

L'onde de choc a par ailleurs soulevé le sol : une partie de l'impactite a été projetée dans le verre fondu et choquée à nouveau. Dans certains échantillons de roche, ce mélange apparaît comme une épaisse peinture noire, plaquée sur l'impactite. D'autres morceaux d'impactite ont été complètement plongés dans le verre à des températures supérieures à de 1 000 °C : l'impactite a subi une seconde transition et s'est transformée en perles de verre. Tout le sable qui se trouvait là a été soufflé à plusieurs milliers de mètres d'altitude. La brise crépusculaire, sans doute assez faible, a transporté le verre fondu sur une distance de 850 mètres.

Le cratère le plus grand s'est formé en un peu plus de deux secondes, le plus petit en quatre cinquièmes de seconde à peine. Ils ont d'abord été plus grands, peut-être 120 mètres de diamètre pour le plus grand, mais en quelques minutes ils ont été partiellement remplis par des matériaux qui retombaient du ciel et qui glissaient le long des bords.

Une date controversée

Quand ces événements ont-ils eu lieu ? Au début des années 1970, des échantillons de verre ont été datés d'environ 6 400 ans par l'analyse de la décomposition d'éléments radioactifs. Les études des vitesses de remplissage des cratères indiquent toutefois que l'impact de Wabar est plus récent : la profondeur du plus grand cratère était de douze mètres en 1932 et de huit mètres en 1961 ; ce cratère était presque totalement plein de sable en 1982, et son bord Sud-Est ne s'élevait que de trois mètres environ lors de nos visites en 1994 et 1995. Or, des spécialistes des dunes pensent que le remplissage d'un cratère n'est pas un phénomène réversible.

Le site de Wabar aurait sans doute déjà disparu si l'impactite et le verre n'avaient pas fixé le sable. Deux cratères au moins ont une assise rocheuse en impactite : la surface originelle de la cuvette avant le remplissage par le sable. Nous avons prélevé plusieurs échantillons de sable sous ce revêtement d'impactite et nous les avons datés par thermoluminescence (la thermoluminescence mesure depuis combien de temps des grains de quartz sont enfouis à l'abri du rayonnement solaire) : l'impactite s'est formée il y a moins de 450 ans.

Le cataclysme de Wabar n'a même peut-être pas plus de 135 ans : différentes sources rapportent qu'en 1863, ou en 1891, un bolide incandescent est passé au-dessus de Ryad, dans la direction de Wabar, et les météorites qui ont été retrouvées à Nedj après ce passage ont une composition identique aux échantillons de Wabar. Or, les météorites métalliques sont rares, et il est probable que les fragments de Wabar et ceux de Nedj ont la même origine. Les grands-parents des guides de Philby avaient peut-être assisté, de loin, à l'explosion.

Pourquoi nous intéressons-nous tant à la date de cet impact ? Parce que, avec celles des autres chutes de météorites connues, elle permet d'évaluer la fréquence de telles collisions : environ tous les dix ans. Plus généralement, la fréquence des impacts de météorites sur la Terre est inversement proportionnelle à la taille de celles-ci.

On trouve des cratères de météorites métalliques semblables à Odessa, au Texas ; à Henbury, en Australie ; à Sikhote-Alin, en Sibérie, et ailleurs.



5. LE SECOND GROS CRATÈRE du site de Wabar, «Philby A», a été presque totalement recouvert par une dune rampante. Seul son bord Sud-Est, préservé par un mélange gravillonneux de roches formées durant l'impact, émerge encore du sable. Ce cratère de 64 mètres de diamètre est dû à une météorite de cinq mètres de diamètre, issue d'une météorite plus grosse qui s'est disloquée en vol. Les fragments ont percuté le sol à des vitesses de 25 000 kilomètres par heure.



