

Brocolis pour astronautes

Lors des vols spatiaux, les astronautes manquent de vitamine K : cette déficience dans leur sang fragilise leurs os. Une équipe de l'Université de Saint-Étienne a étudié le cas de deux cosmonautes qui avaient séjourné à bord de la station spatiale *Mir* : elle a découvert que, faute de vitamine K, une protéine nommée ostéocalcine ne se liait plus aux constituants minéraux des os, dont la croissance s'arrêtait. L'étude du métabolisme de la vitamine K révélera s'il est perturbé par les vols spatiaux ou si le régime des astronautes ne contient pas assez de cette vitamine. Dans le second cas, on pourrait leur donner du brocoli, où la vitamine K est abondante.

Le dilemme du Higgs

De toutes les particules du modèle standard de la physique des particules, le boson de Higgs est sans doute celle qui se fait le plus désirer. Les résultats collectés depuis six mois grâce au LEP, l'anneau de collision du CERN, à Genève, font enfin soupçonner l'existence de

cette particule. Les dirigeants du CERN envisageaient de fermer le LEP pour construire le LHC, un appareil dédié à la recherche du

boson de Higgs, mais qui ne fonctionnera pas avant 2006. Le 13 septembre, ils ont préféré repousser la fermeture du LEP afin de transformer le soupçon en certitude : « Nous ne voulons pas rester dans l'histoire comme les scientifiques qui ont raté le Higgs » a déclaré le physicien Tiziano Camposi, responsable de l'une des expériences.

Des abeilles métalliques

Utiliser des abeilles pour contrôler la pollution de l'environnement : c'est une idée développée par des chimistes de l'Université de Moscou. Ils ont constaté que les abeilles, en butinant les fleurs, accumulent les métaux lourds contenus dans celles-ci. En fin de vie (environ 32 jours), les abeilles ont en moyenne accumulé 24 milligrammes de métaux lourds par kilogramme de masse corporelle... et la quantité de mercure ingérée par les abeilles du centre de Moscou est sept fois supérieure à celle des abeilles de la périphérie. Le miel, lui, n'est pas contaminé : les animaux agissent comme un filtre.

Laser aléatoire

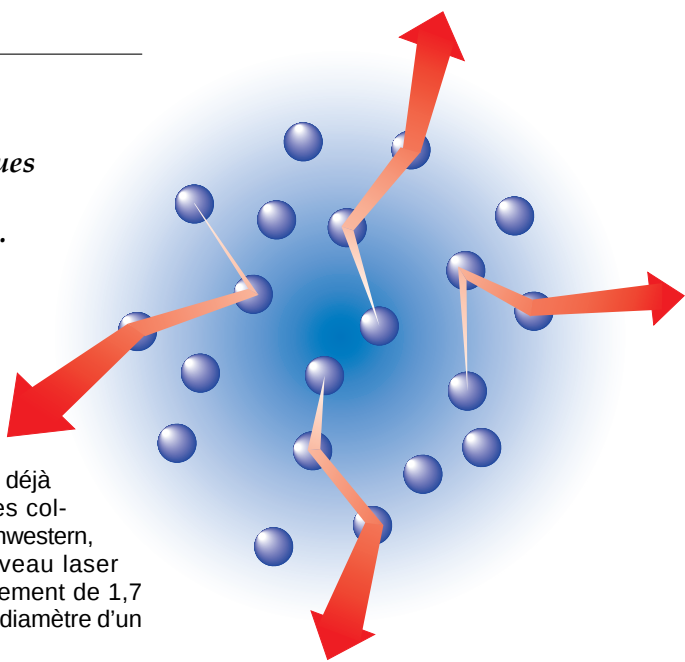
Des agrégats atomiques dispersés au hasard amplifient la lumière.

Les plus petites sources lumineuses connues sont les lasers. Ceux des lecteurs de disques compacts ont quelques millimètres de diamètre. C'est déjà petit, mais Hui Cao et ses collègues, de l'Université Northwestern, ont mis au point un nouveau laser dont le diamètre est seulement de 1,7 micromètre, le dixième du diamètre d'un cheveu humain !

Ce microlaser se distingue des lasers classiques par son mode de fonctionnement. Tout laser comporte un matériau « actif » dont les atomes, les ions ou les molécules sont excités par les photons d'une lampe flash. Celle-ci leur délivre de l'énergie, qu'ils perdent ensuite en émettant des photons à une énergie correspondant à une transition entre deux niveaux d'énergie des éléments constitutifs ; ces photons induisent des transitions dans d'autres atomes, ions ou molécules, et l'émission lumineuse ainsi stimulée est enrichie de ces nouveaux photons. Le matériau actif est placé entre deux miroirs : l'un est parfaitement réfléchissant, l'autre – le miroir de sortie – transmet partiellement la lumière. Une partie des photons émis est réfléchi par le miroir de sortie et rebrousse chemin, en sens inverse, le matériau actif, ce qui engendre une nouvelle émission de photons. Le nombre de photons dans la cavité croît rapidement, et la lumière est amplifiée. La petite proportion de photons qui traverse le miroir de sortie forme un faisceau unidirectionnel et très puissant : le laser.

