

Phytolithes

Des cailloux végétaux

Thomas Hart

Dater la domestication du maïs, montrer qu'*Homo erectus* travaillait le bois, que l'homme de Néandertal mangeait des dattes... : les minuscules concrétions de silice que produisent les plantes sont de précieux indices pour les chercheurs.

Le voyage de Charles Darwin à bord du *Beagle* a profondément marqué l'histoire des sciences. Pourtant, une importante découverte du savant anglais au cours de cette expédition est restée méconnue. Avant de recenser quelques-uns des pinsons qui porteront son nom et qui l'ont inspiré pour développer la théorie de la sélection naturelle, Darwin a été l'un des premiers scientifiques à s'intéresser à de microscopiques concrétions de silice aujourd'hui nommées phytolithes. Le 16 janvier 1832, alors que le *Beagle* faisait escale à Porto Praya, dans les îles du Cap-Vert, au large du Sénégal, il a récolté une fine poussière, filtrée par la voile du bateau, dont il a envoyé des échantillons au naturaliste allemand Christian Ehrenberg, spécialiste en microscopie.

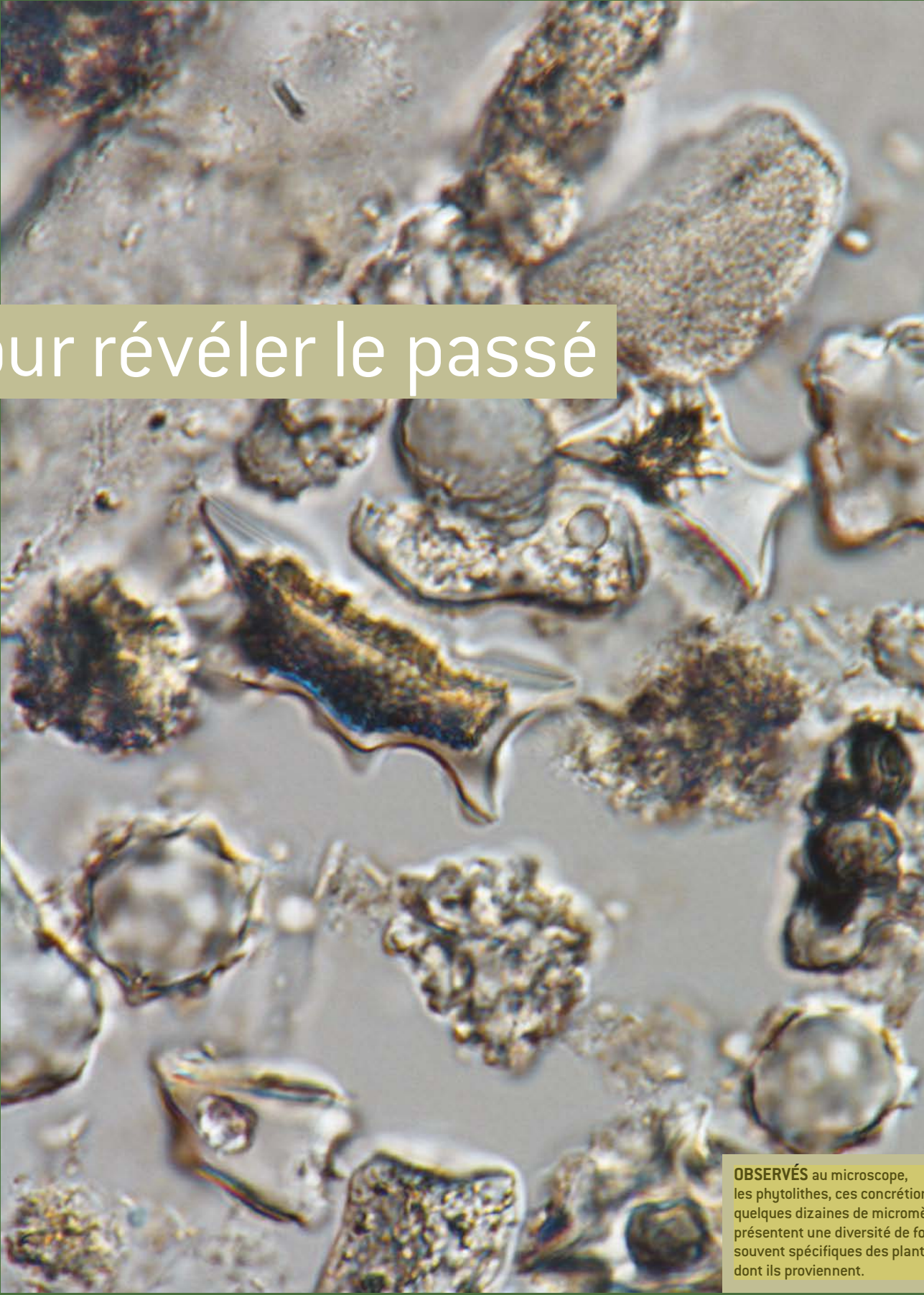
Ce dernier a ainsi observé qu'il s'agissait d'amalgames de silice inorganique issus de tissus de plantes et réalisé leur première classification. Le terme phytolithe, du grec *phyto* (plante) et *lith* (roche), s'est imposé devant les autres, tels la silice opalisée ou l'opale des plantes.

