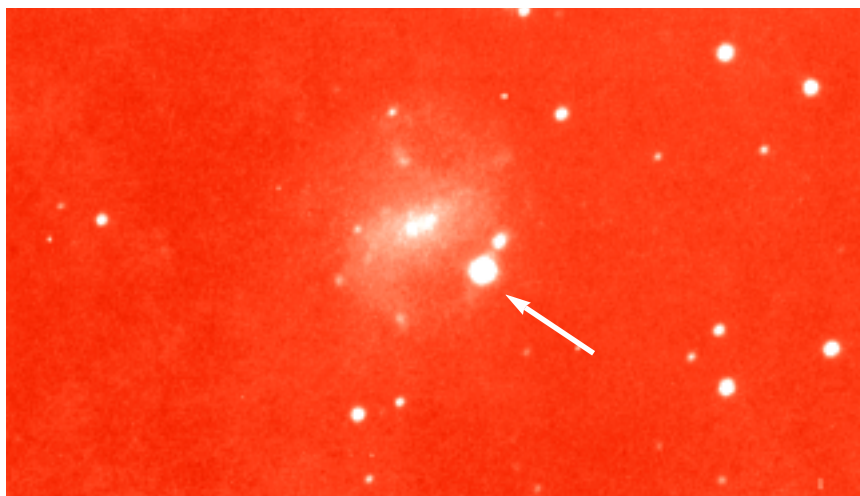


au centre. Les sursauts émanent de régions de faible densité ; pourtant, leur énergie résulte d'événements cataclysmiques qui se produisent dans des régions denses, dont la taille est inférieure à 100 kilomètres : sinon ils n'émettraient pas de sursauts si brefs. Ces deux impératifs indiquent un scénario en deux étapes : production d'énergie, suivie de l'émission du rayonnement gamma.

La seconde étape a été expliquée par Martin Rees, de l'Université de Cambridge, et par Peter Mészáros, de l'Université de Pennsylvanie. Un jet de rayonnement et d'électrons, émis à une vitesse proche de celle de la lumière, ne serait pas gêné par les débris de la supernova. Après que cette boule de feu a grossi, des ondes de choc produites par l'interaction avec le gaz environnant déclencheraient l'émission du rayonnement gamma ; plus tard, des collisions avec le milieu interstellaire produiraient l'émission rémanente observée.

D'où provient ce jet énergétique ? Deux scénarios s'opposent : l'un met en jeu la coalescence de deux étoiles à neutrons, ou d'une étoile à neutron et d'un trou noir, l'autre suggère une supernova d'un type particulier qui se produit avec une étoile très massive, une hypernova. Malgré les affirmations initiales de nombreux observateurs, l'intensité des sursauts ne suffirait pas à discriminer entre ces deux hypothèses, car elles aboutissent toutes deux au même type d'objet :



TITUS J. GALAMA European Southern Observatory

Une supernova inhabituelle est apparue (flèche) juste après qu'un sursaut gamma a été détecté. Les deux événements sont vraisemblablement liés.

un trou noir entouré d'un disque de débris.

De surcroît, ces deux modèles laissent sans réponse des questions lancinantes : qu'est-ce qui déclenche la boule de feu ? Le rayonnement est-il émis dans des jets collimatés, ou uniformément ? L'analyse de la position des sursauts dans les galaxies apporterait un premier élément de réponse : les étoiles à neutrons errent sur de grandes distances avant de coalescer, tandis que les étoiles très massives brûlent leur carburant très vite et finissent en hypernova sur le lieu même de leur naissance. Ainsi, des sursauts qui se produiraient près des régions de for-

mation d'étoiles, comme certaines observations le suggèrent, privilégieraient l'hypothèse des hypernovae.

La diversité des sursauts enregistrés laisse penser que plusieurs modèles coexistent. Cependant, les sursauts gamma engendrés par des hypernovae sont particulièrement intéressants d'un point de vue cosmologique, car ils permettraient de sonder les régions de formation d'étoiles des galaxies lointaines : comme ces régions sont généralement dans des cocons de poussières opaques, les sursauts y produiraient des éclairs décelables à de très grandes distances.

Du nouveau pour nos poumons

Des gaz aimantés pour voir l'intérieur des poumons.

L'imagerie par résonance magnétique, ou IRM, outil de diagnostic utilisé dans les hôpitaux depuis une quinzaine d'années, n'est pas adaptée à l'examen des poumons. Une nouvelle méthode, qui combine l'inhalation de gaz polarisés et leur visualisation par résonance magnétique nucléaire, comble cette lacune.

