

n'utilisent pas toutes la même chaîne métabolique pour fixer le carbone. Certaines fixent un peu plus de carbone 13 que d'autres. Nommées plantes C4 (car un composant du cycle métabolique possède quatre atomes de carbone), ces plantes sont résistantes à la sécheresse, apprécient une forte exposition à la lumière et constituent environ la moitié des herbes dans le monde. Les autres plantes (nommées plantes C3) – comme la plupart des arbres, les arbustes et les herbes domestiquées – apprécient un ensoleillement et des températures modérés, une humidité abondante, et tolèrent une concentration de carbone 13 beaucoup plus faible dans leurs tissus.

Les archéologues et les paléoécologues pourraient utiliser cette information pour reconstituer les schémas généraux de végétation d'une région ou les conditions environnementales dans lesquelles les plantes ont poussé. Certains s'intéressent aussi à l'oxygène, l'azote, et les isotopes d'aluminium contenus dans les phytolithes, potentiellement exploitables de la même façon que le carbone, mais plus d'études sont nécessaires afin de tester la faisabilité de ces analyses.

Jusqu'à présent, la plupart des recherches utilisant des phytolithes se sont focalisées sur l'étude du passé. Mais les caractéristiques qui rendent ces structures si précieuses dans ce domaine, comme leur durabilité

et leur spécificité taxonomique, sont aussi fort utiles dans des situations modernes.

Une étude récente menée par Amanda Henry montre l'intérêt des phytolithes et des grains d'amidon dans l'étude du régime alimentaire des primates actuels. Les méthodes usuelles ne suffisent pas toujours : l'observation est parfois délicate si les animaux se sauvent et mangent leur nourriture hors de vue, et l'examen fécal résulte souvent en un registre incomplet. Les phytolithes – contenus dans les selles, les échantillons de sol, ou collectés sur les outils des primates comme les pierres à noix, ainsi que sur la plaque dentaire – fournissent l'information manquante. L'utilisation des concrétions de silice débute seulement en

Des oasis à Olduvai il y a plus de un million d'années

Depuis la découverte d'un homininé par Louis et Mary Leakey en 1959, la gorge d'Olduvai est le lieu d'intenses recherches. Les fossiles d'animaux (ossements, dents) et artefacts humains (outils taillés, os entaillés) abondent dans ce paléobassin sédimentaire.

La gorge d'Olduvai est située dans la plaine du Serengeti dans le nord de la Tanzanie. Dans cette région aride, l'évaporation est très supérieure aux précipitations, ce qui rend salée l'eau des lacs, impropre à la consommation de la plupart des animaux, hommes et singes inclus.

Comment, dans ces conditions, expliquer la présence récurrente à cet endroit pendant plus de un million d'années de trois espèces différentes d'homininés (*Paranthropus boisei*, *Homo habilis* et probablement *Homo erectus*), de plusieurs industries lithiques et de nombreuses carcasses d'animaux portant des traces de découpe attestant une activité humaine ?

En 2014, j'ai analysé des phytolithes préservés dans les paléosols de plusieurs sites archéologiques de la gorge d'Olduvai. Pour réaliser une telle étude, il faut considérer des assemblages de plusieurs milliers de phytolithes récoltés

dans les paléosols et les sédiments. Ceux-ci sont ensuite comparés aux phytolithes de plantes connues, issues de spécimens d'herbiers, afin de reconstruire la végétation passée. On caractérise aussi des assemblages de phytolithes actuels qui serviront de référence. À ce jour, plus de 500 sites en Afrique ont ainsi été caractérisés.

Grâce aux phytolithes, j'ai montré qu'entre 1,9 million et 1,5 million d'années avant notre ère, à deux reprises, la végétation a été de type marécageux riche en espèces hydrophiles (roseaux, laïches) à proximité de résurgences d'eau souterraine formant des oasis, s'enrichissant en espèces ligneuses, palmiers et graminées à mesure que l'on s'éloignait du point d'eau douce et se rapprochait du lac salé. D'après d'autres marqueurs tels les pollens et les isotopes du carbone, ce phénomène a pu se produire jusqu'à cinq fois sur cette période.

