

11. Énergie libérée par l'impact



L'énergie cinétique d'un astéroïde impacteur correspond à la moitié de sa masse multipliée par sa vitesse au carré. Comme discuté dans le chapitre précédent, il est généralement admis que le projectile possédait, avant la collision, un diamètre mesurant grossièrement entre 10 et 50 m, ce qui représente une masse à peu près comprise entre 4000 et 500 000 tonnes métriques (tableau 9.2.). Une hypothèse communément admise laisse penser que la vitesse d'impact se situait entre 11 et 20 km/s.

Ces dimensions et ces vitesses témoignent de multiples énergies d'impact. Les estimations publiées indiquent une énergie d'impact équivalente à celle que dégagerait l'explosion de quelques dizaines de kilotonnes de TNT à plus de 60 mégatonnes (Mt) de TNT (tableau 11.1). Lorsque Shoemaker (1960, 1963) a exposé son étude classique du cratère et des analogies avec les cratères d'explosions nucléaires, il considérait que l'énergie mise en jeu lors de l'impact approchait des valeurs comprises entre approximativement 1,4 et 1,8 Mt. Cette estimation reposait sur une loi des distances à racine cubique, loi qu'il a étalonnée avec l'explosion nucléaire *Teapot Ess*. Schmidt (1980) a mené des expériences à l'aide d'une centrifugeuse, à partir desquelles il a tiré un nouvel ensemble de lois des distances. En se basant sur ces résultats, il a proposé des énergies d'impact bien plus élevées, variant entre 22 et 61 Mt. Presque au même moment, Roddy *et al.* (1980) ont développé un nouveau modèle informatique d'excavation de cratères et calculé une explosion d'une puissance de 15 Mt pour un impact vertical. Shoemaker (1987) a conclu que l'énergie libérée était probablement légèrement supérieure à 15 Mt parce que l'impacteur suivait le plus vraisemblablement une trajectoire oblique. Roddy et Shoemaker (1995) ont revu leurs simulations informatiques et ont indiqué qu'une valeur comprise entre 20 et 40 Mt était plus adéquate, ce qui est une moyenne approximative de l'appréciation initiale de Shoemaker et des estimations de Schmidt. Malheureusement, les détails de ces simulations informatiques n'apparaissent que dans des versions préliminaires et sont aujourd'hui perdus.

Plus récemment, il ressort d'un ensemble d'estimations des chiffres nettement inférieurs aux valeurs précitées et qui s'approchent des approximations initiales de Shoemaker en ce qui concerne l'énergie de l'impact. Ces calculs ont mis en évidence trois caractéristiques du processus d'impact : la décélération atmosphérique, la désintégration et l'ablation. Avant d'examiner les nouveaux résultats, il est peut-être utile d'ouvrir une parenthèse sur ces trois aspects.

En ce qui concerne la décélération atmosphérique, il serait préférable de commencer par les

petites météorites de fer isolées. Lorsqu'ils entrent d'abord en contact avec le sommet de l'atmosphère, ces objets tombent sur notre planète selon la même plage de vitesses que des astéroïdes plus grands de la taille de celui de Canyon Diablo. Cependant, ces petits objets sont totalement freinés dans l'atmosphère et chutent finalement avec une vitesse soumise à la gravité terrestre. Les corps impacteurs plus grands dont les masses sont considérablement plus importantes que celle de l'atmosphère qu'ils atteignent ne seront pas fortement ralentis et s'écraseront ensuite sur la surface terrestre en conservant l'essentiel de leur vitesse cosmique. Parmi ces impacteurs à l'origine de cratères météoritiques, l'astéroïde de Canyon Diablo fait partie des plus petits objets, ce qui en constitue un exemple intermédiaire. Il est possible qu'il ait été partiellement décéléré mais qu'il ait néanmoins gardé un mouvement suffisant pour creuser un cratère d'impact à hypervitesse.

L'astéroïde de Canyon Diablo se trouve également parmi les plus petits objets responsables de cratères d'impact, comme abordé succinctement au chapitre 9. Il est fréquent que les objets plus petits et ceux moins résistants se désagrègent violemment dans l'atmosphère. Pas loin du Meteor Crater, on peut également citer le météoroïde rocheux bréchifié de *Gold Basin* mesurant de six à huit mètres. Il n'a pas pu atteindre intact le sol du nord-ouest de l'Arizona (Kring *et al.*, 2001). Les événements de la Tougouska et de Tcheliabinsk figurent parmi les exemples les plus récents de ce phénomène (*par exemple*, voir Kring et Boslough, 2014, pour un résumé de vulgarisation scientifique) : des explosions dans lesquelles des impacteurs rocheux se sont désagrégés de façon spectaculaire au-dessus de la Russie. Aucun de ces événements n'a engendré de cratères d'impact à hypervitesse. Il n'est pas à exclure que l'astéroïde de Canyon Diablo ait commencé à se désintégrer, toutefois pas de façon brutale, et atteint le sol sous la forme d'une masse principale suffisamment grande ou d'un amas assez dense, tout en conservant une partie non négligeable de sa vitesse cosmique.

