

AOROUNGA : LA SYMÉTRIE PARFAITE



La structure d'Aorounga (*ci-dessus*) est située dans la plaine désertique du Borkou, à 130 kilomètres au Nord de l'oasis de Faya. Elle est entièrement contenue dans les grès paléozoïques (plus de 290 millions d'années) – qui à cet endroit ont environ 2 000 mètres d'épaisseur –, aucun élément du Précambrien sous-jacent n'ayant été trouvé dans ses produits d'impact. La présence sur place de verre laissait espérer une datation par la méthode des traces de fission, mais les essais n'ont pas abouti, car les échantillons que nous avons prélevés sur place étaient altérés.

Dans sa structure, Aorounga est un cratère complexe, d'un diamètre moyen de 16 kilomètres, contenant un soulèvement central annulaire de grès anciens, soulevés, basculés et partiellement érodés, qui entoure une dépression cen-

trale en inversion de relief (*ci-contre*). L'élargissement du cratère initial s'est fait par glissements gravitaires vers le centre de la couronne périphérique, le long de surfaces de glissement incurvées, expliquant les formes de guirlande de la limite externe. La dépression externe, remarquablement régulière, est limitée par une falaise circulaire continue (*ci-dessous*). Sur le plateau central, des impactites (roches produites par l'impact) forment une couche qui a dû être continue initialement : il s'agit de suéville à grain fin, avec de petits débris lithiques et du verre. À son contact, les grès sous-jacents sont rougis, ce qui atteste de la haute température qui a suivi l'impact.

Aorounga est un site idéal pour l'étude détaillée des déformations subies lors d'un impact par des formations sédimentaires stratifiées initialement horizontales – un cas peu fréquent, bien que son étude en soit au stade de la reconnaissance.



des quartz choqués décrits au début. Ainsi, dans toute la partie de la roche-cible où la tension de l'onde de raréfaction (la tension subie par le matériau du fait de l'onde) est supérieure à la résistance des matériaux, les roches sont volatilisées ou fondues ; dans les zones plus profondes où ce n'est plus le cas, elles sont fragmentées, puis fracturées (*figures c de l'encadré page 42*).

Dans un grand impact, le contact, la compression, la décompression et le passage de l'onde de choc ne durent que quelques dixièmes de seconde. Au cours de ce processus ultrabref, les roches qui constituent la cible sont accélérées, et s'éloignent à grande vitesse du point d'impact. Dans la partie superficielle, elles sont éjectées vers le haut et sur les côtés, ce qui produit les éjectas que l'on retrouve autour du cratère. Au-dessous, elles s'enfoncent.

Champignon d'impact

Le cratère transitoire (ou initial) est excavé par tous ces processus. Il a la forme d'un bol, dont les bords, constitués de strates rebroussées, sont recouverts d'éjecta. La profondeur totale du cratère est due pour environ un tiers à l'excavation des éjectas, et pour deux tiers à l'enfoncement du plancher. On estime qu'environ six secondes sont nécessaires pour former un cratère

LES IMPACTITES : DES ROCHES PRODUITES PAR IMPACT

Le terme impactite désigne toutes les roches transformées par un impact météoritique ou formées dans ou autour de son cratère. Ainsi, il inclut les roches fondues par l'impact (verres) et toutes les roches choquées ou réduites en débris, ainsi que toutes leurs combinaisons.

Les impactites les plus reconnaissables à l'œil nu sont les cônes de percussion, des structures rocheuses marquées de nombreux demi-cônes résultant de la compression de la roche à une pression de dizaine de milliers d'atmosphères (*a*, des

cônes de percussion trouvés dans le cratère d'Aorounga au Tchad).

Les impactites les plus communes sont les brèches d'impact, des conglomérats de débris, de roches fondues et de roches choquées liés par un ciment naturel. Il en existe de nombreuses sortes, dont les suévitites, des brèches à inclusions vitreuses qui ont été définies dans le cratère du Ries en Bavière.

Les suévitites tirées de la carrière d'Otting dans le Ries contiennent des verres d'impact (inclusions sombres) et de nombreux fragments de sédiments retenus dans une matrice grise à grains fins (*b*).

À gauche, trois sortes de brèches issues du cratère de Rochechouart en France. En haut, un mélange de fragments de gneiss, de granite, de quartz, et de leptinite lié par une



matrice composée de poussières qui se sont solidifiées dans le temps (*d*). Une matrice vitreuse abondante (les volutes rouges) emprisonne de nombreux fragments de roche de tailles diverses, ce qui suggère que cette brèche s'est formée dans le cratère à proximité, là où du matériau fondu et des débris se sont mêlés. Deux autres brèches



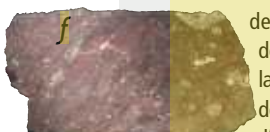
issues du cratère de Rochechouart sont toutes les deux constituées d'une fine matrice enfermant des fragments variés de roches colorées (*et c*). Les brèches d'impact les plus esthétiques font l'objet d'un commerce !



F. Michaud



P. Bockstaller



L. Carion

P. Vincent

transitoire de un kilomètre, tandis qu'environ 90 secondes le sont pour former un cratère transitoire de 200 kilomètres.

Un champignon de matériau vaporisé se forme très vite au-dessus de la cavité, comparable aux champignons atomiques produits par les explosions nucléaires atmosphériques. Ce panache pourra même dépasser la haute atmosphère et s'étendre dans l'espace au-dessus de toute la surface de la Terre. Cela s'est par exemple produit lors de la formation du cratère géant de Chicxulub, il y a 65 millions d'années. La poussière de son panache a produit en retombant la strate riche en iridium, à l'origine de l'interprétation météoritique de la disparition des dinosaures.

