

Masse confirmée

Les neutrinos oscillent toujours.

Continuellement des milliards de neutrinos nous traversent, heureusement sans que nous ne nous en rendions compte : les neutrinos interagissent très peu avec la matière. Les physiciens se sont longtemps interrogés sur la masse de cette particule insaisissable dont il existe trois sortes : les neutrinos électroniques, muoniques, tauïques.

Un neutrino sans masse se propage inchangé, mais un neutrino massif oscille lors de sa propagation : un neutrino électronique peut se changer en neutrino muonique, et réciproquement. Annoncée en juin 1998, la découverte de cette oscillation demandait confirmation,

car la source de neutrinos utilisée était mal caractérisée. C'est maintenant chose faite : l'équipe qui avait fait la première annonce vient de confirmer le résultat à l'aide d'une source de neutrinos créée par un accélérateur de particules.

Dans le détecteur *SuperKamiokande*, situé à 250 kilomètres de Tokyo, on avait comparé le flux des neutrinos muoniques qui émanaient de l'atmosphère au-dessus du détecteur à celui des neutrinos muoniques qui avaient préalablement traversé la Terre. Ce dernier flux était plus faible, preuve que certains neutrinos muoniques se seraient transformés en un autre type de neutrino pendant la traversée de la Terre. Ces résultats étaient probants, mais ils présupposent une bonne connaissance des neutrinos atmosphériques. Or, les incertitudes sur le flux de ces neutrinos sont voisines de 15 pour cent.

Pour confirmer les oscillations, les physiciens ont dirigé un faisceau de neutrinos muoniques produits par l'accélérateur KEK, près de Tokyo, vers le détecteur de *SuperKamiokande*. Le flux de neutrinos muoniques était mesuré précisément à la sortie de l'accélérateur, puis remesuré dans *SuperKamiokande*, 250 kilomètres plus loin. Si les neutrinos muoniques n'avaient pas oscillé, on aurait dû observer le même flux de neutrinos muoniques lors de leur production et dans *SuperKamiokande*. Au lieu de 28 neutrinos au départ, les physiciens n'en ont observé que 17 à l'arrivée : les neutrinos oscillent bien.

Reste à caractériser cette oscillation. Ce sera le travail d'une expérience menée entre le CERN et le détecteur de neutrinos de Gran Sasso, à 730 kilomètres de là. Cette expérience permettra de savoir en quels neutrinos se transforment les neutrinos muoniques.

La santé du monde

On peut vivre longtemps, très longtemps, mais peut-on comparer une vie de 60 ans sans problème majeur de santé et une autre de 85 ans dont 20 passés à lutter contre une maladie grave ? À l'échelle d'un pays, peut-on comparer l'espérance de vie d'un pays industrialisé où les principales causes de décès sont les accidents cardio-vasculaires et celle d'un pays en développement ravagé par une épidémie de paludisme ? Pour rendre plus pertinentes les statistiques et pondérer l'espérance de vie totale calculée à partir des taux de mortalité par l'espérance de vie en bonne santé, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a publié un nouveau classement des pays selon l'espérance de vie des enfants nés en 1999. Pour ce faire, les statisticiens ont mis au point un indicateur nommé DALE (l'« espérance de vie ajustée aux invalidités ») pour lequel

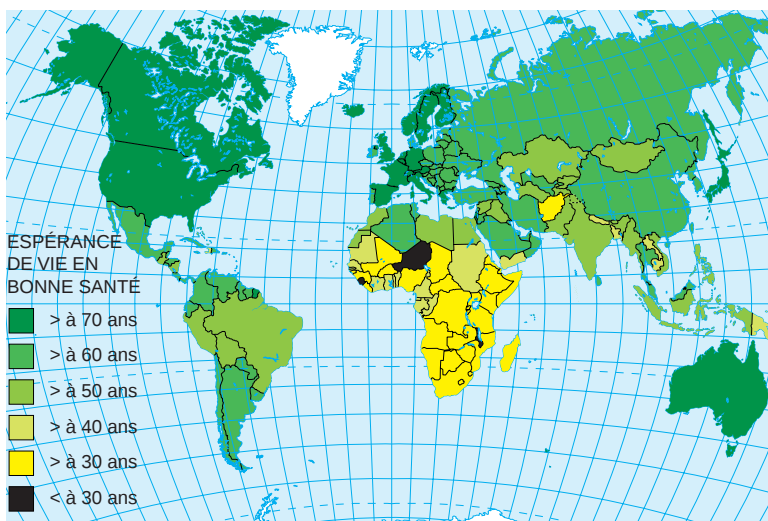
les années de maladies, pondérées selon leur gravité, sont soustraites à l'espérance de vie totale. Par exemple, en France, l'espérance de vie totale d'une femme est de 83,6 ans, mais elle passera en moyenne l'équivalent de 6,7 ans malade : son espérance de vie en bonne santé est donc de 76,9 ans. Quel est le palmarès ? Le Japon arrive en tête avec une espérance de vie saine de 74,5 ans, suivi par l'Australie avec 73,2 ans. La France, avec 73,1 ans, est en troisième position. Selon les chiffres publiés, un Français passera en moyenne 5,6 ans malade et une Française 6,7. Parvenu à l'âge de 60 ans, un Français peut espérer vivre encore 16,8 ans en bonne santé, et une Française 21,7.

Parmi les 24 pays dont l'espérance de vie en bonne santé dépasse 70 ans, on trouve la plupart des pays industrialisés d'Amérique du Nord et d'Europe occidentale et, au 24^e rang...

les États-Unis. Selon les experts de l'OMS, le « mauvais classement » de la première puissance économique mondiale s'explique par les conditions de vie des minorités ethniques, l'épidémie du SIDA et une violence notable.

L'espérance de vie en bonne santé dépasse 60 ans dans 79 autres pays, tels ceux d'Europe de l'Est, de l'ex-URSS, la Chine et les deux tiers de l'Amérique latine. Elle est supérieure à 50 ans dans la majorité de l'Asie du Sud-Est et de l'Asie Centrale.

