

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

Aurélié Luneau
14h-15h / chaque jeudi

franceculture.fr

en partenariat avec **POUR LA SCIENCE**

© 2011 France Culture. Tous droits réservés. Photo : M. D. / Getty Images. 17 mai 2011. Photo : M. D. / Getty Images. 17 mai 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 dotées 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 paléoanthropologues. 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

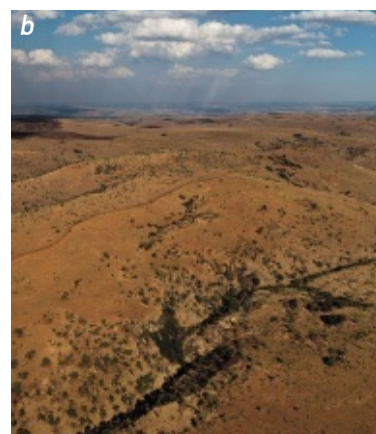
L'importance des fossiles trouvés à Malapa tient au fait qu'ils comportent un grand nombre d'éléments du squelette. On peut ainsi espérer que l'on pourra en tirer des conclusions sur l'ordre d'apparition des traits caractéristiques du genre *Homo*. Il est déjà clair en tout cas que les caractères humains 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

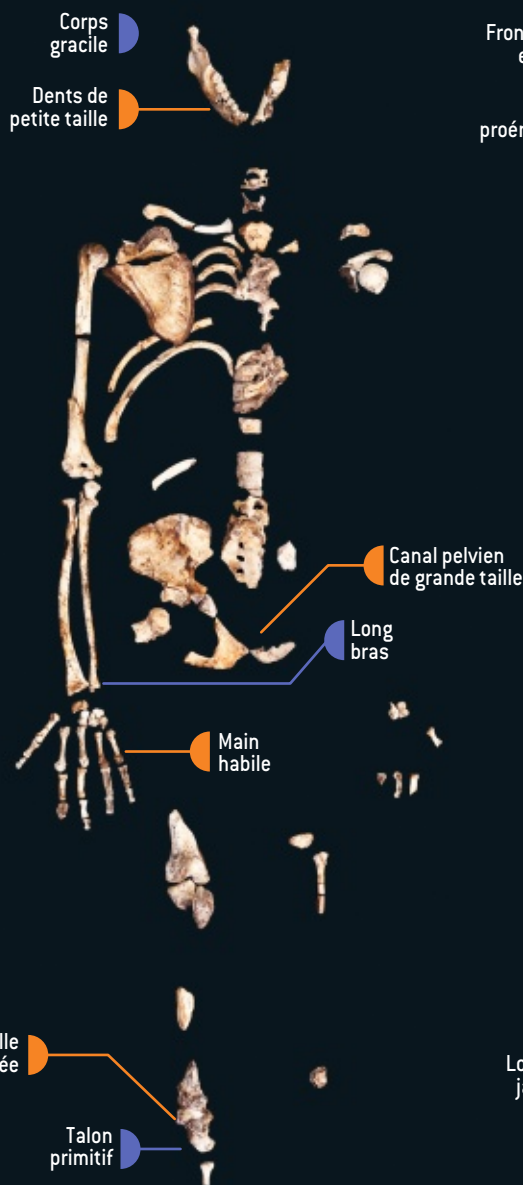
LES CARACTÈRES HÉTÉROCLITES DE *AUSTRALOPITHECUS SEDIBA*

Les squelettes de *Au. sediba* présentent un mélange inattendu de traits propres aux australopithèques et au genre *Homo*. On pensait que les traits caractéristiques du genre humain, tels que des bras courts et des mains agiles, sont apparus simultanément. Or *Au. sediba* montre qu'ils sont apparus en plusieurs étapes. Ainsi, ses longs bras, faits pour grimper aux arbres, sont assortis de mains au long pouce et aux doigts courts, qui semblent conférer une préhension fine, comme celle d'un humain moderne. Pour l'équipe de Lee Berger, ce mélange de traits australopithèques et humains suggère que *Au. sediba* descend de l'australopithèque africain, *Au. africanus*, ou d'une lignée inconnue, et qu'il est un ancêtre direct de *Homo erectus*.

