

MATTHIEU GOUNELLE

MÉTÉORITES

À LA RECHERCHE DE NOS ORIGINES



**DANGERS POUR L'HUMANITÉ
OU TÉMOINS
IRREMPLAÇABLES ?**

Flammarion

MÉTÉORITES

À LA RECHERCHE DE NOS ORIGINES

La probabilité n'est pas grande, mais elle existe : un jour, un bolide extraterrestre percutera la Terre. Est-ce là cependant tout ce que les météorites nous apprennent ? Matthieu Gounelle nous invite ici à réévaluer nos craintes et, à l'aune des dernières découvertes cosmochimiques et astrophysiques, à apprécier la richesse insoupçonnée des pierres tombées du ciel.

D'où viennent-elles ? Quel rôle ont-elles joué dans l'apparition de la vie ? Que nous disent-elles de la formation de la Lune ? Quelle trace de la naissance du système solaire conservent-elles ? Saviez-vous que certaines météorites, vieilles de plusieurs milliards d'années, contiennent de la poussière d'étoiles ?

Ce livre nous entraîne depuis la Terre – sur laquelle sont éparpillés des dizaines de cratères d'impacts – jusqu'aux confins de notre galaxie, là où des étoiles semblables au Soleil continuent de se former. Au terme de ce voyage interplanétaire, sans plus trembler, vous connaîtrez l'émotion qu'il y a à toucher du doigt le mystère de nos origines.

***Matthieu Gounelle** est professeur du Muséum national d'histoire naturelle et membre de l'Institut universitaire de France. Ses travaux de recherche portent sur la formation des planètes et des étoiles. Au Muséum, il est responsable de l'équipe de cosmochimie et chargé de conservation pour la collection de météorites, une des plus riches au monde.*

Flammarion

Extrait de la publication

MÉTÉORITES

DU MÊME AUTEUR

Les Météorites, PUF, coll. « Que sais-je ? », 2009

Matthieu Gounelle

MÉTÉORITES

À la recherche de nos origines

Flammarion

Schémas et graphiques : Édigraphie

© Flammarion, 2013
ISBN : 978-2-0813-3143-3

INTRODUCTION

« Fascinantes » et « inquiétantes », tels sont les adjectifs qui reviennent le plus souvent pour qualifier les météorites. Fascinantes, elles le sont d'abord par leur composition exceptionnelle. Sous la croûte noire qui le plus souvent les recouvre, elles recèlent des minéraux extraterrestres parfois inconnus sur Terre. Particulièrement denses, elles sont riches en fer métallique, absent de la surface terrestre¹. Certaines contiennent même de mystérieuses billes auxquelles les spécialistes donnent le nom de « chondres ». Qu'elles soient de pierre ou de fer, ce sont des roches à nulle autre pareille.

Très tôt les météorites de fer ont représenté un matériau de choix pour forger des armes ou des parures. Dans la tombe de Toutankhamon (1330 av. J.-C.), on a découvert un poignard en fer météoritique et il n'est pas rare de trouver des perles faites de matériau extraterrestre dans d'antiques mausolées d'Égypte ou d'ailleurs. En raison de leur préciosité et de leur origine extraterrestre, certaines météorites ont fait l'objet d'un culte durable. Les bétyles,

1. Il y a deux types principaux de météorites : les fers et les pierres. Les premières sont faites de fer presque pur ; les secondes contiennent en général une quantité importante de fer métallique.

ces pierres sacrées révérees au Proche-Orient durant l'Antiquité, étaient probablement des pierres tombées du ciel¹.

De nos jours, des hommes et des femmes n'hésitent pas à arpenter la Terre pour découvrir toujours plus de météorites. Des expéditions sont organisées par les scientifiques, mais aussi par des marchands. Ils vont dans le Sahara, en Atacama (Chili), et en Antarctique, à la recherche de météorites. Ces trouvailles² enrichissent les collections des musées, deviennent l'objet de recherches scientifiques ou sont vendues à prix d'or sur Internet et dans des boutiques spécialisées.

