



## Météorite

Météorite Une météorite est un corps solide naturel d'un système planétaire qui en traversant l'atmosphère d'un autre corps n'a pas perdu toute sa masse et qui atteint la surface de la Terre ou d'un autre astre (planète, exoplanète, satellite naturel, astéroïde) sans être complètement volatilisé lors de l'impact avec cette surface. La majorité des météorites proviennent de petits corps célestes du Système solaire appelés météoroïdes (99,4% des météorites analysées proviennent de fragments d'astéroïdes, quelques centaines de spécimens sont d'origine lunaire ou martienne), elles sont plus rarement produites par l'impact de gros astéroïdes. La traînée lumineuse produite par l'entrée dans l'atmosphère du météoroïde à des vitesses de l'ordre de dizaines de km/s s'appelle un météore qui est soit une étoile filante (petit météoroïde dont la combustion illumine le ciel la nuit), soit un bolide (gros météoroïde brillant assez pour être visible même le jour), ce météore lumineux s'éteignant à une altitude le plus souvent de 20 km et prenant le nom de météorite lorsque son ablation dans la troposphère n'est pas complète et qu'il atteint le sol en chute libre. La réaction de la météorite lors de son contact avec l'atmosphère, et ensuite éventuellement avec le sol, peut se traduire par un champ de dispersion. Le chasseur de météorites distingue les « chutes », météorites qu'on a vu tomber sur Terre et qu'on a retrouvées peu après leur atterrissage, des « trouvailles », météorites découvertes par hasard sans que leur chute soit observée. Fin 2011, il y a environ 41 600 météorites classifiées (nom officiel validé) par la Meteoritical Society qui publie



chaque année un catalogue des nouvelles météorites analysées, le Meteoritical Bulletin. Ce nombre augmente d'environ 1 500 chaque année. La XIe assemblée générale de l'Union astronomique internationale donne les définitions suivantes en 19581, définitions toujours en vigueur2: La météorite est un fragment de météoroïde qui a atteint la surface de la Terre sans être détruit par la traversée de l'atmosphère ni par l'impact. Le météoroïde est « un objet se déplaçant dans le milieu interplanétaire, qui a une taille beaucoup plus petite qu'un astéroïde mais bien plus grande qu'un atome ou une molécule ». La Royal Astronomical Society précise en 1995 ces dimensions : un météoroïde a une taille comprise entre 100  $\mu\text{m}$  et 10 m. En dessous de 100  $\mu\text{m}$  il s'agit de poussière interplanétaire trop petite pour produire une étoile filante. Au-delà de 10 mètres, ce sont des astéroïdes, petits corps du Système solaire mais suffisamment grands pour réfléchir une lumière comme les étoiles détectables au télescope3. Le Near-Earth Object Program de la NASA propose une limite supérieure à 50 mètres. Chaque jour, la masse de la Terre s'accroît de 100 tonnes provenant de petits météoroïdes de taille inférieure au mètre, ces petits objets ne pouvant atteindre la surface terrestre que sous forme de poussière. La définition du NEO Program permet d'inclure des objets de taille moyenne suffisante (entre 1 et 50 mètres) pour pouvoir atteindre la Terre sous forme de météorite visible (taille dépendant de la composition du météoroïde, de sa vitesse et de son angle d'entrée dans l'atmosphère). Au-delà de 50 mètres, ce sont des objets géocroiseurs de type astéroïde ou comètes dont l'impact avec la Terre peut créer un hiver nucléaire (objet de diamètre de 2 km) voire des extinctions de masse pour des diamètres supérieurs4. Les limites de la Royal Astronomical Society ne constituent pas une définition officielle et définitive puisqu'elles fluctuent en fonction de l'avancée des sciences et technologies. La puissance des télescopes est aujourd'hui telle qu'ils peuvent détecter des astéroïdes de plus en plus petits, inférieurs à 10 mètres actuellement pour les instruments du réseau de surveillance optique américain GEODSS (tel l'astéroïde 2008 TC3), rendant caduque la limite supérieure. Il en est de même pour la limite inférieure : alors que le plus petit météoroïde est défini comme un objet d'au moins 100  $\mu\text{m}$  pour produire une étoile filante lors de sa rentrée atmosphérique (il perd son énergie cinétique par ablation, sa combustion illuminant le ciel la nuit alors qu'une poussière plus petite perd son énergie par radiation qui est incapable de ioniser et illuminer l'air5), des particules de 10  $\mu\text{m}$  peuvent parfois produire ce type de météore selon leur vitesse, densité, structure et angle d'entrée dans l'atmosphère6. Le chasseur de météorites a une définition pratique en fonction de la manière dont il les collecte : une météorite est un objet de taille comprise entre le centimètre et la centaine de mètres7. La définition la plus récente prend en compte ces évolutions (puissance des instruments d'observation, découverte de météorites lunaires ou martiennes, etc.). Une météorite est un objet solide naturel de taille supérieure à 10  $\mu\text{m}$ , issu d'un corps céleste qui a été transporté par des moyens naturels, à partir d'un corps-parent dont il est issu, vers une région de l'espace échappant à l'attraction gravitationnelle de ce corps-parent et dont la trajectoire croise celle d'un corps naturel ou artificiel plus grand que lui-même. Il pénètre dans son atmosphère et atteint sa surface car il n'a pas été complètement volatilisé lors de sa rentrée atmosphérique et de l'impact avec cette surface. L'altération météoritique ne modifie pas le statut de la météorite aussi longtemps que certains de ses minéraux ou de sa structure initiale n'ont pas disparu. Cet objet perd son statut de météorite s'il est incorporé dans une roche plus grande qui devient elle-même une météorite. Un météoroïde est un objet de taille comprise entre 10  $\mu\text{m}$  et 1 m se déplaçant dans le milieu interplanétaire, il peut être le corps principal ou provenir de la fragmentation de corps célestes plus grands (notamment mais pas seulement les astéroïdes). De 100  $\mu\text{m}$  à 2 mm se classent les micrométéoroïdes ainsi que les micrométéorites8. Histoire des représentations et de l'étude des météorites Histoire : De l'objet sacré jusqu'à l'objet scientifique « S'il pleut des pierres, c'est que les vents les ont d'abord enlevées. » — Plin l'Ancien,

