

## De la poussière aux comètes

Les comètes sont les reliques les plus intactes de la nébuleuse protosolaire, le nuage de gaz qui a donné naissance à notre système solaire. Chaque nouvelle découverte sur la composition chimique des comètes et de la poussière interstellaire confirme l'idée selon laquelle les comètes se sont formées à partir d'agrégats de poussière. Ainsi, l'observation des comètes est une source d'informations sur les poussières cosmiques.

Quand le Soleil, les planètes et les comètes sont nés, il y a environ 4,6 milliards d'années, les gros grains de poussière du nuage protosolaire avaient sans doute déjà absorbé toutes les petites particules carbonées amorphes et les molécules d'hydrocarbures polycycliques aromatiques, ainsi que le monoxyde de carbone et les autres composés volatils. Seul l'hydrogène et l'hélium restaient libres. Les grains de poussière se heurtaient souvent et s'assemblaient en gros agrégats floconneux. Ces amas auraient ensuite évolué pour former le noyau des comètes. Chaque noyau serait poreux, contenant beaucoup d'espace vide. Dans mon modèle, le noyau d'une comète contient 100 grains de poussière protosolaire de taille moyenne, entassés pêle-mêle (voir la figure 5) : environ 80 pour cent de cet agrégat (de trois micromètres de diamètre) est vide.

Depuis leur naissance, les comètes circulent autour du Soleil dans les régions du nuage de Oort et de la ceinture de Kuiper, très loin des orbites des planètes. Toutefois, des perturbations gravitationnelles expédient parfois les comètes sur des orbites plus proches du Soleil. En 1986, les sondes spatiales Giotto et Vega 1 et 2 sont passées à proximité de la comète de Halley, qui s'approche du Soleil tous les 76 ans : elles transportaient des spectromètres qui ont mesuré la masse et la composition chimique des particules de la chevelure de Halley, du nuage de gaz et des poussières qui entourent son noyau.

En frappant les détecteurs à une vitesse de 80 kilomètres par seconde, les particules de poussière sont décomposées sous le choc. Les instruments ont mesuré un large éventail de masses pour les particules, par exemple  $10^{-14}$  gramme pour les gros grains de pous-

sière et  $10^{-18}$  gramme pour les petites particules carbonées.

Jochen Kissel, de l'Institut Max Planck de Garching, Franz Krueger, du bureau d'études Krueger, à Darmstadt, et Elmar Jessberger, de l'Université de Munster ont ensuite confirmé que la poussière de la comète de Halley est constituée d'agrégats de particules dont le noyau est constitué de silicates et le manteau de composés organiques réfractaires. Ils avaient en effet constaté que les atomes d'oxygène, de carbone et d'azote des manteaux organiques externes heurtaient les



**5. CE MODÈLE DE POUSSIÈRE DE COMÈTE, élaboré par l'auteur, montre 100 gros grains qui forment un amas peu dense de trois micromètres de diamètre. Riche en composés organiques, ces agrégats ont peut-être été des germes de vie sur Terre.**

détecteurs des sondes avant les atomes de silicium, de magnésium et de fer enfouis dans les noyaux.

Quel est l'âge de la poussière contenue dans la comète de Halley et dans les autres comètes ? Au moment de son aggrégation, la poussière avait environ cinq milliards d'années, le temps que passe un grain de poussière dans l'espace avant d'être englouti dans une étoile en formation. Par ailleurs, les comètes ont elles-mêmes 4,6 milliards d'années : leur poussière est probablement âgée de dix milliards d'années. Ainsi, les comètes nous donnent accès à la prime enfance de la Voie Lactée.

Les poussières des comètes ont peut-être aussi apporté la vie sur Terre, car chaque amas floconneux de poussières de comète contient de la matière organique. En outre, leur structure caverneuse a peut-être favorisé les

réactions chimiques qui ont eu lieu après immersion dans l'eau. J. Kissel et F. Krueger ont montré que de petites molécules pénètrent facilement dans un amas, tandis que les grosses ne peuvent s'en échapper. Une telle structure aurait stimulé la synthèse de molécules plus grosses et plus complexes, et aurait joué le rôle d'incubateur des formes de vie les plus primitives. Une seule comète aurait pu déposer jusqu'à  $10^{25}$  de ces «graines» de vie sur la Terre, alors qu'elle était toute jeune.

La NASA et l'Agence spatiale européenne préparent des missions d'étude des comètes et des poussières interstellaires. Le vaisseau *Stardust* (Poussière d'Étoiles) de la NASA, lancé en 2000, a un rendez-vous avec la comète Wild-2 en 2004 : de cette rencontre, il rapportera un échantillon des poussières de la chevelure de cette comète. Pendant son voyage, la sonde récoltera également des échantillons des poussières interstellaires du système solaire. La mission Rosetta de l'Agence spatiale européenne, à laquelle nous participons, est programmée pour 2003 : un vaisseau se placera en orbite autour de la comète Wirtanen, et enverra une sonde se poser à la surface de son corps poreux. Des instruments analyseront la structure physique et la composition chimique de la comète.

