

ASTRONOMIE

**LES CRATÈRES
D'IMPACT TERRESTRES
ET SÉLÈNES**

Patrick de LUCA*

RÉSUMÉ

Des astéroïdes de grande taille ont laissé sur la Terre des cratères semblables à ceux de la lune, mais l'activité érosive et volcanique les a, en général, rapidement détruits ou colmatés, ce qui n'est pas le cas de *Meteor crater* en Arizona, situé en milieu subdésertique. Parmi les grands cratères peu ou prou disparus, citons Chixulub dans le Mexique méridional, Manicouagan dans le Canada du nord et Rochechouart en Limousin.

RESUMEN

Bolidos de gran tamaño han dejado en la Tierra cráteres semejantes a los de la luna. Pero la actividad erosiva y volcánica de la Tierra han, en general, provocado su desaparición (excepto el *Meteor crater* en el estado del Arizona, de edad reciente, y situado en una ambiente subdesértica).

Se sabe ahora que la Tierra ha conocido grandes cráteres ya casi desaparecidos, así Chixulub en el Mejioco del sur, Manicouagan en el Canada del norte y Rochechouart en el Limousin (Francia).

Qui n'a jamais contemplé par une belle nuit d'été l'éphémère trace lumineuse laissée dans le ciel par une étoile filante ? Longtemps on expliqua aux enfants qu'il s'agissait d'étoiles qui se détachaient de la voûte céleste. Les plus patients des observateurs en comptent quelques dizaines par heure, voire plusieurs centaines lorsque notre planète subit une pluie d'étoiles filantes. Ce phénomène généralement silencieux incite plus à la rêverie qu'il ne suscite une quelconque crainte. Et pourtant...

* Maître de Conférences de géologie à l'université de Tours.

Si l'on en croit les chroniques historiques l'Humanité n'a jamais eu à souffrir de la chute d'un objet céleste. On sait aujourd'hui, grâce aux découvertes astronomiques et géologiques réalisées dans la deuxième moitié du XX^e siècle, que nous ne devons cette apparente immunité qu'à la courte vie de notre espèce.

MESSAGERS COSMIQUES

Une étoile filante est la manifestation lumineuse, appelée météore, de la traversée de l'atmosphère à très grande vitesse par une poussière d'origine extraterrestre, qualifiée de météorite. La plupart ont une taille largement inférieure au millimètre et abordent les couches denses de l'atmosphère, vers 80 kilomètres d'altitude, à des vitesses de l'ordre de 10 à 30 kilomètres par seconde, parfois plus. La rencontre du grain hyper-vélocité avec les molécules d'air chauffe brutalement ces dernières et donne naissance à une bulle de plasma lumineux qui l'englobe. Ce phénomène est comparable, toutes proportions gardées, à l'échauffement subi par les vaisseaux spatiaux lors de leur retour sur Terre. La traversée ne dure que quelques secondes pendant lesquelles le grain est fortement ralenti. Selon sa composition et sa taille il peut être vaporisé ou fondu, en totalité ou partiellement. Les météorites les plus petites, ou micrométéorites, sont de loin les plus abondantes, mais aussi les plus intéressantes du point de vue scientifique, car elles possèdent la même composition que le nuage de gaz à partir duquel se sont formés le Soleil et toutes les planètes qui l'accompagnent, en particulier la nôtre. Les spécialistes nous apprennent qu'il en tombe de nos jours entre 6000 et 60000 tonnes par an. Elles sont transportées par les vents du fait de leur poids infime et récoltées dans l'atmosphère par des avions afin d'être étudiées. On les recueille également dans les glaces des régions polaires au sein desquelles elles s'accumulent avec le temps.

Plus rares sont les météorites de la taille d'un caillou. Leur rentrée dans l'atmosphère donne naissance à une traînée lumineuse épaisse et longue qui persiste plusieurs minutes et s'accompagne parfois de phénomènes sonores tels que sifflements, bourdonnements ou grondements. On parle alors de bolides. Ces objets de plus grande taille, freinés lors de la rentrée, peuvent arriver au sol avec des vitesses modérées, provoquant à l'occasion quelques

dégâts : perforation de toits ou de véhicules, mort d'une vache ou d'un chien. Les témoins qui ont pu retrouver une météorite peu de temps après avoir assisté à sa chute, ou entendu le bruit associé à celle-ci, ont déclaré s'être brûlés en la ramassant. Cette sensation de brûlure a pour cause la très basse température de la météorite (inférieure à -100°C) qui n'a pas eu le temps de s'échauffer au cours des quelques secondes qu'a duré sa traversée de l'atmosphère. En effet, seule a fondu une pellicule de moins d'un millimètre d'épaisseur qui entoure la météorite : c'est la croûte de fusion qui lui donne son aspect vernissé caractéristique. Cette croûte se refroidit presque instantanément au contact du reste de la masse qui est resté à très basse température.