Sur les affleurements géologiques à Olduvai, on retrouve des indices de ces résurgences d'eau douce souterraine : certaines roches calcaires incrustées dans les dépôts sédimentaires – des travertins – sont caractéristiques de la présence de sources d'eau. Leur position, dans les zones de piémont, suggère que les oasis ont ponctué le paysage durant des périodes climatiques sèches, quand le niveau du lac était bas. Des marécages, voire des forêts, se sont alors développés. Lorsque le niveau du lac était plus haut, il inondait le piémont et l'eau était salée.

Aujourd'hui, suite au basculement du bassin d'Olduvai vers l'est, conséquence de l'ouverture du rift, l'eau s'écoule vers le sud. On observe ainsi des sources d'eau douce 30 kilomètres plus au sud, marquées par des îlots verts et boisés qui contrastent avec un paysage riche en baobabs, acacias, euphorbes candélabres et autres espèces végétales typiques de cette région aride. Ces nouvelles oasis fournissent notamment de l'eau aux chasseurs-cueilleurs Hadzabe qui vivent dans les monts Mbulu.

Dans ce berceau de l'humanité qu'est la gorge d'Olduvai, les phytolithes ont permis d'expliquer la présence importante d'ossements et d'outils de pierre taillée. Ces oasis étaient un élément du paysage attractif en termes de ressource en eau potable, en plantes comestibles (palmiers, tubercules) et en proies animales potentielles, elles aussi attirées par l'eau douce. Ces oasis, en conséquence, devaient être des zones d'intense compétition entre proies (herbivores, homininés...) et prédateurs (carnivores... et homininés !). Les phytolithes ont donc apporté un complément d'information sur la paléovégétation et son hétérogénéité spatiale qui n'était pas accessible à partir des données extraites des pollens, lesquels fournissent des informations sur la végétation à l'échelle plus vaste du paysage.

La répartition des sources d'eau douce dans le paléopaysage et leur disponibilité dans le temps est un facteur environnemental qui a probablement influé sur le moment et l'étendue des migrations et de la dispersion des homininés dans le rift est-africain.

– Doris Barboni
Cerege, CNRS, Aix-en-Provence

primatologie, mais elle pourrait être étendue à l'étude d'autres populations animales.

Par ailleurs, du fait de certaines propriétés physiques, les phytolithes commencent à intéresser le secteur des nanotechnologies. En 2009, Suresh Neethirajan, de l'université de Guelph, au Canada, et ses collègues ont montré que les phytolithes produits dans les feuilles de l'agrostide rampante (*Agrostis palustris*) réduisent la chaleur absorbée par la plante et accélèrent son refroidissement. En effet, les phytolithes réemettent de façon efficace un rayonnement infrarouge. Ces observations soulignent leur potentiel d'utilisation dans divers systèmes nanométriques qui nécessitent, par exemple, un bon contrôle de la température. Autre avantage : les sources naturelles de phytolithes sont nombreuses et peu chères pour les industriels qui pourraient les récupérer dans les déchets végétaux (tiges, feuilles de certaines plantes) non exploités. Des dispositifs artificiels reproduisant le procédé de formation naturel des phytolithes sont aussi à l'étude.

Des pesticides au transport de médicament

Les autres applications possibles des phytolithes en nanotechnologie sont variées. Des pesticides sont produits à partir de la silice amorphe issue de phytolithes fondus. Appliquée sur des insectes nuisibles, cette silice perturbe la capacité des lipides de leur cuticule à retenir l'eau, ce qui entraîne la dessiccation et la mort des insectes. Fondus en nanoéléments de base, les phytolithes sont aussi assemblés pour former des nanocomposites. La morphologie des phytolithes fondus les rend par ailleurs bien adaptés pour transporter des composés organiques et encapsuler des enzymes, en vue de leur libération dans l'organisme au cours d'un traitement médical.

