



Cuisine préhistorique

HERVÉ THIS

La cuisson à l'aide de pierres chauffées est possible et les aliments chauffés sont analysables par les traces qu'ils laissent dans les roches.

Comment nos ancêtres préhistoriques cuisaient-ils les aliments ? Nombre d'archéologues pensent qu'ils cuisaient certains aliments en les faisant bouillir dans de l'eau où ils déposaient des pierres chauffées au feu. À l'Université de Rennes, Ramiro March et Alexandre Lucquin explorent l'hypothèse du «bouilli par pierres chauffantes» en étudiant les résidus alimentaires laissés sur les pierres de chauffage de l'eau ou les altérations de ces pierres.

Le bouilli par pierres chauffantes était encore pratiqué en Amérique du Nord quand les Européens y sont arrivés, et en Irlande, la technique a subsisté jusqu'au début du siècle. Toutefois, la question est : la technique était-elle déjà utilisée au Paléolithique supérieur ? Depuis un demi-siècle, plusieurs archéologues ont reproduit l'opération afin d'étudier les paramètres et de savoir quelles traces on devrait chercher sur les sites anciens afin d'attester l'emploi de la technique.

En 1954, l'archéologue irlandais M. O'Kelly fut le premier à étudier les structures de combustion de cinq sites anciens, à les reproduire et à démontrer expérimentalement que l'on pouvait faire bouillir de la viande dans les fosses de combustion de ces sites. Dans une fosse de 454 litres, il fit bouillir de l'eau à l'aide de roches présentes sur le site ancien : l'ébullition de l'eau fut atteinte en une demi-heure, puis il parvint à cuire un gigot de mouton (dégusté par l'équipe). Mesurant le volume et le nombre de pierres susceptibles d'avoir été utilisées pour la cuisson de la viande, il calcula le nombre de cuissons qui pouvaient avoir été effectuées sur le site et détermina que, si ce procédé de cuisson avait été celui des occupants du site, ces derniers étaient restés sur place pendant 45 jours. Cependant le raisonnement se fondait sur la possible réutilisation des roches sans altération.

En 1968, M. L. Ryder, inspiré par la recette du *haggis*, effectua un bouilli dans une panse de mouton. Les panses étaient chauffées par un feu situé à 20 centimètres en dessous, et, dans certaines, il disposait des pierres chauffées dans le feu. Avec cette procédure, les pierres font

déborder l'eau du récipient de cuisson : l'ajout successif de pierres que l'on ne retire pas limite le volume que l'on peut chauffer, et beaucoup d'eau est perdue. M. L. Ryder ne démontra pas que cette technique avait été employée.

TU ES PETRUS

En 1992, l'archéologue grec P. Pagoulas étudia les altérations thermiques des roches et les possibilités de réutilisation. Ces altérations sont de trois types : des modifications de la couleur, des fissurations et des fracturations. Toutefois, l'étude n'était pas comparative : pour connaître la réutilisation éventuelle de roches utilisées pour du bouilli, il aurait fallu comparer des roches chauffées plusieurs fois et refroidies dans l'air avec des roches utilisées plusieurs fois pour des bouillis.

R. March et A. Lucquin se sont livrés à cette étude, en même temps qu'ils précisaient les conditions de cuisson par pierres chauffantes. Les premières expérimentations ont porté sur la faisabilité de la technique : durée de chauffage de la roche, volume de roches, température de l'eau, nature des matières premières. Ils ont d'abord observé que le chauffage des pierres est rapide : en dix minutes environ, des pierres placées dans un feu de bois atteignent une température de 600 °C. L'efficacité du procédé dépend peu de la nature des pierres, mais la résistance à l'altération diffère beaucoup selon les roches. Enfin, les archéologues rennais ont observé que les cuisiniers préhistoriques ont dû doser l'ajout de pierres pour éviter le bouillonnement excessif ainsi que les pertes d'eau.

Puis, les chercheurs ont voulu savoir si l'on pourrait reconnaître, à des résidus laissés par une cuisson sur les roches, le type d'aliments qui était consommé par les préhistoriques. Leur première étude a porté sur des épinards cuits à l'aide de blocs de grès de Fontainebleau. Dans les conditions retenues, la cuisson a duré plus de deux heures, puis la roche a été analysée. La microscopie électronique à balayage a révélé des altérations particulières des échantillons de roches

réutilisées : le ciment qui lie les grains de quartz, dans le grès, est désagrégé par les variations rapides de température, lors de l'immersion des pierres, et les grains de quartz sont altérés. D'autre part, la couleur des roches est modifiée par la cuisson (alors qu'elle ne l'est pas par le seul chauffage, avec refroidissement à l'air ou dans de l'eau). Cette modification semble résulter des molécules colorantes, d'origine organique, présentes dans l'eau de cuisson. La coloration verdâtre, notamment, correspond apparemment à des restes de feuilles cuites et collées à la surface. D'autre part, des carbonisations ont lieu au contact des zones chaudes des roches.