C'est enfin – et surtout – en raison de leur provenance mystérieuse que les météorites excitent la curiosité de tous. Si elles ont parcouru des centaines de millions de kilomètres avant de tomber sur Terre, on ignore trop souvent d'où elles viennent exactement. Arrivent-elles de notre galaxie, du Soleil, de la planète Mars ou d'autres corps du système solaire ?

Elles sont aussi perçues comme des menaces. Certaines d'entre elles tombent sans crier gare, endommagent des bâtiments, blessent des passants ou des animaux. Je songe en particulier à la météorite tombée en Russie en février 2013. Son explosion dans le ciel de l'Oural a fait l'ouverture des journaux télévisés du monde entier. Plus près de nous, la météorite tombée à Draveil, dans l'Essonne, en juillet 2011, a brisé les tuiles du toit de Madame Comette, la bien nommée. Des astéroïdes, qui ne sont rien d'autre que de grosses météorites, passent régulièrement à proximité de la Terre. Ces objets, dont le diamètre de certains atteint plusieurs centaines de mètres, sont au

1. On a aussi évoqué une origine extraterrestre pour la pierre noire de La Mecque.

2. C'est ainsi qu'on nomme les météorites dont la chute n'a pas été constatée, pour les distinguer des chutes proprement dites (les météorites qu'on a vu tomber).

cœur de l'attention grandissante des scientifiques, mais aussi des médias. Parfois, une comète balaye le ciel de sa chevelure.

Les traces tangibles des impacts du passé s'ajoutent à ces corps tournoyant inlassablement au-dessus de nos têtes. On pourrait assez facilement penser, en observant les cratères d'impact qui ont stigmatisé par-ci par-là les cinq continents, qu'un jour le ciel finira par nous tomber sur la tête. Une météorite gigantesque n'a-t-elle pas causé la disparition soudaine des dinosaures il y a 65 millions d'années ? La peur gagne donc les esprits, et d'autant plus que certains n'hésitent pas à écrire que la Terre elle-même serait en danger. Au « temps des catastrophes¹ », la menace extraterrestre suscite un grand nombre d'interrogations. Il s'agit pour les scientifiques de répondre à une demande sociétale forte : il faut surveiller le ciel, quantifier les risques, imaginer des moyens efficaces de protéger la planète et ses habitants d'un impact destructeur.

Au-delà des craintes qu'elles suscitent et de la fascination qu'elles exercent, les météorites sont aussi et avant tout des objets de science. L'immense majorité d'entre elles sont beaucoup plus âgées que les plus anciennes roches terrestres. Contrairement à ces dernières, maintes et maintes fois transformées en raison de l'intense activité géologique de notre planète, un nombre important de météorites ont préservé la mémoire de nos origines².

Les météorites primitives sont des archives qui nous permettent de déchiffrer l'histoire de notre système solaire pour peu qu'on les mette en regard d'autres savoirs (géologiques, astronomiques...). Leur étude aide

1. Voir par exemple le numéro de mars/avril 2008 de la revue *Esprit*.
 2. Il s'agit ici de l'origine du système solaire, né il y a 4,6 milliards d'années, et non de l'origine de l'Univers, qui aurait commencé dans un big bang il y a 13,8 milliards d'années.

à reconstituer les premiers millions d'années de notre système solaire, les différentes étapes de la formation planétaire ou encore les mécanismes régissant la naissance, la vie et la mort des étoiles. D'autres, un peu plus jeunes (mais toujours anciennes comparées aux roches terrestres), proviennent de corps planétaires, tels Mars ou la Lune, et permettent de comprendre l'évolution précoce de ces corps.

Les météorites sont aussi un moyen privilégié de revenir sur la question de l'origine de la vie. Même s'il est improbable que les météorites aient apporté la vie sur Terre, comme certains savants l'ont prétendu, elles auraient pu contribuer à la dot originelle de notre planète en eau et en matière carbonée, deux ingrédients indispensables à l'émergence de la vie telle que nous la connaissons et dont la présence sur Terre requiert une explication. Ni Mars ni Vénus, les deux planètes les plus proches de la Terre, ne possèdent par exemple d'océans.

Aujourd'hui encore, les questions que posent les météorites sont innombrables, même si elles ont déjà révélé quelques-uns de leurs secrets. D'où viennent-elles ? De quoi sont-elles faites ? Sont-elles dangereuses ? Peut-on s'en protéger ? Que nous apprennent-elles sur l'origine de la Terre, sur celle de la vie ?

