

10. Trajectoire



La trajectoire de l'astéroïde impacteur est une autre question suscitant un vif débat et qui est toujours non résolue. À travers l'histoire, de nombreux chercheurs ont été déconcertés par les vues en plan circulaire des cratères d'impact. Ils partaient du principe qu'une dépression circulaire résultait nécessairement d'un impact vertical et se demandaient pourquoi davantage de cratères n'étaient pas elliptiques. Gilbert et Barringer ont tous les deux constaté que les impacts à 45° sont les trajectoires les plus vraisemblables pour la matière météoritique. Pourtant, à l'instar de bon nombre de ses contemporains, Gilbert pensait à tort qu'un impact à 45° creuserait un cratère ovale (Hoyt, 1987). À l'inverse, Barringer a compris qu'un impact à 45° excaverait un cratère rond (Hoyt, 1987). Au départ, malgré cette découverte, Barringer supposait comme Gilbert que l'impact situé dans le nord de l'Arizona avait été vertical ou quasi vertical et que l'astéroïde était enterré sous le centre du fond du cratère.

Lorsque les nombreux sondages n'ont pas permis de retrouver l'essentiel de la masse en dessous du fond du cratère, mais seulement des traces du projectile, Barringer a commencé à envisager d'autres possibilités. Il avait déjà remarqué plusieurs éléments qui semblaient présenter une symétrie directionnelle. Dans sa publication de 1905, il a constaté que des amas d'immenses blocs issus de la Formation de Kaibab ont été déposés sur les parties orientale et occidentale du cratère. Dans son rapport de 1910, il avançait que la partie la plus basse de la Formation de Coconino n'apparaissait seulement que dans la partie sud-est de la couronne d'éjecta et, par conséquent, que les plus profondes unités excavées par l'impacteur ont été éjectées dans cette direction. Dans ce même document, il a également fait remarquer que les escarpements méridionaux ont été soulevés à 105 pieds¹ comme une entité unique, suggérant ensuite que ce soulèvement avait été provoqué par une masse météoritique qui suivait une trajectoire nord-sud. Toujours selon lui, elle était restée coincée sous les escarpements, au même titre qu'une énorme quantité de roches pulvérisées et de variétés A et B de grès de Coconino métamorphisés par le choc. Lorsque le trou de sondage de 1376 pi² foré dans la bordure méridionale du cratère entre 1920 et 1922 a débouché sur environ 30 pi³ de matière météoritique oxydée et des variétés A et B de grès de Coconino métamorphisés par le choc, Barringer s'est senti conforté dans ses positions. En revanche, il s'est retrouvé dans une impasse lorsque ces matériaux ont été interprétés comme n'étant rien d'autre que la majeure partie de l'astéroïde. (Voir le tableau 4.2 pour la diagraphie de ce trou de sondage.) Son rapport (Barringer, 1924) concluait que la « masse paraît s'être approchée

¹ N.d.T. : soit environ 32 m.

² N.d.T. : soit à peu près 419 m.

³ N.d.T. : soit approximativement 9 m.

de la Terre selon un angle d'à peu près 45° et suivant une direction légèrement nord-ouest. En outre, il semble qu'elle ait suivi une légère courbe vers l'ouest dans son vol oblique à travers plus de 2500 pi⁴ ou un demi-mile⁵ de roche solide... »

Par ailleurs, Shoemaker était impressionné par les failles chevauchantes présentes dans les parois du cratère. (Voir le chapitre 6 pour de plus amples détails sur les failles.) Ces failles mettaient en évidence des biseaux de roche qui sont poussés dans les parois du cratère, formant des anticlinaux et accentuant le soulèvement du bord du cratère. Comme Kieffer (1974), il affirmait qu'elles se produisaient seulement dans les parties nord et ouest du cratère et qu'elles étaient particulièrement bien développées dans l'angle nord-ouest. Ils avançaient que ces éléments distinctifs résultaient d'un bolide qui suivait une trajectoire allant du sud-est au nord-ouest.

