

du maïs a eu lieu il y a entre 8000 et 9000 ans dans la vallée de la rivière Balsas dans le sud-ouest du Mexique. Des techniques de recherche similaires ont été utilisées et le sont encore pour découvrir les centres de domestication du riz (*Oryza sativa*), du blé (*Triticum aestivum*), de l'orge (*Hordeum vulgare*) et des bananes (*Musa genus*).

De façon générale, la recherche archéologique bénéficie elle aussi beaucoup des informations véhiculées par les phytolithes. Alors que j'étais étudiant à l'université du Connecticut, j'ai analysé des phytolithes et des grains d'amidon microscopiques présents dans des sédiments archéologiques et du tartre dentaire de squelettes humains provenant d'un village du nord de la Mésopotamie, à Tell Zeidan, en Syrie. Le site, vieux de 5000 à 8000 ans, se situe à la confluence des fleuves Euphrate et Balikh. Les phytolithes retrouvés parmi les vestiges proviennent de feuilles d'arbres et de plantes de zones humides. Cette découverte a montré pour la première fois que les villageois utilisaient les zones humides proches des fleuves et les forêts comme sources de combustible et de matériaux de construction. Les chercheurs combinent à présent ces données avec celles tirées de restes de bois calciné et de fragments de graines, afin de mieux comprendre le rôle des plantes et de l'agriculture dans le développement d'une des premières sociétés complexes du monde.

Les phytolithes éclairent aussi sur les pratiques au cours de périodes historiques données. Durant ma thèse, j'ai travaillé sur des phytolithes et des grains d'amidon retrouvés dans des sols et sur des tessons de deux sites médiévaux en Angleterre (Glebe Cottage, dans le Northamptonshire, et Durley Cottage, dans le Cambridgeshire). Alors que les registres indiquent que les principales cultures locales étaient l'avoine, l'orge et le seigle, les fermiers et les habitants de ces villages se nourrissaient, d'après les phytolithes, de blé, d'avoine et de légumes. Ce résultat suggère que, comme dans la plupart des sociétés paysannes de par le monde, les productions locales de ces deux sites étaient surtout exportées, les paysans se nourrissant de ce qu'ils parvenaient à cultiver en plus pour eux-mêmes.

En archéologie, les phytolithes aident non seulement à révéler les pratiques, mais aussi à dater les sites fouillés. Habituellement, pour la datation au radiocarbone, les spécialistes utilisent des échantillons de



CETTE COLLECTION DE PHYTOLITHES prélevés dans les sols de forêts tropicales de montagne au Panama offre une variété de formes qui permet d'identifier les espèces de plantes d'une zone restreinte. On retrouve ici des phytolithes de magnolia [a], de marantacée [b], de palmacées [c]. Certains phytolithes sont uniquement classés par le type de plante, comme les plantes ligneuses [arbres, arbustes] [u], d'autres sont produits par de nombreuses espèces [d, e] et ne sont donc pas diagnostiqués.

matière organique (bois carbonisé, graines, os) dont le carbone provient du dioxyde de carbone atmosphérique que les plantes ont fixé lors de la photosynthèse, puis éventuellement que des animaux qui mangent ces plantes ont assimilé. Avec un spectromètre de masse, les chercheurs mesurent dans ces échantillons la part d'un isotope radioactif du carbone, le carbone 14, que les rayons cosmiques produisent dans l'atmosphère. Quand la plante meurt, la part de carbone 14 dans ses tissus se met à décroître au fil du temps selon une courbe bien connue. Grâce à la mesure effectuée et à cette courbe, on remonte à la date de la mort de la plante.

Datation au carbone d'anciens écosystèmes

En général, une simple graine carbonisée ou un bout de bois suffisent. Cependant, les sites archéologiques ou paléoécologiques ne fournissent pas toujours des échantillons appropriés. Certains chercheurs ont donc proposé d'utiliser le carbone biologique souvent piégé dans les phytolithes.

La silice des phytolithes protège la matière organique de la fossilisation et de l'altération atmosphérique, mais aussi des réactions chimiques parfois nécessaires pour l'analyse par spectrométrie de

masse. De plus, le fait d'avoir des milliers de phytolithes dans un unique échantillon de sol permet de nombreuses mesures, ce qui assure une meilleure évaluation des incertitudes sur une date. L'utilisation du carbone des phytolithes offre donc des perspectives intéressantes. Néanmoins, en 2010, Guaciara Santos, de l'université de Californie à Irvine, Anne Alexandre, du Cerege (Centre européen de recherche et d'enseignement des géosciences de l'environnement), à l'université Aix-Marseille, et leurs collègues ont montré que les phytolithes de plantes actuelles contenaient du carbone plus ancien que prévu. Celui-ci pourrait être absorbé par les racines au lieu d'être d'origine atmosphérique.

Malgré ces observations, une grande part de la communauté pense qu'il est possible d'exploiter le carbone des phytolithes. Dès lors, d'autres utilisations encore sont envisagées. La forme des phytolithes indique assez bien le type de plante dont ils sont issus, mais la mesure du ratio des isotopes de carbone 12 et de carbone 13 de la matière organique piégée dans la concrétion révèle d'autres indices sur cette plante. En effet, la photosynthèse privilégie les molécules de dioxyde de carbone contenant du carbone 12 plutôt que du carbone 13. Cependant, les plantes

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