Étudier les météorites, c'est voyager dans le temps et dans l'espace, à une époque où les premiers solides se formaient, où les premières molécules organiques s'assemblaient ; c'est imaginer des collisions gigantesques entre des protoplanètes ou encore l'arrivée sur Terre de corps glacés apportant l'eau et les briques moléculaires de la vie ; c'est aussi se projeter loin dans l'espace, à des dizaines de millions de kilomètres de la Terre, afin d'étudier les différents corps du système solaire.

Le sujet étant particulièrement vaste, je m'en tiendrai à la présentation des propriétés les plus importantes des

INTRODUCTION

météorites et n'entrerais pas dans le détail des questions de classification qui n'intéressent que les spécialistes. J'ai également pris le parti de donner une place importante à toutes les disciplines connexes, en particulier à l'astrophysique, et de m'appuyer sur la recherche telle qu'elle se fait¹. Des encadrés précisent des points techniques ou attirent l'attention sur des notions élémentaires qui seront développées ultérieurement. Pour illustrer l'ouvrage, j'ai bénéficié non seulement des excellentes photographies des météorites conservées au Muséum national d'histoire naturelle, mais également des clichés d'un grand nombre de corps célestes pris par les principales agences spatiales internationales.

C'est donc à ce va-et-vient entre la Terre et le ciel, entre l'ancien et le lointain, entre astronomie et géologie, que les météorites nous conviennent. Mais commençons par le commencement : levons la tête et examinons les conséquences de l'arrivée inattendue d'une pierre animée d'une vitesse considérable en haut de l'atmosphère terrestre.

1. Il est bien sûr impossible dans un tel livre de rendre compte de tous les travaux et débats scientifiques actuels. Le choix que j'ai fait de présenter tel ou tel aspect est fondé sur une appréciation personnelle de l'état de la discipline. En dépit de l'effort d'objectivité qui anime les scientifiques, il ne saurait en être autrement.

I

LA MENACE EXTRATERRESTRE

TOMBÉES DU CIEL

Mai 1864, 20 heures. La nuit vient de tomber sur Toulouse et sa région quand une gigantesque boule de feu traverse le ciel d'ouest en est en illuminant la ville et sa campagne. Presque immédiatement, elle se scinde en plusieurs parties dans un tonnerre assourdissant tandis que, dans la localité d'Orgueil (Tarn-et-Garonne), à 15 kilomètres au sud de Montauban, des pierres s'abattent en une pluie violente. Des dizaines de curieux se précipitent pour ramasser les pierres brûlantes.

Peu de temps après cet événement inattendu qui fit la une de la presse régionale, Gabriel-Auguste Daubrée, titulaire de la chaire de géologie du Muséum national d'histoire naturelle, reçoit des dizaines de lettres de témoins qui disent leur effroi et leur stupeur. La boule de feu a été aperçue jusqu'à Arras et les roulements de tonnerre ont été entendus jusqu'à Bordeaux. Alexandre Leymerie, professeur de minéralogie à l'université de Toulouse, présent lui aussi lors de l'arrivée dans l'atmosphère terrestre de ce météoroïde¹

1. En toute rigueur, une pierre extraterrestre ne prend le nom de météoroïte qu'une fois parvenue au sol. Tant que la pierre est dans l'espace ou qu'elle traverse l'atmosphère, on parle de météoroïde. Le mot de météore s'applique uniquement au phénomène lumineux. Je commettrai

Vitesse et énergie

La vitesse des météorides entrant dans l'atmosphère terrestre varie entre 11 et 72 km/s. Le plus souvent, elle avoisine 20 km/s, soit 72 000 km/h. Ces vitesses correspondent à celles des corps qui tournent autour du Soleil. L'énergie cinétique dépend de la masse (m) et de la vitesse (v) d'un objet suivant la formule $E_c = \frac{1}{2}mv^2$. Un météoride de 1 tonne animé d'une vitesse de 20 km/s a une énergie cinétique de $E_c = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 1\,000 \times (20\,000)^2 = 2 \times 10^{11}$ J (200 milliards de joules). Par comparaison, une voiture de même

masse animée d'une vitesse de 72 km/h (20 m/s) a une énergie cinétique 1 million de fois moins importante (2×10^6 J). En raison des énergies considérables des météorides, on utilise souvent comme terme de comparaison l'énergie dégagée par l'explosion de 1 tonne de TNT ($4,2 \times 10^9$ J) ou de la bombe d'Hiroshima ($6,3 \times 10^{13}$ J). Un météoride de 300 tonnes (quelques mètres de diamètre) animé d'une vitesse de 20 km/s suffit pour libérer dans l'atmosphère une énergie comparable à l'explosion d'Hiroshima.