Homologue au genre *Australopithecus*

Homologue au genre *Homo*

Femelle adulte
de *Australopithecus sediba*



Jeune mâle
de *Australopithecus sediba*



Homo erectus



Australopithecus africanus



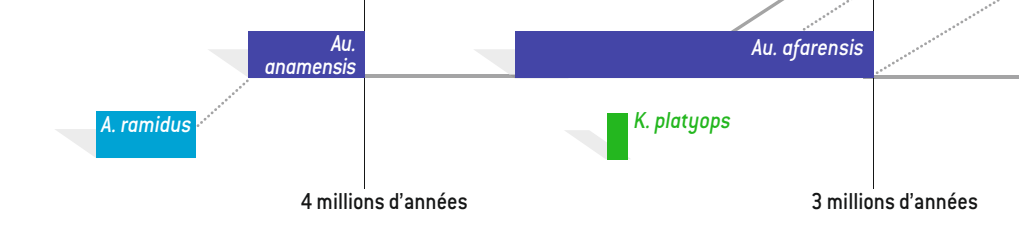
Australopithecus sediba



Une telle mosaïque de caractères anciens et nouveaux est une bonne leçon pour les paléontologues, souligne L. Berger. Lui aussi aurait attribué les os de *Au. sediba* à des espèces distinctes s'il les avait trouvés séparés : son bassin lui aurait évoqué, par exemple, celui d'un *Homo erectus* ; son bras aurait été associé à un singe, et sa cheville à un *Homo sapiens*... Selon L. Berger, on ne peut qu'en conclure qu'il n'est plus possible d'attribuer un os isolé à un genre, par exemple au genre *Homo*. Il vise particulièrement par là une mâchoire supérieure trouvée dans l'Hadar, en Éthiopie, qui passe aujourd'hui pour la plus ancienne trace humaine, puisqu'elle est datée de 2,3 millions d'années.

Si ce scénario est le bon, *H. habilis* ne serait plus notre ancêtre, mais seulement un rameau de l'arbre phylogénétique du genre *Homo*. Les australopithèques des Afars (*Au. afarensis*) censés être à l'origine de tous les hominins plus récents, dont *Au. africanus*, seraient même mis de côté. À l'appui de sa thèse, L. Berger insiste sur le fait que le talon de *Au. sediba* paraît moins évolué que celui de *Au. afarensis*; cela implique soit que sa lignée est passée par une réversion évolutive vers un talon plus primitif, soit que cet australopithèque ne fait pas partie de la lignée de *Au. afarensis*, ni de celle de *Au. africanus*, mais d'une lignée qui reste à découvrir...

Selon le schéma communément admis, *Australopithecus afarensis* serait l'ancêtre de *Homo habilis*, qui serait lui-même l'ancêtre de *H. erectus* et des espèces ultérieures du genre humain. Mais certains traits de *Au. sediba* – dont son talon plus primitif que celui de *Au. afarensis* et sa main plus humaine en apparence que celle de *H. habilis* – ont nourri l'hypothèse controversée selon laquelle *Au. sediba* serait en fait l'ancêtre de *H. erectus*, et que *Au. afarensis* et *H. habilis* ne seraient que des rameaux latéraux de l'arbre phylogénétique humain.