Extrait d'Histoire Naturelle, livre II, chapitre XXXVIII : De aere ; Quare lapidibus pluatur (De l'air : pourquoi il pleut des pierres) L'histoire des représentations des météorites montre l'évolution des différentes perceptions de ces objets au cours des siècles, depuis l'objet sacré jusqu'à l'objet scientifique. Tout au long des siècles, les météorites ont été vénérées comme des objets sacrés par différentes cultures et civilisations antiques<sup>9</sup>. La chute spectaculaire (lumière intense, parfois phénomènes sonores, comme pour la météorite de Négata découverte en 861, la plus ancienne recueillie encore conservée) d'une météorite a toujours suscité l'imagination humaine, évoquant la peur, le respect ou l'adoration, entraînant la recherche de ces objets tombés du ciel pour en faire des objets sacrés du pouvoir et de cérémonies religieuses<sup>10</sup>, tels les bétyles constituant l'Omphalos des Grecs à Delphes ou la Pierre noire de la Kaaba à La Mecque<sup>11</sup>. Les météorites ferreuses sont également très tôt utilisées comme bijoux et armes, telle une dague en fer météorique trouvée dans le tombeau de Toutânkhamon<sup>12</sup>. L'âge du fer aurait débuté chez les Inuits à partir de la chute de la météorite du cap York, ces derniers utilisant des esquilles de fer tirées de ce type de météorite pour fabriquer des lames de couteau et des pointes de harpon<sup>13</sup>. La première mention d'une météorite dans le corpus écrit occidental est due à Anaxagore qui cite la chute de météorites en Crète en 1478 av. J.-C.<sup>14</sup>. Bien que sa prédiction de la chute d'une météorite proche d'Aigos Potamos après le passage d'une comète en 476 av. J.-C. soit légendaire<sup>15</sup>, il est le premier à formuler une hypothèse sur son origine, pensant avec audace que cette météorite est issue du soleil qu'il considère comme une pierre en flammes<sup>16</sup>. Les auteurs en Chine ancienne consignent dans leurs ouvrages les chutes de pierres sans donner de cause<sup>17</sup>. Les auteurs de langue arabe en font de même, tel Avicenne dans la section géologie de son Livre de la Guérison, le polymathe iranien n'hésitant pas à affirmer que deux types de pierre tombent du ciel (des fers et des pierres) et à réaliser des expériences de fusion de météorites pour voir si elles sont métalliques<sup>18</sup>. Au Moyen Âge, l'Église chrétienne combat le culte des météorites et demande que ce symbole païen soit jeté et détruit<sup>19,20</sup>. La conception aristotélicienne du ciel prévaut (des fragments de roche ou de métal ne peuvent pas tomber du ciel et il n'existe pas de petits objets célestes au-delà de la lune), aussi la météorite est considérée soit comme une illusion d'optique (thèse de Guillaume de Conches), soit comme un artefact terrestre (type produits de métallurgie) soit comme un phénomène atmosphérique causé par des fragments de montagnes arrachés, des laves éjectées par les volcans (l'averse météoritique à Sienna le 9 juillet 1794 est attribuée ainsi à la proximité du Vésuve), par la foudre ou par le tonnerre, d'où sa dénomination particulière de « pierre de foudre (en) » (pouvant être confondue à tort avec la fulgurite) ou « pierre du tonnerre » (exemple la pierre du tonnerre d'Ensisheim en 1492, plus ancienne chute répertoriée en Europe)<sup>21</sup>. De même sa dénomination générale n'est pas fixée, la météorite étant appelée indifféremment aérolithe (« pierre de l'air »), uranolithe (« pierre du ciel »), etc. Jusqu'au XVIII<sup>e</sup> siècle, l'idée que la météorite est une roche venue de l'espace est considérée comme absurde par les savants, d'autant plus que les récits antiques et médiévaux sur des chutes de météorites associent souvent ce phénomène à la longue série des prodigia, miracula (prodiges et miracles telle que pluie d'animaux, de lait, de sang, de feu et de soufre, etc.) et omina (présages telle que la pluie de pierres le jour de la naissance de Charles le Chauve<sup>22</sup>), ce qui suscite le scepticisme des savants européens qui se refusent à étudier ces superstitions. Les quelques spécimens analysés s'avèrent de plus être le plus souvent des fossiles, des outils préhistoriques supposés fabriqués par la foudre, ou des roches communes (leur analyse met généralement en évidence des espèces minérales terrestres comme la pyrite ou la marcassite)<sup>23</sup>. Les trois aérolithes tombés à Coutances en 1750, à Lucé en 1768 et Aire-sur-la-Lys en 1769 sont pour la première fois analysées chimiquement par une académie scientifique et décrits dans un journal scientifique mais les trois membres de l'Académie des sciences, Fougereux de Bondaroy, Cadet de Gassicourt et Antoine Lavoisier concluent à tort qu'elles ne sont pas des pierres

