

la solidité des mottes de terre et éviter que les pluies battantes n'entraînent le sol par ruissellement. En tout cas, le calcul montre que la cohésion d'une smectite calcique peut être dix fois supérieure à sa cohésion par capillarité. Ce qui autorise d'audacieux projets architecturaux !

La terre est donc un béton à ciment d'argile, mais l'analogie entre argile et ciment ne s'arrête pas au fait qu'ils jouent tous deux un rôle de colle. Elle touche aussi leur genèse, leur structure, et le mécanisme par lequel ils collent. Obtenue par calcination d'un mélange de calcaire et d'argile à 1450 °C, le ciment peut en quelque sorte être considéré comme une roche volcanique artificielle. Il est très majoritairement constitué de silicates de calcium. Lors de son gâchage (son mélange avec l'eau), il se produit une série de réactions étonnamment proches de celles qui, à partir d'une roche-mère, conduisent aux argiles. Au contact de l'eau, les minéraux du ciment commencent à se dissoudre.

La concentration en ions silicate et ions calcium augmentant, la concentration en

ions atteint bientôt un niveau suffisant pour que de nouveaux minéraux se forment et se déposent (« précipitent ») sur ce qui reste des minéraux initiaux. Ces nouveaux minéraux, formés de grains extrêmement petits, de taille nanométrique, sont nommés hydrates, car, comme les argiles, ils ont incorporé des éléments de molécules d'eau – des groupes hydroxyles, OH^- , dans leur structure. Ce sont eux, les objets minéraux les plus microscopiques du béton, qui en assurent la cohésion.

Le ciment, une superargile

L'analogie avec les argiles va encore plus loin. Comme les argiles, les hydrates de silicate de calcium ont une structure en lamelles et les forces qui assurent leur cohésion sont, comme dans les argiles portant une charge électrique, des forces électrostatiques, mais d'une vigueur centuple. Cette extraordinaire démultiplication, qui permet de concevoir des gratte-ciel hauts de plusieurs centaines de mètres, le ciment

la doit à la charge électrique très élevée portée par les hydrates et au fait que les ions calcium ont perdu leur mobilité, ce qui élimine toute répulsion entre (nano) grains. La danse des ions calcium dans une couche d'eau est remplacée par une scène figée, comme s'il s'agissait d'une mince couche de verre.

Avec sept milliards d'individus, l'humanité a plus que jamais besoin de logements. Pour nos travaux d'aménagement – routes, remblais, ponts, tunnels, digues, ports et aéroports –, nous déplaçons désormais plus de terre que l'érosion naturelle n'en transporte. Nous sommes devenus les principaux sculpteurs de notre planète. Comprendre les mécanismes de cohésion qui sont à l'œuvre dans le matériau terre peut nous aider à résoudre le problème du logement à l'échelle globale, à conserver l'énorme patrimoine architectural que nous ont laissé des générations de bâtisseurs, à mieux utiliser les sols en place pour nos aménagements et, enfin, à nous protéger des aléas naturels. C'est une recherche d'avenir ! ■



france culture

LA MARCHÉ DES SCIENCES

Découvertes, inventions, aventures savantes au fil de l'Histoire

Aurélie Luneau
14h-15h / chaque jeudi

franceculture.fr

en partenariat avec **POUR LA SCIENCE**

© 2011 France Culture. Tous droits réservés. Photo : M. D. / Getty Images. 2011

Le premier de notre genre ?

Kate Wong

Les étonnants fossiles de *Australopithecus sediba*, une nouvelle espèce d'australopithèques sud-africains, nourrissent le débat sur l'origine du genre humain et son lieu d'apparition.

Où s'enracine le genre humain ? En Afrique, on en est certain. Mais où ? Lee Berger a découvert en Afrique du Sud un indice clef qui pourrait nous l'indiquer : un nouveau genre d'australopithèques présentant plusieurs caractères humains. Un ancêtre du genre humain, *Homo* ? C'est ce que pense ce paléanthropologue américain de l'Université du Witwatersrand à Johannesburg, puisqu'il l'a nommé *Australopithecus sediba*, « l'australopithèque source » (en sésotho, l'une des 11 langues officielles d'Afrique du Sud, *sediba* signifie source).

Quoi qu'il en soit, depuis que L. Berger a publié sa découverte en 2010, les paléanthropologues du monde entier défilent chez lui pour examiner ses fossiles, et en restent bouche bée. Il faut dire qu'ils sont plutôt habitués à se contenter d'une dent ou d'une mandibule, alors que L. Berger a retrouvé les squelettes partiels de deux individus de la même espèce...