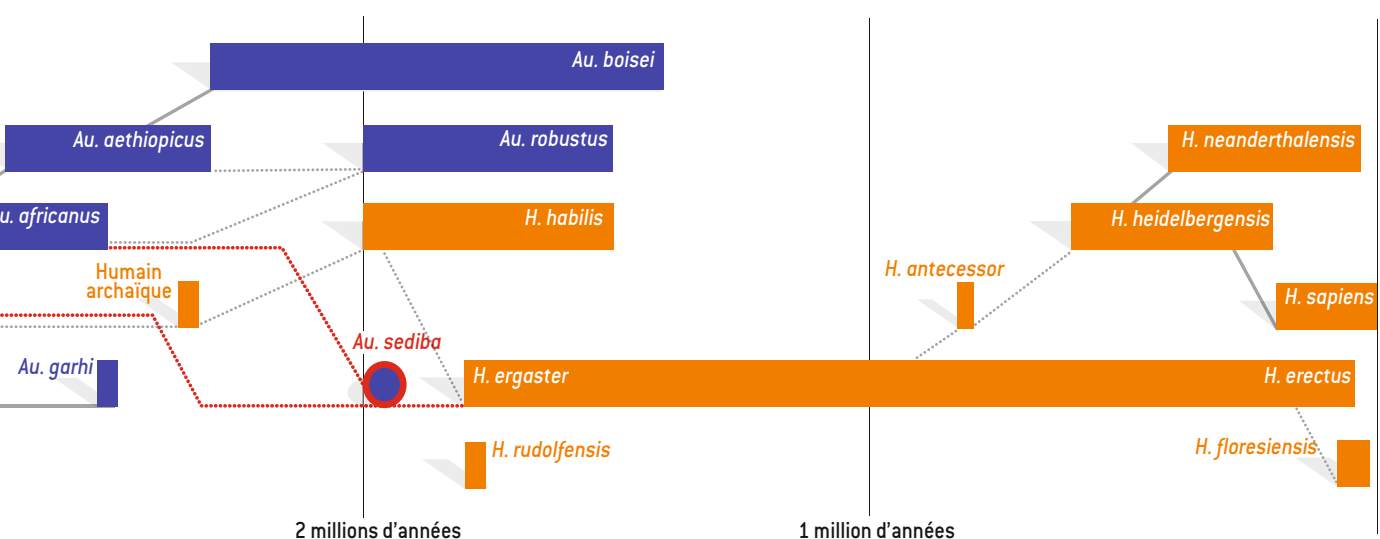


W. Kimbel a vu les fossiles de Malapa, mais n'a pas eu l'occasion de les étudier en détail ; il trouve intrigants leurs caractères quasi humains et ne sait trop qu'en penser. Quoiqu'il en soit, il raille l'idée que la lignée de *Au. sediba* serait à l'origine de celle de *H. erectus*. Comment un taxon sud-africain doté de quelques traits humains pourrait-il être l'ancêtre du genre humain, alors qu'une lignée nettement humaine était déjà présente 300 000 ans auparavant dans les Afars ?

Pour sa part, Meave Leakey, de l'Institut du bassin du lac Turkana au Kenya, estime que, s'agissant de *Au. sediba*, trop de points sont en contradiction, tout particulièrement sa datation et sa localisation. Les recherches de M. Leakey portent aussi sur les fossiles est-africains, et elle fait partie des chercheurs qui pensent plus probable que les homininsés d'Afrique du Sud appartiennent à un rameau évolutif local.

L. Berger est cependant soutenu par Bernard Wood, de l'Université de Washington, dans son opinion qu'un ossement isolé ne suffit pas pour tirer une conclusion quant au corps entier de l'animal. En revanche, lui non plus ne souscrit pas à l'idée que *Au. sediba* puisse être l'ancêtre du genre

NOTRE ANCÊTRE À TOUS ?



Jan Christiansen

Homo. Cet australopithèque présente trop peu de traits permettant de l'associer au genre *Homo*, estime-t-il, et il est possible qu'il les ait développés indépendamment de la lignée humaine. Du reste, selon lui, *Au. sediba* a un trop grand chemin évolutif à parcourir pour se muer en *Homo erectus*.

En fait, la question de la place de *Au. sediba* dans notre arbre phylogénétique est obscurcie par l'absence d'une définition claire du genre *Homo*. En établir une est une tâche plus ardue qu'il n'y paraît, étant donné le faible nombre de fossiles humains datant de la transition entre les australopithèques et les premiers hommes, d'autant que beaucoup ne sont que des fragments... Dès lors, identifier avec certitude les caractéristiques qui ont fait de nos ancêtres des humains à part entière est un défi. Les squelettes de Malapa illustrent cette difficulté : ils sont tellement plus complets que tout spécimen antérieur de *Homo* qu'il est très difficile de les comparer avec d'autres restes.