Les protons (les noyaux d'hydrogène) possèdent un moment magnétique : soumis à un fort champ magnétique extérieur, ils s'alignent dans ce champ, comme de minuscules aimants. Or les tissus sont riches en protons, de sorte qu'un tel champ magnétique y crée une petite aimantation. Cette aimantation, ou polarisation, est très faible, mais détectable par la technique

de résonance magnétique nucléaire. Les images obtenues, en deux ou trois dimensions, ont une excellente résolution (inférieure au millimètre) ; on y détecte certaines lésions invisibles par les autres méthodes d'imagerie, et le patient n'est pas exposé à des rayonnements ionisants.

Malheureusement, on ne peut pas obtenir d'images des poumons par cette méthode : les poumons étant des milieux très hétérogènes, où alternent, à l'échelle du dixième de millimètre, de l'air et des tissus, les fortes variations locales du champ magnétique brouillent les signaux de résonance magnétique nucléaire, qui disparaissent trop rapidement pour être détectés.

Pourtant, en 1994, une équipe américaine présenta les premières images par résonance magnétique de poumons de souris remplis d'un gaz polarisé, le xénon 129. Celles de poumons humains furent obtenues indépendamment, fin 1995, par le même groupe et par une équipe allemande, avec un autre gaz rare, l'hélium 3. Des physiciens du Laboratoire Kastler-Brossel de l'École normale supé-

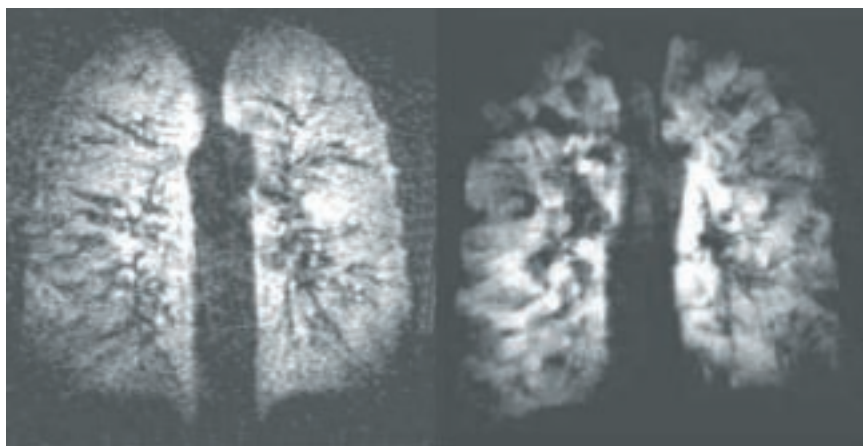
rieure, à Paris, et des physiciens et des médecins de l'Unité de recherche en résonance magnétique médicale de l'Université Paris XI, à Orsay, tentent de perfectionner la méthode.

Pourquoi l'inhalation d'un gaz polarisé améliore-t-elle les images ? Pour obtenir une aimantation détectable, on polarise le gaz avant l'inhalation, par pompage optique : un faisceau laser polarisé est envoyé sur le gaz, dont les atomes absorbent, puis réémettent, des photons. L'énergie absorbée est réémise, mais la polarisation est transférée de la lumière au gaz. Par cette technique, près de 80 pour cent des moments magnétiques s'alignent, contre un sur un million par la méthode classique (l'application d'un champ magnétique intense). Ainsi, bien que la densité du gaz soit faible, la polarisation obtenue est détectable.

Toutefois, le gaz ainsi polarisé n'est pas en équilibre, et perd progressivement sa polarisation : celle-ci disparaît au bout de ce que l'on nomme le temps de relaxation ; ce dernier atteint quelques

heures si le gaz est conservé dans des ampoules en verre spécial (car les verres ordinaires contiennent des ions paramagnétiques qui interagissent avec les atomes du gaz et détruisent leur polarisation), ce qui autorise le transport jusqu'au lieu d'utilisation. Dans les poumons, la polarisation subsiste quelques dizaines de secondes, ce qui suffit pour réaliser les clichés.

Les équipes de Paris et d'Orsay tentent de réduire la taille et les coûts des appareils, et les contraintes imposées par la méthode. Elles ont réalisé cette année les premières images de ventilation pulmonaire dans des champs magnétiques de 0,1 tesla, bien plus faibles que les champs de 1 à 4 teslas habituellement utilisés pour l'imagerie par résonance magnétique classique : pour celle-ci, des champs magnétiques intenses doivent polariser les tissus, tandis qu'avec la nouvelle méthode, les champs magnétiques servent uniquement à la détection des gaz déjà polarisés. En outre, avec le dispositif mis au point par ce groupe, l'hélium 3 est polarisé sur le lieu même de l'examen, et seuls quelques centimètres cubes de ce gaz aimanté sont nécessaires. Les clichés sont effectués en un tiers de seconde, ce qui permettra notamment de réaliser des séries d'images



Hans-Ulrich Kauczor et al.