Au bas du tableau, les habitants de l'Afrique Subsaharienne ont une espérance de vie en bonne santé inférieure à 50 ans, le Malawi (29,4 ans), le Niger (29,1 ans) et la Sierra Leone (25,9 ans) détendant le triste record. Le SIDA, qui a tué plus de deux millions d'Africains en 1999 est devenu la première cause de mortalité dans ces pays. Dans les zones où le VIH est très répandu, 60 pour cent des jeunes qui parviennent à l'âge de 15 ans mourront du SIDA, et ce risque est de 40 pour cent pour le reste de l'Afrique.



Pour chaque pays, l'espérance de vie en bonne santé a été calculée à partir de l'espérance de vie totale dont on a retranché le nombre d'années de maladie pondérées selon la gravité. En bas du tableau, le Malawi, le Niger et la Sierra Leone (en noir).

Le rhinocéros géant

JEAN-LOUP WELCOMME • PIERRE-OLIVIER ANTOINE • LAURENT MARIVAUX

Des fossiles du plus grand mammifère terrestre de tous les temps, Paraceratherium, un rhinocéros de neuf mètres de long et de vingt tonnes, ont été redécouverts au Pakistan, où l'animal vivait il y a 28 millions d'années.

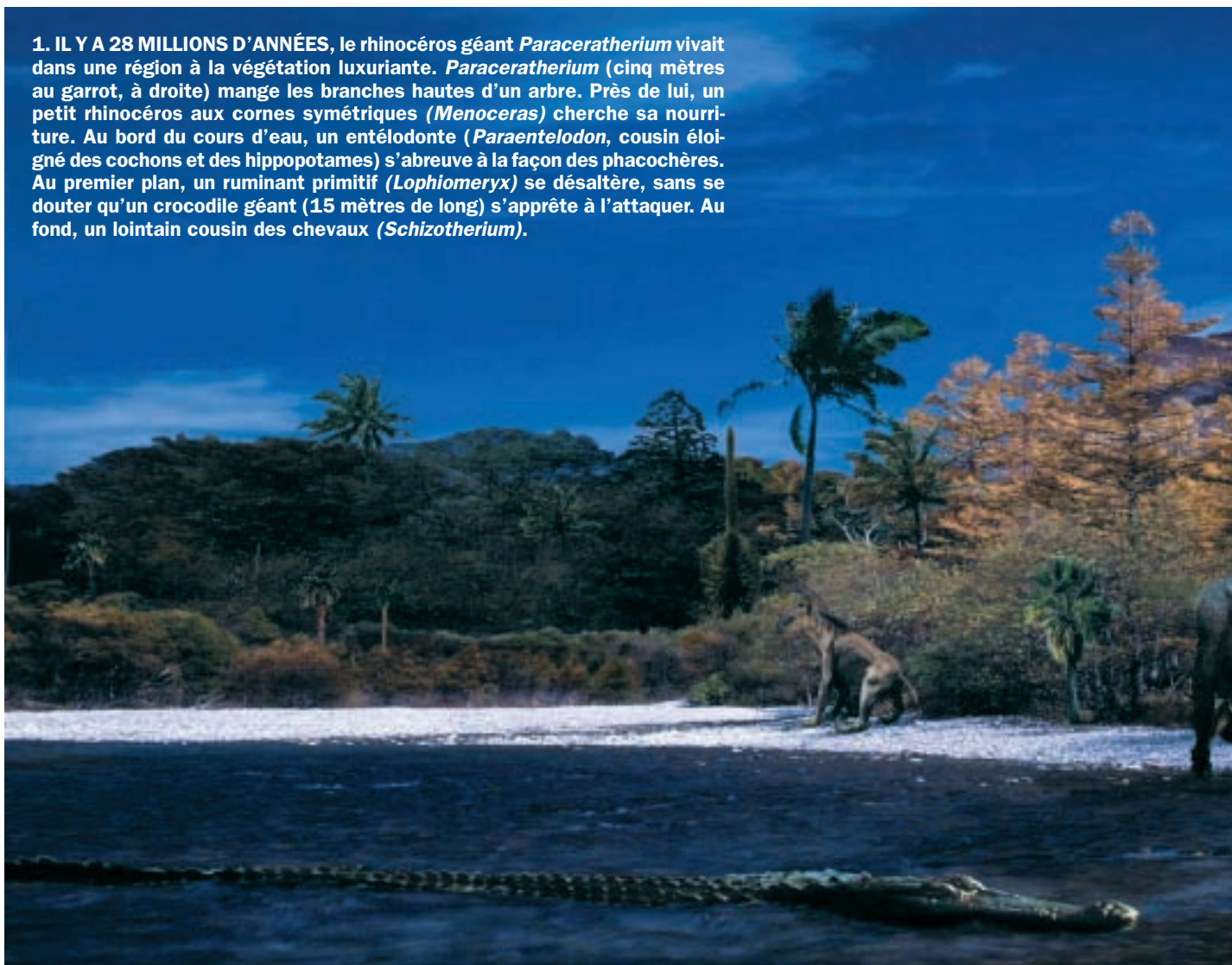
Pour une fois, un mammifère fossile a volé la vedette aux dinosaures ! Début mai 1999, l'annonce de la sensationnelle redécouverte du plus grand mammifère terrestre de tous les temps, *Paraceratherium*, plus connu sous le nom de *Baluchitherium*, a fait le tour du monde. L'information provenait de Dera Bugti,

une petite ville des collines Bugti au Balouchistan (Ouest du Pakistan). Cette région aujourd'hui semi-désertique compte parmi les plus riches au monde en vertébrés fossiles de l'ère tertiaire, et la découverte actuelle est le dernier prolongement d'une longue histoire.

