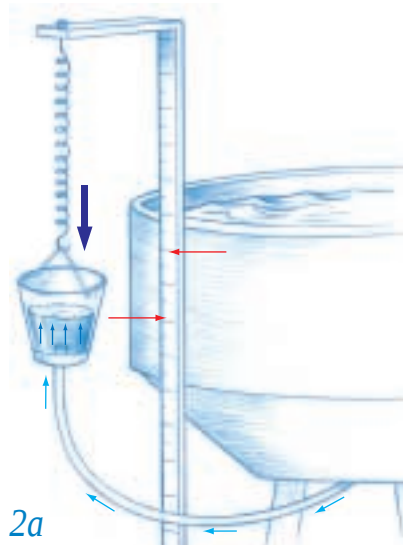
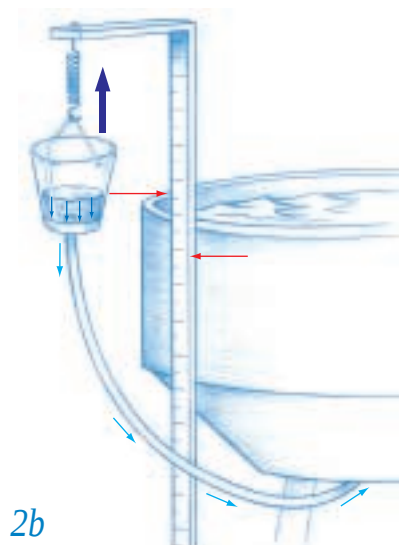


Dessins de Bruno Vacaro



suffisamment mou, la descente du seau est supérieure à la montée de l'eau dans le seau. Si un grand réservoir alimente un seau suspendu dont le niveau absolu initial est plus bas que celui du réservoir, l'eau s'écoulera du réservoir vers le seau en raison du principe des vases communicants. L'alourdissement continu du seau abaissera continuellement le niveau absolu de l'eau qu'il contient, bien qu'il se remplisse de plus en plus (voir la figure 2a). De même, lorsque son niveau absolu initial est supérieur à celui du réservoir, le seau se vide dans le réservoir et son niveau absolu ne cesse d'augmenter (voir la figure 2b).

Ainsi, notre seau suspendu à un ressort est de capacité volumique négative : le niveau absolu de l'eau diminue lorsque l'on ajoute de l'eau et il augmente lorsque l'eau s'en écoule. De surcroît, le système est instable, car cette tendance n'est jamais contrée.



Comment stabiliser de tels systèmes ? En remplaçant le grand réservoir par un réservoir de plus petite section. Lorsque le niveau initial du seau est inférieur à celui du réservoir, l'eau s'écoule du réservoir vers le seau et le niveau absolu dans le seau diminue. Toutefois, en raison de sa faible section, le niveau dans le réservoir diminue plus vite que celui du seau et un équilibre est atteint (voir la figure 3a). De la même façon, un équilibre est atteint lorsque le niveau initial du seau est supérieur à celui du réservoir (voir la figure 3b). Le réservoir de faible section a une capacité volumique positive, inférieure en valeur absolue à la capacité volumique du seau.