LES COMÈTES

Les pluies de météorites sont périodiques et se produisent tous les ans à date fixe. Les astronomes leur ont donné le nom des constellations d'où elles semblent provenir. Les Léonides par exemple ont des trajectoires qui ont pour origine la région du ciel où se trouve la constellation du Lion. Il ne s'agit bien sûr que d'un repère céleste, les météorites ne provenant pas plus des étoiles formant cette constellation que le vent d'Est ne provient du Japon. Il est aujourd'hui admis que ces pluies sont dues au passage de la Terre dans des nuages de débris résultant de la désintégration au cours du temps de noyaux de comètes aujourd'hui mortes. Les comètes ont été décrites par Eugene Shoemaker, spécialiste de ces astres, comme des « boules de neige sale ». Leur noyau, formé essentiellement par de la glace mêlée à de la matière organique (plus sombre, d'où l'adjectif sale), a typiquement une taille de l'ordre du kilomètre à quelques dizaines de kilomètres. Elles tournent autour du Soleil sur des trajectoires elliptiques qui les amènent à s'en rapprocher très près avant de s'en éloigner à grande distance, recoupant donc au passage les trajectoires quasi-circulaires des planètes. Lorsqu'elles se rapprochent du Soleil leur noyau s'échauffe et émet une grande quantité de gaz provenant de la vaporisation de la glace et d'autres composés, ainsi que des poussières. Le tout donne naissance à la queue de la comète qui suit la même trajectoire que le noyau. Au cours de ses multiples passages à proximité du Soleil le noyau cométaire s'érode, perdant progressivement sa glace, ce qui libère les poussières et les grains que celle-ci emprisonnait.

Toutes les comètes répertoriées responsables des pluies d'étoiles filantes sont dites périodiques car elles reviennent dans le voisinage de la Terre avec une régularité de métronome ; leurs trajectoires sont parfaitement définies. La comète de Halley qui revient tous les soixante seize ans est de ce type.

Plus inquiétantes sont les comètes apériodiques. Ces astres, de nature tout à fait comparable à celle de leurs homologues périodiques, arrivent des confins du système solaire et n'ont jamais été observés auparavant. Leur orbite est calculée à partir de l'observation de leurs positions successives lors de leur approche. La plupart de ces comètes contournent l'astre du jour et s'en retournent vers les contrées glacées d'où elles ne reviendront qu'après des dizaines ou des centaines de millions d'années. Certaines, après que leur trajectoire ait été perturbée lors d'un passage à proximité immédiate d'une planète, vont s'écraser sur le Soleil. D'autres, plus rarement, percutent une planète ou l'un de ses satellites.

LES ASTÉROÏDES

Les comètes, connues depuis l'Antiquité, ne sont pas les seuls objets du système solaire susceptibles de venir heurter la surface des planètes. Découverts au XIX^e siècle, les astéroïdes sont de petits astres rocheux ou métalliques, parfois riches en matière organique. Dans leur immense majorité ils gravitent entre les quatrième et cinquième planètes – Mars et Jupiter – formant autour du Soleil un véritable anneau baptisé « ceinture principale d'astéroïdes ». Longtemps interprétés comme les restes d'une planète détruite, ils sont aujourd'hui considérés comme la matière première à partir de laquelle cette planète n'a pu se former en raison de l'influence de Jupiter et des autres planètes géantes gazeuses. Leurs tailles vont de celle du grain de poussière à celle de Cérès, le plus volumineux d'entre eux, dont le diamètre est de l'ordre du millier de kilomètres. Les plus petits sont de très loin les plus nombreux. Les astéroïdes de la ceinture principale sont très stables. Cependant, pour des raisons non encore complètement élucidées, tel que le passage d'une comète à faible distance ou encore certaines configurations planétaires, quelques milliers de membres de cette famille ont été transférés sur des trajectoires différentes qui les amènent à croiser dans le domaine des quatre planètes les

plus proches du Soleil, dont la nôtre. Les astéroïdes dont l'orbite recoupe celle de la Terre sont appelés « géocroiseurs » ; parmi ceux qui sont connus, aucun n'est susceptible d'entrer en collision avec notre planète à court ou moyen terme.

