

Connu sous l'appellation « le Clot », ce petit cratère est situé dans l'Hérault, à 1,5 kilomètre au Sud du village de Cabrerolles. Il mesure 220 mètres de diamètre pour une profondeur de 50 mètres. Sa forme est circulaire, avec des parois abruptes et un fond plat planté de vigne (à droite). Il est creusé dans des grès et des schistes carbonifères, ce qui semble exclure la possibilité d'une origine karstique (le creusement de roches carbonatées solubles, surtout du calcaire). C'est pourquoi, en 1950, les géologues Bernard Gèze et André Cailleux avaient suggéré qu'il pouvait s'agir d'un cratère d'impact météoritique, l'argument principal étant qu'on imagine mal un

autre mécanisme capable de produire dans ce contexte un tel cratère. Cela a suffi à son inscription sur l'inventaire international des cratères d'impact, mais il en a été exclu en 1977, les critères d'inscription étant devenus plus rigoureux... Les quelques recherches effectuées depuis n'ont pas permis de trouver des arguments en faveur de l'hypothèse de l'impact. Les impactites signalées un temps (des cônes de percussion) se sont révélées ne pas en être, et aucun quartz choqué n'a été trouvé à ce jour.

Dans un cratère d'impact simple, même de petite taille, les rebords sont normalement plus ou moins rebroussés, ce qui n'est pas le cas ici. On peut suggérer qu'une ori-



P. Vincent

gine karstique profonde est possible : les couches de calcaire dévonien, qui affleurent un kilomètre au Nord du Clot, se poursuivent probablement quelques centaines de mètres au-dessous. L'effondrement d'une cavité formée par érosion karstique (les calcaires se dissol-

vent dans l'eau) pourrait donc être à l'origine du Clot. Plus au Nord, dans les calcaires, deux autres dépressions fermées de plus petite taille confirment cette possibilité. Le Clot de Cabrerolles n'en reste pas moins remarquable pour sa beauté – et pour son vin !

dans leur structure intime, donnant ainsi une définition au sens large des impactites.

Quelles sont les impactites possibles ? Les seules vraiment évidentes à l'œil nu sont les cônes de percussion, nommés *shatter cones* en anglais (voir l'encadré page 44). Ces cônes se forment habituellement dans des roches isotropes, à grain fin, qui ne sont pas présentes sur tous les terrains.

Impactites

Les autres impactites ne sont identifiables qu'au microscope. Elles contiennent des minéraux qui ne se forment qu'à très haute pression et haute température. Ainsi, la coésite et la stishovite sont des minéraux de silice qui proviennent de la transformation du quartz. Ce sont aussi les minéraux choqués, des minéraux initialement non isotropes, mais qui le sont devenus (on parle de minéraux isotropisés) ou encore des verres de fusion.

Le carbone ayant subi une pression extrême – le diamant – est assez fréquent dans les impactites, où il prend la forme de minuscules cristaux mesurant une fraction de millimètre. Ces cristaux résultent de la transformation de roches-cibles contenant du graphite. Parmi les minéraux choqués, les quartz sont particulièrement utiles à l'identification d'un cratère, car ils sont très stables, même s'ils peuvent finir par disparaître eux aussi par recuit thermique ou recristallisation. Enfin, les pseudotachylites ont été

décrites pour la première fois dans l'astrolème du Vredefort, en Afrique du Sud. Ces roches vitrifiées par frottement ne sont pas spécifiques des impacts, mais elles en fournissent un indice important quand elles sont associées à une tectonique particulière.

Tandis que les impactites sont formées pendant la propagation des ondes de choc, d'autres roches peuvent l'être pendant la modification du cratère transitoire. Ainsi, comme à Rochechouart, il est apparu que les glissements de blocs à l'origine des terrasses peuvent produire un verre : la pseudotachylite.

L'incessant bombardement des astres du Système solaire par des objets cosmiques n'a pas laissé sur la surface de la Terre les mêmes cicatrices que sur les autres planètes telluriques ou la Lune. Pour autant, même si la plupart des cratères terrestres ont disparu, on sait aujourd'hui le rôle géologique majeur joué par les cratères d'impact sur Terre. Soulignons que les cataclysmes d'origine cosmique ont joué un rôle essentiel dans l'évolution de la vie : tout indique qu'elle peut être interrompue par un événement qui la relance dans une nouvelle direction. Le bombardement cosmique de la Terre n'a certes plus l'ampleur qu'il avait au début du Système solaire, mais l'impact de la comète Shoemaker-Lévy-9 sur Jupiter, en 1994, nous rappelle que la formation des cratères d'impact n'est pas seulement de l'histoire ancienne... ■

✓ BIBLIOGRAPHIE

P. M. Vincent et A. Beauvilain, Découverte d'un nouveau cratère d'impact météoritique en Afrique : l'astrolème de Gweni-Fada [Ennedi, Sahara du Tchad], *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, vol. 323, pp. 987-997, 1996.

C. Koeberl et al., Aorounga and Gweni Fada impact structures, Chad : Remote sensing, petrography, and geochemistry of target rocks, *Meteoritics & Planetary Science*, vol. 40, n° 9/10, pp. 1455-1471, 2005.

H. J. Melosh, *Impact Cratering. A Geologic Process*, Oxford University Press, 1996.

B. M. French, *Traces of Catastrophe : A Handbook of Shock-Metamorphic Effects in Terrestrial Meteorite Impact Structures*, Contribution 954, 120 p., Lunar and Planetary Institute, Houston, 1998.

Forage dans le plus grand cratère américain

1. CETTE VUE DE LA BAIE DE CHESAPEAKE obtenue par satellite ne révèle en rien la présence sous-jacente du plus grand cratère météoritique des États-Unis, découvert fortuitement en 1990 !