Ces missions spatiales feront sans doute passer les poussières cosmiques du statut de nuisance à un statut plus prestigieux. Aujourd'hui, on sait déjà qu'elles détiennent des informations sur la naissance des étoiles, des planètes et des comètes, et peut-être même sur l'origine de la vie.

---

J. MAYO GREENBERG dirige le Laboratoire d'astrophysique de l'Université de Leyde, aux Pays-Bas.

J. GREENBERG, *The Structure and evolution of Interstellar Grains*, in *Scientific American*, vol. 250, n° 6, pp. 124-135, juin 1984.

A. LI et J. GREENBERG, *A Unified Model of Interstellar Dust*, in *Astronomy and Astrophysics*, vol. 323, n° 2, pp. 566-584, 1997.

J. GREENBERG et C. SHEN, *Cosmic Dust in the 21st Century*, in *Astrophysics and Space Science*, vol. 269-270/1-4, pp. 33-35, 1999.

---

# Les maladies de nos ancêtres

OLIVIER DUTOUR • YANN ARDAGNA

*Les ossements anciens présentent parfois des lésions ou des déformations ; le paléopathologiste dépiste ces indices et en déduit, avec l'aide des documents anciens et de divers moyens modernes de diagnostic, les maladies en cause.*

Les maladies de nos ancêtres sont étudiées par les spécialistes de la paléopathologie d'après les traces que les maladies ont laissées sur les ossements et d'après les documents anciens, que ce soit des textes ou d'autres documents archéologiques ; ces analyses révèlent qu'à de très rares exceptions près, nos ancêtres souffraient des mêmes maladies que l'homme d'aujourd'hui. Seule la fréquence de ces pathologies et leur évolution ont été modifiées, en raison de l'efficacité des traitements modernes. Les paléopathologistes reconnaissent sur ces vestiges du passé des maladies toujours actuelles, ou suffisamment récentes pour être identifiées. Ainsi, la paléopathologie est plus l'étude des maladies qui ont sévi par le passé que celle des maladies passées, lesquelles restent méconnues, car on en ignore les signes : le paléopathologiste est incapable de les déceler sur les vestiges analysés.

La paléopathologie est une science relativement récente ; elle prend racine durant le siècle des Lumières, et suivra les progrès des sciences médicales et archéologiques, qui se sont accélérés durant la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle. À la fin du XVIII<sup>e</sup> et au début du XIX<sup>e</sup> siècles, Esper, en Allemagne (1774), puis Cuvier, en France (1820), parlent pour la première fois de pathologie à propos d'ossements d'animaux. L'étude d'ossements humains anciens porteurs d'altérations pathologiques ne s'est véritablement développée qu'au cours du XIX<sup>e</sup> siècle. L'américain Warren (1822), puis le français Gosse (1855) publient des travaux sur les déformations crâniennes artificielles de squelettes anciens. En 1858, l'anthropologue allemand Shaaflhausen étudie les altérations pathologiques présentes sur le squelette de l'Homme de Néandertal. Dès 1876, Jones étudie des squelettes indiens et soulève la question – tou-

jours débattue – de l'origine de la syphilis. En 1881, Le Baron soutient en France la première thèse de médecine sur cette spécialité qui n'a pas encore de nom, intitulée *Lésions osseuses de l'homme pré-historique en France et en Algérie*. En 1892, l'américain Shufeldt introduit le terme de *paleopathology* dans la littérature scientifique.

Il faut attendre le début du XX<sup>e</sup> siècle pour que cette discipline se développe sous l'impulsion d'un médecin bactériologiste britannique, Marc Armand Ruffer (sa famille est en fait d'origine lyonnaise, mais a émigré quand il était enfant). Il structure cette nouvelle science en la définissant comme «la science des maladies dont l'existence peut être démontrée sur les restes humains et animaux des périodes anciennes», et publie à partir de 1910 des travaux fondamentaux sur les momies égyptiennes. Simultanément, les britanniques Francis Wood-Jones et Georges Elliot-Smith (1908-1910) font des recherches sur des séries de squelettes de Nubie. L'américain Roy Moodie réalise en 1923 la première synthèse, suivie, sept ans plus tard, de la parution du premier ouvrage méthodologique en langue française, *Paléopathologie et pathologie comparative* de Léon Pales, médecin des troupes coloniales, alors âgé de 25 ans. Il est impossible de citer tous les auteurs qui, à partir des années 1960, ont contribué à l'expansion de la discipline.