Le ciel qui apparaissait autrefois comme le domaine de l'immuable tend aujourd'hui à ressembler à un billard cosmique. Pour autant, devons-nous comme les gaulois craindre que le ciel nous tombe sur la tête sous la forme d'un astéroïde ou d'une comète ? Pour répondre à cette question il est nécessaire de consulter les archives géologiques.

À la question « Des objets venus du ciel ont-ils déjà heurté la Terre et laissé des traces à sa surface ? » la réponse est indubitablement oui. Si la chute d'objets célestes, souvent interprétée autrefois comme un signe divin, est un fait admis depuis longtemps, la capacité à reconnaître les traces laissées par les plus massifs d'entre eux est par contre beaucoup plus récente.

DES STRUCTURES GÉOLOGIQUES ÉNIGMATIQUES

En 1609, Galilée a l'idée, saugrenue à l'époque, de braquer sa lunette sur des objectifs non terrestres, en particulier la Lune. Il y découvre des montagnes et des plaines ainsi que des formes de relief circulaires qualifiées dans



Fig. 1 : partie de l'hémisphère sud de la lune montrant les « cirques » lunaires.

les ouvrages d'astronomie de « cirques lunaires » jusque dans les années soixante (fig. 1).

À la fin du XIX^e siècle l'origine de ces cirques a fait l'objet d'un âpre débat entre astronomes et géologues. Deux hypothèses s'opposaient alors : l'une faisant appel à l'astronomie et l'autre faisant référence à un phénomène d'ordre géologique. Paradoxalement ce sont les astronomes qui firent appel à la géologie en proposant une origine volcanique des cirques, tandis que les géologues les expliquaient par la chute de météorites. On doit à la vérité de reconnaître que bien peu de géologues s'intéressaient à l'époque à la Lune – ce qui n'a d'ailleurs pas beaucoup changé – et que parmi ceux qui voulaient bien y porter quelque attention, seule une faible minorité était en faveur de l'hypothèse météoritique. Du côté des astronomes spécialisés en sélénographie l'hypothèse volcanique était majoritaire, à défaut de faire l'unanimité. Il faut l'admettre, le sujet était considéré par les deux parties comme étant d'importance mineure.

Le principal argument des astronomes contre l'hypothèse météoritique était à l'époque le suivant : pourquoi la surface de la Lune est-elle criblée de cirques alors qu'aucun n'a jamais été observé sur Terre ?

C'est alors que le géologue américain G. K. Gilbert s'intéressa à une curieuse dépression circulaire du désert de l'Arizona (fig. 2). Son analyse montra que la cavité en forme de bol était creusée dans des couches de roches sédimentaires disposées horizontalement, qu'elle était entourée par un relief



Fig. 2 : vue aérienne du Meteor crater (Arizona, USA) montrant sa forme en bol (Cliché J.-M. Couderc).

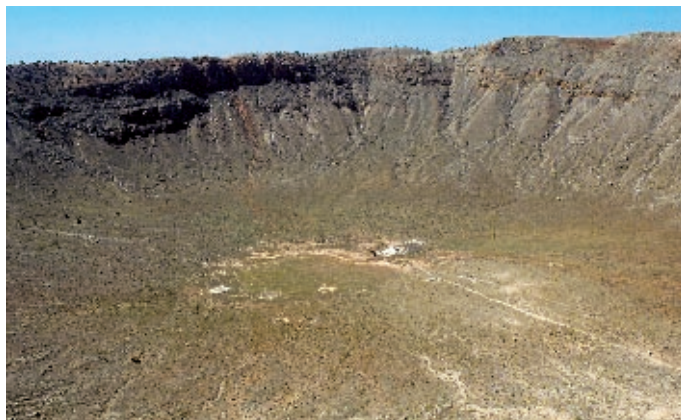


Planche 1 : A (en haut) : vue de l'intérieur du cratère Barringer montrant les remparts circulaires. On distingue au centre de la cavité les installations de forage de Barringer ; B (au centre) : vue des remparts montrant les couches de roches sédimentaires basculées vers l'extérieur du cratère lors de l'impact ; C (en bas) : vue rapprochée de l'intérieur des remparts montrant le renversement des couches initialement horizontales. (Clichés J.-M. Couderc).

circulaire dominant les plaines environnantes et que le fond était à une altitude inférieure à celles-ci.