Lorsque que de la matière météoritique pénètre dans l'atmosphère, les surfaces sont fortement chauffées, fondent et se détachent. Elles sont ablatées. Il est fréquent que les lignes d'écoulement du rayonnement produites dans la matière fondue soient encore présentes dans les croûtes de fusion. Étant donné qu'il s'agit d'un phénomène de surface, l'effet est généralement proportionnellement moindre pour les objets plus grands qui présentent des rapports volume/surface plus élevés. Cependant, pour un objet de plus grande taille qui commence à se fractionner et à augmenter considérablement l'étendue de sa surface, il est possible que l'ablation consume une partie de plus en plus importante de l'astéroïde initial.

Les calculs effectués pour étudier spécifiquement les processus de décélération atmosphérique, de désintégration et d'ablation donnent lieu à de nouvelles estimations de l'énergie libérée par

l'impact. Celles-ci se situent entre environ 1 et 10 Mt (Melosh et Collins, 2005 ; Artemieva, 2006). Puisque l'astéroïde était ralenti, il devait sans doute provenir d'un astéroïde d'une masse et d'un diamètre supérieurs. À titre d'exemple, Artemieva (2006) estime qu'un astéroïde ferreux cohérent mesurant approximativement 40 m de diamètre et possédant une vitesse de collision de 18 km/s dispose d'une énergie suffisante pour former le cratère. Cependant, si elle tient compte de la désintégration et de l'ablation, elle entrevoit deux possibilités : un astéroïde de 57 m de diamètre en décélération qui a fini par atteindre une vitesse d'impact de 11 km/s ou un astéroïde de 46 m freiné jusqu'à une vitesse d'impact finale de 15 km/s. Dans les deux cas, une énergie d'à peu près 10 à 11 Mt est mise en jeu, ce qui suffit à creuser le cratère et à fracturer la roche encaissante aux alentours d'après ses calculs. Ce modèle n'a cessé d'évoluer (Artemieva et Pierazzo, 2009, 2011) et a fourni des énergies comprises entre 7 et 15 Mt. Selon un modèle numérique plus récent qui correspond à la morphologie du cratère, à la déformation structurelle et à la signature gravimétrique du cratère engendrée (Collins *et al.*, 2016), l'impact a libéré une énergie de 8,6 Mt. Par conséquent, les modèles numériques semblent converger vers des énergies d'impact à la surface d'environ 10 Mt, avec des énergies de départ au sommet de l'atmosphère qui se révèlent 50 % supérieures.

Tableau 11.1. Estimations de l'énergie libérée par l'impact

Énergie (Équivalent en Mt de TNT)	Source
38,8	Magie, 1910 (selon Hoyt, 1987)
38	Moulton (selon Hoyt, 1987)
2,91	Moulton (selon Hoyt, 1987)
0,21	Wylie, 1943 (selon Hoyt, 1987)
0,08	Baldwin, 1949 (selon Hoyt, 1987)
4,8	Gilvarry et Hill, 1956 (selon Hoyt, 1987)
64	Opik, 1958 (selon Hoyt, 1987)
De 1,4 à 1,8	Shoemaker, 1963
8,1	Baldwin, 1963
De 4 à 5	Shoemaker, 1974
De 22 à 61	Schmidt, 1980
15	Roddy <i>et al.</i> , 1980
+ de 15	Shoemaker, 1987
De 20 à 40	Roddy et Shoemaker, 1995
5,3	Schnabel <i>et al.</i> , 1999 (calculs pour leur rayon de 15 m et leur vitesse de 20 km/s)
0,44	Ai et Ahrens, 2004 (calculs pour leur diamètre de 9 m et leur vitesse de 33 km/s)
2,5	Melosh et Collins, 2005
De 10 à 11	Artemieva, 2006 (calculs pour ses diamètres de 46 et 57 m et ses vitesses de 15 et 11 km/s)
De 7 à 15	Artemieva et Pierazzo, 2009 (calculs pour leurs diamètres de 46 et 66 m et leurs vitesses de 15 et 18 km/s)
De 8 à 12	Artemieva et Pierazzo, 2011 (calculs pour leurs diamètres effectifs de 40 et 47 m et leur vitesse de 16 km/s)
8,6	Collins <i>et al.</i> , 2016 (calculs pour leur projectile de $3,2 \cdot 10^8$ kg et de 42 m de diamètre, et leur vitesse de 15 km/s)

Dans les cas où l'énergie cinétique est calculée à partir des estimations des auteurs sur la taille et la vitesse du projectile, je suppose une densité de $7,8 \text{ g/cm}^3$ pour le projectile. Pour le diamètre effectif calculé par Artemieva et Pierazzo (2011), j'ai eu recours à la densité effective qu'ils ont mise sous forme de tableau. Veuillez noter qu'une erreur typographique est présente dans Collins *et al.* (2016), si bien qu'était signalée une masse de 10^8 kg au lieu de $3,2 \cdot 10^8$ kg.