NOUVEL APPORT D'ÉNERGIE

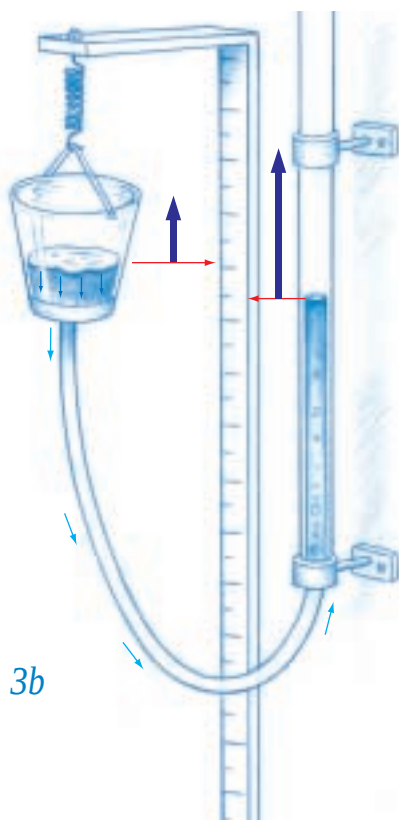
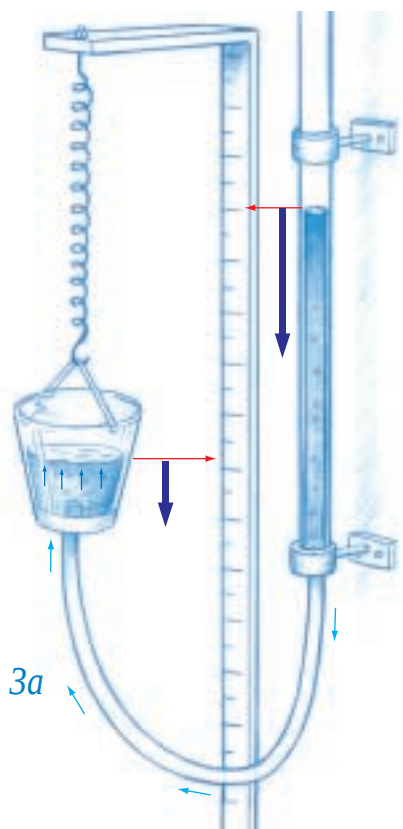
À mesure que le Soleil se contracte, la température des régions centrales augmente. À l'instar de notre seau suspendu à un ressort et relié à un grand réservoir,

la contraction et l'augmentation de température se poursuivraient indéfiniment s'il n'existait un mécanisme de stabilisation : au-delà d'une température et d'une densité critique, les réactions de fusion de l'hydrogène en hélium démarrent. Le cœur du Soleil, où les réactions nucléaires produisent de l'énergie, est le réservoir de faible section de notre analogie, le système de capacité calorifique positive.

L'énergie engendrée par ces réactions stoppe la décroissance de l'énergie totale en compensant l'énergie rayonnée. La contraction s'arrête et la température est stabilisée. En cas d'emballement des réactions nucléaires, le Soleil se dilate, donc se refroidit, ce qui modère le taux de production d'énergie nucléaire. Inversement, si la production d'énergie nucléaire se tarit par manque de combustible, la contraction induite réchauffe le cœur et démarre un nouveau cycle de fusion brûlant les cendres du précédent. L'étoile est en équilibre stable. Lorsque le combustible nucléaire est épuisé, l'étoile redevient instable et son destin ultime dépend de sa masse ; des phénomènes quantiques entrent alors en jeu.

Une étoile est un astre autogravitant dont la masse est suffisante pour déclencher des réactions de fusion nucléaire : la limite inférieure de la masse d'une étoile est d'environ 0,2 fois la masse du Soleil. Pour des masses inférieures, la contraction n'est pas suffisante pour que les réactions nucléaires se déclenchent, car la pression quantique, due au fait que les électrons ne peuvent tous être dans le même état quantique, bloque la contraction et l'élévation de température.

À l'issue de ce voyage dans le fonctionnement du Soleil, on aboutit à la définition canonique d'une étoile : un réacteur nucléaire confiné et régulé par sa propre gravitation dont la masse est comprise entre 0,2 et 100 fois la masse du Soleil. Sans l'apport d'énergie des réactions nucléaires, notre Soleil ne brillerait qu'une vingtaine de millions d'années ; finalement, le plus surprenant n'est pas que le Soleil brille, mais bien qu'il ait brillé pendant plus de 4,5 milliards d'années.



Roland LEHOUCQ est astrophysicien au Service d'astrophysique du CEA.

J. AUDOUZE et **J.-P. CHIÈZE**, *Enquête sur l'Univers*, Nathan, 1990.

L. M. CELNIKIER, *Basics of Cosmic Structures*, Éditions Frontières, 1989.

M. NAUENBERG et **V. WEISSKOPF**, *Why Does the Sun Shine ?*, in *American Journal of Physics*, vol. 46, pp. 23, 1978.