Quelle que soit la position phylogénétique des fossiles de Malapa, ils sont censés nous fournir le portrait le plus précis que nous puissions nous faire de l'une des premières espèces d'homininés, notamment parce que nous disposons de deux individus. En plus du jeune mâle et de la femelle adulte – les deux spécimens les plus complets –, l'équipe de L. Berger a mis au jour des ossements de quatre autres individus, dont un bébé, ce qui est

très rare. Leur état de conservation est excellent. Les chercheurs ont ainsi obtenu une omoplate mince comme du papier à cigarette, une première côte pareille à une lamelle, des os de doigt de la taille d'un petit pois, des vertèbres dont les apophyses épineuses sont intactes...

Avant Malapa, les paléanthropologues ne disposaient d'aucun os complet de bras d'hominin primitif. Les dimensions de membres utilisées pour reconstituer

SI LA PRÉSENCE DE MATÉRIAUX organiques se confirme, elle permettra peut-être aussi d'obtenir de l'ADN de *Australopithecus sediba*.

des comportements essentiels tels que la locomotion ne sont donc que des estimations. Même pour Lucy, le squelette d'hominin d'âge comparable le plus complet, découverte en 1974, de nombreuses parties des os des membres supérieurs et inférieurs sont manquantes. En revanche, chez la femelle adulte de Malapa, le bras est pratiquement intact, de l'omoplate jusqu'à la main. Seules les extrémités de certains doigts et quelques os du poignet sont absents, mais L. Berger espère les retrouver ainsi que les restes des deux autres squelettes lorsqu'il fouillera le sol.

Jusqu'ici, en effet, son équipe n'a fait que collecter les ossements accessibles en surface. Une fois en possession de ces éléments, les chercheurs pourront notamment

reconstituer comment *Au. sediba* grandissait et se déplaçait ; ils pourront aussi étudier la diversité régnant au sein de cette espèce.

Le site de Malapa a aussi livré ce qui pourrait être de la matière organique fossilisée. L. Berger a remarqué, sur les images de tomographie aux rayons X du crâne du jeune mâle, ce qui ressemble à une petite poche d'air entre la surface du fossile et le contour de l'os. En examinant cet endroit au microscope, il a noté sur la surface un motif caractéristique rappelant la structure de la peau. Si cela se confirme, cette peau préservée pourrait révéler la couleur de peau de *Au. sediba* ainsi que la densité et l'aspect de ses poils.

Ces éléments livreraient aussi la répartition des glandes sudoripares, et nous renseigneraient ainsi sur la régulation thermique de *Au. sediba*. Les glandes sudoripares donnent aussi des indices sur l'évolution du cerveau puisque, étant donné la sensibilité à la chaleur de cet organe, une température assez basse est une condition préalable à l'émergence d'un gros cerveau.

Si la présence de ces matériaux organiques se confirme, pourra-t-on aussi obtenir de l'ADN ? Le plus ancien ADN d'hominin que l'on ait récupéré jusqu'ici, celui d'un Néandertalien, date d'il y a environ 100 000 ans. L. Berger espère que dans les conditions de conservation exceptionnelles de Malapa, des informations génétiques pourront être recueillies. Si c'est le cas, les chercheurs pourront peut-être en déduire

si la femelle adulte et le jeune mâle étaient mère et fils, comme cela a déjà été évoqué, et, dans la mesure du possible, leurs relations avec les autres hominins du site. Pareille percée vers la génétique inciterait aussi les chercheurs à tenter de trouver de l'ADN dans d'autres sites, ce qui, avec de la chance, permettrait de trancher la question des liens de parenté entre les diverses espèces d'hominins.