tombées du ciel et que la pierre du 13 septembre 1768 n'est qu'un grès pyriteux. La croûte de fusion noire de la météorite est expliquée par le fait qu'il s'agisse d'une « pierre de foudre »<sup>24</sup>. John Wallis, après l'observation d'une pluie de météores en Angleterre en 1676, suggère qu'ils peuvent être dus à la rentrée atmosphérique de comètes<sup>25</sup>. Au XVIII<sup>e</sup> et début XIX<sup>e</sup> siècle, les savants pensent encore dans leur majorité que la météorite se forme dans l'atmosphère, selon l'hypothèse la plus communément admise d'Eugène Louis Melchior Patrin en 1801<sup>26</sup> : le météore résulte de la circulation de fluides gazeux atmosphériques puis la météorite solide se forme par la combinaison des molécules gazeuses. D'autres hypothèses dans la même veine sont formulées : formation lors d'un orage par la foudre selon Antoine Lavoisier en 1769<sup>27</sup>, formation à partir des nuages selon le médecin Joseph Izarn<sup>28</sup>. L'origine extra-terrestre interstellaire<sup>29</sup> est avancée par le physicien allemand Chladni dans son ouvrage *Über den Ursprung der von Pallas gefundenen und anderer ihr ähnlichen Eisenmassen und über einige damit in Verbindung stehende Naturerscheinungen* en 1794 (« De l'origine de la masse de fer trouvée par Pallas et d'autres similaires, et sur quelques phénomènes naturels en relation avec elles »), sa thèse étant renforcée par l'analyse chimique et minéralogique de plusieurs météorites réalisée en 1802 par Edward Charles Howard et Jacques Louis, Comte de Bournon (en) qui mettent notamment en évidence les chondrules<sup>30</sup>. L'étude scientifique complète (analyse chimique et recueil des témoignages) des météorites n'apparaît réellement qu'à partir de 1803, date du rapport minutieux de Jean-Baptiste Biot à l'Académie des Sciences de Paris<sup>31</sup>, fait à la demande du Ministre Chaptal, sur la météorite de L'Aigle tombée la même année. Un changement dans la conception des météorites est perceptible au début du XIX<sup>e</sup> siècle lorsque l'existence de cratères d'impact à la surface de la terre est admise, comme pour le Meteor Crater<sup>32</sup>. L'astronome Denison Olmsted (en) observe en 1833 que le radiant de l'essaim d'étoiles filantes des Léonides n'est pas entraîné avec la rotation de la Terre, il infirme ainsi définitivement l'origine terrestre et atmosphérique des météorites<sup>33</sup>. Auguste Daubrèe systématise la classification des météorites à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle<sup>34</sup>. Si d'illustres savants catastrophistes (Jean-Baptiste Biot, Siméon Denis Poisson, John Lawrence Smith en 1855) sont encore partisans de l'hypothèse lunaire de Pierre-Simon de Laplace (météorites appelées « pierres de Lune » issues de l'éruption de volcans lunaires)<sup>35</sup>, la majorité se rallie progressivement à l'hypothèse extraterrestre de Chladni<sup>36</sup>. Les débats intenses suscitent la constitution de collections de météorites afin de mieux les étudier : la majorité des muséums d'histoire naturelle se dotent au XIX<sup>e</sup> siècle de telles collections. Le Muséum national d'histoire naturelle de Paris, le Musée d'histoire naturelle de Londres et la Smithsonian Institution de Washington, qui possèdent aujourd'hui les collections de météorites les plus importantes au monde, le doivent à cet essor du milieu du XIX<sup>e</sup> siècle<sup>37</sup>. L'hypothèse extraterrestre de Chladni bien établie, l'origine exacte des météorites fait l'objet de débats jusque dans les années 1950 (milieu interstellaire, interplanétaire ?) qui voient un consensus se dégager sur les astéroïdes comme étant la source principale des météorites, les années 1980 étant celles de la découverte de météorites martiennes et lunaires<sup>38</sup>. &Eacute;tudes actuelles En quelques décennies, les analyses de plus en plus fines faites en laboratoire, les explorations spatiales et les observations astronomiques ont bouleversé notre connaissance du Système solaire. La datation des météorites est réalisée par radiochronologie (datation <sup>207</sup>Pb - <sup>206</sup>Pb) à l'aide de spectromètres de masse à ionisation secondaire ou de spectromètres de masse à plasma<sup>39</sup>. Après plusieurs échecs, le premier à réussir la datation d'une météorite est le géochimiste Clair Cameron Patterson (en) qui estime en 1956 l'âge d'une météorite ferreuse à 4,55 milliards d'années correspondant à l'âge de la Terre et de la formation du système solaire<sup>40</sup>. L'étude des différents minéraux présents dans une chondrite (issue d'un corps parent non différencié) sont identiques à ceux que l'on peut trouver sur une planète (corps différencié) comme la Terre. En effet, si l'on écrase un fragment de chondrite jusqu'à le réduire en poudre, puis si on

approche un aimant afin de séparer les particules magnétiques de celles qui ne le sont pas, on obtient d'une part les particules de fer/nickel constituant le noyau d'une planète comme la Terre et d'autre part principalement des silicates identiques à ceux présents dans le manteau et la croûte terrestres. Ces études ont conduit les cosmochimistes<sup>41</sup> à approfondir le sujet et notamment à mieux expliquer le phénomène de différenciation planétaire<sup>42</sup>. L'analyse chimique de certaines chondrites carbonées (météorite d'Orgueil), qui sont soupçonnées de provenir non pas d'astéroïdes mais de noyaux de comètes, ou d'achondrites (météorite probablement d'origine martienne ALH 84001), révèle la présence d'acides aminés qui sont les « briques » élémentaires de la vie et semblent renforcer (si leur origine est bien prouvée) la théorie de la panspermie qui soutient que la Terre a été fécondée de l'extérieur, par des moyens extraterrestres<sup>43</sup>. Les météorites martiennes permettent aux scientifiques de commencer à mieux connaître la géologie martienne avant même que des échantillons n'aient été rapportés depuis cette planète, ce qui est possible grâce à des programmes de recherche terrestres tel qu'ANSMET. Les connaissances acquises grâce à ces très rares météorites pourront aider ces mêmes scientifiques dans leurs recherches lorsqu'ils disposeront enfin d'échantillons prélevés sur la planète rouge lors des missions prévues pour les années à venir.

Quant aux météorites d'origine lunaire, elles donnent l'occasion aux scientifiques n'ayant pas à leur disposition des échantillons rapportés par les missions Apollo de travailler sur l'histoire de la formation de ce satellite terrestre, notamment sur l'hypothèse de l'impact géant selon laquelle la Lune proviendrait de la collision entre la Terre et un astre de la taille de Mars, appelé Théia, qui aurait arraché et projeté hors du manteau terrestre des éjectas dont une bonne partie est resté en orbite autour de celle-ci, se réaccrétant pour former la Lune. Il s'agirait alors de la plus grosse météorite ayant jamais croisé la Terre, donnant naissance à notre satellite. La présence d'isotopes radioactifs de l'aluminium <sup>26</sup>Al et du fer <sup>60</sup>Fe dans des inclusions météoritiques au tout début du Système solaire permet, à partir d'observations astronomiques d'étoiles jeunes, de modéliser l'environnement stellaire du Soleil primitif : en moins de 20 millions d'années, trois générations d'étoiles, formées par la compression du gaz à la suite d'ondes de choc produites par les supernovae selon le scénario du Little Bang, se seraient succédé dans un nuage moléculaire géant pour former le Système solaire<sup>44</sup>.