d'environ un mètre de diamètre (*cf.* figure 1.1), parle d'« une masse lumineuse de forme arrondie, un peu plus large en avant qu'en arrière, et d'un volume apparent comparable à celui de la Lune en son plein¹ ». Si un objet aussi petit a fait une apparition si spectaculaire dans notre ciel, c'est qu'il est arrivé sur Terre à une vitesse considérable (on parle d'hypervitesse ou de vitesse cosmique), de l'ordre de 20 km/s (soit 72 000 km/h), convertissant une quantité gigantesque d'énergie cinétique en énergies lumineuse, thermique et acoustique (*cf.* l'encadré ci-dessus).

Le phénomène lumineux, connu sous le nom de météore (*cf.* Ill. 29²), est dû à l'intense frottement du

parfois un abus de langage et utiliserai le mot météorite pour météoride, comme le veut l'usage commun et scientifique. Dans certains cas, l'ambiguïté entre les deux termes est due à la rapidité de la traversée de l'atmosphère : les météorides deviennent très vite des météorites.

1. A. Daubrée [1864], Note sur les météorites tombées le 14 mai aux environs d'Orguël (Tarn-et-Garonne), *Comptes rendus acad. sci.*, Paris, 58, p. 984-990.

2. Cette codification renvoie aux illustrations du cahier couleur.

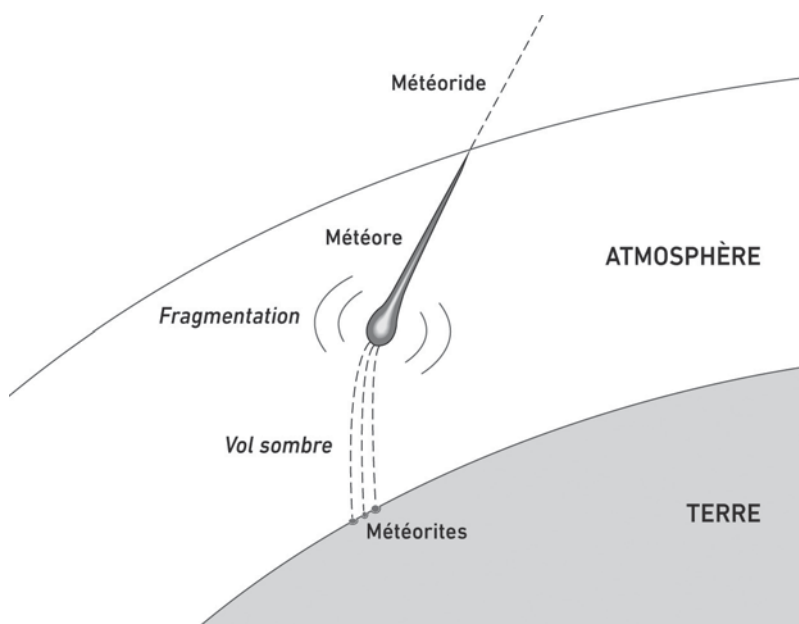


FIGURE 1.1. Phénomènes accompagnant l'entrée atmosphérique d'un météoride de pierre de quelques dizaines de centimètres de diamètre. Le météore (phénomène lumineux) prend fin à environ quelques dizaines de kilomètres d'altitude lorsque l'objet a perdu l'essentiel de sa vitesse cosmique. La fragmentation a lieu d'autant plus bas que le météoride est massif.

météoride contre les molécules d'air qui porte les météorides à incandescence. La couleur du météore dépend de sa composition, de même que la couleur d'une flamme dépend de la nature de la matière brûlée. On a vu des météores bleus, d'autres rouges, certains sont verts. D'après les témoins, le météore d'Orgueil¹ aurait été d'un beau rouge orangé.