Dans le nouveau laser, le va-et-vient entre les miroirs est remplacé par de multiples diffusions dans un milieu désordonné. Bien que les effets de la diffusion multiple soient couramment observés – le lait ou le brouillard doivent leur aspect « laiteux » à ce phénomène –, on connaît encore mal le comportement de la lumière dans de tels milieux. Toutefois, on sait que, quand on envoie de la lumière dans un milieu désordonné, elle peut rester « piégée » dans ce milieu, le temps nécessaire à son amplification.

Dans le microlaser, les photons sont injectés par un flash et sont diffusés des centaines de fois par des nanocristaux d'oxyde de zinc, répartis au hasard dans une matrice de matériau transparent. À



De petits cristaux d'oxyde de zinc (sphères violettes) sont répartis dans un matériau transparent. Des photons émis par un flash pénètrent dans cette petite zone et diffusent sur les cristaux. À chaque diffusion, d'autres photons sont émis par émission stimulée jusqu'à ce que la lumière laser s'échappe sous forme d'un faisceau omnidirectionnel de fréquence unique, la fréquence correspondant à la transition électronique dans le matériau.

chaque diffusion, les photons excitent des atomes et engendrent une nouvelle émission de photons. Avec un tel système, la longueur d'onde de la lumière émise est précise, mais, contrairement au laser classique, la lumière est envoyée dans toutes les directions.

À quelles conditions un tel laser fonctionne-t-il ? Le « gain », qui dépend de la durée de résidence des photons dans le milieu, doit être supérieur aux pertes, dues à la sortie des photons. Si l'on suppose que l'ensemble des particules forme une sphère, le gain est proportionnel au nombre de collisions, donc au volume, c'est-à-dire au cube du rayon de la sphère, et les pertes sont proportionnelles à la surface, soit au carré du rayon. Ainsi, les pertes sont supérieures au gain à partir d'un rayon limite. Ce rayon limite peut être petit : le laser de H. Cao fonctionne avec une cavité de moins de deux micromètres de rayon.

À quoi sert un laser qui n'est pas unidirectionnel ? La lumière émise par ce système, placée dans un fluide, permettrait de contrôler son écoulement. Il permettrait aussi d'identifier des documents ou des matériaux : la présence d'un tel microlaser dans la pièce à authentifier serait révélée par la lumière qu'il émet en réaction à l'éclairement à une longueur d'onde appropriée, éventuellement invisible à l'œil.

Claire CHAUFOR

Chronique d'une noyade annoncée

Bâtiments publics, nécropoles, résidences ornées de riches mosaïques... La cité de Zeugma a été noyée par l'Euphrate et dans le chagrin.

En Turquie, non loin de la frontière syrienne, les deux cités antiques de Séleucie-Zeugma et d'Apamée se font face, de part et d'autre de l'Euphrate, en amont du nouveau barrage de Birecik. Apamée et ses alentours ont disparu en juin dernier sous les eaux du lac de retenue, en même temps qu'une cinquantaine d'autres sites archéologiques. Après un répit de trois mois pendant lequel les ingénieurs ont testé le fonctionnement du barrage, les eaux montent à nouveau : 20 pour cent du site de Zeugma sera bientôt englouti.

Depuis cinq ans, à l'initiative de Pierre Leriche (CNRS, ENS), la mission franco-turque de Zeugma-moyenne a fouillé les deux villes : l'une de leurs plus belles découvertes est une résidence romaine qui compte une quinzaine de salles décorées de mosaïques.

Fondées à la fin du IV^e siècle avant notre ère par le roi Séleucos I^{er}, ces deux villes deviennent une étape importante sur la route de la soie, qui relie la Méditerranée à l'Orient. Elles contrôlaient les caravanes et les convois militaires qui traversent l'Euphrate, probablement sur des bacs ou sur un pont de bateaux reliés par des câbles jetés entre les deux rives.

De nombreux historiens et géographes de l'Antiquité, tels Pline, Strabon et Ptolémée, ont cité la ville de Séleucie-Zeugma, florissante à l'époque romaine. À partir du I^{er} siècle, le passage de l'Euphrate devient si célèbre que Séleucie est renommée Zeugma, qui signifie « pont » en grec.