À l'opposé, certains envisagent une utilisation des phytolithes en géo-ingénierie : des chercheurs en Australie et en Chine examinent la possibilité d'utiliser les phytolithes comme piège à carbone afin d'aider à réduire les concentrations globales de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Lorsque les phytolithes se forment et piègent le carbone, ils le retirent de l'atmosphère. Ce carbone est alors stocké

Phytolithes et police scientifique

Dans une affaire de meurtre à Spokane, aux États-Unis, les enquêteurs ont utilisé les phytolithes pour prouver qu'un suspect était bien sur le lieu du crime.

Les phytolithes retrouvés sur sa camionnette n'étaient pas de la même forme que ceux du site où le suspect affirmait être au moment des faits.

En revanche, ils correspondaient à ceux produits par les plantes où le corps de la victime a été retrouvé. Cette preuve fut l'un des éléments qui aidèrent les enquêteurs à comprendre ce qui s'était passé et à faire condamner le suspect.

dans le sol lors de la décomposition de la plante. L'une des hypothèses les plus communes concernant la séquestration du carbone *via* l'agriculture est que les plantes libèrent plus de carbone dans l'atmosphère lorsqu'elles se décomposent que ce qui est piégé dans les phytolithes. Par conséquent, les cultures en décomposition ne seraient pas un outil efficace de lutte contre le changement climatique. Mais Xinxin Zuo et Houyuan Lu, de l'Académie des sciences chinoise, ont testé les capacités de piégeage du millet commun (*Panicum miliaceum*) et du millet des oiseaux (*Setaria italica*) en milieu agricole sec et ont montré que cela n'est pas vrai. D'après leurs calculs, le millet commun comme celui des oiseaux peuvent séquestrer environ 0,020 tonnes de carbone par hectare. Ils estiment que, compte tenu de la superficie de millet commun cultivé aujourd'hui en Chine, cette céréale supprimerait plus de dioxyde de carbone de l'atmosphère qu'elle n'en a relâché, à raison de 2370 000 tonnes de dioxyde de carbone par an.

Séquestration de carbone

Jeff Parr et ses collègues en Australie ont quant à eux examiné la bioséquestration du carbone dans des espèces de bambou. Ils avancent que 15 600 000 tonnes de dioxyde de carbone seraient séquestrées dans le sol si le bambou était exclusivement cultivé sur les 22 millions d'hectares de forêt de bambou actuelle. En extrapolant ces données, Jeff Parr montre que l'augmentation actuelle des émissions globales de dioxyde de carbone serait réduite d'environ 11 % si le bambou, ou une autre plante à taux élevé de séquestration de carbone, était cultivé sur la totalité des 4,1 milliards d'hectares de terre arable dans le monde.

Il est clair que les phytolithes inspirent beaucoup les chercheurs et que de nombreuses pistes d'utilisation sont encore à explorer. Charles Darwin, lorsqu'il récupéra cette fine poussière à bord du *Beagle*, ne pouvait imaginer que ces minuscules bouts de silice seraient aussi riches d'information sur le passé et le présent, ou d'un fort potentiel pour les technologies futures et dans la lutte contre le réchauffement de la planète. Et ces roches végétales translucides ont encore beaucoup de choses à nous dire sur leur histoire – et sur la nôtre. ■

■ BIBLIOGRAPHIE

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

G. M. Santos et al., The phytolith ¹⁴C puzzle : A tale of background determinations and accuracy tests, *Radiocarbon*, vol. 52(1), pp. 113-128, 2010.

D. R. Piperno, *Phytoliths : A Comprehensive Guide for Archaeologists and Paleoeologists*, AltaMira Press, 2006.