



Les conséquences de cet impact, cependant, allaient bien au-delà de l'anomalie géochimique, car la limite Crétacé-Tertiaire coïncide avec une extinction majeure: c'est à cette époque que disparaissent les dinosaures et bien d'autres organismes (on estime que près de 70% des espèces qui existaient à la fin du Crétacé se sont éteintes). Selon le groupe de chercheurs de Berkeley, l'impact météoritique était la cause de cette extinction massive, principalement parce que l'énorme quantité de poussière injectée dans la stratosphère aurait bloqué les rayons du soleil pendant plusieurs années. La surface du globe étant alors plongée dans l'obscurité, l'absence de photosynthèse aurait entraîné un effondrement des chaînes alimentaires, d'où l'extinction de nombreuses espèces, tant terrestres que marines.

BIBLIOGRAPHIE

E. Buffetaut, Sommes-nous tous voués à disparaître ? Idées reçues sur l'extinction des espèces, Le Cavalier Bleu, 2012.

Le monde des dinosaures, Dossier Pour la Science, n° 48, juillet-sept. 2005.

L. W. Alvarez et al., Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction, Science, vol. 208, pp. 1095-1108, 1980.

Cette hypothèse proposait ainsi une explication plausible à ce vieux mystère qu'était la disparition des dinosaures. Pourtant, les réactions de la communauté scientifique furent très contrastées. Si beaucoup d'astronomes et de physiciens accueillirent favorablement cette explication étayée par des données concrètes et qui tenait compte du fait que les traces d'impacts météoritiques sont légion dans le Système solaire (l'exemple le plus parlant étant sans doute la surface de la Lune), beaucoup de géologues et de paléontologues se montrèrent sceptiques, voire hostiles.

En effet, l'idée d'un cataclysme d'origine extraterrestre allait à l'encontre du dogme régnant sur les sciences de la Terre depuis le XIX^e siècle, en réaction notamment aux idées de Cuvier sur les «révolutions du globe», dogme suivant lequel tout événement catastrophique devait être banni des tentatives d'explications des phénomènes géologiques et biologiques survenant à la surface de notre planète. Un phénomène extraterrestre paraissait particulièrement inacceptable à certains chercheurs.

Toutes les explications imaginables furent alors proposées, parfois avec une certaine mauvaise foi, pour trouver des causes purement terrestres à l'enrichissement en iridium. Dans la décennie 1980, la controverse battit son plein, avec une profusion d'articles contradictoires.

L'IMPACT LOCALISÉ AU MEXIQUE

Alors que les indices géochimiques et minéralogiques en faveur d'un impact d'astéroïde s'accumulaient, un point d'interrogation demeurait: une aussi gigantesque collision aurait dû laisser un énorme cratère à la surface du globe. Il fallut un peu plus de dix ans pour que celui-ci fût localisé, à cheval sur la côte nord de la péninsule du Yucatán et sur le golfe du Mexique.

Cette immense structure géologique, dont le centre est comblé de sédiments et les bords arasés par l'érosion, n'a pu être découverte que grâce à des sondages et des études géophysiques (notamment sur les variations de la gravité), qui ont révélé un vaste cratère circulaire. Les études géologiques ont montré la présence de roches broyées typiques d'un impact météoritique et les datations indiquent que la formation du cratère est bien contemporaine de la couche enrichie en iridium et des extinctions de la limite Crétacé-Tertiaire.