Images de poumons réalisés à l'Université de Mayence (Allemagne) par résonance magnétique d'hélium 3 polarisé. De telles coupes renseignent sur la ventilation des différentes cavités pulmonaires. Pour un sujet sain (à gauche), cette ventilation est homogène : toutes les zones sont éclairées, car remplies de gaz, et seuls les vaisseaux sanguins apparaissent en sombre. En revanche, l'image des poumons d'un fumeur (à droite) atteint de troubles respiratoires (bronchopathie chronique obstructive et emphysème) présente de nombreuses zones sombres qui ne sont pas, ou pas suffisamment, ventilées.

qui renseigneront sur la dynamique de ventilation des bronches et des alvéoles. La résolution spatiale, déjà de cinq millimètres, devrait être améliorée.

L'inhalation d'hélium 3 est inoffensive, de sorte que des examens répétés seront possibles, ce que n'autorise pas la scin-

tigraphie (une méthode de visualisation des poumons par des gaz radioactifs inhalés, actuellement utilisée en hôpital). Enfin, une voie de recherche est l'utilisation des gaz polarisés, transportés par la circulation sanguine, comme traceurs pour l'organisme entier.

En visite

Les visiteurs des réserves naturelles ne perturbent pas les populations de lémuriens nocturnes.

L'ouverture au public des réserves naturelles menace-t-elle la faune sauvage ? Au Sud de Madagascar, des zones de forêt-galerie et de bush sont ouvertes aux touristes depuis de nombreuses années. Pendant la journée, les visiteurs jouissent du spectacle fascinant offert par les lémuriens diurnes makis (*Lemur catta*) et par les propithèques (*Propithecus verreauxi*) ; la nuit, des guides qui connaissent bien la faune sauvage leur montrent, dans le faisceau d'une lampe, les microcèbes (*Microcebus murinus*) et les lépilémurs (*Lepilemur leucopus*). Claude-Marcel Hladik et Bruno Simmen, du CNRS et du Muséum national d'histoire naturelle, ont comparé des estimations des densités de prosimiens nocturnes aux mesures qui avaient été faites sur les mêmes lieux il y a 30 ans : les diverses populations sont stables.

Dans la forêt-galerie qui s'étend sur quelques centaines de mètres de part

et d'autre du fleuve Mandrare, le lépilémur est le mammifère le plus abondant. Ce prosimien nocturne d'environ 600 grammes était très abondant en 1970.

Les éthologistes ont repris les itinéraires le long desquels les lépilémurs avaient été recensés en 1970. Dans chaque cas, les observations ont été effectuées à la lampe frontale, en début de nuit, après le réveil des animaux qui s'activent alors à la recherche de nourriture ; c'est à cette période que des cris territoriaux sont fréquemment échangés, ce qui facilite le repé-



C.-M. Hladik

Le bush de Berenty, à Madagascar, est occupé par le lémurien *Lepilemur leucopus*. Cet animal n'est apparemment pas gêné par les touristes.

rage des individus. Les plus fortes densités de lépilémurs étaient de 810 individus par kilomètre carré en 1970, contre 790 individus par kilomètre carré en 1997. Dans le bush, où les densités avaient été calculées par marquage de tous les animaux d'une petite population, les observations de 1997 ont révélé, d'après la localisation des cris territoriaux, la présence de lépilémurs dans des territoires individuels dont la superficie semble tout à fait comparable à celle qui avait été mesurée en ce même lieu, il y a 27 ans.

Quelques sorties nocturnes ont également montré la relative constance des populations de microcèbes dans le bush (où des arbres isolés poussent au milieu d'un couvert composé de buissons serrés). À Rapily, dans une zone mise en réserve pour la protection des tortues, les zoologistes ont estimé la densité de *Microcebus murinus* à 240 individus par kilomètre carré. Cette partie du bush n'est pas exactement comparable à la zone plus reculée de Bébarimo, sur socle cristallin, où les relevés de 1970 indiquaient la présence de 360 microcèbes par kilomètre carré, mais les densités restent du même ordre de grandeur : avec quelques précautions, les lémuriens supportent la présence humaine.