La découverte de restes organiques exploitables serait une si grande première en paléontologie des hominins, que l'équipe de Malapa sait bien que les preuves de la percée devront être irréfutables. Jusqu'ici,

les résultats des analyses vont dans le sens souhaité par L. Berger, et la découverte de restes de matière organique sur des fossiles de dinosaures, bien plus anciens, conforte son espoir d'une percée comparable en paléanthropologie. Après tout, suggère-t-il, la conservation d'éléments organiques sur des fossiles d'hominins est peut-être quelque chose d'assez fréquent, mais que personne jusqu'ici n'avait estimé possible.

Le tartre dentaire est un autre détail que personne n'a jamais songé à étudier sur un hominins de cet âge. De sombres taches brunes apparaissent en effet à la surface des molaires du jeune mâle. Quand

on prépare des fossiles d'hominins afin qu'ils puissent être étudiés, on décape en général les dents. Toutefois, il se pourrait que les taches en question soient du même genre que celles contre lesquelles nous luttons à la brosse à dents ou en allant chez le dentiste, suggère L. Berger.

Le régime alimentaire révélé par le tartre

Dans ce cas, ce tartre ancien permettrait d'avoir un aperçu sur le régime alimentaire des hominins. Jusqu'à présent, une telle étude passait par la mesure des dif-

Ramification, variabilité et mosaïque : la difficile histoire de la lignée humaine

La découverte de plusieurs hominins dans le site de Malapa est un extraordinaire résultat scientifique. Trouver des restes humains de cette période est déjà un événement rare, mais en trouver plusieurs d'un même individu l'est encore plus. Or Malapa a livré les restes de plusieurs individus, dont deux représentés par plusieurs éléments... L'étude de ces squelettes partiels produira donc beaucoup de données, mais rendra aussi le diagnostic taxinomique, c'est-à-dire la caractérisation de l'espèce considérée, bien plus complexe que dans le cas d'un ossement isolé. La mise au jour par l'équipe de L. Berger en Afrique du Sud des vestiges d'*Australopithecus sediba* est donc une avancée majeure de nos connaissances sur un groupe d'hominins austral datant de près de deux millions d'années.

Pour autant, leur position chronologique à l'aube (supposée) de la naissance des *Homo erectus* est-elle crédible ? Les caractéristiques morphologiques de *Au. sediba* sont très particulières : elles sont en partie proches de celles du genre *Australopithecus* et en partie proches de celles du genre *Homo*. Assez pour avancer l'hypothèse que l'origine de *H. erectus* se situerait au sein de cette lignée d'australopithèques sud-africains ?

Cela sera très difficile à démontrer. Tout d'abord, il n'y a aucun consensus scientifique sur ce qu'est un *H. erectus*, pas plus qu'il n'y en a sur ce qui a défini les premiers *Homo* ; ensuite, avant d'oser proposer la modification des arbres phylogéniques

à cette période cruciale de l'histoire de l'humanité (l'homme va quitter son berceau africain pour partir à la conquête de l'Eurasie), il est obligatoire d'appréhender d'abord quelle variabilité biologique existait parmi les hominins de cette époque. Or la façon dont les traits biologiques varient au sein d'une espèce ou d'un genre est extrêmement difficile à cerner. On a naturellement tendance à l'assimiler à celle de l'unique spécimen que l'on étudie (c'est humain !), mais l'histoire de la taxinomie nous oblige à ne pas ignorer que cette façon de faire conduit le plus souvent à des interprétations fausses.

Évolution en mosaïque

Il importe en outre de ne pas oublier que l'évolution de la lignée humaine ne s'est pas déroulée de façon linéaire. Pour des périodes plus récentes (au Pléistocène moyen et supérieur), il a été montré que certains traits pouvaient évoluer, sur un même territoire, en mosaïque. Cela signifie qu'ils n'apparaissent pas forcément de façon synchrone au sein des différents groupes humains appartenant à une lignée définie par le partage de caractères ancestraux.