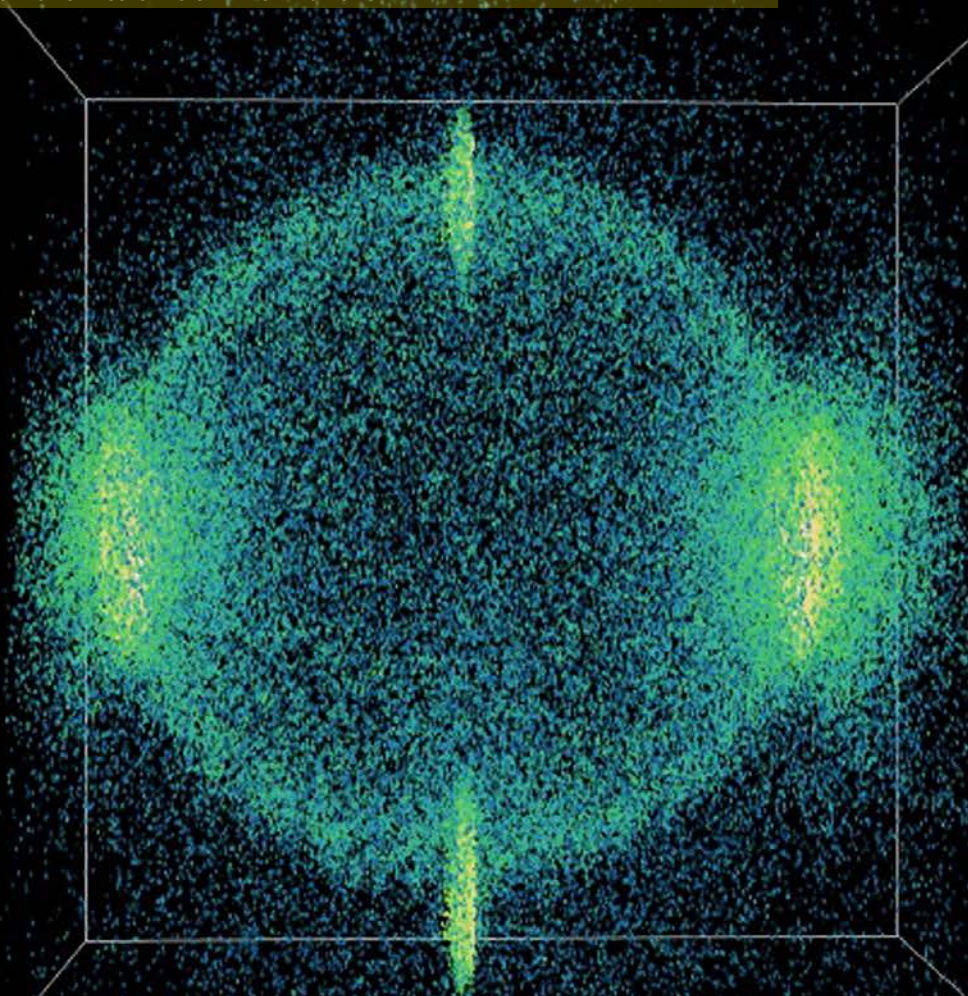
Le cratère de Chicxulub, ainsi nommé d'après le nom maya d'une localité du Yucatán, est donc la trace laissée par la collision de l'astéroïde avec la Terre, qui provoqua il y a quelque 66 millions d'années une dévastation globale des écosystèmes et fut ainsi la cause de l'extinction en masse de la fin du Crétacé. La majorité des géologues et des paléontologues est désormais acquise à cette explication. ■

1982

Intrication quantique

Le débat Bohr-Einstein tranché par l'expérience

Des tests expérimentaux démontrent en 1982 la nature non locale de certaines corrélations prévues par la physique quantique. Et donnent le coup d'envoi à une ingénierie quantique du traitement et de la transmission de l'information.



A l'Institut d'optique, l'équipe d'optique quantique atomique prépare un test des inégalités de Bell avec des atomes et non plus des photons. Les expériences portent sur des paires d'atomes d'hélium métastables intriqués et émis dans des directions opposées. Les corrélations sont déterminées à partir des distributions de vitesse des atomes, comme celle visualisée sur cette image informatique des atomes individuels dans l'espace des vitesses.

Albert Einstein joua un rôle majeur dans la naissance de la physique quantique au tout début du xx^e siècle. Mais il n'adhéra jamais à l'interprétation du formalisme quantique développée vers 1925 à Copenhague par Niels Bohr et ses disciples.

Einstein essaya d'abord de trouver une contradiction dans les relations d'incertitude de Heisenberg, qui concernaient le comportement de particules quantiques individuelles. Après les échecs de ces tentatives, contrées par Niels Bohr au congrès Solvay de 1927, il souleva en 1935 une nouvelle objection concernant cette fois des paires de particules. Avec Boris Podolsky et Nathan Rosen, il écrivit un article mettant en cause le caractère complet de la mécanique quantique.