Gilbert balançait entre deux hypothèses : celle de l'impact d'une grosse météorite et celle d'un phénomène volcanique explosif. Malgré la découverte dans la région de nombreuses météorites métalliques riches en nickel, il opta finalement pour l'origine volcanique. Cette réticence à admettre l'influence d'objets extraterrestres sur l'histoire de notre planète perdure encore de nos jours. Un autre américain, Daniel Moreau Barringer, qui travaillait dans le domaine minier, fut attiré par la présence de nickel dans les météorites découvertes dans la région. Guidé par l'intérêt il prit immédiatement parti pour l'hypothèse météoritique. Considérant qu'une météorite riche en nickel s'était écrasée dans l'Arizona et qu'il était sans doute possible de la retrouver en forant au fond de la cavité circulaire, Barringer acheta le terrain et investit dans du matériel de forage. Ses tentatives de retrouver la météorite se soldèrent toutes par des échecs. Ruiné, il resta persuadé jusqu'à sa mort, et à juste titre, d'être le propriétaire du premier cratère d'impact découvert sur Terre. Les recherches géologiques menées par la suite confirmèrent l'origine météoritique du « Meteor crater » aujourd'hui officiellement baptisé « Barringer crater ». Sa famille, propriétaire du cratère, en a fait un site touristique aujourd'hui très visité.

UN NOUVEAU CHAMP D'ÉTUDES POUR LES GÉOLOGUES

Lorsque le 25 mai 1961 John F. Kennedy fixa pour but à son pays d'envoyer un homme sur la Lune et de le ramener sain et sauf sur Terre avant la fin de la décennie, il ne se doutait sans doute pas qu'il mettait en route une révolution scientifique qui allait aboutir à la naissance d'une nouvelle science : la planétologie.

On assista entre 1961 et 1969, date du premier débarquement lunaire, à une rafale de tirs de sondes automatiques soviétiques et américaines destinées à faire plus ample connaissance avec l'astre des nuits. Il s'agissait en premier lieu de connaître les particularités de son sol et de s'assurer que les astronautes ne s'enfonceraient pas dans une épaisse couche de poussière. Le 3 février 1966 Luna 9 se posait en douceur à la surface de la Lune et révélait la bonne

résistance de son sol ; la sonde soviétique envoya les premières images rapprochées du sol lunaire. En second lieu, il apparut judicieux de reconstituer autant que faire se pouvait l'histoire géologique de la Lune, ceci afin de rentabiliser du point de vue scientifique l'exploration de notre satellite. Les cirques, omniprésents sur la face visible comme sur la face cachée, représentent le trait dominant de la surface de la Lune. Reconstituer l'histoire de la Lune nécessitait donc un consensus quant à leur origine. Or, en 1961 le débat entre tenants de l'origine volcanique des cirques lunaires et ceux de leur origine météoritique était loin d'être clos. En France par exemple, Haroun Tazieff défendait encore dans les années soixante-dix l'hypothèse volcanique. Lorsqu'entrèrent en lice les sondes spatiales installées en orbite autour de la Lune – Luna côté soviétique et Lunar Orbiter côté américain – la précision de leurs images permit de constater que le nombre des cirques était beaucoup plus grand qu'on ne l'envisageait antérieurement. Les sondes de la famille Ranger étaient quant à elles placées sur des trajectoires de collision avec la Lune et envoyaient des images de plus en plus rapprochées au cours de leur descente. Malgré la réduction progressive des surfaces photographiées, chaque image montrait un nombre de cirques plus important que la précédente. Enfin, les sondes Luna et Surveyor qui se posèrent à la surface révélèrent également la présence d'innombrables dépressions circulaires, certaines de la taille d'une bassine. Une telle abondance ne pouvant s'expliquer dans le cadre du volcanisme et les myriades de petites cavités n'ayant aucune des caractéristiques des volcans, la communauté naissante des planétologues admit définitivement, dans sa quasi-totalité, que les cirques avaient pour origine l'impact d'un objet extérieur à la Lune animé d'une très grande vitesse. Le terme de cirque disparut au profit de celui de cratère d'impact ; on parle aujourd'hui plus volontiers de structure d'impact.