6. LA COUVERTURE D'ÉJECTA qui entoure le cratère «Philby A» est composée de trois types de roches déposées lors de l'impact : l'impactite blanche (semblable au grès et formée par la compression du sable), un verre noir (produit par la fusion du sable) et des fragments de la météorite (du fer presque pur, avec un peu de nickel). Sur cette image, les auteurs utilisent des magnétomètres pour rechercher les débris météoritiques.

Un verre témoin d'impact

Le verre libyque est probablement le plus étonnant verre naturel que nous connaissions : il est formé de silice presque pure. C'est un verre massif, transparent et limpide, de couleur jaune ou vert pâle la plupart du temps. Quelques échantillons sont blancs et laiteux, ou parcourus par des traînées brunes ; un morceau découvert récemment est même bleuté. Plus de 10 000 tonnes de fragments, du grain de sable au bloc de 20 kilogrammes, seraient dispersés dans le désert libyque, une région de 3 500 kilomètres carrés, entre les cordons de dunes de la Grande Mer de sable, à l'Ouest de l'Égypte, près de la frontière libyenne. Comment ce verre s'est-il formé ? Des hypothèses variées ont été proposées depuis 60 ans, mais l'énigme vient seulement d'être résolue : le verre libyque résulte de la fusion d'un grès très pur lors d'un impact météoritique.

Dans les années 1930, les premiers curieux qui se sont intéressés au verre libyque ont attribué sa fabrication à des verriers antiques. Toutefois, toutes les mesures géochronologiques confirment qu'il s'est formé il y a environ 29 millions d'années, bien avant l'apparition de l'homme : l'origine naturelle de ce verre est incontestable.

Des analogies ont alors été recherchées avec d'autres roches terrestres. Ainsi, le refroidissement de laves produit parfois des verres, tels que les obsidiennes ou les macusanites (verres volcaniques transparents) d'Amérique du Sud. Mais aucune roche volcanique terrestre n'a une composition proche de celle du verre libyque. La chaleur dégagée par des feux de forêt peut aussi fondre, très

localement, des roches du sol, mais la silice ne fond qu'à plus de 1 700 °C : où trouver assez d'arbres à brûler pour produire les milliers de tonnes de ce verre ? On trouve enfin dans le désert des fulgurites, longues tiges creuses de verre qui résultent de la fusion du sable au passage de la foudre, mais ils n'ont ni l'aspect, ni la structure, ni la masse des plus gros morceaux de verre libyque.

Puisque aucun mécanisme terrestre ne semble expliquer la présence d'une telle quantité de morceaux de verre dans le désert, il faut envisager une origine extraterrestre. S'agirait-il de débris d'une météorite très inhabituelle ? Impossible : le verre libyque contient des bulles de gaz qui ont des caractéristiques de l'atmosphère, et il s'est donc bien formé sur Terre.

Au début des années 1980, une équipe allemande a annoncé que des traces d'hydrocarbures et, même, de fossiles végétaux avaient été trouvés dans le verre libyque : ce verre ne serait qu'un gel de silice précipité au fond d'un

grand lac. Cette hypothèse apparaît aujourd'hui, elle aussi, fantaisiste. D'abord, les traces organiques proviendraient d'une contamination des échantillons : elles n'ont jamais été retrouvées par d'autres laboratoires. En outre, au contraire du verre libyque, les gels de silice contiennent des quantités appréciables d'eau, et leur structure moléculaire est différente.

Le verre libyque contient des minéraux tels que la lechatelierite (de la silice fondue), la cristobalite (de même composition chimique que le quartz, mais de structure cristalline différente) et la baddeleyite (oxyde de zirconium) qui ne se forment qu'à haute température : le verre a donc été chauffé à plus de 1 700 °C. Une telle température peut être atteinte lors de l'impact d'une grosse météorite : le verre libyque est un verre d'impact, comme celui trouvé dans les cratères de Wabar, en Arabie Saoudite, ou d'Aouelloul, en Mauritanie.