**Flux et impacts de météorites** La masse totale de matière interplanétaire balayée par la Terre est estimée à cent tonnes par jour (un facteur 10 n'étant pas à exclure par rapport à cette estimation<sup>45</sup>), ce qui correspond à 100 millions d'objets météoriques qui traversent l'atmosphère terrestre quotidiennement<sup>46</sup> : cette matière est constituée essentiellement de poussières (moins de 0,1 mg), avec un nombre de corpuscules dépendant (approximativement) du logarithme de l'inverse de leur masse, avec un seuil d'environ  $1 \times 10^{-16}$  kg<sup>47</sup>, en dessous duquel il y a très peu de poussières. La majorité de ces poussières sont des micro-météoroïdes : ayant la consistance des cendres de cigarette, ils sont en grande partie consommés dans l'atmosphère et finalement 6 tonnes de matériel météorique atteint le sol quotidiennement. Le flux annuel de micrométéorites est estimé entre 15 000 à 20 000 tonnes (50 000 à 100 000 tonnes si on inclut les poussières interstellaires<sup>48</sup>), celui de météorites de masse comprise entre 0,01 kg à 100 kg est évalué à 40 tonnes, les grosses météorites perdant 80 % de leur masse lors de la traversée atmosphérique<sup>7</sup>. 18 000 à 84 000 météorites de masse supérieure à 10 g atteignent le sol chaque année<sup>49</sup>, ce qui correspond à une météorite toutes les 6 à 30 minutes. De 2 000 à 5 000 météorites de plus d'un kilogramme tombent au sol annuellement mais 75 % disparaissant pour cause de météorologie, de la nature du terrain de chute (essentiellement dans les océans, qui couvrent près de deux tiers de la planète, ou dans les déserts, qui constituent près d'un tiers des terres, rarement dans les villes car les zones urbaines ne couvrent que 3 % des terres émergées<sup>50</sup>) et sur les 25 % restantes peu sont collectées<sup>51</sup>. Sur la surface terrestre entière, un météoroïde d' $1 \mu\text{m}$  de

diamètre percute le sol toutes les 30 &micro;s, un météoroïde d'1 mm de diamètre toutes les 30 s, un météoroïde d'un mètre de diamètre tous les ans, un météoroïde de 50 m de diamètre tous les siècles, un météoroïde de 100 m de diamètre tous les 10 000 ans, un météoroïde d'un kilomètre de diamètre tous les millions d'années et un météoroïde de 10 km de diamètre tous les 100 millions d'années<sup>52</sup>. Chaque année, il se produit actuellement en moyenne une dizaine de chutes météoriques observées (avec des écarts de 5 à 25 chutes par an) et de 2 à 5 structures d'impacts sont découvertes<sup>53</sup>. Le météoroïde pénètre dans l'atmosphère à une vitesse qui varie de 1154 à 72 km/s. La traînée atmosphérique provoque sa décélération jusqu'au retardation point (point de ralentissement correspondant au maximum de la décélération et qui a lieu le plus souvent à une altitude de 20 km<sup>55</sup>) à partir duquel le météore s'éteint et le météoroïde réaccélère sous l'influence de la gravitation<sup>56</sup>. Accélération et décélération s'équilibrent progressivement, il atteint sa vitesse finale, généralement de 90 à 180 m/s, lors de son impact<sup>57</sup>. Les météoroïdes de plusieurs tonnes sont moins ralentis, conservent une partie de leur vitesse initiale et ont une vitesse à l'impact bien plus élevée<sup>58</sup>. Lorsqu'elles pénètrent dans l'atmosphère, le frottement sur les particules la constituant entraîne un violent échauffement et une émission de lumière, ce qui forme un météore ou étoile filante <sup>59</sup> : Les poussières d'environ 1&times;10-14 kg et moins sont volatilisées, mais pas détruites : les produits minéraux formés se condensent et tombent très lentement sur la surface terrestre ; Les poussières de taille supérieure constituent les micrométéorites, une partie de leur matière ne sera pas volatilisée et tombera au sol comme des grains de sable ; En dessous d'une certaine taille (fonction inverse de la cohésion de leur matière constitutive) la plupart des météorites se désagrègent en blocs tout au long de leur traversée dans l'atmosphère, ce qui réduit le nombre des gros impacts sur la surface de la Terre : environ 500 pierres de la taille d'une balle de tennis atteignent ainsi le sol chaque année. Des météorites plus massives, heureusement rares (l'histoire humaine écrite n'en relate que deux[Lesquels ?]) peuvent créer d'importants cratères lors de leur impact sur le sol, ou des tsunamis en cas d'arrivée en mer. Considérant la fréquence des chutes, les impacts extra-terrestres (météorites, astéroïdes) pourraient virtuellement causer 90 décès par an mais jusqu'à aujourd'hui aucune mort humaine n'a été attribuée à l'impact d'un météorite<sup>13</sup>. L'énergie libérée lors de ces impacts peut entraîner, directement ou par des effets secondaires catastrophiques (par exemple : réactivation de volcans endormis, incendies généralisés, etc.), la dispersion d'une quantité considérable de particules dans l'atmosphère, suffisante pour modifier brutalement et durablement le climat sur l'ensemble de la Terre. Suivant la théorie de Luis Walter Alvarez, l'extinction des dinosaures, qui marque la fin du Crétacé, s'expliquerait (voir cratère) par les conséquences de l'impact d'une météorite. Les astronomes ont dénombré 900 objets volants potentiellement « dangereux » dont le diamètre est compris entre 1 et 10 km. La plupart de ces corps se trouvent dans la ceinture d'astéroïdes, située entre Mars et Jupiter, qui contient des objets pouvant mesurer jusqu'à 1 000 km de diamètre. Actuellement, 70 « objets » pourraient nous rendre visite au cours du prochain siècle. S'ils sont tous d'une taille inférieure à 1 km, la chute d'un seul d'entre eux risquerait d'avoir des conséquences irrémédiables pour la planète. Ainsi, Apophis, un astéroïde de 270 mètres, pourrait percuter la Terre en 2036. La collision est quasi impossible (la probabilité est de 1 pour 12 346 000) mais si elle avait lieu, elle libèrerait une puissance équivalente à 10 000 mégatonnes de TNT, soit toutes les armes nucléaires de la planète. Classification des météorites On n'a pas de preuve que certaines d'entre elles puissent être du matériel interplanétaire originel primaire. On pense plutôt généralement[Qui ?] que les météorites sont des fragments libérés par impact entre des corps plus gros : les astéroïdes (certaines semblent même, à n'en pas douter, résulter d'impacts violents sur la Lune et sur Mars) ou encore libérés par désagrégation gravitationnelle des comètes lors de leur passage près du Soleil. On distingue deux types principaux de météorites suivant leur corps parent : -Les « météorites non différenciées »,