Les faits importants qui furent mis en évidence par les recherches menées lors de ces quelques années forment la base des méthodes actuelles d'étude des surfaces planétaires :

- les dépressions circulaires observées à la surface de la Lune sont des cratères d'impact ;
- le nombre des cratères d'impact lunaires est inversement proportionnel à leur diamètre ; c'est-à-dire qu'il y a beaucoup de petits cratères pour peu de grands. Il est intéressant de noter qu'il en va de même pour la population

d'astéroïdes qui gravitent entre Mars et Jupiter : les plus petits sont les plus nombreux ;

- statistiquement, et à toutes les échelles, ce sont les petits cratères qui recourent les grands ; comme un cratère qui en recoupe un autre est plus jeune que lui, d'après le principe de recoupement des géologues, on en conclut que la taille moyenne des cratères diminue avec le temps. Cela signifie que les rares astéroïdes de très grand diamètre ont heurté la Lune au début de son histoire.

Les sondes spatiales envoyées vers d'autres planètes nous ont révélé l'universalité de ces faits. Mercure, Vénus, Mars, les satellites rocheux des planètes géantes gazeuses et les astéroïdes montrent tous des traces d'impacts et les images de leurs surfaces permettent de faire les mêmes constatations. Les cratères d'impact représentent la forme de relief la plus répandue dans le système solaire.

VERS LA COMPRÉHENSION DES PREMIERS ÂGES DE LA TERRE

Parallèlement à l'étude de la Lune les géologues entreprirent de rechercher sur Terre des traces d'impact. Le nombre des cratères reconnus comme résultant d'un impact augmenta lentement dans un premier temps, puis le rythme s'accéléra avec les méthodes de la télédétection par satellite et la découverte de critères irréfutables. On connaît à ce jour (juin 2010) 176 structures dont l'origine est liée de façon certaine à un impact (ainsi Vredefort – fig. 3 –, Chixulub, Manicouagan – fig. 4 – et Rochechouart) et environ 200 si l'on compte celles qui sont en cours d'étude et dont l'origine est encore incertaine. Ce faible nombre s'explique par le dynamisme de notre planète dont la surface évolue sans cesse : le renouvellement des fonds océaniques, les collisions entre continents, les dépôts de sédiments et l'action des agents de l'érosion sont responsables de la disparition de la majeure partie des cratères d'impact qui se formèrent tout au long de l'histoire terrestre. La Terre a bien subi le même bombardement d'astéroïdes et de comètes que la Lune, mais elle doit à son énergie interne le constant rajeunissement de son épiderme qui

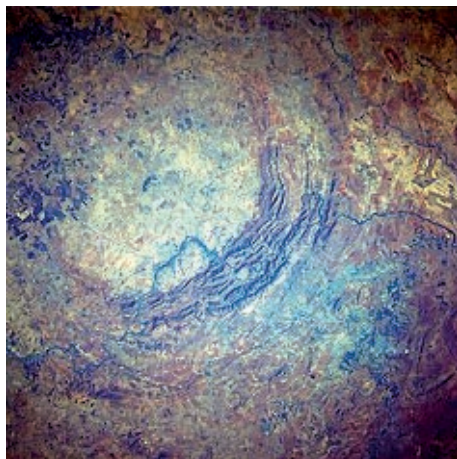


Fig. 3 : **Vredefort (Afrique du sud)**. L'astéroïde responsable devait avoir un diamètre de 10 à 15 kilomètres et a provoqué un cratère de 300 kilomètres, il y a un peu plus de deux milliards d'années. C'est l'un des rares cratères d'impact terrestre à anneaux multiples comme le montre l'image satellite.



Fig. 4 : **Manicouagan (Canada du nord)**. Formé il y a environ 200 millions d'années sur des roches dures, on a détecté le cratère grâce à un lac en forme de couronne.

Chicxulub (Mexique du sud). C'est un cratère de 170 kilomètres, en partie sous la mer, au Yucatan ; il a été très largement érodé par les climats tropicaux. La météorite devait avoir un diamètre de près de 10 kilomètres et elle est tombée il y a environ 65 millions d'années. On la considère comme responsable d'extinctions massives de la faune à la fin du Crétacé.