Avant de savoir quelle valeur phylogénique peut avoir tel ou tel caractère ou telle ou telle combinaison de traits, il faut donc essayer de connaître leur variabilité chez les prédécesseurs et les successeurs de la lignée étudiée... C'est seulement ainsi que l'on a une chance de déterminer de façon fiable si des ca-

ractéristiques ont un intérêt interprétatif réel en phylogénie.

Cette dure réalité paléontologique implique qu'en paléanthropologie, il n'y a le plus souvent pas de certitudes, mais seulement des hypothèses. En principe, un chercheur ne les présente à ses pairs que parce qu'il estime qu'elles sont associées au plus faible risque de se tromper. Sinon, les seules certitudes sont les faits archéologiques (la découverte d'objets, de fossiles, d'empreintes, etc.), mais la crédibilité qu'il convient de leur accorder varie en fonction de la façon dont on les considère, de la nature des échantillons de comparaison (souvent très criticables), de la résolution chronologique, des hypothèses à la mode, etc.

Soulignons aussi que l'on ne fouille pas un site seulement pour un fossile, mais que c'est l'ensemble de ce qu'un gisement est capable de nous apprendre en termes de connaissances sédimentologiques, paléo-environnementales, chronologiques, taphonomiques (relatives à la fossilisation), sur l'évolution des espèces animales (ou végétales) du passé, leurs comportements, leurs interactions, qui fait l'objet de recherches scientifiques interdisciplinaires. Si l'on néglige un point, on fragilise les résultats de tous les autres champs disciplinaires. Pour tant et malheureusement, le caractère sensationnel de la découverte de fossiles humains a l'étrange conséquence d'éclipser les résultats des autres disciplines.

Certes, la découverte de ces fossiles humains étant si rare, leur médiatisation mobilise l'intérêt de la société, ce qui facilite l'obtention par les chercheurs des moyens nécessaires à la recherche. C'est une bonne chose tant les recherches de terrain sont complexes, coûteuses et ingrates, donc difficiles à valoriser. Mais cette nécessaire mise en lumière des résultats obtenus ne remplace pas le long et ardu travail d'analyse paléanthropologique, lequel ne se fait qu'avec le temps et en impliquant tous les chercheurs concernés.

Malheureusement, en paléanthropologie, l'auteur d'une découverte et l'objet de l'étude tendent à se confondre un peu, ce qui offre à tant de découvreurs l'occasion de proposer leur vision de nos origines... Or tant qu'une telle découverte n'a pas été étudiée à fond par les chercheurs, une telle vision risque de n'être qu'une contribution de plus à la construction d'une mythologie scientifique.

Pour nous, tel est le cas de la vision intéressante, mais prématurée, de l'origine du genre *Homo* proposée par Lee Berger. Comme Marcel Otte, préhistorien de l'Université de Liège, le rappelait en 2010 dans son article *Rêve, science et religion* : « Le scientifique ne sait rien, il cherche, il doute [...] et n'échange qu'avec ses pairs, là où sa parole peut être opportunément contredite. »

Bruno Maureille
Laboratoire PACEA,
CNRS et Université de Bordeaux 1

férents isotopes du carbone présents dans les dents. Les résultats indiquent si un animal s'est nourri au cours de sa vie de plantes « en C₃ » (arbres, arbustes, etc.) ou en « C₄ » (graminées, laïches, etc.) – ou, dans le cas des espèces carnivores, d'animaux qui ont eux-mêmes ingurgité de telles plantes – ou d'un mélange des deux... Il s'agit d'informations indirectes et peu précises. En revanche, des restes des aliments ingérés s'incorporent directement au tartre. Il s'agit notamment de petits cristaux de silice nommés phytolithes, que toutes les plantes fabriquent, certains phytolithes ayant des formes caractéristiques de l'espèce. Leur étude peut ainsi révéler avec précision quelles sortes de plantes avait mangé l'animal peu avant sa mort.