D'après l'équipe de L. Berger, le mélange unique de traits australopithèques et humains qui caractérise *Au. sediba* fait de lui la plus ancienne espèce humaine

connue. Rappelons qu'il y a entre trois millions et deux millions d'années, des australopithèques ont acquis les caractères humains. Les australopithèques ont évolué dans les régions forestières ou boisées d'Afrique où, durant plus d'un million d'années avant l'apparition des premières espèces humaines, ils ne nous ont guère ressemblé. Ainsi, Lucy et ses congénères australopithèques des Afars (*Australopithecus afarensis*) avaient des jambes courtes, des mains faites pour grimper aux arbres et un cerveau de petite taille similaire à celui de leurs ancêtres simiens.

Des australopithèques aux humains

Ensuite, quand le climat a changé de sorte que les savanes se sont étendues, ont été sélectionnées des lignées d'australopithèques dotés de longues jambes, de mains de plus en plus aptes à la fabrication d'outils et d'un cerveau de grande taille. Le genre *Homo*, qui allait dominer la planète, était apparu.

Afin de comprendre l'origine de ce succès évolutif, les paléanthropologues

L'ESSENTIEL

■ Le genre humain, *Homo*, était censé être issu de l'évolution en Afrique de l'Est de *Australopithecus afarensis*, dont fait partie l'individu Lucy.

■ L'Américain
Lee Berger a découvert une nouvelle espèce d'australopithèques présentant plusieurs traits humains, qui vivaient en Afrique du Sud il y a deux millions d'années.

■ Il y voit un ancêtre du genre humain, ce qui conférerait à ce dernier une origine australe. Mais la thèse de L. Berger est controversée.

Brent Stirton/Getty Images



ratissent depuis longtemps l'Afrique à la recherche de fossiles des premières espèces humaines. Parce que les plus anciens de ces fossiles ont été découverts en Afrique de l'Est, s'est dégagée l'impression que l'évolution cruciale à l'origine du rameau humain s'est déroulée dans cette région. C'est là qu'un nouveau mode de vie inventé par les espèces préhumaines aurait conduit nos ancêtres à consommer de plus en plus de viande pour s'adapter à un environnement où les fruits se raréfiaient. Ce nouveau régime alimentaire, très énergétique et riche en nutriments, aurait puissamment concouru à l'émergence des traits spécifiquement humains, particulièrement un cerveau volumineux.

Cette théorie, la mieux acceptée parmi les paléanthropologues, repose toutefois sur des indices qui peuvent être considérés comme ténus : le plus souvent, les trouvailles de fossiles datant de plus de deux millions d'années se limitent ici à une mâchoire, là à une poignée de dents... En outre, ces vestiges appartiennent soit à des ancêtres australopithèques des premières espèces humaines, soit à des espèces humaines si postérieures à l'émergence du rameau humain qu'elles ne peuvent nous renseigner sur l'ordre d'apparition des traits distinctifs du corps humain, ni sur les conditions de leur évolution. Il manquait donc des fossiles humains de plus de deux millions d'années et bien conservés. Or c'est en Afrique du Sud que l'équipe de L. Berger en a trouvé!

La grotte de Malapa, une caverne d'Ali Baba

Les fossiles d'homininés étant extrêmement rares, L. Berger ne s'attendait pas à une découverte de l'importance de *Australopithecus sediba*. Certes, il n'excluait pas que le genre *Homo* puisse être originaire d'Afrique du Sud et non d'Afrique de l'Est comme le veut le consensus scientifique actuel, mais il ne pensait pas qu'il le serait de la région qu'il étudie, à une cinquantaine de kilomètres au Nord-Ouest de Johannesburg. Pourtant, depuis qu'en 1999 l'UNESCO l'a placée dans la liste du patrimoine mondial après la découverte d'un grand nombre de

1. AUSTRALOPITHECUS SEDIBA, une espèce d'australopithèque découverte en Afrique du Sud, est considéré par certains paléanthropologues comme un ancêtre de *Homo*, le genre humain.

fossiles d'anciens hominidés, cette région porte l'appellation prédestinée de « Berceau de l'humanité »... Cependant, pour cette raison précisément, elle est aussi l'une des plus explorées par les paléanthropologues. C'est pourquoi L. Berger a, des années durant, continué à fouiller la grotte Gladysvale au sein de la réserve naturelle John Nash. Parmi les millions de fossiles animaux présents, il ne trouvait guère que quelques traces de l'espèce *Australopithecus africanus*. Il s'est alors donné comme objectif supplémentaire de dater son site. En Afrique de l'Est, les fossiles sont extraits de sédiments encastrés entre des couches de cendres volcaniques que l'on sait dater avec fiabilité. Or le Berceau de l'humanité, en Afrique du Sud, est dépourvu de cendres volcaniques.