Rochechouart (Haute-Vienne). L'impact d'un astéroïde le plus proche de nos régions est celui de Rochechouart. Il s'est produit il y a environ 214 millions d'années et mesure 23 kilomètres de diamètre. Il est complètement démantelé par l'érosion mais sa présence a été reconnue grâce aux impactites, roches formées lors du choc.

a pour conséquence l'effacement des traces des évènements les plus anciens quels qu'ils soient, y compris les impacts. Ceci explique que pendant longtemps les géologues ne purent reconstituer que de façon très fragmentaire l'histoire de la planète au-delà du dernier demi-milliard d'années, ce qui est bien peu si l'on considère l'âge de la Terre, soit quatre milliards et demi d'années. C'est paradoxalement en étudiant son satellite que fut décryptée l'histoire géologique des quatre premiers milliards d'années de notre planète. Cette histoire est chaotique.

Examinons rapidement les raisons pour lesquelles la connaissance des premiers âges de la Terre fut si difficile, voire impossible à appréhender à l'aide des méthodes géologiques classiques. La géologie moderne est née dans le Bassin de Paris-Londres dans lequel s'empilèrent comme des assiettes des couches de roches formées à partir de sédiments déposés au fond d'une mer peu profonde. Les plus anciennes de ces couches reposent sur un socle constitué de roches dures plus anciennes et non litées. Chaque nouvelle couche vint recouvrir la précédente au même titre que les couches de neige lors d'averses successives. Cet empilement forme comme un livre dont les pages seraient les couches ; la première page – la couche reposant sur le socle – racontant le début d'une histoire dont la dernière – la couche affleurant en surface – nous conte la fin. Les personnages de l'histoire sont les restes d'organismes vivants : les fossiles. Certains apparaissent dès la première page puis disparaissent une ou plusieurs pages après pour laisser la place à d'autres, différents. Chaque page (couche) est caractérisée par la présence d'un ou de plusieurs personnages – les fossiles – différents de ceux qui se trouvent dans les pages – les couches – suivantes. Lorsque les géologues s'aventurèrent hors du Bassin de Paris-Londres pour étudier d'autres régions du Monde, ils retrouvèrent des fossiles connus qui leur permirent de replacer les couches qui les contenaient dans tel ou tel chapitre du livre. Les fossiles trouvés dans les roches sédimentaires sont donc des éléments de datation des couches. Malheureusement, les formes de vie antérieures au dernier demi-milliard d'années sont très rarement observées car, dépourvues de parties dures (squelette ou coquille) ; ces organismes se décomposaient sans laisser de traces. De plus, les transformations subies par les roches les plus anciennes sous l'effet de la température, de la pression et des contraintes sont telles qu'elles changent souvent complètement de nature.

Ce que la géologie n'avait pas réussi à élucider, c'est la planétologie à peine née qui nous le révéla. Comme souvent en science, cela nécessita un cheminement pour le moins tortueux.

UN NOUVEL OUTIL DE DATATION

L'observation de la surface lunaire avec une simple paire de jumelles montre la coexistence de deux types de terrains : les continents et les mers, ainsi nommés par Galilée en 1609. Les continents correspondent à des régions montagneuses criblées de cratères d'impact jusqu'à la saturation. Quelques uns de ceux-ci, formés lors de la chute d'objets impacteurs de grande taille, ont des diamètres de plusieurs centaines de kilomètres. Ils portent eux-mêmes les traces d'impacts de taille plus modeste mais incomparablement plus nombreuses. Les mers, de teinte plus sombre, sont de vastes plaines lisses, totalement dépourvues d'eau, dans lesquelles les cratères sont beaucoup plus rares et en moyenne nettement plus petits. La densité de cratères par unité de surface est donc plus faible dans les mers que dans les continents lunaires. Cette simple constatation, comme on va le voir, permet d'attribuer aux cratères d'impact le rôle d'éléments de datation ; les cirques lunaires de Galilée vont jouer, pour l'étude des corps rocheux du système solaire, le même rôle que les fossiles pour l'étude de la Terre. Rappelons-nous ce qu'était l'argument des opposants à l'hypothèse de l'origine météoritique des cirques lunaires : si la Lune a été heurtée un si grand nombre de fois, pourquoi la Terre si proche ne porte-t-elle pas des traces équivalentes en aussi grande abondance ? La géologie nous répond que c'est l'activité de notre planète qui est responsable de l'effacement des structures les plus anciennes, particulièrement des plus petites. À la question de savoir pourquoi les vastes plaines lisses de la Lune, que nous nommons « mers », comptent moins de cratères que les continents qui les encadrent, la réponse est du même ordre. La planétologie nous répond en effet que la totalité de la surface lunaire a subi un bombardement météoritique initial et que c'est l'activité interne de notre satellite qui en a effacé localement les traces au niveau des mers. L'étude en laboratoire des quatre cent kilogrammes d'échantillons de roches rapportés sur Terre entre 1969 et 1973 indique que les continents et les mers ont des compositions différentes, ce que suggéraient d'ailleurs les différences de teintes. Les premiers sont formés d'anorthosite,