appelées aussi chondrites, qui proviennent de corps relativement petits (de diamètre inférieur à quelques dizaines de kilomètres) qui, trop petits, n'ont pas pu se différencier intérieurement depuis leur formation. Leur matériau constitutif s'est formé il y a 4,57 milliards d'années, en même temps que le Système solaire. Les fragments de ces petits astéroïdes sont restés dans leur état originel et sont les parents de météorites essentiellement pierreuses, constitués d'un mélange de silicates et de métal (des alliages de fer et nickel). Ces météorites sont formées de chondres, des petites sphères millimétriques qui se sont formées dans la nébuleuse solaire, de grains de métal et de sulfure, et d'une matrice finement grenue qui cimente le tout. Occasionnellement, on trouve des inclusions minérales riches en calcium et en aluminium réfractaires (CAI pour Ca-Al-rich Inclusion) qui constituent les tout premiers solides condensés dans la nébuleuse solaire. Parmi les chondrites, on distingue, grossièrement selon la distance croissante entre le lieu de formation et le Soleil : les chondrites à enstatite, les chondrites ordinaires (79 % en masse), et les chondrites carbonées (5 %), qui renferment du carbone parfois sous forme organique (par exemple acides aminés). Plus rares sont les chondrites de Kakangari et de Rumuruti. -Les « météorites différenciées », celles qui proviennent de corps parents beaucoup plus gros (de diamètres de plusieurs centaines de kilomètres) qui se sont différenciés, c'est-à-dire dont les corps parents ont eu une activité tectonique, comme notre Terre. Sous l'effet d'un réchauffement provoqué par la désintégration d'éléments instables, ces « embryons » de planètes naines ont fondu intérieurement et la matière qui les constitue s'est réorganisée : les éléments les plus lourds sont allés constituer des noyaux métalliques (comme sur Terre le Ni Fe) alors que les éléments les plus légers ont formé un manteau et une croûte rocheuse. Cette classe de météorites renferme les achondrites (8 %) (ayant pour origine la croûte des corps parents), les Fers (5 %) (ayant pour origine les noyaux des corps parents), et les pallasites formées. Ces dernières sont les plus visuelles. -Les « Fers » (anciennement appelés « Sidérites ») sont des météorites principalement constituées d'un alliage de fer et de nickel. Avec une densité voisine de 8, ce sont les météorites les plus denses. La plupart d'entre elles (octaédrites) présentent, si on les scie, polit et attaque à l'acide, des bandes entrecroisées caractéristiques appelées figures de Widmanstätten. Les hexaédrites et les ataxites sont respectivement trop pauvres et trop riches en nickel pour présenter ces structures, mais n'en sont pas moins extraterrestres. -Les « Achondrites », nous apportent des informations sur la formation et l'évolution des gros astéroïdes et des planètes. Les howardites, eucrites et diogénites (HED), les plus nombreuses, proviendraient de l'astéroïde Vesta (520 km de diamètre). Les shergottites, nakhlites, chassignites (SNC) auraient été arrachées de la surface de Mars lors d'impacts et seraient tombées sur Terre après un transit dans l'espace interplanétaire ; on connaît de même des achondrites venues de la Lune. Aubrites, angrites, brachinites sont autant d'autres types d'achondrites. Les uréilites, winonaïtes, acapulcoïtes, lodranites proviendraient d'astéroïdes partiellement différenciés. -Mentionnons enfin des météorites mixtes (métal-pierre) : les pallasites (2 %) sont formées de cristaux d'olivine translucide enchâssés dans une matrice métallique, ce qui en fait les météorites les plus visuelles, et proviendraient de l'interface entre le noyau métallique et le manteau pierreux d'un astéroïde différencié, et les mésosidérites seraient issues d'un astéroïde détruit lors d'un impact dont des fragments du noyau et de la surface ont pu se mélanger. -Enfin un troisième groupe de météorites, les « météorites non groupées », renferme un petit nombre d'autres météorites, ayant des caractéristiques chimiques particulières relativement aux membres des groupes principaux, appartiennent à des groupes ou sous-groupes additionnels. La météorite de Kaidun qui est présentée comme originaire de Phobos fait partie de ce troisième groupe. **Météorites remarquables** On distingue les météorites que l'on a vu tomber et que l'on a retrouvées peu après leur atterrissage : on les appelle des « chutes observées » ou plus simplement des « chutes », par opposition à celles que l'on a découvertes par hasard et que l'on appelle des « trouvailles ». En

