

Alain CARION

METEORITES





Alain CARION

*minéralogiste parisien tient une galerie au centre de la capitale,
dans l'île Saint-Louis, depuis près de vingt ans.*

*Après une formation à la faculté des Sciences de Paris,
il choisit de courir le monde à la recherche de minéraux et de fossiles hors du commun.*

*Lorsqu'en 1978, après avoir acquis une collection complète,
il découvre parmi les pièces la composant,*

*un échantillon de la météorite de Canyon Diablo dans l'Arizona,
c'est le début d'une passion dévorante et il va consacrer beaucoup de son énergie
à apprendre un maximum d'anecdotes sur ces étranges « cailloux venus d'ailleurs ».*

*Dès lors, il va constituer une collection de météorites
qui puisse satisfaire son goût du mystère.*

Edwige de Larfeuille



Alain CARION

MÉTÉORITES



Edité par Alain CARION

25, rue Rousselet

PARIS (7ème)

Photo de couverture : la météorite de Sikhote-Alin, une sidérite tombée en Russie en 1947.

Photo du dos de la couverture : une vue aérienne de Meteor Crater sous la neige. Dans le fond, la trace de Canyon Diablo River. (Arizona, U.S.A.)

2^e édition
entièrement revue et corrigée

Conception graphique : Joan DEVILLE

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction, par tout procédé, réservés pour tous pays.

La loi du 11 mars 1957, n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'art. 41, d'une part, que les "... copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective" et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, "... toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur-éditeur, ou ses ayants droits ou ayants cause, est illicite." (alinéa 1 de l'art. 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les art. 425 et suivants du Code pénal.

Alain CARION — Auteur-Editeur — 1998
N° ISBN : 2-95-06 786-0-2

— SOMMAIRE —

Quelques définitions :	5
Bref historique :	5
Caractéristiques des météorites	7
Accrétion et impactisme originels	9
Origine spatiale des météorites	11
— Météorites différenciées et non différenciées	12
Classification	12
— Pourcentage des chutes	12
— Les météorites non différenciées ou chondrites	13
- Chondrites à enstatite	13
- Chondrites ordinaires	13
- Amphotérites	13
- Chondrites carbonées	13
— Les météorites différenciées	13
- Les achondrites	13
* Achondrites riches en calcium	14
* Achondrites pauvres en calcium	14
— Les sidérites	14
* Octaédrites	16
* Ataxites	17
* Hexaédrites	17
— Les sidérolithes	17
* Pallasites	18
* Mésosidérites	18
* Lodranites	18
Faux et pseudo-météorites :	18
L'âge des météorites :	20
L'impactisme : effets, conséquences	20
— Les astroblèmes	20
— L'impactisme dans l'espace	21
— Meteor Crater	21
— Rochechouart - Chassenon, en France	22
— Les tectites	22
— La Toungouska	24
— Perséides et Léonides	24
Quelques météorites qui font rêver :	25
— Ensisheim	25
— Météorite d'Allende	26
— Les S.N.C.	30
— Des météorites lunaires	32
La mort des dinosaures	33
La panspermie	35
Conclusion	36
Pour en savoir plus	36

QUELQUES DÉFINITIONS

Dérivant du grec « *meteoros* » (élevé dans les airs), le terme de météorite désigne un corps solide (roche, métal, mélange des deux) venant de l'espace et atteignant la Terre.

Les principaux dictionnaires lui attribuent tantôt le genre masculin, tantôt le genre féminin, certains, prudents, ne tranchant pas. Les écrits récents adoptent presque tous le féminin ; c'est celui que nous retiendrons par la suite.

Certains corps solides extraterrestres arrivent au voisinage de la Terre mais, soit constitués de gaz solidifiés à la très basse température interstellaire, soit masse infime, ils se vaporisent dans la haute atmosphère, ne se signalant que par une traînée lumineuse fugace, vers 120 km d'altitude ; ce sont les météorides, le phénomène lumineux s'appelant météore.