De telles modifications révéleraient-elles les aliments cuits au Paléolithique ? L'oxydation des composés organiques de surface aurait sans doute détruit les traces, mais les chercheurs ont observé que la couleur du cœur des roches change aussi, en raison de migrations par capillarité des composés organiques : tout espoir n'est pas perdu. En outre, les résidus de dégradations de ces molécules seraient des marqueurs des cuissons préhistoriques.

Les lipides, notamment, sont des molécules qui intéressent les paléo-chimistes, parce qu'elles sont modifiées de manière caractéristique par la cuisson (ces lipides constituent 20 à 30 pour cent de la masse sèche des épinards). Des analyses de pierres utilisées pour la cuisson d'épinards ont révélé que ces molécules sont dégradées par la cuisson, libérant des lipides chimiques inertes, dont on a beaucoup étudié la dégradation (dans les centres de pétrochimie). Les archéologues rennais ont observé sur les roches une forte proportion de la molécule d'undécane, qui serait un bon traceur des cuissons.

L'analyse chimique révélera bientôt ce que mangeaient les hommes il y a plusieurs centaines de milliers d'années.

Prochain rendez-vous France Info et Pour la Science, le 30 octobre, avec la chronique Info Sciences de Marie-Odile Monchicourt.



Mystification à l'Académie

JEAN-PAUL POIRIER

Le mathématicien Chasles croyait détenir la preuve que Pascal avait établi la loi de la gravitation universelle avant Newton. Victime du faussaire Vrain Lucas, il fut la risée du Tout-Paris quand il montra d'autres lettres autographes...

La contribution de Michel Chasles aux mathématiques n'est pas limitée à la relation vectorielle portant son nom. C'était l'un des grands mathématiciens français du XIX^e siècle. Son œuvre majeure, *Aperçu historique sur l'origine et le développement des méthodes en géométrie moderne*, suivi d'un *mémoire de géométrie sur deux principes généraux de la science : la dualité et l'homographie*, a contribué à fonder la géométrie projective moderne. Il s'est également intéressé à l'électrostatique et a donné des théorèmes généraux sur l'attraction. Élu à l'Académie des sciences en 1851, sa réputation était internationale et la *Royal Society* de Londres, dont il était membre étranger, lui avait décerné sa plus haute récompense. C'était aussi un homme affable et généreux, auquel on ne connaissait pas d'ennemi.

Chasles possédait une remarquable collection d'autographes, son violon d'Ingres, qu'il enrichissait sans regarder à la dépense. Au nombre des pièces inédites de cette collection figuraient des lettres et brouillons de Pascal qui apportaient la preuve que ce dernier avait, avant Newton, découvert les lois de la gravitation universelle ! Chasles en avait parlé à son ami, le chimiste Chevreul, qui l'invita à faire part à l'Académie de ce fait capital pour l'histoire des sciences.

Chasles déféra bien volontiers à ce désir et, le 15 juillet 1867, déposa sur le bureau de l'Académie deux lettres autographes et signées de Pascal à Boyle, ainsi que quelques notes griffonnées par Pascal.

Lettre de Cléopâtre à Marc-Antoine... «Cléopâtre, royne, à son très ami Marc-Antoine triumvir...»

Cléopâtre Royne à son très ami Marc
Antoine Triumvir
montrer avec l'opinion que l'on
faire l'ouverture aux partiers et
me prier pour aller voir en
celle et si on ne se faille pas
le porteur de la loi de la gravitation
le paysse pour donner ordre pour
me préparer une barque pour
mable et digne d'aller. Et c'est tout
j'iray vous rejoindre le 15 août.