1972, la communauté scientifique recensait environ 2 100 météorites, correspondant à une dizaine de découvertes par an sur les deux derniers siècles 60. Fin 2011, il y a environ 41 600 météorites classifiées (nom officiel validé)<sup>61</sup> par la Meteoritical Society qui publie chaque année un catalogue des nouvelles météorites analysées, le Meteoritical Bulletin. Parmi ces 41 600, 97 % sont des trouvailles, 3 % sont des chutes, 70 % proviennent de l'Antarctique. Ce nombre augmente d'environ 1 500 chaque année<sup>7</sup>. 99,8 % des météorites analysées proviennent de fragments d'astéroïdes, 0,2 % sont d'origine lunaire (160 recensées officiellement en 2011<sup>62</sup>) ou martienne). Des cas plus rares concernent des météorites produites par l'impact de gros astéroïdes<sup>63</sup>. La Meteoritical Society attribue un nom ou un numéro à chaque météorite. Il s'agit en général d'un nom géographique d'un lieu proche de l'endroit de la découverte. Les règles de nomenclature ont été établies au milieu des années 1970 par le Committee on Meteorite Nomenclature (Comité de Nomenclature des Météorites) de cette Société internationale<sup>64</sup>. En France, le 7 novembre 1492 est tombée en Alsace à Ensisheim une chondrite de 127 kg : la météorite d'Ensisheim. Elle est aujourd'hui conservée au Palais de la Régence à Ensisheim et gardée par la confrérie St Georges des Gardiens de la Météorite d'Ensisheim, qui réunit chaque année, en juin, les passionnés de ces pierres célestes lors d'une bourse d'échanges remarquable<sup>65</sup>. Les collectionneurs et chasseurs de météorites du monde entier s'y retrouvent. Le 3 octobre 1815, la chute historique de la météorite de Chassigny (en) apporte le premier spécimen type d'un nouveau groupe de météorites, les chassignites (en). Elle contient des bulles de gaz dont la composition est différente de l'atmosphère martienne, suggérant que les chassignites cristallisent dans le manteau profond de Mars, à la différence des nakhlites (en)<sup>66</sup>. Parmi les météorites remarquables tombées en France, on peut citer Orgueil, une météorite carbonée classée CI ; Ornans, une autre carbonée qui a donné son nom à une classe de météorites les CO ; L'Aigle, tombée le 26 avril 1803 en Normandie qui fit l'objet d'un rapport scientifique de Jean-Baptiste Biot de l'Académie des sciences. Plus de 2 000 individus (petites météorites) furent retrouvés dans les environs de la ville de L'Aigle. La plus grande météorite connue à ce jour est la météorite d'Hoba découverte en 1920 en Namibie<sup>67</sup>. Le plus gros impact français a été identifié en 1967 entre les villes de Rochechouart dans la Haute-Vienne et de Chassenon en Charente. Le cratère d'environ 21 km de diamètre n'est plus identifiable, mais les roches fracturées par l'énergie de l'impact subsistent par endroits. Il ne reste plus de trace de la météorite qui s'est complètement désintégrée sous la violence du choc. Cet impact a eu lieu il y a environ 214 millions d'années. L'unique météorite mortelle historiquement attestée est la chute de la météorite de Valera au Venezuela qui a tué une vache le 15 octobre 1972<sup>68</sup>. De nombreuses histoires mentionnent que des fragments de météorites ont directement atterri sur la tête d'un homme ou d'un chien (telle la météorite de Nakhla<sup>69</sup>) et les ont blessé ou tué, mais elles relèvent plus de la légende ou leurs témoins manquent de fiabilité<sup>70</sup>. En 1996, l'analyse par la NASA de la météorite ALH 84001 suggérerait la possibilité d'une vie sur Mars. À ce jour, cette question est encore ouverte<sup>71</sup>. En 2005, la sonde Opportunity analysant géologiquement Mars, découvre la première météorite sur une autre planète, Heat Shield Rock (Meridiani Planum). En 2011, l'analyse de chondrites carbonées révèle des traces d'adénine et de guanine, bases constitutives de l'ADN<sup>72</sup>, et renforce les observations selon lesquelles certaines météorites contiennent des molécules prébiotiques confinées qui seraient à l'origine de l'ensemencement de la Terre<sup>7</sup>. En 2013, le 15 février, le météore de Tcheliabinsk s'est désintégré au-dessus de l'Oural, brûlant partiellement dans les couches basses de l'atmosphère. Des fragments de la météorite ont atteint la Terre et sont tombés dans des zones peu habitées de la région de Tcheliabinsk en Russie. L'onde de choc produite a provoqué de nombreuses blessures, principalement dues à des bris de verre. Plusieurs images et vidéos de cette météorite ont été diffusées sur Internet.

Notes et références &uarr; (en) Peter Millman (en), « Meteor news », Journal of the Royal

Astronomical Society of Canada, vol. 55, & 1961, p. 265&ndash;267 & (en) International Meteor Organization glossary [archive] & (en) M. Beech, D. Steel, « On the Definition of the Term Meteoroid », Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society, vol. 36, no 3, & 1995, p. 281 & (en) A. N. Krot et col, Treatise on Geochemistry, Elsevier, & 2003 (ISBN 978-0-08-043751-4, DOI 10.1016/B0-08-043751-6/01062-8), « Classification of meteorites », p. 83&ndash;128 & Les poussières interplanétaires sont par contre responsables de la lumière zodiacale. & (en) Vitalii Aleksandrovich Bronshten, Physics of Meteoric Phenomena, Springer, & 1983, 380 p. (ISBN 9027716544) & a, b, c et d Thierry Montmerle et Matthieu Gounelle, « Les météorites », émission La Tête au carré, 29 novembre 2011 & (en) Alan E. Rubin et Jeffrey N. Grossman, « Meteorite and meteoroid : new comprehensive definitions », Meteoritics and Planetary Science, vol. 45, no 1, & janvier 2010, p. 114&ndash;122 (DOI 10.1111/j.1945-5100.2009.01009.x) & (en) Massimo D'Orazio, Meteorite records in the ancient Greek and Latin literature : between history and myth, chapitre de l'ouvrage de Luigi Piccardi, W. Bruce Masse, Myth and Geology, Geological Society, & 2007, 350 p. (lire en ligne [archive]) & (en) Lincoln LaPaz (en), « Hunting Meteorites: Their Recovery, Use, and Abuse from Paleolithic to Present », Topics in Meteoritics, no 6, & 1969, p. 84-94 & (en) « On Ancient Meteorites, and the Origin of the Crescent and Star Emblem », Journal of the Royal Astronomical Society of Canada, vol. 33, & evgénios antoniádis, p. 177 & André Brahic, De feu et de glace, Odile Jacob, & 2010, p. 184 & a et b Matthieu Gounelle, Météorites. À la recherche de nos origine, Flammarion, & 2013, 213 p. & Aristote, Les Météorologiques, livre I, chapitre VII-9 & Pline, Histoire Naturelle II, 149 & André Laks, Claire Louguet, Qu'est-ce que la philosophie présocratique ?, Presses Univ. Septentrion, & 2002, p. 358 & (en) K. Yau et col, « Meteorite Falls in China and Some Related Human Casualty Events », Meteoritics, vol. 29, & 1994, p. 864&ndash;871 & (en) Aisha Khan, Avicenna (Ibn Sina) : Muslim Physician And Philosopher of the Eleventh Century, The Rosen Publishing Group, & 2006 (lire en ligne [archive]), p. 78 & Les météorites. Mythes, superstitions & réalités [archive] & Antoine de Jussieu, « De l'Origine et des Usages de la Pierre de Foudre », Histoire et Mémoires de l'Académie Royale des Sciences de Paris, & 1723, p. 6-9 & Odile Kammerer, « Un prodige en Alsace à la fin du XV<sup>e</sup> siècle : la météorite d'Ensisheim », Actes des congrès de la Société des historiens médiévistes de l'enseignement supérieur public, vol. 25, & 1994, p. 295 (lire en ligne [archive]) & Les météorites [archive] & Mahudel, « Sur les Prétendues Pierres de Foudre », Histoire et Mémoires de l'Académie Royale des Inscriptions et Belles Lettres, vol. 12, & 1745, p. 163-169 & Académie royale des sciences, Histoire de l'Académie royale des sciences, Paris, & 1772 (lire en ligne [archive]), p. 20 & Académie royale des sciences, Histoire de l'Académie royale des sciences, Paris, & 1772 (lire en ligne [archive]), p. 20 & (en) John Wallis, « Account of an unusual meteor seen at the same time in many distant places of England », Physica, & 1677, p. 865 & Patrin, « Considérations sur les Masses de Pierres et de Matières Métalliques qu'on Suppose Tombées de l'Atmosphère », Journal de Physique, de Chimie et d'Histoire Naturelle, vol. 55, & 1802, p. 376-393 & Lavoisier, « Rapport sur une pierre qu'on prétend être tombée du ciel pendant un orage », Histoire, 1769, p. 20-21 & Joseph Izarn, Des pierres tombées du ciel, Delalain, & 1803, 57 p. (lire en ligne [archive]) & (en) Ursula B. Marvin, « Ernst Florens Friedrich Chladni (1756-1827) and the origins of modern meteorite research », Meteoritics, vol. 31, & 1996, p. 545-588 (lire en ligne [archive]) & (en) Gerald McCall, Richard John Howarth, The history of meteoritics and key meteorite collections : Fireballs, Falls & Finds, Geological Society, & 2006, p. 167 & Jean-Pierre Luminet, Le feu du ciel : Météores et astéroïdes tueurs, &ditions du Cherche Midi, & 2002 (ISBN 2-7491-0030-5), p. 37-38 & (en) Brandon Barringer, « Daniel Moreau Barringer (1860-1929)