Christian Koeberl

Il y a 35 millions d'années, une météorite de plusieurs kilomètres de diamètre a explosé dans la mer continentale de Virginie. L'astroblème marin ainsi créé est l'un des mieux conservés du monde.

L'origine des tectites d'Amérique du Nord est enfin révélée ! Les tectites sont des fragments de roches fondues expulsés très loin du cratère d'impact creusé par une météorite. On connaissait jusqu'à présent quatre grands champs de tectites au monde, dont celui du Ries en Allemagne, qui s'étend sur plus de 400 kilomètres, et un champ nord-américain. Toutefois, dans les années 1990, apparaissent des indices de l'existence d'un grand cratère d'impact sous la baie de Chesapeake dans l'État de Virginie. L'explosion qui le produisit serait la source des tectites nord-américaines. C'est pourquoi, dans le cadre du Programme international de forage scientifique continental (*International Continental Scientific Drilling Program*), une campagne d'étude systématique par forage a

été décidée. Je l'ai dirigée avec mes collègues Gregory Gohn, du Service américain de prospection géologique, Kenneth Miller, de l'Université Rutgers à Piscataway, et Wolf Reimold, du Musée Humboldt pour les sciences naturelles à Berlin. Nous rendons compte ici de ses résultats.

Ouverte sur l'Atlantique, la baie de Chesapeake est le plus grand estuaire des États-Unis. Elle couvre 166 534 kilomètres carrés, et plus de 150 rivières s'y jettent. Le premier indice de l'existence du cratère est apparu en 1983, quand un carottage pratiqué à Atlantic City a livré une couche de perles de verre (des tectites) et de quartz choqués (des microfragments à la structure cristalline profondément altérée par le choc), soit autant de produits typiques d'un impact.

La découverte aurait pu être liée à un petit impact, donc seulement d'importance locale. Cependant, au cours des années 1990, le Service américain de prospection géologique a réalisé des forages et des mesures géophysiques, m'associant à cette étude. Progressivement, les indices d'un grand impact se sont multipliés, de sorte que, dès 1996, nous étions certains que la grande structure ronde perceptible sous le fond sous-marin ne pouvait être d'origine volcanique. Parmi ces indices, des quartz choqués étaient les plus certains, car ils sont toujours dus à un impact.

Comme dans le cas de l'impact du Chicxulub, réputé être à l'origine de l'extinction des dinosaures, il y a 65 millions d'années, c'est ensuite la prospection pétrolière qui a révélé toute l'importance du cratère de Chesapeake. Plus grande structure d'impact connue aux États-Unis, le cratère de la baie de Chesapeake mesure 85 kilomètres de diamètre. D'après sa taille et les datations, il résulterait de la collision avec la Terre d'une météorite de deux à cinq kilomètres de diamètre à la fin de l'Éocène (56 à 34 millions d'années). Aujourd'hui, plus rien n'en est visible, car il se trouve entre 300 à 500 mètres sous le fond de la baie.

Toutefois, il est particulièrement bien conservé, car il s'agit d'un exemple typique d'«impact humide», en d'autres termes de cratère produit par la chute d'une météorite dans la mer peu profonde d'un plateau continental. Ce type d'impact produit des cratères ayant la forme intérieure d'un sombrero retourné (voir la figure ci-contre). Très rare parmi les cratères reconnus, cette forme est celle des cratères produits par des impacts sous-marins. C'est le cas du cratère sous-marin de Mjölner situé entre la Norvège et le Spitzberg, ou encore de celui de Lockne, qui se trouve à terre en Suède, mais dont on pense qu'il fut formé à l'Ordovicien (448 à 444 millions d'années) par un impact en mer.

Ces constatations, qui rendent le cratère de Chesapeake particulièrement intéressant, ont favorisé le lancement en 2004 d'une campagne scientifique par le Programme continental de forage scientifique (*International Scientific Drilling Program*) et par le Service américain de prospection géologique. Avec G. Gohn, K. Miller et W. Reimold, j'en ai dirigé la partie scientifique. Le forage s'est avéré difficile, car les alternances de couches d'argiles gon-

flées d'eau et de strates de roches diverses nous ont obligés à plusieurs interruptions. Ainsi, le seul forage, réalisé en automne 2006 et au printemps 2007, a coûté deux millions d'euros, et a dû être interrompu. Malgré ces difficultés, nous avons finalement obtenu une carotte de 1,8 kilomètre de long, que nous avons étudiée ensuite pendant près de deux ans.

La forme du cratère de Chesapeake résulte des élasticités différentes des trois couches qui constituent la baie : la couche d'eau, celle de sédiments marins et celle des roches cristallines sous-jacentes. Ces dernières sont les plus dures, de sorte que l'entonnoir qu'y a creusé la météorite – la pointe du sombrero – est relativement petit. L'impact a aussi produit un large entonnoir dans le sédiment. Il a chassé l'eau de mer d'une immense zone, laquelle en fuyant, puis refluant, a charrié d'innombrables débris. Cette région bouleversée constitue le bord du chapeau.

D'environ 30 à 40 kilomètres de diamètre, l'entonnoir creusé dans le sédiment est plein de brèches, c'est-à-dire de débris de roches d'origines diverses, qui ont été mélangées au moment de l'impact.

L'AUTEUR



Christophe KOEBERL est professeur au Département de recherche sur la lithosphère de l'Université de Vienne, en Autriche.



2. L'ASTROBLÈME DE LA BAIE DE CHESAPEAKE est une structure de 30 à 40 kilomètres de diamètre enfouie sous 300 à 500 mètres de sédiments. C'est le cratère d'impact le mieux conservé en milieu marin.