Vickary, un officier de l'armée britannique, signala, dans un rapport

publié par la Société géologique de Londres en 1846, que la région des Bugti était riche en ossements fossiles. Il mentionnait la présence de restes osseux et de troncs d'arbres silicifiés aux environs d'une dépression appelée Kumb, au Sud-Ouest de Dera Bugti. Les géologues et les paléontologues (toujours britanniques) pri-

1. IL Y A 28 MILLIONS D'ANNÉES, le rhinocéros géant *Paraceratherium* vivait dans une région à la végétation luxuriante. *Paraceratherium* (cinq mètres au garrot, à droite) mange les branches hautes d'un arbre. Près de lui, un petit rhinocéros aux cornes symétriques (*Menoceras*) cherche sa nourriture. Au bord du cours d'eau, un entélodonte (*Paraentelodon*, cousin éloigné des cochons et des hippopotames) s'abreuve à la façon des phacochères. Au premier plan, un ruminant primitif (*Lophiomeryx*) se désaltère, sans se douter qu'un crocodile géant (15 mètres de long) s'apprête à l'attaquer. Au fond, un lointain cousin des chevaux (*Schizotherium*).



rent le relais, avec Blanford et Lydekker, dans les années 1880, puis avec Pilgrim au début du siècle (1907-1908). Les récoltes de fossiles sont alors devenues de vraies fouilles paléontologiques. Les dernières expéditions paléontologiques dans la région auront été celles menées en 1909 et 1910 par Forster-Cooper et par une équipe du Cambridge Sedgwick Museum.

Depuis ces dates, les guerres tribales incessantes ont interdit l'accès de cette région aux étrangers : aucune expédition scientifique n'a pu se rendre dans la zone pendant 85 ans, à l'exception d'une mission éclair pakistano-américaine qui recherchait des micromammifères au début des années 1980.

Pourtant, les fossiles des collines Bugti et leurs gisements fabuleux (au sens propre) décrits par les explorateurs britanniques n'ont cessé de fasciner les paléontologues. Du point de vue scientifique, ces fossiles ont une

importance cruciale en raison de leur situation géographique et du caractère particulier des faunes. Celles-ci correspondent en effet à un florilège d'espèces primitives et évoluées. De plus, la région, véritable carrefour, constitue depuis des dizaines de millions d'années une voie de dispersion privilégiée entre Europe, Asie du Nord, Asie du Sud-Est et Afrique. Les sédiments tertiaires, principalement d'origine himalayenne, ont enregistré la plupart de ces passages, comme des caméras de surveillance vidéo, et l'on sait dater ces sédiments par le degré évolutif des faunes et par des méthodes géologiques (magnétostratigraphie, isotopes).

L'obstination d'un paléontologue

Dès 1993, l'un de nous (Jean-Loup Welcomme) entreprend des tractations avec le gouvernement pakista-

nais et les autorités provinciales du Balouchistan afin de prospecter dans la région. En 1995, après plusieurs séjours et de longues semaines de tractations administratives, la première Mission paléontologique française dans les Bugti est effectivement autorisée à se rendre à Dera Bugti. Reste alors à convaincre Nawab Bugti, le Seigneur redouté et respecté des « Tigres du Balouchistan », que de nouvelles recherches paléontologiques sur les territoires qu'il « administre » pourraient avoir de grandes répercussions scientifiques. Nawab Akbar Khan Bugti, ancien gouverneur du Balouchistan, donne immédiatement son accord ; mieux, ce fin lettré ordonne à plusieurs guerriers de sa garde personnelle d'accompagner les paléontologues au cours de leurs prospections. Leur mission n'est pas de surveiller ces derniers, mais plutôt de les protéger : la zone à prospecter



Claude Mordeno

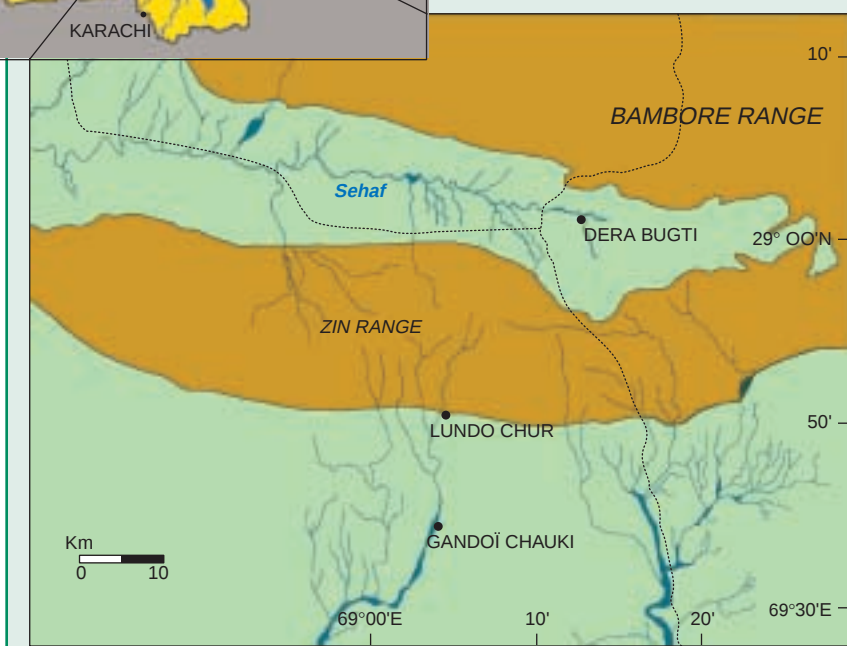
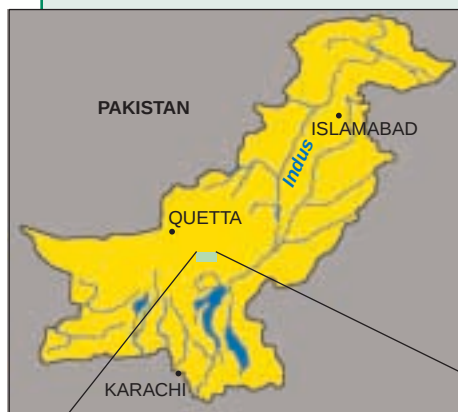
2. Les Bugti, paradis des rhinocéros

Les rhinocéros, comme les chevaux et les tapirs, sont des périssodactyles, ongulés caractérisés par un nombre impair de doigts. Apparue à l'Éocène inférieur (il y a 50 millions d'années) en Eurasie et en Amérique du Nord, la superfamille des rhinocérotoïdes comprend les rhinocerotidés (dont les rhinocéros actuels) et deux groupes éteints, les amynodontidés et les hyracodontidés. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, la grande majorité des rhinocérotoïdes était dépourvue de corne. La corne des rhinocéros est en effet une acquisition récente, présente chez certaines espèces de rhinocerotidés seulement.