and His Crater (the beginning of the Crater Branch of Meteoritics) », *Meteoritics*, vol. 2, &lrn; 1964, p. 183-200 &uarr; (en) Denison Olmsted, « Observations on the Meteors of November 13th, 1833 », *The American journal of science and arts*, vol. 25, &lrn; 1833, p. 363-411 (lire en ligne [archive]) &uarr; Philippe Jaussaud, Edouard Raoul Brygoo, *Du Jardin au Muséum en 516 biographies*, Muséum national d'histoire naturelle, &lrn; 2004, p. 168 &uarr; [PDF]Lee Anne Willson, « [J. Lawrence Smith and his meteorite collections] », 2000, p. 5 &uarr; (en) P. M. Sears, « Notes on the Beginnings of Modern Meteoritics », *Meteoritics*, vol. 4, no 2, &lrn; 293, p. 297 &uarr; (en) Gerald Joseph Home McCall, A. J. Bowden, Richard John Howarth, *The History of Meteoritics and Key Meteorite Collections: Fireballs, Falls and Finds*, Geological Society, &lrn; 2006 (lire en ligne [archive]), p. 163 &uarr; (en) Derek W. G. Sears, *The Origin of Chondrules and Chondrites*, Cambridge University Press, &lrn; 2004 (lire en ligne [archive]), p. 4 &uarr; Matthieu Gounelle, « Météorites : des pierres à remonter le temps » sur *Ciel et Espace Radio*, 12 octobre 2009 17. &uarr; (en) Clair Patterson, « Age of meteorites and the earth », *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 10, no 4, &lrn; octobre 1956, p. 230-237 (DOI 10.1016/0016-7037(56)90036-9) &uarr; Les anglophones ont un terme plus précis pour désigner la science des météorites, *lameteoritics* (en). &uarr; (en) B. P. Weiss et col, « Paleomagnetic records of meteorites and early planetesimal differentiation », *Space Science Reviews*, vol. 152, &lrn; 2010, p. 341-390 (lire en ligne [archive]) &uarr; (en) P. Ehrenfreund, « Extraterrestrial amino acids in Orgueil and Ivuna : Tracing the parent body of CI type carbonaceous chondrites », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 98, no 5, &lrn; 27 février 2001, p. 2138-2141 (DOI 10.1073/pnas.051502898) &uarr; (en) Mathieu Gounelle et Georges Meynet, « Solar system genealogy revealed by extinct short-lived radionuclides in meteorites », *Astronomy & Astrophysics*, vol. 545, &lrn; septembre 2012, A4 (DOI 10.1051/0004-6361/201219031) &uarr; Les astres instables [archive] sur *astrosurf.com* &uarr; Love et Brownlee, *Science* 262 (1993) 550 &uarr; (en) D. W. Hughes, « Comets and asteroids », *Contemporary Physics*, vol. 35, &lrn; 1994, p. 75–93 &uarr; (en) « Chicago Meteor Shower a Windfall for Area Scientists » [archive], sur *National Geographic*, &lrn; 28 octobre 2010 &uarr; (en) P. A. Bland et col, « The flux of meteorites to the Earth over the last 50,000 years », *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, no 283, &lrn; 1996, p. 551 (lire en ligne [archive]) &uarr; Pamela Duboc, « Quelles sont les chances pour qu'une météorite tombe devant chez vous? Quelles sont les chances pour qu'une météorite tombe devant chez vous ? » [archive], sur *Slate*, &lrn; 15 février 2013 &uarr; (en) P. A. Bland et al, « The flux of meteorites to the Earth over the last 50 000 years », *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 283, &lrn; 1996, p. 551-565 &uarr; *Meteorites, Impacts, and Mass Extinction* [archive] &uarr; (en) I. Halliday et col, « Fireball Recovery and Planetary Inter Observation Network », *Meteoritics and Planetary Science*, vol. 31, no 185, &lrn; 1996, p. 185-217 &uarr; Vitesse limite pour échapper à l'attraction terrestre &uarr; Altitude inversement proportionnelle à la masse, 20 km correspond à celle de la majorité des météorites découvertes et qui ne font que quelques centaines de grammes. &uarr; (en) Fritz Heidi, « Meteorites », *Science Education*, vol. 48, no 4, &lrn; 1964, p. 392 (DOI 10.1002/sce.3730480422) &uarr; (en) Christophe E. Spratt, « Possible hazards of meteorite falls », *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, vol. 85, &lrn; 1991, p. 268 &uarr; (en) Ian Halliday, Alan T. Blackwell et Arthur A. Griffin, « The typical meteorite event, based on photographic records of 44 fireballs », *Meteoritics*, vol. 24, no 2, &lrn; juin 1989, p. 65-72 (DOI 10.1111/j.1945-5100.1989.tb00946.x) &uarr; Paolo Gabrielli et col, « Meteoric smoke fallout over the Holocene epoch revealed by iridium and platinum in Greenland ice », *Nature*, vol. 432, no 7020, &lrn; 23 décembre 2004, p. 1011-1014 (DOI 10.1038/nature03137) &uarr; Gerald McCall, op. cité, p. 325 &uarr; (en) *Meteoritical Bulletin Database* [archive] &uarr; *List of lunar meteorites* [archive], Washington University in St. Louis &uarr; (en) *What is a meteorite ?* [archive], Washington