Une part du matériau fondu est éjectée sur les côtés et forme les brèches (conglomérats rocheux) contenant des éléments vitreux que l'on nomme suévites, mais reste surtout à l'intérieur du cratère transitoire qu'elle recouvre. On estime l'énergie d'un impact suffisante pour faire fondre ou volatiliser un volume de cible allant jusqu'à 1 000 fois celui du projectile. Dans le cas du cratère de Sudbury au Canada, ce volume fut par exemple de plus de 1 000 kilomètres cubes : un réservoir magmatique comparable à celui d'un grand volcan, mais à ciel ouvert, exista alors pour un temps. Toutefois, la plus grande partie du matériel éjecté a été déposée à quelques rayons de cratère seulement, par voie balistique ou par éjection latérale.

Finalement, la phase de modification s'enclenche. La violence de l'impact est maintenant consommée, mais le cratère transitoire est instable. La gravité va immédiatement le modifier : en moins d'une minute pour les petits cratères transitoires et en quelques minutes pour les grandes structures. L'importance des modifications effectuées par la gravité varie beaucoup, en fonction de la taille du cratère. Dans le cas des petits cratères – ceux de moins de quatre kilomètres de diamètre –, la bordure s'écroule en partie, ce qui augmente quelque peu le diamètre initial. Ce phénomène est associé au glissement de divers blocs et autres débris dans la cavité. Ce remplissage réduit de moitié la profondeur du trou ; il en résulte un cratère en forme de bol que l'on nomme cratère simple parce qu'il ressemble assez au cratère transitoire initial.

Au-dessus d'une certaine taille de l'impacteur, les processus de transformation de la cavité transitoire sont bien plus compliqués, de sorte que l'on parle de cra-

tère complexe. Les processus déjà décrits dans le cas des petits impacts sont aussi à l'œuvre, mais avec une plus grande ampleur. Le cratère s'élargit par effondrement des parois, avec formation de terrasses concentriques descendant vers la région centrale qui est au contraire soulevée pour former un piton central. Toutefois, dans les cratères de plus de 20 ou 25 kilomètres de diamètre, le piton central est remplacé par une couronne de reliefs (*peak ring*) entourant une dépression sommitale. Les géométries résultantes ne sont pas sans rappeler les formes de rebond prises par un liquide juste après qu'une goutte y est tombée. En fait, tout se passe comme si l'énergie dissipée dans le milieu le rendait provisoirement fluide,

✓ SUR LE WEB

<http://www.lpl.arizona.edu/impacteffects/>

Earth impact database
<http://www.unb.ca/passc/ImpactDatabase/>

GWENI-FADA : UN IMPACT OBLIQUE

Le cratère d'impact de Gweni-Fada est situé dans l'Ennedi, au Nord-Est du Tchad, dans une zone sédimentaire gréseuse remontant au Primaire. Son âge est inconnu, mais il doit être nettement plus jeune que les formations perturbées.

Nous avons récemment reconnu ce cratère complexe de 22 kilomètres de diamètre ; il présente plusieurs caractéristiques inhabituelles, dont une forte dissymétrie de son complexe central (*ci-dessous*). Malgré son érosion, sa structure centrale a préservé sa forme originelle. Le rempart externe est continu, seulement interrompu au Sud-Sud-Ouest par un important effondrement des terrasses, venues buter en se plissant et se chevauchant contre le soulèvement central. Celui-ci, anormalement large, est déplacé vers le Sud par rapport au centre géométrique, ce qui donne une forme de croissant à la dépression, partiellement comblée de dépôts lacustres, qui l'entourent. Le piton central est ainsi à plus de 500 mètres du centre géométrique. On remarque aussi que le complexe central est ouvert vers le Nord, suivant une forme dite « en pince de homard ».

Ces caractères particuliers sont connus sur Terre dans l'astrobombe de Manson dans l'État de l'Iowa, où il a été montré qu'ils résultent d'un angle d'impact de la météorite inférieur à 30° par rapport au sol. Cette interprétation résulte d'études expérimentales, et de comparaisons avec les structures présentes sur d'autres planètes où la répartition des éjectas est observable. L'exemple du cratère King, situé sur la face cachée de la Lune, est celui qui évoque le mieux Gweni-Fada.

Les impactites du complexe central sont érodées, mais celles de la dépression doivent

subsister sous les alluvions lacustres. L'effondrement du flanc Sud s'est produit après le rehaussement du complexe central, mais probablement vers la fin du stade de modification du cratère initial : le plissement des grès résulterait de la dégradation temporaire de la résistance des matériaux liée à l'impact.

On sait que pour un même diamètre de cratère, la largeur du complexe central est plus grande pour un impact oblique, et que, dans tous les cas, celle-ci augmente avec l'érosion. Cependant, cela ne suffit pas à expliquer la taille anormalement importante du cratère de Gweni-Fada. En 1989, Jay Melosh, de l'Université d'Arizona, a déjà signalé que des cratères martiens avaient des pics centraux énormes, et il attribuait ce fait à la présence d'eau (liquide ou gelée) sous la surface. Cette interprétation peut s'appliquer : des nappes aquifères sont présentes dans les grès paléozoïques de l'Ennedi en contact avec le substratum antécambrien imperméable.