Je reconnais que ces failles chevauchantes sont impressionnantes et qu'elles semblent indiquer un écoulement de matière via la marge du cratère transitoire jusqu'à la paroi du cratère environnante, suivant une direction approximative sud-nord qui inclut un écoulement vers le nord-ouest et le nord-est. J'ai remarqué la présence de quelques failles chevauchantes supplémentaires le long de la marge orientale du cratère. Par conséquent, l'hypothèse d'un écoulement exclusivement du sud-est au nord-ouest ne semble plus crédible. À première vue, les chevauchements laissent vraisemblablement croire à une trajectoire approximativement sud-nord, avec de potentielles variations vers le nord-ouest et le nord-est. Néanmoins, je peux tout aussi bien concevoir que ces mêmes chevauchements découlent d'un impact produit par un projectile venant en sens opposé. Je crains également que notre jugement soit faussé par ce que nous observons. Si le développement de failles chevauchantes a lieu en profondeur dans les parties cachées des parois du cratère, il nous sera impossible de prendre en compte cette donnée dans notre analyse. Une chose paraît certaine : les observations ne sont pas vraiment cohérentes avec une trajectoire est-ouest ou ouest-est. Par conséquent, les failles chevauchantes peuvent éventuellement concorder avec la trajectoire avancée par Barringer et la quantité impressionnante de matière susceptible d'avoir été injectée sous la bordure le long du côté sud du cratère. (Voir le chapitre 4 pour la discussion sur la matière injectée.) Le soulèvement de la paroi méridionale du cratère est un indicateur moins convaincant parce que, comme le montrent les figures 17.6 et 17.9 des chapitres consacrés au guide de randonnée, l'exhaussement le long de la paroi méridionale est bien moins prononcé que celui dans le coin est-sud-est du cratère. Si le soulèvement constitue un indicateur de trajectoire, l'angle est-sud-est apparaît alors comme étant la fin de la trajectoire. Il est également possible que tant le mouvement préférentiel le long des failles décrochantes que la trajectoire aient influé sur le soulèvement de la paroi du cratère,

⁴ N.d.T. : soit environ 762 m.

⁵ N.d.T. : soit à peu près 804 m.

excluant dès lors ce dernier comme indicateur diagnostique.

Tel était l'état de la question de la trajectoire lorsque la première édition de ce guide a été publiée. Depuis lors, d'autres potentiels indicateurs structurels de trajectoire ont été mesurés. Dans une étude, le soulèvement relatif des strates impactées et l'orientation de ces unités ont été mesurés le long du contact entre la Formation de Kaibab et celle de Moenkopi (Poelchau *et al.*, 2009). Il a été estimé que les écarts par rapport à une répartition parfaitement concentrique des strates sédimentaires pourraient révéler la trajectoire de l'astéroïde impacteur. Les résultats se sont révélés ambigus, mais l'étude a permis de conclure qu'une trajectoire du nord-nord-ouest au sud-sud-est était la plus probable.

Un autre indicateur structurel de trajectoire est le cisaillement qui a récemment été avéré dans le bord du cratère et la couronne d'éjecta (Kring *et al.*, 2011a, 2011b, 2012). Dans la bordure méridionale du cratère, la quasi-totalité (80 m) des éjecta de la Formation de Kaibab a été cisailée radialement vers l'extérieur sur de plus grandes distances à partir du centre du cratère. (Voir le chapitre 18 pour les descriptions des affleurements.) En outre, dans la bordure sud-ouest du cratère, une partie du rideau d'éjecta a été cisailée de manière radiale vers l'extérieur. Par conséquent, une charnière rare a été disposée dans la partie renversée de la Formation de Coconino, laquelle repose sur la partie de la Formation de Moenkopi observée dans la paroi du cratère. Des expériences sur la formation de cratères ont montré que ce type de cisaillement est plus susceptible de survenir dans la bordure « uprange » ou « downrange » d'un cratère (Fechtig *et al.*, 1972 ; Gault, 1974)⁶. Pour un angle d'impact à 45°, le plus probable et cohérent avec la forme symétrique du cratère, il y a plus de chances qu'un cisaillement se produise dans la bordure « downrange »⁷ du cratère, supposant une trajectoire nord-sud.

Plusieurs chercheurs ont relevé d'autres indicateurs directionnels : Barringer (1910) a signalé une concentration d'oxydes de fer au-delà de l'angle nord-est du cratère ; Nininger (1956) et Rinehart (1958) ont évoqué une concentration de particules du sol métalliques dans la même direction ; Heymann *et al.* (1966) ont indiqué une concentration de spécimens météoritiques de Canyon Diablo diamantifères et fortement choqués à proximité des bords nord-est et sud-est du cratère. Selon Shoemaker et Kieffer (1974), *Silica Hill* est un petit monticule situé dans le fond du cratère et décalé vers le nord. La concentration d'oxydes de fer météoritique et de particules du sol

⁶ N.d.T. : Si un astéroïde se déplace de gauche à droite, la direction « uprange » correspond à la gauche tandis que la direction « downrange » correspond à la droite. La bordure « uprange » du cratère est donc celle située dans la direction « uprange ». (David A. Kring, communication personnelle, 2018).

⁷ N.d.T. : Dans ce cas, il s'agit de la bordure méridionale du cratère.

riches en fer dans le nord-est constitue une preuve au-delà du cratère à laquelle on fait le plus souvent référence. Rinehart (1958), par exemple, a écrit qu'« une hypothèse tout à fait plausible serait que la météorite s'était approchée de la Terre en provenance du sud-ouest et, lors de la collision, a projeté en avant de grandes quantités de matière météoritique vers son emplacement actuel. » Cette explication semblerait compatible avec un modèle numérique de l'impact (Artemieva et Pierazzo, 2011), lequel indique qu'au moins 50 % de l'astéroïde impacteur a été éjecté et que cette partie serait concentrée dans la direction « downrange »⁸.