Le paléopathologiste américain John Lawrence Angel distinguait, il y a une vingtaine d'années, quatre phases de développement de cette discipline : une phase descriptive au XIX<sup>e</sup> siècle ; une



Jean-Loup Charnet

1. UNE LÊPROSERIE, miniature du XIV<sup>e</sup> siècle. La lèpre est une des maladies qui endommagent les os et dont les paléopathologistes reconnaissent la signature.



phase plus analytique au début du XX<sup>e</sup> siècle ; une phase de synthèse des données, entre 1930 et 1970 ; enfin, la phase pluridisciplinaire moderne. Depuis, la paléopathologie s'est enrichie d'une nouvelle discipline, la paléo-épidémiologie, qui tente de reconstituer les fréquences des maladies identifiées sur diverses «populations» représentées par des séries de squelettes anciens. Elle bénéficie des progrès de la biologie moléculaire, notamment des procédés d'amplification de séquences d'ADN ancien.

## Le paléopathologiste, enquêteur du passé

Pour mener son enquête, le paléopathologiste se fonde sur deux types de données, les «sources primaires», c'est-à-dire les données directes recueillies soit sur les restes squelettiques (des os et des dents) soit sur des restes momifiés, plus rares. Les «sources secondaires» sont les données historiques consignées dans des textes ou sur des représentations iconographiques, entachées de subjectivité.

La recherche archéologique est le support de la paléopathologie, car, d'une part, elle définit le contexte chronologique et, d'autre part, elle fournit les restes humains anciens. Ces derniers sont des documents archéologiques particuliers, car ils appartiennent également au domaine de la biologie : l'anthropologie permet la lecture de ces «archives biologiques» en fournissant les méthodes de reconstitution de la biologie des populations du passé. La médecine fournit l'outil diagnostique. Le paléopathologiste dont on comprend qu'il doit avoir des compétences en archéologie, en anthropologie et en médecine, adopte une démarche diagnostique générale fondée sur un examen «clinique» et sur des analyses complémentaires. Avec tous ces éléments, il sait que telle maladie est en cause, mais parfois, il ne peut départager plusieurs pathologies possibles qui créent des lésions analogues.

Comment un paléopathologiste analyse-t-il un os ancien ? Les pièces paléopathologiques sont observées à l'œil nu, au microscope binoculaire et, parfois, au microscope électronique. L'observation de coupes de tissus osseux ou momifiés en microscopie optique sous lumière polarisée fournit des informations complémentaires. L'imagerie médicale, notamment la radiographie, la tomодensitométrie, le

scanner et les reconstitutions d'images en trois dimensions, révèle les lésions internes. La biochimie, avec le dosage d'éléments toxiques (par exemple, le fluor), d'éléments présents à l'état de traces (tels le zinc et le strontium) ou d'isotopes (les isotopes du carbone et de l'azote) permettent de découvrir une éventuelle intoxication ou de définir un régime alimentaire. Par la méthode d'amplification des gènes, la PCR, appliquée aux ossements humains anciens, on a mis en évidence des maladies génétiques et l'on a confirmé l'identité de certains agents infectieux.

Les mécanismes pathologiques, quelle que soit leur origine – un traumatisme, des troubles métaboliques, des anomalies génétiques ou de croissance, une dégénérescence, une inflammation, une tumeur ou une infection – modifient l'activité des cellules du tissu osseux, les ostéoblastes (les cellules qui reconstruisent sans cesse l'os) et les

ostéoclastes (les cellules qui détruisent sans cesse l'os). Ces modifications sont responsables des lésions osseuses par excès de production ou de destruction du tissu osseux. Ce dernier n'a généralement que deux façons d'exprimer une atteinte pathologique : une construction ou une destruction excessives. C'est avec cet «alphabet binaire» que le paléopathologiste déchiffre toute la gamme des affections du squelette. En 1981, le paléopathologiste américain D. Ortner a proposé de classer les lésions anatomo-pathologiques en quatre grands groupes : les anomalies de la perte osseuse, nommée ostéolyse ; les anomalies de gain osseux, l'ostéoformation ; les lésions mixtes ; les anomalies de la forme et/ou du contour de l'os sans que le tissu osseux ne soit lui-même altéré. Ces lésions élémentaires peuvent être isolées ou multiples, localisées ou diffuses, avec ou sans modification de la qualité du tissu osseux, de la taille ou de la forme de l'os.



Lauros-Giraudon

**2. LA TUBERCULOSE OSSEUSE** crée des difformités de la colonne vertébrale, notamment les gibbosités des bossus. Ces anomalies osseuses permettent le suivi de cette maladie dans les populations anciennes.