Dans les terrains tertiaires des collines Bugti, les rhinocérotoïdes sont exceptionnellement abondants et diversifiés. Si l'on tient compte des anciennes collections et des nouvelles récoltes, près de 20 espèces y ont été reconnues, appartenant aux trois familles : le baluchithère *Paraceratherium* (hyracodontidé), *Cadurcotherium* (amynodontidé) et plusieurs rhinocerotidés ont coexisté dans la région pendant une partie de l'Oligocène. Après la limite Oligocène-Miocène (il y a 24 millions d'années) et l'extinction des amynodontidés et des hyracodontidés, les rhinocerotidés se diversifient de façon spectaculaire : pas moins de huit espèces cohabitaient autour du même cours d'eau miocène près de Dera Bugti, il y a 20 millions d'années. À titre de comparaison, on compte aujourd'hui cinq espèces de rhinocéros dans le monde (deux en Afrique et trois en Asie), toutes menacées d'extinction.

Les espèces présentes au Miocène inférieur (à partir de 21 millions d'années) dans les Bugti sont importantes. Tout d'abord, une telle diversité spécifique est unique au monde. Du fait de la concurrence, les espèces occupaient plusieurs niches écologiques : forêts, milieux ouverts et points d'eau. Certaines, mimant les hippopotames, étaient même adaptées à une vie semi-aquatique. De plus, cette région était à l'époque un véritable vivier évolutif, où tous les groupes de rhinocerotidés (ou presque) sont représentés. Certains groupes, comme les élasmothériidés et les brachypothères, font leur apparition dans ces gisements.

Ces gisements sont à peine postérieurs à la collision Afrique-Eurasie, il y a 20 millions d'années, qui a rendu possible de nombreux échanges fauniques. Les rhinocéros ont gagné le continent africain par migration depuis l'Asie. Les premiers rhinocéros africains, connus en Ouganda et au Kenya, sont d'ailleurs très proches de ceux des Bugti.



jouxe le territoire d'une tribu ennemie. Trois semaines de prospection dans les environs de Dera Bugti et de Kumbi (le «Kumb» de Vickary) permettent, dès ce premier contact avec le terrain, de récolter des centaines de fossiles de vertébrés dans plusieurs gisements et sur plusieurs niveaux.

Hélas, ce premier succès sans accroc n'a pas facilité l'accès à la région pour les missions suivantes : en 1997 notamment, 17 jours passés à naviguer de bureau en administration seront nécessaires à l'équipe pour obtenir les autorisations de se rendre à Dera Bugti. Ce n'est finalement que sur intervention expresse de Nawab Bugti via le Parlement du Balouchistan que la mission, néanmoins écourtée, a pu se dérouler.

Bon an mal an, les expéditions, annuelles depuis 1995, associent des chercheurs et des étudiants du Muséum national d'histoire naturelle à Paris, du Muséum d'histoire naturelle de Toulouse, de l'Université des sciences et techniques de Montpellier et de l'Université du Balouchistan à Quetta. Les missions fonctionnent toujours en équipes restreintes (trois à quatre paléontologues seulement), car les conditions de vie sont très difficiles. L'autosuffisance alimentaire et sanitaire est toujours de rigueur dans cet environnement plus qu'hostile : chacun doit être indispensable et apporter une compétence particulière. L'hostilité des bergers et des guerriers se manifestant par une balle dans la tête de l'importun, mieux vaut respecter certaines règles de sécurité. Aussi, Nawab Bugti convoque-t-il systématiquement, à notre arrivée à Dera Bugti, son Conseil de guerre : à tous les chefs de famille, de clans et de tribus de la région, nous sommes alors présentés comme des hôtes, à protéger et à aider si besoin est. Il est également préférable, tant pour la discrétion que pour le confort, d'adopter la tenue vestimentaire locale : chemise ample et pantalon bouffant («kamiz-shalwar»), turban sur la tête («patka») et sandales balouchs («chabuv»).

Des résultats à la mesure des espoirs

Des milliers de fossiles de mammifères (mastodontes, rhinocéros, schizothères, antilopes, anthracothères, carnivores, rongeurs), de reptiles et



3. LE SQUELETTE DU BALUCHITHÈRE est reconstitué avec des restes fossiles appartenant à plusieurs individus. Pour cette reconstitution difficile, il a d'abord fallu récolter les spécimens dans le gisement de Lundo Chur, puis les acheminer à dos de dromadaire (et de paléontologue) jusqu'au camp de base de Lundo. Là, un par un, ils ont été consolidés avec de la colle à bois diluée, avant d'être méticuleusement rassemblés dans une douzaine de cantines militaires. Plusieurs heures de dromadaire et de camion plus tard, ils rejoignent – sans aucune casse – la ville de Dera Bugti. Il ne restait plus qu'à opérer la reconstitution. Pour ce faire, une bâche plastique rectangulaire a été étendue sur le sol, afin de matérialiser la silhouette de l'animal (a).

