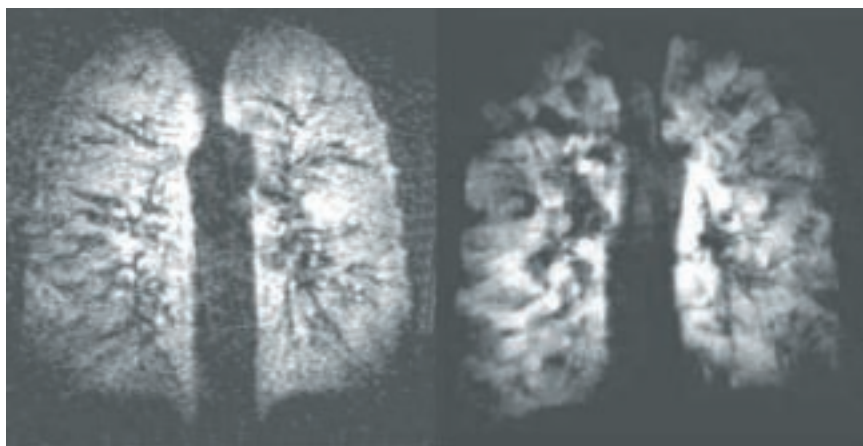


heures si le gaz est conservé dans des ampoules en verre spécial (car les verres ordinaires contiennent des ions paramagnétiques qui interagissent avec les atomes du gaz et détruisent leur polarisation), ce qui autorise le transport jusqu'au lieu d'utilisation. Dans les poumons, la polarisation subsiste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

La prolifération nucléaire

Les essais nucléaires de l'Inde et du Pakistan démontrent qu'il est facile de fabriquer des armes nucléaires avec les combustibles produits par les centrales nucléaires civiles.

Les 11 essais du mois de mai 1998 traduisent la tension entre deux pays qui se sont affrontés à trois reprises au cours de leurs 51 années d'existence en tant que nations indépendantes. Depuis des lustres, les experts présumaient que l'Inde et le Pakistan s'étaient dotés d'un arsenal nucléaire, et les essais récents ont confirmé l'impossibilité de limiter la prolifération nucléaire. Les différentes solutions utilisées pour la confection des bombes reflètent la facilité avec laquelle les bombes thermonucléaires peuvent être bricolées. Le moratoire nucléaire actuel est fragile quand un nombre toujours plus grand de pays sont dotés de centrales nucléaires civiles produisant des combustibles nucléaires, plutonium, tritium et uranium.

Depuis les années 1950, l'Inde et le Pakistan ont développé leur programme nucléaire civil sous les auspices internationaux du programme *l'Atome pour la paix*. Les États Unis fournirent à l'Inde les plans, le savoir-faire et les dispositifs majeurs pour le retraitement du combustible des réacteurs, mis en œuvre dans une usine à Trombay, au Nord de Bombay.

Le retraitement extraie, pour les réutiliser, les différents éléments du combustible irradié des réacteurs ; l'un d'entre eux, le plutonium 239 est le constituant de base de la plupart des bombes thermonucléaires. Le centre de retraitement de Trombay, construit à la fin des années 1950 et au début des années 1960, utilise le procédé américain *Purex* de séparation du plutonium.

Le plutonium résulte de l'irradiation des combustibles nucléaires dans les réacteurs civils. Le Canada avait livré à l'Inde, à la fin des années 1950, le réacteur de recherche *Cirus* à eau lourde (utilisée comme

ralentisseur de neutrons) où le taux de conversion d'uranium 238 en plutonium 239 est élevé. Avec *Cirus* et l'usine de Trombay, les ingénieurs nucléaires indiens avaient produit suffisamment de plutonium pour fabriquer la bombe atomique qu'ils firent exploser en 1974.

Ce test mit fin à l'aide internationale, mais les scientifiques indiens purent néanmoins construire des réacteurs à eau lourde imités du modèle canadien et des usines de retraitement : en 1985 un réacteur de production de plutonium, dénommé *Dhruva*, était opérationnel à Trombay. Le programme indien incluait également, près de Mysore, un centre de production de tritium, autre combustible des bombes thermonucléaires, et une usine d'enrichissement d'uranium 235.

Mais la production majeure était le plutonium. Les experts estiment que l'ensemble des installations indiennes ont accumulé 1,2 tonne de plutonium, quantité suffisante pour une dizaine, voire une centaine de bombes, selon la technicité atteinte par les spécialistes indiens. L'effort militaire considérable et la grande qualité de leurs scientifiques permirent aux Indiens de maîtriser l'ensemble du cycle nucléaire, de l'extraction de l'uranium à la construction de réacteurs à la pointe de la technique.

Il n'est toutefois pas certain que la troisième bombe indienne ait été une véritable bombe thermonucléaire. La

puissance du test du 11 mai aurait été, aux dires du gouvernement indien, de 43 kilotonnes, mais les experts, au vu des enregistrements sismographiques, pensent que la puissance était moindre, 25 kilotonnes, typique d'une réaction de fission améliorée, plutôt que d'une réaction de fusion. D'autres spécialistes estiment que les Indiens maîtrisent la fusion, mais que la faible puissance de leur test était voulue et qu'ils voulaient parfaire leur maîtrise de la technique, plus difficile à contrôler sur des bombes de faible puissance.

Le programme nucléaire pakistanais utilise plus systématiquement l'uranium 235. Cet isotope de l'uranium ne constitue que 0,72 pour cent de l'uranium naturel et cette teneur est augmentée dans des usines d'enrichissement. La séparation isotopique est réalisée par centrifugation dans le Centre de recherche de Kahuta, près de Islamabad. Le père de la bombe pakistanaise, Abdul Qadeer Khan, s'était procuré les plans des centrifugeuses mises au point par une société hollandaise, *Ultra-Centrifuge*, dans les années 1970.

La masse critique d'uranium nécessaire pour la confection d'une bombe est beaucoup plus élevée que la masse critique de plutonium, et la fabrication de missiles nucléaires avec des bombes à uranium est plus difficile. Pour les bombes pakistanaises de type chinois, de conception rudimentaire, il fallait au moins 15 kilogrammes d'uranium de qualité militaire (enrichi en uranium 235 à plus de 93 pour cent), alors que pour les bombes à plutonium il suffit de trois à six kilogrammes de produit fissile. Les militaires américains estiment que les Pakistanais ont suffisamment d'uranium pour fabriquer une trentaine de bombes par an et que leur possibilité d'enrichissement correspond à cinq bombes par an. De plus, les programmes de construction de réacteurs et de centres de retraitement pourraient amener les Pakistanais à produire annuellement 10 à 15 kilogrammes de plutonium.

Les efforts diplomatiques tendent à persuader ces nouvelles puissances nucléaires de signer le traité de non-prolifération et de les amener à renoncer à placer leurs charges sur des missiles. À court terme, ces espoirs semblent ténus.

Glenn ZORPETTE
et Tim BEARDSLEY



Titre de ce journal pakistanais publié après les essais nucléaires : «Nous détruirons l'Inde».