Dans une des lettres, figure cette phrase : « Dans les mouvements célestes, la force agissant en raison directe des masses et en raison inverse du carré de la distance suffit à tout et fournit des raisons pour expliquer toutes ces grandes révolutions qui animent l'Univers. » Et dans une note, il est précisé que la puissance qui meut les planètes sur des orbites courbes est dirigée vers le Soleil et « Comme cette puissance varie toujours de la même manière que la gravité des corps qui tombent vers la Terre, on doit conclure qu'elle n'est autre chose que la gravité même des planètes sur le Soleil. D'où il suit, suivant la théorie de la gravité, que la puissance de la pesanteur des planètes augmente comme le carré de la distance du Soleil diminue. »

Ces documents étaient de plus de 30 ans antérieurs à la première discussion sur l'attraction universelle qui eut lieu à la *Royal Society*, en 1684, et de 13 ans antérieurs à l'épisode (apocryphe ?) de la pomme de Newton. La révélation était donc d'importance et l'on conçoit que ce n'était pas là uniquement affaire de priorité scientifique. Que Pascal ait fait, avant Newton, la plus grande découverte des temps modernes, voilà qui ne pouvait qu'attiser les sentiments d'orgueil national, dans un contexte de rivalité permanente entre la France et l'Angleterre.

Le XIX^e siècle, on le sait, était l'âge de la science triomphante ; le grand public n'y était pas indifférent et de nombreuses revues de vulgarisation pouvaient satisfaire sa curiosité. Les quotidiens nationaux, le *Constitutionnel*, le *Journal des Débats*, *La Liberté*, par exemple, publiaient des feuilletons scientifiques et, même, rendaient compte chaque semaine des séances de l'Académie des sciences. On imagine que la grande nouvelle ne fut pas longue à se répandre dans le public et à être reçue comme une divine surprise par les « patriotes ». Parmi ces derniers, l'abbé Moigno, rédacteur de la revue *Les Mondes*, revue hebdomadaire des sciences et de leurs applications aux arts et à l'industrie, ne cachait pas son enthousiasme.

À l'Académie, l'accueil fut plus réservé, car les académiciens faisaient passer la science avant le chauvinisme. Ils démontrèrent amplement, au cours des débats qui suivirent et durèrent plus de deux ans, que, pour eux, il n'y avait pas de science française ou anglaise et que si l'on voulait déboulonner Newton de son piédestal, il fallait des preuves sérieuses.

Or, la réaction de quelques académiciens, en particulier du physicien Duhamel, fut immédiate : les lettres ne prouvaient rien du tout ! D'abord, l'idée que l'attraction était proportionnelle à l'inverse du carré de la distance était répandue dans les milieux scientifiques au XVII^e siècle. De plus, ce n'était pas dans l'énoncé de cette loi que résidait la gloire de Newton, mais dans le fait d'avoir démontré que les lois de Kepler en résultaient. Or, il fallait pour cela plus que quelques phrases sur des bouts de papier.

On ne pouvait se passer du calcul différentiel, inventé par Newton, et de données d'observation dont Pascal ne pouvait

disposer de son vivant. De surcroît, pour pouvoir affirmer que la puissance qui anime les planètes vers le Soleil varie toujours de la même manière que la gravité des corps qui tombent vers la Terre, il fallait connaître la valeur correcte du rayon terrestre. Or, ce n'est qu'en 1682, 20 ans après la mort de Pascal, que la détermination précise du rayon par l'abbé Picard permit à Newton d'achever ses calculs de façon satisfaisante. Tout cela laissait penser que les lettres n'étaient pas de la main de Pascal.

PLAGIAT OU INGRATITUDE?

Chasles s'indignant de cette supposition déclara qu'il avait, dans sa collection, quantité d'autres lettres de Pascal et de contemporains illustres qui prouvaient le contraire. À la séance suivante, il produisit des lettres de Pascal au jeune Newton, alors âgé de 11 ans, par lesquelles le savant français prenait le jeune écolier doué sous sa tutelle scientifique et lui communiquait ses idées. Du coup, le débat prit une dimension nouvelle : non seulement Newton n'aurait plus la priorité, mais en outre, il se verrait accusé, au pire de plagiat, au mieux d'ingratitude.

Toutefois, les lettres ne contenaient aucun élément scientifique nouveau susceptible de faire changer d'avis les opposants. De plus, les autographes de Pascal se voyaient attaqués par des littéraires, en particulier par un spécialiste des manuscrits pascaliens, qui déclarait que le style ampoulé était indigne du grand écrivain et que les signatures n'étaient pas de sa main. Les lettres, disait-il, étaient des faux malhabiles.