Les spécimens les plus complets (crâne, dents et os du squelette appendiculaire) ont ensuite été disposés en position anatomique sur la bâche. La longueur de certains os longs (humérus, radius, fémur, tibia) a été estimée par comparaison avec les rhinocéros actuels, car nous n'en avions que des fragments sans contact anatomique. La silhouette a alors été découpée dans la bâche et le contour souligné à l'aide de peinture blanche. Enfin, les parties manquantes ont été peintes avec de l'antirouille marron (système D oblige!) pour homogénéiser l'ensemble. Le tour était joué : le baluchithère *Paraceratherium* (de la famille des hyracodontidés,

aujourd'hui disparue), rhinocéros sans corne, fait plus de cinq mètres au garrot et neuf à dix mètres de long de la tête à la queue.

Reconnaître les spécimens osseux fossiles appartenant au baluchithère sur le terrain est d'une simplicité enfantine : aucun autre mammifère terrestre n'atteint de pareilles dimensions... Le spécimen fossile photographié (c) correspond à l'extrémité du doigt central de la main d'un individu de taille respectable. Complet, cet os dépasserait soixante centimètres de long, et pèserait une vingtaine de kilogrammes.

La corpulence du baluchithère ne le garantissait pas contre tous les prédateurs : la plupart des restes découverts au cours de la mission 1999 portent des empreintes coniques, laissées par des dents de crocodile. La photographie (d) représente un fragment de mandibule – mâchoire inférieure – de baluchithère juvénile, portant encore deux molaires de lait (en haut de la photographie, de couleur gris-bleu). On distingue nettement deux profondes impressions, distantes de plusieurs centimètres. La cassure du spécimen (à droite) est elle-même due à la morsure du crocodile géant. Au contraire des mammifères et comme tous les reptiles, les crocodiles ont des dents indifférenciées, ce qui permet de reconnaître le prédateur, même plusieurs dizaines de millions d'années après la curée.

4. Les baluchithères

Les baluchithères sont des hyracodontidés, groupe d'ongulés périssodactyles connu dès l'Éocène inférieur (50 millions d'années) en Asie et Amérique du Nord, et disparu à la fin de l'Oligocène (24 millions d'années). Au sein des rhinocérotoïdes, il constitue le groupe frère des rhinocerotidés (tous deux sont issus d'un ancêtre commun exclusif). Parmi les hyracodontes, on distingue les hyracodontidés, petits animaux tapiroïdes aux proportions de chevaux, et les baluchithères (ou indricothères), de bien plus grandes dimensions.

Les premiers baluchithères sont connus à l'Éocène moyen en Amérique du Nord et en Asie (il existait à l'époque une voie de passage dans l'Atlantique Nord). Le groupe s'éteint à la fin de l'Oligocène. Au cours de leur histoire, le trait évolutif le plus marquant est l'accroissement de taille, puisque, de deux mètres au garrot à l'Éocène, les baluchithères ont atteint le triple au cours de l'Oligocène.

Le vrai nom du baluchithère des collines Bugti est *Paraceratherium bugtiense*, le «presque-rhinocéros-sans-corne-des-Bugti». Plusieurs noms de genre lui ont été donnés au fil des articles et au gré des auteurs : d'abord, l'espèce *Aceratherium bugtiense* est créée par Pilgrim en 1908. Le genre est inapproprié (l'espèce type du genre *Aceratherium* est un rhinocerotidé, le nom ne peut donc convenir à un hyracodontidé). Forster-Cooper lui substitue en 1911 le genre *Paraceratherium*, encore valide aujourd'hui. Deux ans plus tard, ce même auteur invente encore le genre *Thaumastotheium* («la bête prodigieuse») pour les spécimens les plus grands provenant du même gisement de Chur Lando. Malheureusement, ce nom étant déjà utilisé pour un autre animal, Forster-Cooper renomme l'animal *Baluchitherium* («la bête du Balouchistan»). On pense aujourd'hui que les noms *Baluchitherium* et *Paraceratherium*, correspondant respectivement aux mâles (de grande taille) et aux femelles (plus petites), sont synonymes. Étant plus récent, *Baluchitherium* devrait être abandonné au pro-

fit de *Paraceratherium*, en vertu de la règle de priorité. Néanmoins, le terme de baluchithère, fixé par l'usage, est passé à la postérité, tout comme le nom de brontosaurus chez les dinosaures : le nom scientifique valide n'est pas *Brontosaurus* Marsh, 1879, mais *Apatosaurus* Marsh, 1877, pour les mêmes raisons de priorité. La plupart des auteurs récents considèrent en outre que les genres *Aralotherium* et *Dzungariotherium*, créés pour d'autres fossiles asiatiques, sont également synonymes de *Paraceratherium*. Le doute subsiste quant au genre *Indricotherium* (qui a donné le terme vernaculaire d'indricothère pour les hyracodontes géants, au même titre que baluchithère), connu en Mongolie et au Kazakhstan.

Les baluchithères ont une répartition presque exclusivement asiatique. La grande majorité des restes ont été découverts en Chine, en Mongolie et au Kazakhstan (*étoiles rouges sur la carte*). Le gisement le plus riche est néanmoins celui de Lundo Chur («Chur Lando» des anciens auteurs) dans les collines Bugti du Pakistan. Quelques dents isolées ont en outre été décrites en Europe centrale (Roumanie, Bulgarie), dans les Balkans (Yougoslavie) et au Caucase (Géorgie). Tous ces gisements sont datés de l'Oligocène (34-24 millions d'années). Jusqu'à présent, les baluchithères des collines Bugti étaient considérés comme les derniers survivants du groupe, au Miocène inférieur (environ 20 millions d'années). Grâce à la mission 1999, nous avons pu prouver que les niveaux à baluchithères des Bugti étaient eux aussi oligocènes, d'âge comparable à celui des autres gisements asiatiques. Le groupe s'est donc partout éteint simultanément ou presque, à la fin de l'Oligocène (24 millions d'années environ).