Pendant ces cinq dernières années, les archéologues ont fouillé les zones qui allaient être englouties. Ils ont retrouvé quelques gros blocs architecturaux qui renforçaient les berges, mais les autres aménagements liés à la présence du passage sur l'Euphrate avaient disparus dans le cours du fleuve. À Apamée, l'emploi des méthodes modernes de prospection magnétique et électrique a révélé un plan d'urbanisme en damier, typiquement hellénistique, et une enceinte en dents de scie. Les fouilles indiquent un brusque déclin, à partir du I^{er} siècle avant notre ère, à cause de l'affrontement entre les Romains et les Parthes. Toutefois, on relève encore des traces d'occupation partielle dans la ville jusqu'au VIII^e siècle.

Zeugma et ses trois grandes nécropoles s'étagent sur des terrasses à flanc de collines de calcaire tendre. Dans les deux nécropoles menacées par la montée des eaux, les archéologues ont étudié 300 tombes et hypogées (chambres funéraires collectives creusées dans le rocher) de l'époque romaine, notamment l'architecture, les décors peints, les inscriptions des stèles funéraires et les reliefs creusés dans la façade des tombes. Dans la ville elle-même, deux grandes places romaines avec leur système d'adduction et d'évacuation des eaux ont été mises au jour, ainsi que le bâtiment des archives du sénat.

La découverte la plus spectaculaire du site de Séleucie-Zeugma est une résidence romaine, dont toute la structure, ainsi que le décor de mosaïques et de peintures murales sont remarquablement conservés. En octobre 1999, les archéologues ont découvert une très grande mosaïque, composée de deux panneaux aux motifs géométriques et de deux panneaux figurés. L'un repré-



sente Dionysos sur son char tiré par des tigresses, accompagné d'une bacchante et de la Victoire, le second, la légende de Pasiphaé. Sa qualité technique égale les plus belles réalisations d'Antioche, par la finesse des tesselles (les petits cubes de matière dure qui la constituent), la variété des coloris, la présence de pâte de verre, le réalisme de l'architecture et des personnages représentés. L'œuvre, datée de la fin du II^e ou du début du III^e siècle, constituait le pavement du triclinium (la salle à manger).

Puis, au cours de l'hiver 1999, 14 salles ornées de mosaïques et de peintures murales ont été découvertes. La résidence comporte trois ailes. Celle du centre correspond aux appartements de réception. Outre le grand triclinium, elle comprend un impluvium (une petite cour ornée d'une fontaine) et un cubiculum, où figure une représentation d'Éros, cernée par un très beau rinceau (des volutes formées par des feuillages). Les murs sont recouverts de peintures en trompe-l'œil, imitant le marbre, comme à Pompei. Au centre de la cour, Poséidon trône sur son char entouré d'animaux marins. Presque toutes les pièces en enfilades des ailes Est et Ouest sont décorées de fresques. La cour orientale abritait des cuisines bien conservées : on y a retrouvé des jarres, des puits, des plans de travail avec foyers et repose-plats. Enfin la cour occidentale a livré une statue candélabre d'éphèbe casqué en bronze et des centaines de pièces de monnaie.

Avant la montée des eaux, les archéologues ont détaché les mosaïques et les fresques des murs et du sol. Ils ont pris les empreintes d'une partie des reliefs de la façade la mieux conservée des nécropoles de Zeugma et celle d'une des inscriptions funéraires d'Apamée. Aujourd'hui, les fouilles se poursuivent dans les parties hautes de Zeugma et dans la nécropole Sud, qui resteront au-dessus de la surface du lac. Ces secteurs devraient réserver de belles découvertes, car ils sont les plus riches de la ville en bâtiments publics.



L'une des mosaïques de la résidence romaine découverte à Zeugma, que les archéologues ont détachées des murs et du sol pour les sauver des eaux.

Trous noirs galactiques

Les trous noirs et les galaxies seraient liés dès leur formation.

L'explication de l'évolution des étoiles est l'un des grands accomplissements scientifiques du xx^e siècle. Malgré l'étonnante variété de ces objets, toutes les étoiles traversent le même type de cycles, résultats de l'effet combiné de quelques mécanismes fondamentaux, tels l'effondrement gravitationnel ou la fusion nucléaire. Aujourd'hui, les astronomes sont sur le point d'unifier notre connaissance des galaxies. De la Voie lactée aux lointains quasars des confins de l'espace connu, toutes les galaxies connaissent les mêmes phénomènes : les interactions galactiques, et, selon les derniers résultats, l'action de trous noirs supermassifs.