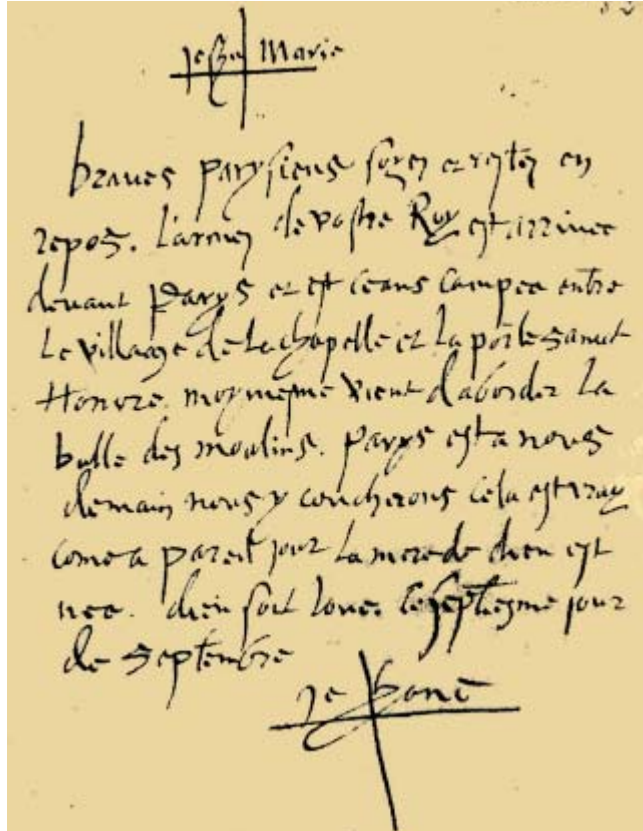
Les Anglais n'avaient pas tardé à réagir. Le physicien Brewster, biographe de Newton, assura qu'il n'y avait pas trace dans les papiers de Newton, d'une quelconque correspondance avec Pascal. Un astronome britannique fit remarquer que les valeurs des masses des planètes, données dans les lettres comme résultat d'un calcul, étaient identiques à celles des *Principia* de Newton et avaient évidemment été copiées par un faussaire.

Devant toutes ces accusations, Chasles se défendait pied à pied et rendait coup pour coup. Chaque fois qu'une objection scientifique, historique ou littéraire semblait faire écrouler sa thèse, Chasles répliquait à la séance suivante en exhibant des lettres de contemporains qui répondaient exactement à l'objection. Tous les savants, littérateurs et politiques de l'époque... et même Louis XIV témoignaient en faveur de Pascal. Cette abondance de documents qui arrivaient toujours si fort à propos n'impressionnait pas les physiciens et astronomes de l'Académie qui n'y trouvaient pas de réponse à leurs arguments.

En revanche, la presse nationale s'en faisait l'écho complaisant, à l'exception toutefois du chroniqueur de *La Liberté*, qui avait très tôt flairé l'imposture et accablait de sarcasmes l'Académie enlisée dans une discussion ridicule. En fait, pratiquement tous les académiciens étaient persuadés que Chasles était la victime naïve d'un faussaire, mais le mathématicien était si estimé et si aimé qu'il leur semblait peu convenable de l'empêcher de se défendre. Ils laissèrent donc le débat se poursuivre pendant deux ans.

Et la discussion dérivait sans cesse. Chaque fois qu'une invraisemblance historique ou scientifique était relevée dans une lettre, Chasles, en réponse, tirait de nouveaux documents de son inépuisable portefeuille. Des lettres autographes de Galilée assuraient que Pascal lui avait communiqué sa découverte, et la controverse s'étendit alors à l'authenticité de ces lettres, impliquant les savants italiens.

Nous arrivons à l'été 1869. L'astronome Le Verrier, découvreur de Neptune et directeur de l'Observatoire, résume fidèlement toute l'affaire, au cours de plusieurs séances de l'Académie. Son réquisitoire est impitoyable : toutes les pièces produites sont fausses et la réputation de Newton reste sans tache.



Lettre de Jeanne d'Arc aux parisiens... «Braves parisiens, foyez tous en repos. L'armée de votre Roy arrive devant Parys... Aux parisiens de la part de Johann dicte la Pucelle».

Et puis, en septembre, coup de tonnerre : Chasles annonce qu'il a fait arrêter le fournisseur de ses documents, et présente une justification embarrassée. Le faussaire avait persuadé Chasles que les pièces qu'il lui vendait provenaient de la collection d'un vieil aristocrate désargenté, à laquelle il avait seul accès. Lorsque Chasles faisait part des critiques qui lui étaient faites à son fournisseur d'autographes, ce dernier se mettait à l'œuvre et fabriquait des lettres répondant aux objections, assurant qu'il avait réussi à persuader le vieil homme de s'en défaire.