University in St. Louis & (en) The Meteoritical Society - Committee on Meteorite Nomenclature [archive] & La météorite d'Ensisheim [archive] & Chassignite [archive] & a et b Daniel Fiévet, « À la chasse aux météorites », émission Le temps d'un bivouac sur France Inter, 19 août 2013 & (en) Valera [archive], Meteoritical Bulletin Database & (en) The legend of the Nakhla dog [archive], sur meteoritestudies.com & (en) L. Lapaz, « Injuries from falling meteorites », Popular Astronomy, vol. 59, & 1951, p. 433 & [http://www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/403099main\\_GCA\\_2009\\_final\\_corrected.pdf](http://www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/403099main_GCA_2009_final_corrected.pdf) [archive] & (en) M. P. Callahan et al., « Carbonaceous meteorites contain a wide range of extraterrestrial nucleobases », PNAS, & 11 août 2011 (DOI 10.1073/pnas.1106493108) Bibliographie

Ouvrages anciens Auguste Daubrée, Expériences synthétiques relatives aux météorites : rapprochements auxquels ces expériences conduisent, tant pour la formation de ces corps planétaires que pour celle du globe terrestre, Gauthier-Villars, 1866, 28 p. Auguste Daubrée, Les météorites et la constitution du globe terrestre, Gauthier-Villars, 1886, 37 p. Antonio del Castillo, Catalogue descriptif des météorites (fers et pierres météoriques) du Mexique : avec l'indication des localités dans lesquelles ces météorites sont tombés ou ont été découverts, 1889, 15 p. Adrien Charles Mauroy et Stanislas Meunier, Catalogue de la collection de météorites de l'observatoire du Vatican, Tipografia poliglotta vaticana, 1913, 51 p. Stanislas Meunier, Les météorites, G. Masson, Gauthier-Villars et fils, 1894, 228 p. Publications contemporaines Jacques Ayer et Danièle Rapin, Tombé du ciel : météorites et catastrophes, Muséum d'histoire naturelle de Neuchâtel, Suisse, 1995, 88 p. (ISBN 978-2-940041-02-2) (catalogue d'exposition) Daniel Benest, Brigitte Zanda, Monica Rotaru et Philippe de La Cotardière, Les météorites, Muséum national d'histoire naturelle (France), Bordas, 1996, 128 p. (ISBN 978-2-04-027195-4) (catalogue d'exposition) Alain Carion, Les Météorites et leurs impacts, Masson, 1997, 222 p. (ISBN 978-2-225-82845-4) François-Dominique de Larouzière, Dictionnaire des roches d'origine magmatique et des météorites : variations étymologiques, minéralogiques, texturales & génétiques, & Editions BRGM, 2001, 327 p. (ISBN 978-2-7159-0907-6) François et Michel Franco, Chercheurs de météorites, & Editions du Cherche Midi, 2001, 235 p. (ISBN 978-2-86274-840-5) Matthieu Gounelle, Les Météorites, PUF, coll. « Que Sais-je », Paris, 2009 (ISBN 978-2-13-057428-6) Jean-Pierre Luminet, Le feu du ciel : Météores et astéroïdes tueurs, & Editions du Cherche Midi, 2002 (ISBN 978-2-7491-0030-2) Antonin Masson, Frédéric Pillot et Alexandre Roane, Comètes et météorites, & Editions Milan, 2001 (ISBN 978-2-7459-0332-7) Météorites !, Muséum National d'Histoire Naturelle, 1996 (ISBN 978-2-85653-234-8) (catalogue d'exposition) Pierre-Marie Pelé, Les météorites de France : guide pratique, BRGM, 2005, 335 p. (ISBN 978-2-7056-6498-5) Walter Schumann, Guide des pierres et minéraux roches, gemmes et météorites, Delachaux et Niestlé, 2007 (ISBN 978-2-603-01471-4) Philippe Thomas, Impacts Majeurs, Interface & Editions, 2002, 80 p. (ISBN 978-2-9518090-0-0) Léa Dejoux, Philippe Thomas, Histoires de Météorites : Volume I, Ensisheim, Interface & Editions, 2005, 184 p. (ISBN 978-2-9518090-1-7) Filmographie Les météorites, film documentaire de Marc Chapelet, Diapofilm, Paris, 2000, 15'

Articles connexes  
Astroblème Glossaire des météorites Grand bombardement tardif Liste de chutes météoriques observées Liste de météorites Météore Pluie de météores Liens externes jdc-meteorite : Site sur les météorites et l'environnement spatial Meteor-Center, par Pierre-Marie Pelé, chasseur de météorites français Un forum sur les météorites où l'on peut publier des photos de découvertes et solliciter une aide à l'identification (météorite ou non ?). Meteorite.fr Météorites du Sahara (histoire des sciences) Le rapport de Biot (1803) sur la météorite de L'Aigle (Orne) en ligne et commenté sur BibNum. (en) Earth Impact Database base de données des impacts terrestres (astroblèmes). (en) Encyclopedia of Meteorites base de données sur les météorites. (en) « Search



the Meteoritical Bulletin Database », base de données de la Meteoritical Society [Agrandir le tableau](#)