roche grenue formée lors du refroidissement lent d'un magma profond visqueux, et les secondes de basalte, roche volcanique fluide formant des coulées de laves susceptibles de s'étaler sur de grandes surfaces. Les gigantesques coulées de laves basaltiques ont recouvert les cratères d'impact qui leur étaient antérieurs et ont ainsi rajeuni la surface. Si l'on considère que la croûte lunaire est un enregistreur d'impacts, on peut dire que le compteur a été remis à zéro à l'époque des grands épanchements de laves qui ont donné naissance aux mers. Une fois les basaltes refroidis et devenus rigides, des impacts ont continué de se produire comme le montre l'existence de cratères dans les mers. Cette différence dans la densité des cratères avait amené les spécialistes, dès les années soixante, à considérer les mers comme plus jeunes que les continents, partant de l'idée qu'il s'agissait de régions où le « compteur d'impacts » avait été mis en route plus tardivement que dans les continents. Ceci fut confirmé par la datation en laboratoire des roches lunaires à l'aide des méthodes de la radiochronologie. Non seulement les cratères des mers sont moins nombreux que ceux des continents, mais leur taille moyenne est plus faible. Ceci est à rapprocher d'un fait d'observation déjà évoqué : d'un point de vue statistique les petits cratères recoupent les grands et très rarement l'inverse. On en déduit que la taille des objets impacteurs tend à diminuer avec le temps, ou plus justement qu'il y a de moins en moins de grands astéroïdes disponibles. Les petits objets qui étaient dès le début de l'histoire du système solaire incomparablement plus abondants forment aujourd'hui l'essentiel du flux des impacteurs. Lorsque les épaisses coulées de laves des mers se sont refroidies ce flux avait diminué et les gros astéroïdes se faisaient plus rares, ce qui explique que comparée à la surface des continents, celle des mers lunaires porte les traces d'un bombardement plus modéré.

L'histoire de la Lune reconstituée par les planétologues indique que notre satellite a subi vers 4 milliards d'années un bombardement météoritique intense qui a façonné les continents. Puis le flux des impacteurs a rapidement diminué pour se stabiliser autour de 3,9 milliards d'années pour atteindre la faible valeur qu'il possède aujourd'hui. La chaleur produite par les plus importants des impacts, il y a 4 milliards d'années, a été responsable de la fusion en profondeur des roches lunaires, ce qui eut pour résultat les épanchements en surface des énormes quantités de laves qui donnèrent naissance aux mers entre 3,8 et 3,2 milliards d'années. La lune s'est ensuite lentement refroidie pour devenir le monde mort que nous pouvons contempler aujourd'hui, même

si son repos est épisodiquement, mais régulièrement troublé par l'écrasement sur son sol d'une météorite qui donne naissance à un nouveau cratère.

Ce scénario, au refroidissement près, s'applique également à la Terre. La connaissance de cette période de l'histoire de notre planète nécessitait donc de « passer par la Lune ». Cette dernière avait toutefois encore bien des choses à nous dire.