Le procès du faussaire, un autodidacte sans profession définie, du nom de Vrain Lucas, attira le Tout-Paris. On apprit que Lucas avait vendu à Chasles, pour une petite fortune, 27 000 pièces, écrites en une sorte de vieux français sur du papier vieilli artificiellement. Le naïf savant avait ainsi acheté, outre les lettres de Pascal et de ses contemporains, des lettres de Jeanne d'Arc aux Parisiens, de Ponce Pilate à Tibère, de Sapho à Cicéron, de Socrate à Euclide, de Judas Iscariote à Marie-Madeleine, de Christophe Colomb à Rabelais, etc. Ce fut un grand éclat de rire dans le public.

Vrain Lucas, faussaire génial, fut condamné à deux ans de prison. On ne sut jamais comment il avait réussi à fabriquer autant de documents qui demandaient un travail considérable... ni ce qu'il avait fait de l'argent.

Il reste de cette affaire, certes, qu'un grand savant, fût-il mathématicien, peut être dupé s'il est emporté par une passion, mais aussi que, dans l'ensemble, le public et la presse furent (sont?) tout prêts à croire l'invraisemblable pour peu qu'il flatte le chauvinisme ambiant. Toutefois, à aucun moment, il ne fut question, à l'Académie, de fierté nationale, et si la discussion dura trop longtemps, le sentiment qui domina fut surtout l'indignation devant les soupçons injustifiés que les faux documents avaient fait peser sur Newton.

Jean-Paul POIRIER, physicien à l'Institut de Physique du Globe est l'auteur du livre *Mystification à l'Académie des Sciences*, Éditions Le Pommier, sortie le 27 septembre 2001.

La naissance de la Lune

Des simulations précisent la naissance de notre satellite.

Des missions Apollo, les astronautes ont rapporté des roches de Lune dont, après analyse, la composition chimique s'est révélée identique à celles du manteau terrestre. Toutefois, à la différence de la Terre dont le noyau ferreux est important, la Lune ne contient que très peu de fer et son noyau est très petit. Toute théorie de la formation de la Lune doit expliquer ces deux faits.

Depuis les années 1970, les planétologues pensent que la Lune est apparue à la suite d'une collision entre la Terre et un planétoïde. La chaleur dégagée par l'impact aurait volatilisé le planétoïde et le manteau supérieur de la Terre, propulsant un nuage de matière chaude autour de notre planète. Une partie de cette matière serait retombée sur Terre, tandis que l'autre se serait condensée pour former son satellite.

On suppose que l'impact a eu lieu à la fin de la formation de la Terre, lorsque le fer qu'elle contenait – plus dense que les

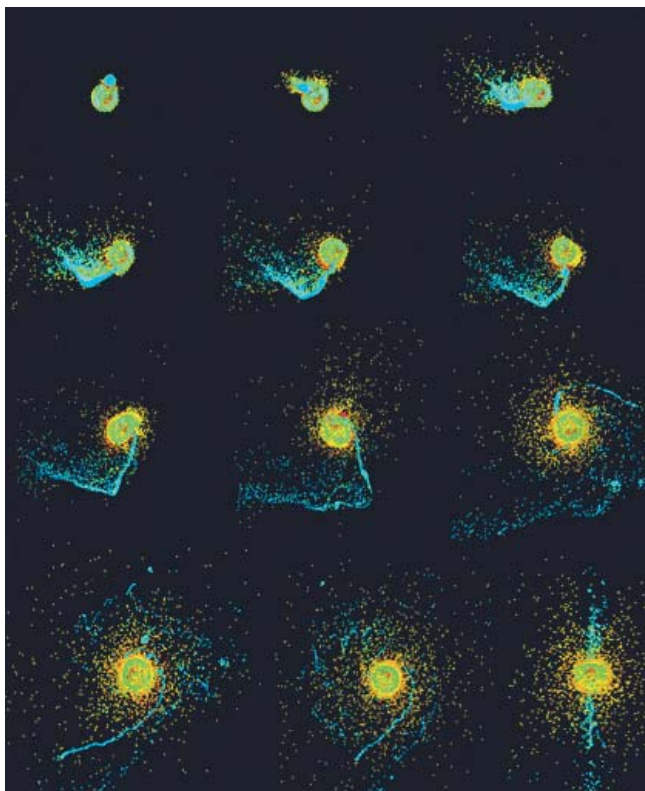
autres éléments – avait déjà migré vers le centre pour y former le noyau. Ainsi, la matière propulsée dans l'espace par l'impact ne contenait que peu de fer et l'hypothèse est compatible avec les compositions respectives de la planète et de son satellite. Toutefois, les simulations numériques réalisées pour étudier cet événement n'aboutissaient jamais, jusqu'ici, à un couple semblable au système Terre-Lune. L'hypothèse de l'impact perdait de sa crédibilité. Or, Robin Canup, du Département d'études spatiales de l'Université de Boulder et Erik Asphaug, du Département des sciences de la Terre de l'Université de Santa Cruz, viennent de réaliser un modèle numérique plus précis qui valide l'hypothèse de l'impact.