L'ESSENTIEL

- Les phytolithes sont des concrétions de silice produites dans les tissus végétaux.
- À partir de leur forme, il est possible d'identifier dans certains cas l'espèce de la plante d'origine.
- Les phytolithes perdurent longtemps dans le sol, ce qui permet d'en déduire la composition d'un écosystème disparu ou le menu d'espèces éteintes ou non.
- Datation, lutte contre le réchauffement climatique, médecine légale, nanotechnologies, leurs applications potentielles sont multiples.

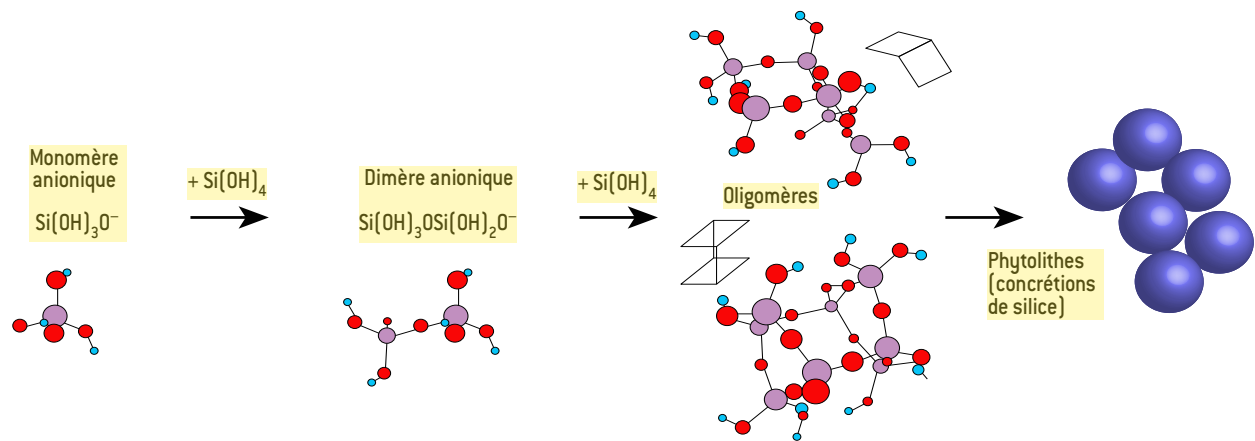
Les phytolithes sont produits par des familles de plantes représentatives de presque tous les environnements dans le monde, y compris les Angiospermes (plantes à fleurs), les Gymnospermes (conifères, cycadées, ginkgo, gnetales) et les Ptéridophytes (fougères). Comme les phytolithes persistent dans le sol après la décomposition des plantes, on en retrouve de grandes quantités datant de différentes époques.