Tandis que le météore file dans le ciel et attire tous les regards, la surface fondue de la pierre est portée à une température de l'ordre de 1 500 °C et s'évapore. La matière

1. On donne à une météorite (et à son météore associé) le nom du lieu de sa chute ou de sa trouvaille.

produite se répand alors dans l'atmosphère et finit par former un nuage (*cf.* Ill. 30) qui peut persister plusieurs jours après le passage du météoroïde. Ce phénomène d'ablation conduit à des pertes de masse de l'ordre de 90 % en quelques secondes. Il s'accompagne d'un important dépôt de chaleur dans l'atmosphère.

L'arrivée à hypervitesse dans l'atmosphère soumet également le météoroïde à un choc mécanique très violent pouvant provoquer sa fragmentation explosive, souvent le long de lignes de fracture préexistantes. En effet, à une telle vitesse, l'atmosphère constitue presque un corps solide pour le météore, un peu comme un plongeur qui arriverait trop vite à la surface de l'eau. Le roulement de tonnerre n'est que l'effet de la détonation causée par l'explosion du météoroïde dans l'atmosphère¹. Les ondes sonores émises par la déflagration peuvent être enregistrées par des sismographes ou des détecteurs acoustiques situés à des centaines de kilomètres du lieu de chute.

La combustion du météoroïde commence très tôt dans l'atmosphère, dès 70-100 km d'altitude. La fragmentation a lieu à environ 30-40 km pour un corps du diamètre d'Orgueil et à environ 10 km pour un corps de 50 m de diamètre. Les météoroïdes de taille inférieure à quelques dizaines de centimètres ne se fragmentent généralement pas. L'essentiel de leur énergie cinétique est converti en énergie lumineuse et thermique plutôt qu'en énergie acoustique. Les étoiles filantes ne sont rien d'autre que des météoroïdes de taille centimétrique brûlés (en partie, puisqu'elles conservent environ 10 % de leur masse) dans la haute atmosphère.

L'essentiel de l'énergie cinétique portée par les météoroïdes est donc dissipé en quelques secondes dans l'atmosphère par

1. On peut entendre les sons (et voir le météore) produits par la météoroïde de Peekskill (New York, États-Unis, 1992) en tapant « Peekskill meteorite » dans un moteur de recherche.

tous les phénomènes que nous venons d'exposer. Cette dissipation d'énergie s'accompagne d'une décélération du météoroïde, qui perd peu à peu de sa vitesse cosmique jusqu'à tomber en chute libre, à quelques centaines de mètres par seconde (la vitesse de chute d'un parachutiste avant l'ouverture de sa toile). Pendant cette phase, le météoroïde est invisible du sol, car il ne va plus suffisamment vite pour se consumer dans l'atmosphère terrestre. C'est pour cette raison qu'on appelle cette phase, qui dure quelques dizaines de secondes, le vol sombre (*dark flight* en anglais).

Au terme du vol sombre, les météoroïdes touchent terre et prennent le nom de météorites. Il est rare de trouver une météorite unique et le nombre de fragments est extrêmement variable : quelques dizaines dans le cas d'Orgueil ; quelques milliers dans celui de la chute de Pultusk (Pologne, 1868), pour laquelle on a recensé jusqu'à deux tonnes de pierres dispersées en cent mille fragments. Lorsque le nombre de fragments est supérieur à plusieurs dizaines, on parle d'une pluie ou d'une averse de météoroïdes. Les fragments se répartissent sur une ellipse de chute (*cf.* figure 1.2), les plus massifs se trouvant à l'extrémité la plus éloignée (dans le sens de la trajectoire) de l'ellipse.

Les météorites à peine tombées sont recouvertes d'une croûte de fusion (*cf.* Ill. 1-5), une fine coquille sombre qui enrobe entièrement la pierre. Cette croûte de fusion n'est autre que la dernière surface du météoroïde figée après l'interruption du processus d'ablation. D'un aspect noir et plus ou moins vernissé, la croûte de fusion permet de distinguer les météorites fraîchement tombées des roches terrestres. Dans certains cas, la surface des météorites est couverte de dépressions ressemblant à des empreintes de pouces. Ce motif, appelé « régmaglypte » (*cf.* Ill. 4), est causé par la turbulence de l'air.