Carte de répartition des restes de rhinocéros géants en Eurasie. Les baluchithères sont essentiellement connus en Chine, en Mongolie, au Kazakhstan et au Pakistan. Quelques spécimens ont toutefois été découverts dans les Balkans.



de poissons ont été récoltés année après année dans les environs de Dera Bugti. La ville de Dera Bugti est essentiellement entourée de dépôts datant du Miocène inférieur, légèrement postérieurs à la collision entre les plaques Afrique et Eurasie, il y a environ 20 millions d'années. Quelques surprises géologiques nous attendaient : tout d'abord, le Miocène supérieur (dix millions d'années), inconnu jusqu'alors dans la région, a été mis en évidence grâce à Kehar, guerrier bugti depuis devenu le *braz* (frère en langue balouch) de Jean-Loup Welcomme : Kehar a eu l'idée de présenter aux paléontologues des fossiles caractéristiques qu'il avait récoltés des années auparavant.

En outre, certains fossiles typiques de la région, découverts au siècle dernier, manquaient toujours dans nos récoltes, notamment *Baluchitherium* («la bête du Balouchistan»). Ce rhinocéroïde sans corne, le plus grand mammifère qui ait jamais existé, a été pour la première fois signalé par Pilgrim en 1908, et baptisé *Aceratherium bugtiense* («le rhinocéros sans corne des Bugti»). Forster-Cooper, en 1911, crée pour la même espèce le genre *Paraceratherium* («presque *Aceratherium*»), puis le genre *Baluchitherium*, deux ans plus tard. Depuis, d'autres baluchithères ont été découverts en Mongolie, en Chine, au Kazakhstan et jusqu'en Europe centrale et dans les Balkans. Ces restes sont partout datés de l'Oligocène (34 à 24 millions d'années) grâce aux rares faunes associées ou à des datations absolues (paléomagnétisme, chronostratigraphie). Dans la région de Dera Bugti, les terrains ayant livré des grands mammifères sont en revanche habituellement datés du Miocène inférieur (20 à 18 millions d'années), en raison de la présence, dans toutes les anciennes collections, de restes de proboscidiens (mastodontes et dinotheres), apparus en Eurasie, par dispersion depuis l'Afrique, au Miocène inférieur seulement.

Cette région, aujourd'hui fort inhospitalière, a-t-elle constitué pendant tout le début du Miocène un sanctuaire, un refuge pour ces faunes à cachet oligocène ou, au contraire, les terrains dans lesquels elles ont été découvertes avaient-ils été rajeunis à la suite de mélanges de faunes dans les collections ? Bref, à quelle époque notre baluchithère vivait-il ?



P.-O. Antoine

5. AU FIL DES ANNÉES ET DES EXPÉDITIONS, de solides liens se sont noués entre les paléontologues et les guerriers bugti chargés d'assurer leur sécurité. Depuis des siècles et des siècles, les guerriers bugti, surnommés «les Tigres du Balouchistan», mènent une vie semi-nomade dans ces collines inhospitalières. Seule concession à la «modernité», les armes à feu (AK 47, fusils de guerre et lance-roquettes) ont remplacé les sabres bugti, encore très récemment en usage. Certains gardes s'intéressent aux fossiles et n'hésitent pas à récolter des spécimens, ici, un fragment de mandibule de baluchithère (à droite), découvert près de Lundo Chur.

À la poursuite des baluchithères perdus

Cette question nous a amenés à poursuivre nos recherches, comme Forster-Cooper il y a 90 ans, dans la région très sensible de Lundo Chur (probablement le Chur Lando des anciens auteurs), afin de retrouver des restes de baluchithère en situation stratigraphique contrôlée. Cette région était inaccessible jusqu'en 1998, en raison des guerres tribales, mais, depuis, la situation est un peu plus calme, ce qui rendait possible la mission de 1999. Le seul support cartographique disponible pour sillonner la région était la carte publiée par Pilgrim en 1910, où Chur Lando était mentionné. Inutile de préciser qu'entre-temps, l'érosion ayant eu tout le temps de remodeler les reliefs sableux des environs, il a parfois été malaisé de se repérer. L'équipe comprenait l'an dernier quatre paléontologues : le responsable de la mission, spécialiste des proboscidiens (Jean-Loup Welcomme), un spécialiste des rhinocéros (Pierre-Olivier Antoine), un spécialiste des rongeurs (Laurent Marivaux) et un magnétostratigraphe (Mouloud Benammi). Nous étions accompagnés par un prince balouch, Mir Haider Shahwani, et un géologue de l'Uni-

versité du Balouchistan à Quetta, Ibrahim Baloch Shahwani.

Les conditions climatiques, déjà éprouvantes au début du séjour (fin mars), s'aggravèrent encore au fil des jours : la température a plusieurs fois frisé les 50 degrés (la proche ville de Sibi est une des villes les plus chaudes du Globe, avec des températures estivales de 55 à 60 degrés fréquemment relevées sous abri). Dans ces conditions très difficiles, il était nécessaire de s'organiser de manière rigoureuse. Après un réveil plus que matinal, nous partions sur le terrain à l'aube, pour profiter des courts moments de «fraîcheur». La chaleur, vite accablante, nous obligeait à retourner au camp dès 11 heures. Les provisions d'eau étaient alors épuisées depuis longtemps, nous aussi ! C'est parfois 30 à 40 kilogrammes que nous avons dû transporter sur le dos, tels des animaux de bât, calcinés par le soleil.