Il est possible qu'un indicateur plus éloigné de la trajectoire d'impact soit un autre cratère d'impact récent ; certains chercheurs supposant que ce dernier avait été formé au même moment que le cratère Barringer. Cette histoire puise elle aussi ses origines chez Barringer. En l'occurrence, D. Moreau Barringer Jr. avait eu l'occasion d'étudier une autre structure s'apparentant à un cratère, près de la ville d'Odessa, dans l'ouest du Texas. Au bout de quelques heures, il a découvert des météorites de fer et des shale balls et a conclu que cette structure était un cratère d'impact avec au moins un cratère météoritique satellite. Il a immédiatement transmis ces nouvelles à son père par télégraphe. En correspondance privée, Daniel Moreau Barringer se demandait si son cratère et le cratère d'Odessa avaient pu être creusés simultanément par un couple d'astéroïdes se déplaçant ensemble. Quelques années plus tard, il a résumé les preuves à l'appui de la trajectoire (Barringer, 1958) et en est venu à la conclusion que l'impacteur provenait le plus probablement du nord ou nord-est pour se diriger vers le sud ou le sud-ouest.

La possibilité que le cratère Barringer et celui d'Odessa aient été formés par une paire d'astéroïdes a été étudiée de façon plus approfondie par Brandon Barringer dans un rapport présenté à la Meteoritical Society en 1965 et publié en 1967. Plusieurs indices semblaient associer ces deux évènements impactiques. (1) Ces deux cratères ont été creusés par le même type d'astéroïdes de fer. (2) Même si les âges des cratères n'étaient pas connus avec certitude, ils étaient à peu près identiques. À l'époque du rapport de Brandon Barringer, le cratère météoritique Barringer et le cratère d'Odessa étaient, selon les estimations, respectivement âgés de 20 000 et 25 000 ans. (3) Des indices laissaient penser que les deux cratères avaient été creusés par des objets qui suivaient des trajectoires à peu près nord-sud.

Brandon Barringer a admis que certains scénarios mettant en relation ces deux évènements étaient problématiques. En effet, il a relevé qu'il était « peu probable qu'ils aient été produits par la désagrégation d'un seul satellite naturel » dans l'atmosphère. Cependant, il n'a pas exclu d'autres hypothèses. En règle générale, il recommandait une étude plus approfondie pour éclaircir ces points

⁸ N.d.T. : Étant donné que, juste avant, une trajectoire SO-NE est mentionnée, « downrange direction » renvoie dans ce cas à une direction nord-est.

et résoudre d'autres questions relatives à l'origine des cratères.

Des recherches supplémentaires et une technologie plus récente ont permis de faire la lumière sur cette hypothèse. Les compositions chimiques des astéroïdes ferreux qui ont formé ces deux cratères ont été analysées de façon plus détaillée et les âges de ces derniers ont pu être déterminés avec plus de précision.

Wasson (1967, 1968) a examiné les compositions des éléments traces des météorites de fer présentes sur les sites du cratère Barringer et du cratère d'Odessa. Bien que ces deux groupes de météorites fassent partie de la même classe chimique, ils présentent de subtiles différences qui ont mené Wasson à avancer que deux astéroïdes ferreux sans lien avaient engendré ces météorites.

La deuxième série d'études a débuté dans les années 1980, lorsque Sutton (1985) a étudié les dommages cristallins provoqués par des isotopes radioactifs présents à l'état naturel dans les roches du cratère. En se servant des isotopes comme une horloge, il a estimé que le cratère Barringer avait été excavé il y a environ 49 000 ans. Nishiizumi *et al.* (1991) et Phillips *et al.* (1991) ont utilisé différents types d'horloges isotopiques dans les roches du cratère. Ils considéraient également que ce cratère a été creusé il y a à peu près 49 000 ans. (Voir chapitre 12 pour des informations supplémentaires sur les estimations autour de l'âge du Meteor Crater.)

Plus récemment, des techniques semblables à celles de Sutton ont été appliquées par Holliday *et al.* (2005) au site d'impact d'Odessa. Selon leurs estimations, la formation des cratères d'Odessa remonte à approximativement 63 000 ans. Bien que les âges du cratère Barringer et de celui d'Odessa ne soient toujours pas connus avec certitude, ces âges approximatifs laissent penser que le deuxième cité est plus ancien. Il faut toutefois préciser que le cratère Barringer dépasse peut-être les 49 000 ans (voir la discussion au chapitre 12). Par conséquent, il est possible que ces deux événements impactiques ne soient pas directement liés et qu'ils n'aient pas eu une incidence sur la trajectoire.

Néanmoins, plusieurs autres indicateurs potentiels de trajectoire subsistent (et l'hypothèse qui établit un lien avec le cratère d'Odessa pourrait même être relancée). Malheureusement, ces indicateurs ne concordent pas avec nos connaissances actuelles et je pense qu'il est juste de conclure que la trajectoire de l'astéroïde impacteur à l'origine du cratère Barringer demeure incertaine.