Bien qu'elles aient brûlé dans l'atmosphère, les météorites ne sont pas toujours chaudes quand on les ramasse.

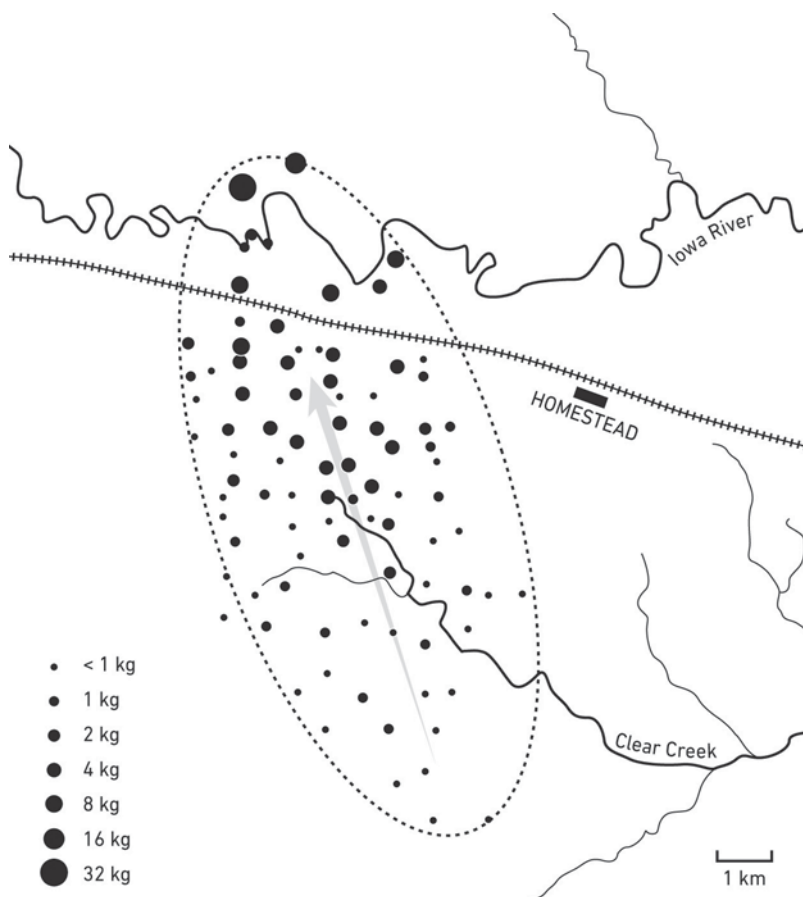


FIGURE 1.2. Ellipse de chute de la météorite d'Homestead (Iowa, États-Unis, 1875). Les fragments de météorites les plus massifs se trouvent à l'extrémité la plus éloignée (dans le sens de la trajectoire) de l'ellipse. La carte a été redessinée d'après le croquis du géologue Oliver Cummings Farrington, conservateur de la collection de météorites du Field Museum of Natural History à Chicago de 1894 à 1904.

Elles ont en effet largement le temps de se refroidir lors du vol sombre ainsi qu'entre l'atterrissage et le moment où elles sont recueillies. Il arrive même que des météorites soient froides, qu'elles conservent les températures basses du milieu interplanétaire qu'elles ont parcouru pendant

des millions d'années avant de tomber sur Terre. Dans le cas des météorites de Dharamsala (1860, Inde) et de Colby (1917, États-Unis), on a fait état de givre les recouvrant ; il ne s'agissait évidemment pas de givre extraterrestre, mais d'eau terrestre se condensant autour d'un corps froid. Certains témoins ont aussi rapporté que des météorites fraîchement tombées dégageaient une odeur nauséabonde ; cette odeur proviendrait des composés riches en soufre abondants dans les météorites, leur combustion produisant du sulfure d'hydrogène (la molécule qui donne son odeur fétide aux boules puantes).