Les trous noirs sont connus pour leur pouvoir destructeur «étoilophage», mais leur potentiel créateur n'est apparu que progressivement. Dans les années 1960 et 1970, la mesure de l'énergie émise par les quasars indiquait que des trous noirs massifs se trouvaient en leur centre : seuls ces monstres de millions, voire de milliards de masses solaires, pouvaient fournir suffisamment d'énergie pour expliquer la luminosité des quasars. Dans les années 1980, les astrophysiciens invo-

quent ces trous noirs géants pour rendre compte de l'énergie de toutes sortes de galaxies anormalement lumineuses. Grâce à des observations conjointes du Télescope *Hubble* et d'interférométrie radio à très longue base, les astronomes ont découvert que les étoiles et les nuages interstellaires situés près du centre de nombreuses galaxies se déplaçaient anormalement vite, comme si la gravité d'un astre géant et invisible les entraînait.

Les astronomes supposent que cet astre est un trou noir supermassif, même si d'autres objets plus prosaïques (des amas denses d'étoiles) ou exotiques (des boules de neutrinos) n'ont pas été écartés. Le nombre de ces trous noirs supermassifs s'élève aujourd'hui à 34 et deux tendances ont émergé. D'abord, ces trous noirs n'apparaissent pas seulement dans les quasars et affiliés, mais dans des galaxies normales. La seule contrainte semble être une forme elliptique : soit une galaxie elliptique, soit un bulbe dans une galaxie spirale, comme la Voie lactée. Ensuite, le trou noir a une masse d'environ 0,15 pour cent de celle de son hôte elliptique, galaxie ou bulbe galactique.

Une troisième caractéristique vient d'être annoncée par deux équipes américaines qui ont remarqué que la masse du trou noir dépendait de la vitesse moyenne des étoiles à l'intérieur de leur hôte elliptique, même dans les régions situées au-delà de l'influence directe du

trou noir. La corrélation entre vitesse et masse est si parfaite qu'on a l'impression que chaque trou noir est «taillé» pour son hôte. Quel mécanisme a-t-il pu produire pareille corrélation ? Le trou noir est-il apparu d'abord, ce qui a déterminé la masse de l'ellipsoïde ?

Selon John Kormendy, de l'Université du Texas, la masse de trou noir ne dépend pas seulement de la masse de l'ellipsoïde, mais aussi de sa taille : plus l'ellipsoïde est petit, plus les étoiles se meuvent rapidement. Pour obtenir un trou noir supermassif, une galaxie ou un bulbe galactique doit, en plus d'être très massif, être particulièrement petit et dense. En d'autres termes, la masse du trou noir est déterminée par ce qui fixe la taille du bulbe. On pense que cette taille est fixée au cours de la formation du bulbe ; lorsque le gaz s'est condensé en étoiles, la taille est fixée. Ainsi, ni le trou noir ni le bulbe ne naissent en premier : ils se développent ensemble, limités par la quantité de matériau disponible.

Cette nouvelle corrélation corrobore la théorie selon laquelle les quasars sont des trous noirs et des bulbes en interactions. Les épisodes d'interactions, pas toujours aussi intenses que ceux des quasars, seraient alors des moments normaux de la vie de la plupart des galaxies, engendrés par des interactions ou des coalescences avec d'autres galaxies. La phase de quasar coïnciderait avec l'époque de naissance des premières étoiles dans le bulbe. Ensuite, certaines galaxies s'aplatiraient, comme celle dans laquelle nous nous trouvons. D'autres galaxies naîtraient en tant que disques et acquerraient ensuite un bulbe et un trou noir.

Certains astronomes estiment que ce scénario contredit les observations selon lesquelles un intervalle de temps important existe entre le moment où l'activité de quasar démarre et celui de formation des premières étoiles. En tout cas, personne ne sait encore comment se crée le «germe» de trou noir qui grossit ensuite dans de telles proportions. On ignore aussi comment le matériau tombe sur le trou noir ou comment le monstre arrête de dévorer les alentours.

Afin d'améliorer les données, les astronomes testent la corrélation aux points faibles de la théorie : les galaxies massives et celles de faibles masses. De nombreux instruments continueront d'étudier les trous noirs au centre des galaxies et, dans les prochaines décennies, de nouveaux satellites, comme le NGST, successeur du Télescope spatial, étudieront les toutes premières galaxies. D'ici là, les trous noirs auront peut-être perdu leur réputation d'objets étranges.



Le trou noir, au cœur de la galaxie d'Andromède, a une masse équivalente à 30 millions de fois celle du Soleil. L'observatoire de rayons X Chandra a repéré des spirales de gaz englouties (flèches dans le cartouche ci-contre).

NASA, S. Murray et M. García