Au fil des jours, nous avons sillonné les environs, dans un rayon de six à sept kilomètres, en récoltant systématiquement les fossiles déterminables et en levant les coupes géologiques (parfois sur plus de 300 mètres d'épaisseur). La mission 1999 nous a permis de découvrir 20 gisements, sur une douzaine de



P.-O. Antoine

6. LE CAMP DE BASE DE L'EXPÉDITION 1999, où l'équipe de paléontologues est restée en autosuffisance pendant près de trois semaines, était établi près du point d'eau de Lundo (flèches blanches à droite). Les terrains fossilifères – de la base de la falaise, au niveau du camp, jusqu'à l'horizon – s'échelonnent de l'Oligocène inférieur (environ 33 millions d'années) au Miocène supérieur (10 millions d'années). Ils reposent sur des calcaires marins blancs de l'Éocène.

niveaux stratigraphiques successifs. Certains caractérisent un milieu marin ou deltaïque. Le littoral de l'époque fourmillait de vie, avec de très nombreux sélaciens (requins et raies), dont on a retrouvé des dents par milliers. Ils nous ont notamment livré quelques restes de mammifères marins : des siréniens (groupe des lamantins et des dugongs) et des archéocètes. Les archéocètes sont des cétacés primitifs connus de l'Éocène au début du Miocène (50-20 millions d'années). Ils fréquentaient les eaux littorales chaudes du Pakistan, d'Égypte et d'Amérique du Nord. Ces animaux étaient déjà adaptés à la vie marine, comme l'indique leur corps allongé dépourvu de membres postérieurs visibles. Cependant, leur membre antérieur et leur denture n'étaient pas encore très spécialisés. À l'heure actuelle, le problème de l'origine des cétacés n'est toujours pas résolu : les anthracothères (groupe éteint, peut-être apparenté aux hippopotames) ou, plus probablement, les mésonychidés (groupe fossile) sont toutefois les candidats les plus sérieux.

Un véritable ossuaire

Au cours d'une prospection matinale, après une semaine de terrain, nous avons vu apparaître dans des ravines sableuses un amoncellement de fossiles. Le sol était jonché de restes

osseux gigantesques. Nous avons alors essayé de délimiter la zone fossilifère : celle-ci s'étendait sur des hectares et des hectares. Un bref examen des restes a suffi pour déterminer leur appartenance : un rhinocérotoïde géant, le baluchithère ! Des centaines d'éléments crâniens, dentaires et post-crâniens s'offraient à nous. Après tant de temps, nous avons vraisemblablement retrouvé le gisement original de *Paraceratherium* signalé par Pilgrim et Forster-Cooper au début du siècle.

Dans les collections du *Natural History Museum*, à Londres, les seuls spécimens signalés comme provenant de Chur Lando appartiennent au baluchithère, à l'exception de deux symphyses mandibulaires d'un autre rhinocérotoïde, *Chilotherium smithwoodwardi*. La faune associée à *Paraceratherium* dans les Bugti était donc inconnue, et le deuxième but de notre mission était de la découvrir.

Ces dépôts-là sont plutôt d'origine fluviale. Les animaux ont été emportés par une ou plusieurs crues, tandis que d'autres ont été la proie des prédateurs. Reconstituons l'environnement tropical et enchanteur où vivait le baluchithère : d'innombrables troncs de palmiers fossiles jonchent aujourd'hui le sol sableux, le plus souvent couchés (certains troncs dépassent les 10 mètres de long), mais parfois en place, avec les racines. Des

fruits fossilisés, proches de ceux des *Nipa* (palmiers actuels des mangroves de Malaisie), ont également été découverts. Là, les baluchithères côtoyaient d'autres rhinocéros de taille plus modeste, des ruminants, des suoidés (le groupe des sangliers et des pécaris) et des représentants de groupes aujourd'hui disparus, comme les schizothères (lointains cousins éteints des chevaux et des rhinocéros, munis de griffes) et les anthracothères. Les reptiles étaient présents, et bien présents puisque les sédiments regorgent de plaques dermiques de tortues (aquatiques et terrestres) et de crocodiles. La prédation semble d'ailleurs essentiellement avoir été le fait de ces derniers. Les restes en sont très abondants. Deux groupes sont présents dans les gisements de la région, avec des crocodiles géants, qui atteignaient environ 15 mètres de long (deux fois comme ceux du Nil), et des gavials de la taille de ceux du Gange (crocodiles piscivores actuels). Les restes attribuables à des mammifères prédateurs (carnivores et créodontes) sont en revanche rarissimes dans nos récoltes : quelques dents et os isolés seulement.

La faune de ce gisement indique dans son ensemble un âge oligocène (environ 28 millions d'années), bien antérieur à l'âge miocène classiquement admis pour les dépôts de la région (20 millions d'années). En outre, aucune espèce de cachet miocène n'a été découverte dans ces niveaux à baluchithères. Il faut monter de près de 50 mètres dans la série sédimentaire pour retrouver les premiers restes de mastodontes et autres dinotheres, typiquement miocènes. De ce fait, *Paraceratherium* n'a pas pu disparaître à cause de la compétition écologique avec les mastodontes, classiquement considérés comme leurs concurrents dans la même niche écologique : les baluchithères avaient disparu des collines bugti bien avant l'arrivée par dispersion des premiers mastodontes miocènes.

Un squelette reconstitué sur place

Depuis la mise au jour de quelques squelettes partiels de baluchithères, dans la première moitié du XX^e siècle, respectivement en Mongolie et au Kazakhstan, aucune découverte n'avait

permis de nouvelle reconstitution. Le premier squelette partiel, découvert à Hsanda Gol en Mongolie, a d'abord été attribué à *Baluchitherium grangeri* par les paléontologues américains Walter Granger et William Gregory en 1936, avant d'être rebaptisé *Indricotherium transouralicum*. Ces auteurs ont opéré une reconstitution graphique, d'après les quelques éléments associés d'un même individu et en extrapolant les dimensions des restes manquants. Cette reconstitution, souvent reproduite dans les manuels, est malheureusement erronée : le cou est trop court, les membres trop raides et les proportions du membre antérieur fortement mésestimées.

En revanche, un squelette d'*Indricotherium transouralicum* provenant de Chelkar Tennis, au Kazakhstan, complet à 40 pour cent, a été mieux traité : ce que nous avons pu observer au Pakistan est en effet bien plus proche de la reconstitution qu'en a proposée Vera Gromova en 1959. Le squelette complet est d'ailleurs exposé dans la galerie de paléontologie du Musée de l'Académie des sciences de Moscou. Enfin, le magnifique tableau de Zdenek Burian, exposé au Muséum de Prague depuis 1957, montre un groupe de baluchithères en train de manger le faite d'un arbre. L'allure générale est respectée, mais le membre antérieur est toutefois trop gracile.