Dans la mesure où leur vitesse n'est pas très élevée lors du vol sombre, les météorites de taille modeste font peu de dégâts lorsqu'elles tombent sur le sol. Elles créent une excavation qualifiée élégamment de trou de pénétration, dont le diamètre est comparable à leur propre diamètre. Les météorites de Pultusk (1868, Pologne) et de Tagish Lake (2000, Canada) n'ont même pas brisé la glace des lacs gelés sur lesquels elles sont tombées.

En dépit de certaines légendes (comme celle du général rebelle Catillianis qui aurait été tué par une météorite en 1906), il n'existe pas de victime (connue) d'une chute de météorites. La blessure la plus spectaculaire provoquée par une météorite est celle d'une jeune femme frappée le 30 novembre 1954 à Sylacauga, en Alabama. Tandis qu'elle se reposait sur son divan, elle reçut sur la hanche une pierre d'environ quatre kilos provoquant un singulier hématome. Presque quarante ans plus tard, un jeune garçon fut touché par un fragment de météorite à Mbale, en Ouganda, le 14 août 1992. La pierre de 3,6 g fut freinée par des feuilles de bananier et le jeune garçon put poser fièrement, après la chute, la météorite en main. Enfin, très récemment, l'onde de choc générée par la météorite de Tcheliabinsk (*cf.* l'encadré suivant) a blessé environ mille personnes.

La météorite de Tcheliabinsk

Le 15 février 2013, en Oural (Russie), des milliers de personnes ont aperçu un météore au lever du jour. Il a été filmé par les caméras embarquées dans les véhicules des particuliers (pour se prémunir de la corruption policière), entre autres au-dessus de la ville industrielle de Tcheliabinsk. Le météoroïde a explosé à environ 40 km d'altitude, relâchant quelques dizaines

de grammes de météorites qui ont été trouvées autour du lac Tcherbakoul. Très rapidement, à partir des films, des enregistrements sismiques et des données satellitaires, les scientifiques ont estimé qu'il s'agissait d'un objet de 17 m environ, pesant 10 000 tonnes et animé d'une vitesse préatmosphérique de 15 km/s.

Si l'on ne recense que deux animaux tués par des météorites, la palme de la malchance revient à un chien, touché par une météorite martienne à Nakhla, dans le nord de l'Égypte, le 28 juin 1911 ; un comble quand on sait que les météorites martiennes représentent moins de 0,1 % des chutes météoritiques. L'histoire n'a pas retenu le nom de ce malheureux. L'autre infortuné animal est une vache qui aurait été heurtée par une chondrite ordinaire, ce qui est moins insolite puisque les chondrites ordinaires représentent plus de 80 % des chutes de météorites (*cf.* chapitre 7).

Quant aux dégâts matériels causés par les météorites, ce sont ceux de Tcheliabinsk qui ont établi un record en endommageant plus de 3 000 appartements et presque 1 000 bâtiments publics. Avant février 2013, le dégât le plus remarquable a été causé par la météorite de Peekskill (États-Unis), tombée le 9 octobre 1992 sur le phare arrière gauche d'une Chevrolet Malibu rouge. La propriétaire de la voiture a su tirer profit de cet événement extraordinaire puisqu'elle a revendu dix mille dollars un véhicule acheté trois cents quelques jours plus tôt. La voiture a été présentée au public en de nombreux endroits dans le monde, dont le Muséum national d'histoire naturelle, à Paris, à l'occasion de l'exposition « Météorites ! » en 1996.

TOMBÉES DU CIEL

L'atmosphère terrestre agit donc comme un coussin protecteur. En consumant les météorides, en les ralentissant et en les fragmentant¹, elle a pour conséquence que les météorites tombent rarement sur Terre ou alors à relativement basse vitesse. Mais l'atmosphère ne peut pas tout. Si le corps arrive trop vite ou est trop massif, l'atmosphère n'est pas assez dense pour le freiner et il (on parle alors de bolide) arrive au sol à hypervitesse.

1. Dans le cas de la météorite de Revelstoke tombée en 1965 en Colombie-Britannique (Canada), un seul fragment de 1 g a été retrouvé, alors même que la masse initiale du météoride a été estimée à 100 tonnes.

N° d'édition : L.01EHBN000586.N001
Dépôt légal : novembre 2013