En se fondant à la fois sur l'analyse des proportions de radio-isotopes du carbone, sur les phytolithes et sur les marques d'usure dentaire caractéristiques de la dureté des aliments mastiqués dans les mois ayant précédé la mort, l'équipe de L. Berger a récemment obtenu et publié des informations sur le régime alimentaire de *Au. sediba*.

En octobre 2011, dans un article publié par *Science*, Peter Ungar de l'Université d'Arkansas et Matt Sponheimer de l'Université du Colorado soulignaient la diversité et la complexité insoupçonnées du régime alimentaire de nos aïeux. Alors que l'ardipithèque (*Ardipithecus ramidus*), l'un des tout premiers hominins présumés (il y a 4,4 millions d'années), se nourrissait essentiellement de plantes en C₃ comme les chimpanzés, d'autres hominins africains anciens semblent s'être nourris d'un mélange de plantes en C₃ et en C₄. Le paranthrope robuste (*Paranthropus robustus*) avait même adopté un régime alimentaire presque exclusivement constitué de plantes en C₄, comme l'ont montré Thure Cerling, de l'Université de l'Utah, et ses collègues.

Pour sa part, l'équipe de Malapa a établi que les deux individus *Au. sediba* consommaient presque exclusivement des plantes en C₃. Ce régime alimentaire, semblable à ceux des chimpanzés de savane, diffère notablement de ceux établis à ce

■ L'AUTEUR

Kate WONG est journaliste scientifique à *Scientific American*.



3. LA TOMOGRAPHIE À RAYONS X ISSUS D'UN SYNCHROTRON a livré une mesure précise des cavités endocrâniennes de *Au. sediba*, dont on a tiré une reconstruction de la forme de son cerveau (en rose). Même si le cerveau de ce jeune mâle de *Au. sediba* n'est guère plus gros que celui d'un chimpanzé, la reconstruction suggère que dans la lignée de *Au. sediba*, commençait une réorganisation du lobe frontal, partie du cerveau jouant chez l'homme un rôle essentiel dans la planification et le langage.

■ BIBLIOGRAPHIE

A. G. Henry et al., *The diet of Australopithecus sediba*, *Nature*, vol. 487, pp. 90-93, 2012.

R. Pickering et al., *Australopithecus sediba* at 1.977 Ma and implications for the origins of the genus *Homo*, *Science*, vol. 333, pp. 1421-1423, 2011. [Ce même numéro de *Science* contient une série d'articles sur *Au. sediba*.]

L. R. Berger et al., *Australopithecus sediba* : A new species of *Homo*-like Australopithecine from South Africa, *Science*, vol. 328, pp. 195-204, 2010.

jour pour les autres hominins. Bien que l'échantillon disponible soit très restreint (deux individus), cette étude confirme que les régimes des australopithèques étaient diversifiés, à l'instar des morphologies des espèces du même genre.

Comment les australopithèques de Malapa sont-ils morts ? L. Berger soupçonne qu'ils ont été piégés en cherchant de l'eau. La grotte de Malapa d'aujourd'hui constitue en effet le fond d'un ancien lac souterrain, qui se trouvait 30 à 50 mètres sous le sol.

Attirés dans l'à-pic par la présence d'eau, les australopithèques de Malapa y seraient tombés, ce qui expliquerait que leurs restes sont exempts de toute trace de charognage. On peut supposer que le jeune mâle est tombé en premier dans le gouffre, ce qui y aurait attiré la femelle adulte, sa mère peut-être. Quoi qu'il en soit, la grotte de Malapa était un véritable piège à fossiles, puisque toute une ménagerie allant des antilopes aux zèbres semble y avoir connu le même sort, avant d'être fossilisés comme les hominins.