Quelles autres preuves de cette origine avons-nous ? D'abord, le verre libyque présente de nombreuses analogies pétrographiques et géochimiques avec d'autres

verres d'impact bien identifiés : mêmes minéraux formés à hautes températures, mêmes formes et mêmes compositions des inclusions gazeuses, même pauvreté en eau comparée aux verres produits par d'autres processus. Ensuite, et surtout, le verre libyque porte la signature de la météorite responsable de l'impact : dans des échantillons contenant des traînées brunâtres, de l'iridium et d'autres éléments du groupe du platine ont été trouvés en quantités notables et en proportions quasi iden-

tiques à celles d'un type de météorites pierreuses. Les métaux du groupe du platine, en particulier l'iridium, sont presque absents des roches terrestres, mais présents, bien qu'en faibles quantités, dans la plupart des météorites.

Le mécanisme de l'impact explique aussi pourquoi le verre libyque est si riche en silice. Dans la région du Sahara où on le trouve, affleurent des roches sédimentaires presque exclusivement composées de grains de quartz et de composition très proche de celle du verre : les grès de Nubie. Ces roches, en fondant lors de l'impact, ont produit le verre il y a 29 millions d'années.

Le verre libyque n'a toutefois pas livré tous ses secrets : nous ne savons toujours pas où est le cratère d'impact. A-t-il été effacé par l'érosion ou est-il masqué par les sables du désert ?

Jean-Alix BARRAT, Université d'Angers, et Robert ROCCHIA, L.S.C.E., Gif-sur-Yvette



Le verre libyque, produit lors d'un impact météoritique, a été taillé par les hommes préhistoriques, qui l'ont aussi transporté parfois loin de l'endroit où ils l'avaient ramassé.

Cependant, 98 pour cent des météorites de la taille de celle qui est tombée à Wabar ne laissent aucun cratère, même temporaire. Elles se désagrègent dans l'atmosphère, qui semble constituer un écran efficace contre les impacts directs d'astéroïdes pierreux de moins de 100 mètres de diamètre : la Terre porte peu de cratères de diamètre inférieur à cinq kilomètres. Toutefois, les explosions en altitude sont parfois dévastatrices : dans la Toungouska, en Sibérie, en 1908, c'est probablement l'explosion d'une météorite pierreuse qui a abattu 2 200 kilomètres carrés de forêts et qui en a incendié la plus grande partie, bien qu'on n'en ait retrouvé presque aucune trace au sol. Un jour ou l'autre, une telle explosion détruira une ville.

Nous devons sans doute plus redouter ces impacts relativement faibles que ceux qui ont des répercussions sur tout le Globe : on connaît plusieurs sites d'impact beaucoup plus grands que Wabar, telle la structure annulaire de Manicouagan, au Québec, ou le site de Chicxulub, au Nord du Yucatán, au Mexique. Cependant, des impacts de cette importance ne se produisent en moyenne que tous les 100 millions d'années. L'astéroïde de dix kilomètres de diamètre qui a creusé Chicxulub et qui a peut-être fait disparaître les dinosaures est tombé il y a 65 millions d'années, et même si deux objets de taille comparable errent déjà sur des orbites coupant celle de la Terre, ils ne la percuteront pas dans un avenir proche.

Jeffrey WYNN et Eugene SHOEMAKER ont travaillé ensemble au Service géologique américain jusqu'à la mort du second, en 1997.

Harry St. John B. PHILBY, *An Account of Exploration in the Great South Desert of Arabia*, in *Geographical Journal*, vol. 81, n° 1, pp. 1-26, janvier 1933.

H.J. MELOSH, *Impact Cratering : A Geologic Process*, Oxford University Press, 1989.

J. Kelly BEATTY, «Secret» *Impacts Revealed*, in *Sky & Telescope*, vol. 87, n° 2, pp. 26-27, février 1994.

Hazards Due to Comets and Asteroids, sous la direction de Tom Gehrels, University of Arizona Press, 1995.

John S. LEWIS, *Rain of Iron and Ice : The Very Real Threat of Comet and Asteroid Bombardment*, Addison-Wesley Publishing, 1996.