Lorsque l'on calcule les conséquences d'un impact entre deux planétoïdes afin de produire un système semblable au couple formé par la Terre et par la Lune, plusieurs difficultés apparaissent : l'énergie et le moment cinétique – la « quantité de rotation » – apportés par la collision doivent être suffisants pour placer en orbite une quantité de matière équivalente à la masse de la Lune. On choisit un « impacteur » massif par rapport à la planète, qu'il percute de biais. Les simulations antérieures n'autorisaient que deux types de configurations. Dans le premier, la masse et la trajectoire de l'impacteur étaient telles que le moment cinétique du couple final était environ deux fois supérieur à celui du système Terre-Lune actuel (la Terre tournerait sur elle-même en à peine plus de deux heures). Il fallait alors imaginer que des impacts ultérieurs avaient fortement réduit la vitesse de rotation. L'autre possibilité conduisait à un moment cinétique proche de celui que l'on connaît aujourd'hui, mais imposait une masse du système (planète et impacteur) inférieure à 65 pour cent de celle de la Terre actuelle. Dans ce cas, la collision devait avoir pris place à une époque plus reculée, lorsque la Terre n'était pas encore entièrement formée et la collision n'expliquait pas l'absence de fer dans la Lune.

Toutefois, après avoir décelé, dans les modèles numériques précédents, plusieurs insuffisances qui pouvaient expliquer ces paradoxes (notamment sur la prise en compte des interactions gravitationnelles), R. Canup et E. Asphaug ont créé un modèle plus complet. La matière en orbite est modélisée par 30 000 particules non ponctuelles, des petits volumes de densité variable ; de cette façon, la matière simulée, plutôt que d'avoir une répartition granulaire, est plus uniforme, même dans les régions de très faible densité. Par ailleurs, leur modèle prend en compte les interactions gravitationnelles entre ces différentes « particules ».

Les calculs effectués correspondent à la collision d'une planète semblable à la Terre avec un impacteur environ dix fois plus léger (semblable à Mars). Leur masse totale représente 98 pour cent de celle du système Terre-Lune actuel : on suppose ainsi que la Terre était presque complètement formée. Les angles d'attaque du bolide sont choisis de sorte que le moment cinétique total, étant donné les masses en présence, soit égal à celui du système Terre-Lune. La moyenne des simulations indiquent que la masse de la planète formée est 0,99 fois la masse de la Terre. La masse qui reste en orbite est de l'ordre de 1,7 masse lunaire ; le fer ne représente que deux pour cent de ce nuage et 80 pour cent retombe sur la Terre.

Ainsi, l'hypothèse selon laquelle la Lune s'est formée, il y a 4,5 milliards d'années, par impact d'un planétoïde de la taille de Mars sur une Terre presque entièrement formée reste, aujourd'hui, la plus plausible.



Robin Canup et Erik Asphaug

Évolution de la planète et de son « impacteur » au cours de la première journée du cataclysme qui a donné naissance à la Lune, de 18 minutes après la collision (en haut à gauche) jusqu'à 23 heures après (en bas à droite, où le système est observé par la tranche). Les couleurs des particules de matière représentent leur énergie interne ce qui permet de distinguer la matière condensée (bleu et vert) de la matière à haute énergie interne (rouge) c'est-à-dire fluide, ou condensée sous très haute pression (comme dans les couches interne de la Terre). À la vingt-troisième heure, un disque de poussière est déjà formé et, au cours des années qui suivront, ces poussières s'aggloméreront pour former la Lune.