Le grand avantage de ces concrétions est que leur forme est spécifique des espèces végétales dans lesquelles ils se constituent, ce qui permet d'établir une correspondance entre les plantes et leurs phytolithes. Ainsi, en collectant des phytolithes d'un site donné et d'une époque précise, il est possible de reconstituer un écosystème disparu, de déterminer le régime alimentaire d'espèces animales éteintes ou celui des ancêtres de l'homme. Les applications sont nombreuses et ne se limitent pas à l'étude du passé. On utilise notamment les phytolithes dans les analyses médico-légales, et ils sont même envisagés pour des applications en nanotechnologie.

A detailed microscopic image showing various phytoliths, which are small, silica-based plant remains. They exhibit a wide range of shapes, including elongated, circular, and triangular forms, some with distinct surface textures and others with sharp edges. The background is a light, slightly grainy grey.

pour révéler le passé

OBSERVÉS au microscope, les phytolithes, ces concrétions de quelques dizaines de micromètres, présentent une diversité de formes souvent spécifiques des plantes dont ils proviennent.



© Raphaël Quenel d'après Caroline Perry

Mais d'où viennent ces « cailloux végétaux » ? Leur formation commence lorsque les racines d'une plante absorbent de l'eau et, avec elle, de l'acide monosilicique $\text{Si}(\text{OH})_4$. Au cours de ce processus, nommé transpiration, les plantes acheminent des minéraux et de l'eau du système racinaire à l'ensemble de la plante, déposant l'acide monosilicique en chemin. Certaines plantes présentent même des tissus où l'acide monosilicique s'accumule spécifiquement. L'acide monosilicique constitue alors des corps siliceux (voir la figure ci-dessus) qui épousent la forme des tissus alentour, lesquels jouent le rôle de moules microscopiques. C'est pour cette raison que la variété des formes et leur spécificité permettent bien souvent d'associer les phytolithes étudiés à une famille végétale, un genre, une espèce, une sous-espèce voire une partie d'une plante.

Ces concrétions sont composées principalement de dioxyde de silicium (SiO_2), d'eau et de matière organique, avec des traces d'aluminium, de fer, de magnésium, de manganèse, de phosphore, de cuivre et d'azote. La plupart sont légèrement transparentes et leur taille varie de 1 à plus de 100 micromètres.

Quelle utilité pour les plantes ?

De nombreuses plantes produisent des phytolithes, mais il n'est pas clair si ces cailloux ont un rôle particulier. Certains chercheurs ont suggéré qu'ils auraient des fonctions protectrices, structurelles et physiologiques. En effet, les gènes qui contrôlent la production de lignine, une molécule qui apporte de la rigidité aux tissus de la plante et sert aussi de barrière de protection contre des attaques microbiennes, sont aussi ceux qui régulent le développement des phytolithes. Les tissus

LA FORMATION des phytolithes débute lorsque les racines des plantes absorbent de l'acide monosilicique $\text{Si}(\text{OH})_4$. Durant la transpiration, les plantes perdent de l'eau et la concentration d'acide monosilicique augmente. Ces molécules s'assemblent entre elles pour former des oligomères et finalement des concrétions de silice, les phytolithes.

de plantes avec une forte concentration de phytolithes seraient difficiles à casser ou à digérer, décourageant aussi bien les herbivores que les champignons. Dans les tissus de certaines plantes, comme les feuilles et les tiges de riz, les phytolithes rempliraient aussi une fonction structurelle. Ils assureraient le maintien de la plante, lui garantissant une meilleure exposition au soleil et une photosynthèse plus efficace.

Les phytolithes auraient aussi un rôle important dans la physiologie de la plante parce qu'ils piègent des éléments toxiques pour elle, tels le manganèse et l'aluminium. Cependant, il est difficile de dire avec certitude si la formation des phytolithes a été sélectionnée au fil de l'évolution pour les raisons évoquées ou si elle est le sous-produit d'autres processus encore inconnus.

L'AUTEUR



Thomas C. HART est chercheur au laboratoire d'archéologie environnementale de l'université

du Texas, à Austin.