Comme les restes crâniens, dentaires et du squelette appendiculaire étaient complètement désarticulés dans le gisement de Lundo Chur, nous avons décidé de récolter des spécimens afin de reconstituer un squelette composite de *Paraceratherium*. Puis nous sommes retournés à Dera Bugti, chargés d'une tonne d'ossements environ. Là, le squelette a été reconstitué, à même le sol, sur une bâche. Nous savons désormais que ces rhinocéros géants avaient en moyenne cinq mètres au garrot (5,5 mètres au musée), pour environ huit mètres de long. L'allure générale était plutôt celle d'un okapi très massif, avec une tête de cheval et une lèvre supérieure probablement préhensile (pour attraper les feuilles d'arbres composant leur régime alimentaire). Le dos est en pente, le membre antérieur beaucoup plus long et puissant que le membre postérieur. Quelques spécimens récoltés l'an dernier appartenaient manifestement à des individus plus grands encore, atteignant probablement jusqu'à six mètres au garrot

et neuf mètres de long. Un adulte moyen devait peser environ 15 à 20 tonnes.

La denture suit à la fois le schéma des tapirs et des rhinocéros : la denture antérieure (incisives et canines) est complètement développée, comme chez les tapirs, tandis que les molaires et les prémolaires ont des couronnes peu spécialisées, de type rhinocéros. On peut penser que leur régime alimentaire se composait de feuilles, de jeunes pousses et de branchages au faite des arbres.

Les restes mis au jour au cours de notre expédition correspondent à plus d'une vingtaine d'individus, allant du nouveau-né au vieillard. L'énorme variation de taille perceptible sur les restes de ce gisement avait le plus souvent été interprétée comme la preuve de la présence de plusieurs espèces de baluchithères associées (notamment Forster-Cooper, avec quatre espèces décrites successivement dans le seul gisement de Chur Lando : *Paraceratherium bugtiense*, *Thaumastotherium osborni*, *Baluchitherium osborni*, *Paraceratherium churlandensis*). Il nous semble beaucoup plus probable que ces différences soient en réalité l'expression de la variabilité individuelle. D'autre part, le dimorphisme sexuel, fondé notamment sur la taille comme chez la plupart des grands mammifères herbivores fossiles et actuels, contribue certainement à cette variabilité.

Des prédateurs à la mesure de leurs victimes

De nombreux os d'herbivores portent des empreintes coniques à leur sur-

face. Celles-ci correspondent aux traces laissées par des dents de crocodiles. Même les baluchithères, qu'on imagine invulnérables en raison de leur corpulence, n'ont pas été épargnés. Il faut dire que ces mammifères géants avaient des prédateurs géants : des crocodiles d'une quinzaine de mètres de long, deux fois comme ceux du Nil ! D'autres os ont manifestement séjourné dans des estomacs. Leur aspect poli, corrodé, est caractéristique de l'attaque acide des sucs gastriques.

Si l'on sait ce que mangeaient les crocodiles, qu'en est-il des herbivores ? Un moyen simple existe, qui consiste à récolter les excréments fossiles, les coprolithes. Un traitement chimique permet de dissoudre le phosphate de calcium des coprolithes et de ne conserver que les spores et les pollens. Ceux-ci indiquent les mets préférés des herbivores, ainsi que les essences de la région. Même les coprolithes des carnivores contiennent, en plus faible concentration, des spores et des pollens issus de leur environnement, et aussi de l'estomac de leurs victimes... Les coprolithes ne sont pas toujours attribuables à un groupe animal précis, mais dans le cas des baluchithères, c'est différent : le critère de taille est de poids ! Les plus grands mammifères terrestres ayant jamais vécu ont également produit les plus gros coprolithes.

L'extinction de ces géants paraît intimement liée aux changements environnementaux intervenus à la fin de l'Oligocène et auxquels ils n'ont pu s'adapter assez vite. Nul besoin d'une pluie d'astéroïdes quand la nourriture vient à manquer !

Jean-Loup WELCOMME est correspondant du Muséum national d'histoire naturelle à Paris. Pierre-Olivier ANTOINE est étudiant au Muséum national d'histoire naturelle à Paris. Laurent MARIVAUX est étudiant à l'Institut des sciences de l'évolution de l'Université de Montpellier

C. FORSTER-COOPER, *Paraceratherium bugtiense*, a new genus of *Rhinocerotidae* from the Bugti Hills of Baluchistan. Preliminary notice, in *Annual Magazine of Natural History*, vol. 8, pp. 711-716, 1911.

W. GRANGER et W. GREGORY, *Further Notes on the Gigantic Extinct Rhinoceros, Baluchitherium...*, in *Bulletin of the American Museum of Natural History*, vol. 72, pp. 1-71, 1936.

V. GROMOVA, *Rhinocéros gigantesques*, Travaux de l'Institut paléontologique de l'Académie des sciences de l'URSS, vol. 71, pp. 1-164, 1959 (en russe).

S. MATHESON, *The Tigers of Baluchistan*, 2^e édition, Oxford University Press (Karachi), 213 pages, 1997.

J.-L. WELCOMME et al., *Nouvelles découvertes de Vertébrés miocènes dans le synclinal de Dera Bugti (Balouchistan, Pakistan)*, in *CRAS, Sciences de la Terre et des planètes*, vol. 325, pp. 531-536, 1997.

J.-L. WELCOMME et L. GINSBURG, *Mise en évidence de l'Oligocène sur le territoire des Bugti (Balouchistan, Pakistan)*, *CRAS, Sciences de la Terre et des Planètes*, vol. 325, pp. 999-1004, 1997.