Cet article se fondait sur le cas de deux particules dans un état quantique qualifié aujourd'hui d'intriqué, une situation dont Einstein et ses coauteurs venaient de découvrir la possibilité théorique. Dans cet état, le formalisme quantique prédit de fortes corrélations entre les résultats des mesures effectuées sur chacune des deux particules. Ces corrélations persistent même à des distances suffisamment grandes pour que les mesures ne puissent s'influencer mutuellement, sauf si cette influence s'exerce à une vitesse supérieure à celle de la lumière.

DES VARIABLES CACHÉES ?

Einstein ne pouvait accepter une telle «mystérieuse action à distance» («*spooky action at a distance*», en anglais), et il conclut que la seule interprétation raisonnable de ces corrélations consistait à admettre que chaque particule transporte avec elle, localement, les propriétés qui vont déterminer le résultat des mesures. Les deux particules ayant été préparées dans la même source, ces propriétés sont corrélées dès l'émission, et on ne s'étonne pas que les mesures soient elles-mêmes corrélées.

Pour raisonnable qu'elle soit, cette interprétation n'a aucune contrepartie dans le formalisme quantique, qui ne laisse pas de place pour des propriétés individuelles des particules intriquées, et Einstein conclut son article en suggérant qu'il faut donc compléter le formalisme quantique. Bohr s'opposa à cette conclusion, convaincu que le formalisme quantique perdrait sa cohérence interne si on lui ajoutait de nouveaux paramètres (nommés parfois «variables cachées»).

À ce stade, le conflit ne portait que sur l'interprétation des prédictions quantiques et ne remettait pas celles-ci en cause. La situation changea radicalement en 1964 lorsque le physicien John Stewart Bell, de la division théorique du Cern, à Genève, découvrit que

certaines prédictions de la mécanique quantique sont en contradiction avec la conception réaliste locale du monde défendue par Einstein, dans laquelle chaque particule porte, localement, un ensemble de paramètres définissant sa réalité physique. Il devenait alors possible de trancher entre les deux visions du monde à partir de mesures expérimentales.

Dans une telle expérience, deux photons sont émis par la même source et partent dans des directions opposées vers deux polariseurs éloignés l'un de l'autre (voir la figure page 33). Pour un état intriqué en polarisation, la mécanique quantique prédit que les résultats des mesures de polarisation sur les deux photons sont fortement corrélés. Dans l'esprit du réalisme local, il existe donc une propriété commune aux deux photons, attribuée lors de l'émission de la paire, et déterminant le résultat des mesures. Par un calcul élémentaire, Bell montra alors qu'il existe des contraintes sur les corrélations prévues par n'importe quel modèle réaliste local. Or ces contraintes, explicitées dans les fameuses «inégalités de Bell», ne sont pas respectées par les prédictions quantiques pour certains jeux d'orientations des polariseurs.

La découverte de Bell a déplacé le débat du domaine de l'épistémologie vers celui de la physique expérimentale : il suffit de mesurer les corrélations observées dans des orientations bien choisies pour savoir si elles sont en accord avec les prédictions quantiques, ou si au contraire elles respectent les inégalités de Bell et confirment le caractère réaliste local de la nature.

Il ne fallut que quelques années pour que soit conçu un schéma pratique de test des inégalités de Bell avec des photons. Entre 1972 et 1976, trois expériences furent menées dans les universités de Berkeley, Harvard et Texas A&M. Après quelques résultats contradictoires, les résultats convergèrent sur un accord avec la mécanique quantique, et une violation significative des inégalités de Bell. Mais ces expériences étaient loin du schéma idéal, et plusieurs échappatoires restaient ouvertes pour interpréter ces résultats par un modèle réaliste local, dans l'esprit des idées d'Einstein.

La première de ces failles, et, comme Bell l'a écrit, la plus fondamentale, est «l'échappatoire de localité». Il faut, pour démontrer les inégalités de Bell, supposer que la mesure par un polariseur n'est pas influencée par l'orientation de l'autre polariseur, éloigné du premier. Cette condition de localité est raisonnable, mais dans un débat où l'on envisage des phénomènes nouveaux, il serait préférable de fonder cette hypothèse sur une loi fondamentale. C'est ce que Bell avait proposé dès 1964, en faisant remarquer que si l'orientation de chaque polariseur était modifiée rapidement pendant que >

L'AUTEUR



ALAIN ASPECT
directeur
de recherche
émérite au CNRS
et professeur
à l'Institut d'optique
et à l'École
polytechnique,
à Palaiseau