LA FORMATION DU SYSTÈME TERRE-LUNE

Dans le système solaire, le couple Terre-Lune apparaît comme singulier. En effet, aucune autre planète ne possède un satellite proportionnellement aussi massif. Ces deux astres forment ce qu'on peut appeler une planète double. Découvrir l'origine de ce couple a été l'étape suivante des recherches menées à partir de l'étude de la Lune. Plusieurs hypothèses ont vu le jour avant l'exploration de la Lune. Les plus célèbres sont celle de la capture d'un gros astéroïde qui se serait satellisé autour de la Terre et celle d'une formation conjointe à partir d'une boule de magma en rotation rapide de laquelle se serait détachée du fait de la force centrifuge une sphère de plus petite taille. La première hypothèse implique que les deux astres aient des compositions radicalement différentes puisque s'étant formés dans des régions différentes du système solaire, alors que la seconde nécessite des compositions très proches, voire identiques. L'examen des roches lunaires a infirmé ces deux hypothèses et les résultats obtenus ont profondément surpris les planétologues qui n'avaient pas envisagé celle qui en découle. L'analyse des rapports de certains isotopes présents dans les roches de la Lune et de la Terre indique en effet que toutes deux possèdent bien leurs propres spécificités, mais aussi qu'elles se partagent des éléments qui leur sont communs. Un troisième protagoniste est donc nécessaire. L'hypothèse aujourd'hui dominante est qu'une planète de la taille de Mars est venue heurter la Terre entre 4,5 et 4 milliards d'années. Lors de cette collision rasante la petite planète se serait scindée en un grand nombre de morceaux qui se seraient pour leur plus grande part mis en orbite autour de la Terre, un certain nombre retombant sur notre planète. Parmi les blocs qui formèrent un anneau circumterrestre pendant un temps probablement très court à l'échelle des temps géologiques, il s'en trouvait qui avaient été arrachés à la Terre. Une modélisation mathématique a récemment montré que les

fragments en orbite issus des deux planètes se sont rapidement agglomérés pour former un astre de taille intermédiaire : la Lune. Le processus de formation d'une planète par agglomération de fragments rocheux se nomme l'accrétion. La Lune est donc formée de roches provenant pour une partie de la petite planète impactrice et pour l'autre de roches arrachées à la Terre. De la même façon cette dernière a incorporé du matériel rocheux provenant de l'intrus.

À l'époque où il s'est produit, cet évènement catastrophique n'était pas unique. C'est par l'agglomération de blocs de tailles et de compositions variées que se sont en effet formées toutes les planètes. Au cours de cette accrétion planétaire l'énergie colossale engendrée par les chocs successifs entraîne la fusion des planètes qui vont ensuite refroidir d'autant plus vite qu'elles sont petites. Une fois la croûte superficielle refroidie et solidifiée, les impacts correspondant à la phase finale de l'accrétion vont « marquer » la surface des planètes rocheuses (dites aussi telluriques). Sur la Lune ces premières marques sont représentées par les arcs montagneux qui entourent les mers et qui correspondent aux remparts de gigantesques cratères. Comme nous l'avons vu ce n'est que plus tard que ces dépressions se rempliront de laves basaltiques provenant des profondeurs. Là encore, ce que nous avons appris de l'histoire de la Lune s'applique également à celles de la Terre et des autres planètes. On le voit, les retombées de l'épopée lunaire ne se limitent pas à la mise au point du revêtement antiadhésif des poêles à frire ni au développement de l'électronique de pointe.

L'IMPACT SUR LA VIE

Chacun sait de nos jours que les dinosaures, ainsi que beaucoup d'autres groupes animaux et végétaux, ont été décimés par l'impact d'une comète au Mexique il y a 65 millions d'années. Même si ce type d'évènements n'explique pas toutes les extinctions d'êtres vivants qui ponctuent l'histoire de la Terre, nombreux sont les géologues qui considèrent que les impacts ont joué un rôle non négligeable dans la façon dont la vie a évolué sur cette planète. Les premières formes de vie sont apparues il y a 3,5 milliards d'années et peut-être dès 3,8 selon certains auteurs, c'est-à-dire juste après la fin du bombardement intense qui correspond au stade terminal de l'accrétion. D'autre

part la matière organique riche en carbone ainsi que l'eau, nécessaires à l'apparition et au développement des êtres vivants, ont été délivrées en abondance par les comètes et certains astéroïdes. L'énorme impact qui a donné naissance à la Lune a permis, en donnant naissance à celle-ci, la stabilisation de l'axe de rotation de la Terre, ce qui nous permet d'avoir une grande stabilité des climats indispensable à la survie du vivant.

La vie peut-elle se concevoir sans impacts ? Se serait-elle maintenue sur Terre sans la présence de la Lune ? Que seraient les mammifères que nous sommes si les dinosaures n'avaient pas disparus ? Devons nous continuer de craindre que le ciel nous tombe sur la tête ?