

Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, vol. 411(3), pp. 1977-1988, 2011;
Phys. Rev. Lett., vol. 106, 081101, 2011

Préhistoire

Madagascar habitée il y a 4 000 ans ?



D. Gommery-MAPPM & CNRS



Peuplée au I^{er} millénaire de notre ère, l'île de Madagascar était censée avoir été abordée pour la première fois entre 400 et 200 avant notre ère. Une équipe du CNRS et de l'Université malgache de Mahajanga, menée par Dominique Gommery, a découvert les traces d'un repas pris par des hommes quelque 2000 ans avant notre ère : des os d'une espèce aujourd'hui disparue d'hippopotames nains, qui portent de nombreuses traces de découpe (ci-contre, en bas) sur les zones d'attaches musculaire et tendineuse. Ils ont été trouvés dans la grotte d'Anjohibe (ci-contre), au Nord-Ouest de la Grande île, donc à proximité des deux voies les plus courtes pour une colonisation humaine : celle du Nord-Ouest passant par les Comores (colonisation d'origine africaine) et celle du Nord-Est (colonisation d'origine asiatique). Cette découverte indique que l'homme a cohabité avec la grande faune disparue de l'île, puisqu'il en a consommé l'une des espèces. Or l'extinction il y a quelques millénaires de ces grands vertébrés, notamment de grands lémurins, est inexplicable. L'homme aurait-il joué un rôle ?

→ Maurice Mashaal

D. Gommery et al., Comptes Rendus de l'Académie des Sciences (série Palevol), à paraître, 2011

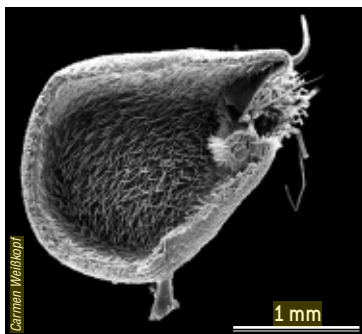
Biophysique

La plante carnivore la plus rapide du monde

On a élucidé les mécanismes du piège ultrarapide d'une plante aquatique carnivore.

Drame dans la mare. La larve d'insecte s'approche d'une feuille anodine quand soudain, après avoir touché l'un de ses poils, elle est aspirée et se retrouve enfermée dans une outre – la feuille s'est gonflée – où des enzymes digestives sont déjà en action. La capture a duré moins de une milliseconde. La plante en question est l'utriculaire, une plante carnivore commune dans les marais. Philippe Marmottant, du Laboratoire interdisciplinaire de physique (CNRS), à l'Université Joseph Fourier, à Grenoble, et ses collègues ont dévoilé le mécanisme de ce piège foudroyant.

Ils ont enregistré à l'aide d'une caméra ultrarapide les mouvements en jeu dans la brusque aspiration. Les images révèlent un processus de flambage de la porte qui ferme hermétiquement, au repos, l'entrée de l'outre : lorsque les poils sensitifs déclenchent la capture, le clapet, bombé vers l'extérieur, inverse sa courbure et, ce faisant, s'ouvre en un instant (l'eau



Carmen Weidkopf



Olivier Vincent et al.

Le piège, nommé utricule, de l'utriculaire (*Utricularia vulgaris*) et une coupe longitudinale (à gauche) de ce piège vue au microscope électronique à balayage. Armé, le piège est plat et emmagasine de l'énergie élastique.

et la proie sont aspirées). Auparavant, des petites glandes ont évacué, en une heure environ, l'eau de l'intérieur du piège vers l'extérieur, créant ainsi une dépression qui se traduit par un aplatissement de la feuille et par le stockage d'énergie élastique dans les parois.

Un modèle numérique a décrit les deux phases du piège : d'une part, l'expulsion lente et active de l'eau et, d'autre part, l'aspiration passive et rapide. Ce modèle com-

bine la description des parois du piège sous la forme d'un maillage triangulaire dont les éléments sont définis par leur tension et leur courbure, et le calcul de l'évolution temporelle de la position de chaque sommet des mailles. Les simulations obtenues sont en accord avec les enregistrements vidéo.

→ Loïc Mangin

O. Vincent et al., Proc. of the Roy. Soc. of Lond. B, sous presse, 2011 ; M. Joyeux et al., Physical Review E, sous presse, 2011

En bref

HIBERNER AU CHAUD

On pensait que pendant l'hibernation, le métabolisme de l'ours noir américain (*Ursus americanus*) diminuait d'environ 50 pour cent quand sa température baissait de 10°C. Mais des biologistes de l'Université de l'Alaska ont montré que la température de l'animal ne passe que de 37°C à 32°C, tandis que sa consommation d'oxygène, par exemple, baisse de 76 pour cent. Ainsi, chez les ours noirs, le métabolisme baisse proportionnellement beaucoup plus que la température.

L'ILLUSION DU DEMI-SHIVA

Des neurologues ont réussi à créer l'illusion d'avoir trois bras ! Des individus, assis à une table, avaient à leur droite la prothèse d'un membre entier : ils voyaient donc trois bras. Les expérimentateurs caressaient les deux « mains droites » de la même façon, de sorte que le cerveau était face à un conflit : « Quelle main droite est touchée ? » La solution passerait par l'acceptation du membre factice comme sien. Pour preuve, menacer avec un couteau la main en plastique ou la vraie entraîne une sudation identique.

SOLIDE PARADOXAL

Les cristaux de monohydrate de méthanol, mélange à parts égales d'eau (H₂O) et de méthanol (CH₃OH), sont singuliers : une équipe anglo-française a établi qu'en chauffant l'échantillon sous pression atmosphérique, il se dilate beaucoup dans une direction et se contracte dans les deux autres. Mais si on le chauffe en lui appliquant une pression, l'échantillon se dilate dans deux directions et se contracte dans la troisième. Des propriétés dues à son architecture moléculaire.