Les méthodes inventées pour contourner cette difficulté font notamment appel aux inversions du champ magnétique terrestre enregistré dans les strates de roches aimantables. Elles se sont vite révélées utiles. En août 2008, au bout d'une piste créée au XIX^e siècle par les carriers qui approvisionnaient Johannesburg en blocs calcaires, L. Berger découvre une cavité créée à la dynamite et mesurant trois mètres sur quatre. Les quelques fossiles animaux qu'il aperçoit lui donnent envie de revenir sur ce site, qu'il nomme Malapa,

« propriété » en langue sésoto. En le revisitant 15 jours plus tard, il découvre un fragment de clavicule d'un hominidé. En quelques mois, son équipe met au jour plus de 220 ossements de *Au. sediba*, soit plus que la totalité des ossements de toutes premières espèces du genre *Homo* jamais trouvés. Or, par les techniques de datation mises au point à Gladysvale, les géologues de son équipe montrent que ces restes datent de 1,977 million d'années, à 2 000 ans près !

Bras long, doigts courts et droits

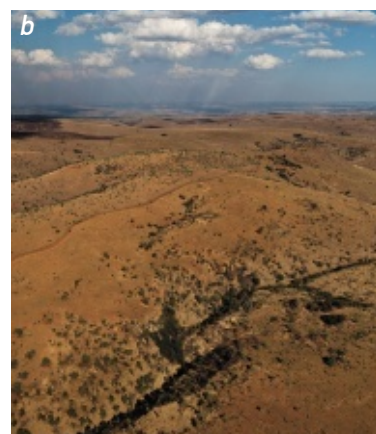
L'importance des fossiles trouvés à Malapa tient au fait qu'ils comportent un grand nombre d'éléments du squelette. On peut ainsi espérer que l'on pourra en tirer des conclusions sur l'ordre d'apparition des traits caractéristiques du genre *Homo*. Il est déjà clair en tout cas que les caractères humains ne se sont pas tous développés en même temps comme on le pensait. Le bassin australopithèque, étroit et allongé, a par exemple évolué pour prendre une forme en coupe facilitant le passage de la grosse tête des bébés humains.

Or on constate que le bassin de *Au. sediba* est de type humain, tandis que le volume de son cerveau (420 centimètres

cubes) représente moins d'un tiers de celui du cerveau humain (1 400 centimètres cubes). La présence simultanée chez *Au. sediba* d'un bassin en coupe et d'un petit cerveau montre que, dans la lignée de *Au. sediba*, ce n'est pas l'augmentation de la taille du cerveau qui a déclenché la métamorphose du bassin.

Le même genre d'observations peut se faire à des échelles biologiques plus petites : la boîte crânienne du jeune mâle montre que son cerveau, bien que petit, est pourvu d'un front élargi, ce qui indique un début de réorganisation de la substance grise. Survivance du passé arboricole de ses ancêtres, les membres supérieurs de la femelle adulte sont longs et prolongés de doigts courts et droits qui devaient rendre sa main habile, mais la présence de fortes insertions musculaires sur les os du poignet signale en même temps une poigne digne de celle d'un singe...

Autre exemple : Bernard Zipfel, de l'Université du Witwatersrand et membre de l'équipe de Malapa, souligne que le pied de *Au. sediba* est composé d'un talon de singe archaïque, mais d'un os de cheville quasi humain. Ainsi, la juxtaposition de traits anciens (australopithèques) et nouveaux (humains) dans le squelette de *Au. sediba* paraît parfois si improbable que des paléontologues ignorant que ses os ont



2. LEE BERGER ET SON ÉQUIPE n'ont pas fini d'explorer la grotte de Malapa, où a été découvert *Australopithecus sediba* [a]. Des blocs calcifiés dégagés il y a longtemps par des carriers [c] seront examinés au scanner à rayons X, dans l'espoir d'y découvrir des fossiles. La région de Malapa fait partie d'une zone surnommée Berceau de l'humanité, en raison de sa richesse en fossiles d'hominidés [b].

© Getty Images, Brent Stirton