Article publié avec l'aimable autorisation de la revue *American Scientist*.

Une image du passé

Si leur fonction biologique demeure énigmatique, l'intérêt qu'ils présentent pour les chercheurs est quant à lui très clair. Ces concrétions sont de formidables marqueurs du temps. En effet, un des aspects des phytolithes les plus intéressants est leur durabilité après la mort de la plante. Ces concrétions persistent dans l'environnement pendant des dizaines de millions d'années tout en résistant à des températures allant jusqu'à 1 000 °C. Ainsi, les phytolithes trouvés au cours de fouilles archéologiques sont d'importantes sources d'information, surtout lorsqu'ils sont associés à d'autres artefacts. Ils appartiennent à une classe de vestiges nommés écofacts (*biofacts* en anglais), une classe qui comprend aussi des ossements d'animaux, des parasites, des vestiges de plantes séchées, carbonisées ou saturées d'eau, des pollens, des grains d'amidon et des cristaux d'oxalate de calcium (qui composent les calculs rénaux).

Les phytolithes se retrouvent notamment dans les coprolithes (des excréments fossilisés), dans le dépôt de tartre des dents de squelettes et à leur surface, ou sur divers objets. Alors que la matière organique tend à se décomposer et disparaître, les phytolithes restent. Ils sont donc des témoins privilégiés de l'évolution des plantes, des animaux et des hominines (les humains modernes, les espèces humaines éteintes et leurs ancêtres). Récupérés dans des sédiments lacustres, des tourbières, des sols, et des carottes océaniques profondes, ils sont utilisés pour reconstituer la flore du passé à partir de leur forme et en déduire des informations sur le climat associé, ainsi que, éventuellement, sur les pratiques alimentaires des animaux et hominines découverts sur les lieux.

Le pollen sert aussi pour ce type de reconstruction, mais il est souvent dispersé par le vent (en particulier celui des espèces végétales qui dépendent du vent comme pollinisateur) et ne permet qu'une représentation plus régionale de la végétation. Dans la plupart des cas, les phytolithes sont représentatifs de la flore locale parce qu'ils restent liés au sol environnant après la décomposition de la plante. Des exceptions notables existent, comme la situation rencontrée par Darwin : les phytolithes ont atterri sur le *Beagle* parce qu'ils venaient des sols d'Afrique de l'Ouest où ils se sont transformés en aérosols à cause des conditions extrêmement sèches et venteuses.

Les paléontologues, paléanthropologues, archéologues, historiens ont trouvé de nombreuses façons d'utiliser les phytolithes pour reconstituer un écosystème ou un régime alimentaire, mais aussi des choses bien plus étonnantes comme l'organisation d'un groupe de Néandertaliens dans une grotte ou l'époque de la domestication de certaines plantes. Tous ces exemples s'inscrivent sur des périodes très éloignées les unes des autres, parfois très anciennes.

Au cours du Mésozoïque et du Cénozoïque (il y a environ 70 millions d'années), notamment, des écosystèmes dominés par les graminées (de la famille des Poaceae) se sont développés. On sait que des prairies tempérées, des steppes, des savanes tropicales ou subtropicales se sont formées pendant cette période charnière que l'on nomme parfois la « Grande Transformation », mais le moment exact où cette transition a eu lieu