L'étude ne fait que commencer

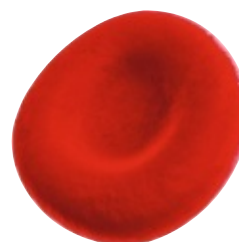
L'étude de *Au. sediba* ne fait que commencer, et l'exploration de la grotte de Malapa n'est pas achevée non plus. Elle pourrait contenir encore de nombreux ossements fossiles. Du reste, quand L. Berger descend dans la cavité, il peut indiquer du doigt des endroits

où affleurent ici l'os du bras d'un enfant, ailleurs la mâchoire inférieure d'une sorte de félin à dents de sabre, etc. Pour le moment, l'équipe a amassé l'un des plus grands trésors paléontologiques jamais trouvés en se contentant de ramasser les blocs séparés par les carriers du XIX^e siècle (voir la figure 2) et en les passant au tomographe à rayons X. Une fois que les fouilles systématiques des 500 mètres carrés du site auront commencé, il est probable que d'autres fossiles seront mis au jour. Le site de Malapa est si riche que L. Berger pourrait sans doute y consacrer le reste de sa carrière, mais la curiosité le pousse à explorer d'autres régions africaines ayant les mêmes caractéristiques que le Berceau de l'humanité. Y trouvera-t-on de nouveaux ancêtres ? ■

Les porphyrines : les couleurs de la vie

Franck Dayan et Emilie Dayan

Des pigments biologiques, les porphyrines, sont des molécules essentielles du vivant. Leur étude nourrit des domaines aussi variés que la médecine, l'agronomie ou le photovoltaïque.



Dans l'Antiquité, les Grecs récoltaient des coquillages de la famille des murex, dont ils extrayaient un pigment de couleur pourpre qu'ils utilisaient pour teindre les tissus. Aujourd'hui, le terme grec *porphureos*, qui signifie pourpre, a donné son nom à la classe de pigments la plus abondante dans la nature, les porphyrines. Produites tant chez les animaux que chez les végétaux, et même chez certaines bactéries, ces molécules en forme d'anneau entrent dans la composition d'éléments essentiels à la vie.

Liées à un ion magnésium, les porphyrines végétales forment la chlorophylle, indispensable à la photosynthèse. Combinées à un ion fer, les porphyrines animales forment l'hème, un motif nécessaire à la fonction de nombreuses métalloprotéines : l'hème de l'hémoglobine des globules rouges assure le transport de l'oxygène et du dioxyde de carbone dans le sang, et c'est encore l'hème d'autres protéines qui soutient les chaînes de transport d'électrons dans la respiration cellulaire (la production d'énergie dans les cellules) ou qui contribue aux activités catalytiques de nom-

L'ESSENTIEL

- Les porphyrines sont une famille de molécules présentes chez la plupart des organismes vivants et essentielles à la vie.
- Leur voie de synthèse est très semblable d'un règne du vivant à un autre.
- Chez l'homme, des anomalies au cours de leur synthèse, dues à des mutations génétiques, entraînent des maladies rares, les porphyries.
- Chez les végétaux, les porphyrines sont des précurseurs de la chlorophylle. Certains herbicides agissent en perturbant leur synthèse.

© Shutterstock/martan, ben bryant

breuses enzymes. Associées au nickel, les porphyrines forment la coenzyme F_{430} qui joue un rôle majeur chez les bactéries métabolisant le méthane. Enfin, la vitamine B_{12} , produite par des micro-organismes (bactéries, champignons, algues), résulte de la combinaison du cobalt avec un dérivé des porphyrines.

Toutes ces molécules issues des porphyrines, nommées métalloporphyrines, sont construites sur le même schéma : un anneau – la porphyrine – au sein duquel est niché un ion métallique. Chacune est un pigment : elle absorbe la lumière visible, ce qui donne une couleur aux cellules qui en contiennent (vert pour la chlorophylle, rouge pour l'hémoglobine, jaune pour la coenzyme F_{430} , rouge pourpre pour la vitamine B_{12}). De par leur rôle clé chez presque tous les organismes vivants, on les surnomme parfois les couleurs de la vie.

Leur universalité en fait l'objet de nombreuses recherches dans des domaines aussi variés que la médecine, l'agriculture ou les énergies renouvelables. Chez l'homme, des anomalies dans la synthèse des porphyrines entraînent de graves pathologies, les porphyries. Leur étude vise à mieux diagnostiquer