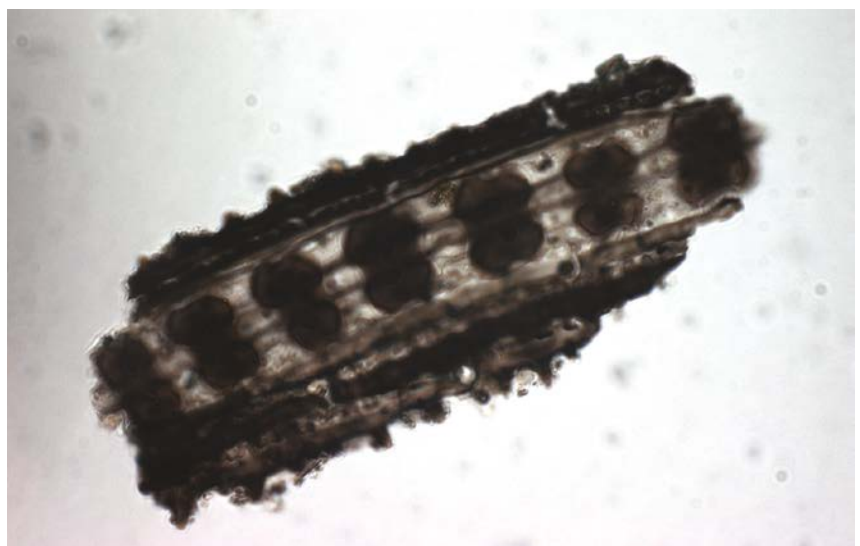
a été très débattu à cause de ses implications tant pour l'évolution des plantes que pour celle des animaux. En 2005, Caroline Strömberg, de l'université de Washington, à Seattle, et ses collègues ont analysé les phytolithes retrouvés en Inde, dans des coprolithes de titanosaures datés de la fin du Mésozoïque (voir la photo ci-dessous). Ils ont montré que ces immenses herbivores brouaient une large sélection de plantes comprenant des graminées, des conifères, des cycadales, des dicotylédones ainsi que des palmiers. Cette information suggère que les graminées ont évolué dans des environnements boisés à cette époque, puis se sont répandues et ont constitué de vastes écosystèmes. Grâce à ces résultats, les chercheurs comprennent pourquoi les animaux de cette époque, à l'image des titanosaures, n'avaient pas de dents spécifiques pour broyer des plantes dures. Ces travaux suggèrent aussi que certaines espèces ont coévolué avec l'expansion des graminées, tandis que d'autres ont développé des dentitions plus robustes en réponse à l'apparition de nouveaux écosystèmes.

Dans le cas du singe géant *Gigantopithecus blackii* disparu, les phytolithes retrouvés sur ses dents ont permis de reconstruire son régime alimentaire. Apparenté à l'orang-outan, *G. blackii* vivait au sol et marchait sur ses phalanges. Il y a entre 6 millions et 200 000 ans, il arpentait les forêts du territoire que forment aujourd'hui la Chine et

le Vietnam. Le mâle mesurait en moyenne trois mètres pour un poids d'un peu plus de 500 kilogrammes. Les phytolithes fixés aux dents retrouvées indiquent qu'il se nourrissait de graminées, tels des bambous, et de dicotylédones comme le durian ou le jacquier. Cette découverte conduite par Dolores Piperno, de l'institut du Smithsonian, à Washington, en 1990, fut l'une des premières du genre à montrer que les phytolithes sont préservés à la surface des dents. Elle a aussi montré comment les phytolithes peuvent aider à comprendre le lien entre l'évolution des primates et leur régime alimentaire : grâce aux phytolithes découverts, les chercheurs ont pu tester empiriquement des hypothèses sur ces singes disparus, plus précisément sur les causes environnementales de leur alimentation éclectique.

Le régime de l'australopithèque

Les paléanthropologues appliquent aussi ces méthodes pour étudier le régime alimentaire des ancêtres de l'homme. En 2012, l'équipe d'Amanda Henry, de l'institut Max-Planck d'anthropologie évolutionniste, à Leipzig, en Allemagne, a étudié les phytolithes contenus dans la plaque dentaire d'un ancêtre potentiel du genre *Homo*, l'australopithèque *Australopithecus sediba* (qui a vécu il y a près de 2 millions d'années). Les concrétions de silice indiquent



LES COPROLITHES, des fèces fossilisées, contiennent des phytolithes [tel celui-ci où l'on reconnaît la structure des tissus végétaux dans lesquels ils se sont formés]. L'analyse de ceux des titanosaures, de grands herbivores qui parcouraient la Terre il y a 90 millions à 66 millions d'années, a précisé le régime alimentaire de ces dinosaures.