Ce n'est qu'à partir d'une certaine masse que le corps extraterrestre va traverser l'atmosphère et arriver au sol. Il convient de bien distinguer trois choses :

— les phénomènes accompagnant une météorite sont observés, à savoir lueur, bruits, et on la voit tomber sans pouvoir la retrouver (chute dans la mer, dans une région désolée et inaccessible,...) ;

— les phénomènes accompagnant une météorite sont observés, on la voit tomber et on la retrouve, entière ou fragmentée, en totalité ou en partie : c'est une chute au sens strict.

— par pur hasard, ou à la suite d'une campagne de recherches systématiques, on trouve une météorite sur le sol, tombée on ne sait quand exactement : c'est une trouvaille.

Chaque chute ou trouvaille porte le nom du lieu géographique concerné, ce qui n'est pas si simple car il peut y avoir fragmentation, une chute multiple se répartissant sur un vaste territoire et le problème s'est posé en France avec son maillage serré de communes. Dans certaines zones désertiques les emplacements sont parfois mal localisés et leur traduction très variable selon les langues. Enfin, en ce qui concerne les trouvailles, rien ne prouve que ce soit le lieu de chute, et l'on en a un exemple en France même : la météorite de La Caille dans les Alpes-Maritimes est connue depuis 1828 ; elle servait alors de banc devant l'église, les personnes âgées disant à l'époque qu'elle venait du mont Audibergue, à dix kilomètres au sud-est de la ville. Elle est maintenant au Muséum national d'histoire naturelle de Paris.

BREF HISTORIQUE

Des armes et des outils datés de 3 000 ans avant J.C., après analyse, ont révélé une composition très particulière, un alliage de fer et de nickel, du « fer météoritique ».

Des colliers et des perles de la première dynastie égyptienne, remontant à 3 200 ans avant J.C., trouvés à Guizèh (ou Gizeh) en 1911, étaient eux aussi faits de « fer météoritique ».

De nombreuses chutes de météorites ont été consignées par les auteurs grecs, comme Diogène d'Appolonia, Pline l'Ancien, Plutarque, qui citent celles de la Crète (1478 av. J.C. et 1168 av. J.C.), de la Béotie (1210 av. J.C.), du mont Alba (652 av. J.C.), de la Thrace (470 av. J.C.), d'Egos Potamos (465 av. J.C.).

La même pierre météoritique adorée sous le nom d'Elagabale par les Phéniciens, de Cybèle par les Phrygiens et de Jupiter Amon par les Lybiens, était noire et pyramidale. On possède un certain nombre de monnaies méditerranéennes et mésopotamiennes frappées d'un char tirant cette météorite.

Beaucoup considèrent la célèbre pierre noire de la Kaaba de La Mecque comme un fragment de météorite, mais l'interdiction d'altérer cette « relique » maintient l'incertitude. Il est à noter que cette pierre noire était adorée avant le mahométisme et la légende dit qu'elle aurait été apportée sur Terre à Abraham par l'archange Gabriel.

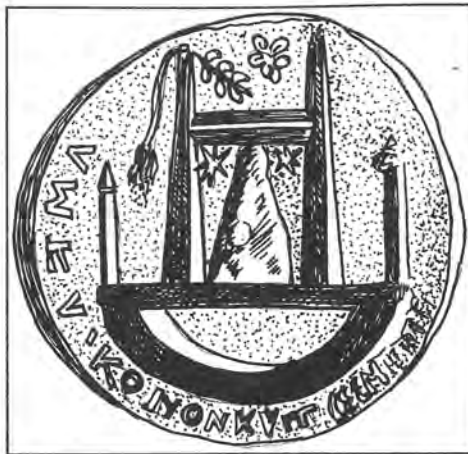
Les Japonais du temple d'Ogi (qui abrite la plus ancienne météorite connue et encore conservée aujourd'hui), les Indous... vénéraient de telles « pierres ». En Chine, la première mention remonte à 644 (ou 687) avant J.C.

La Bible (chapitre 10 du livre de Josué) parle d'une pluie de pierres qui aurait fait pencher le sort de la bataille de Gabaon.

Les hommes de l'Antiquité, fort imaginatifs, avaient, semble-t-il, soupçonné l'origine extraterrestre des météorites, les considérant par ailleurs comme la demeure de



*Pièce de l'empereur romain
Élagabale (218-222 après J.-C.)
représentant une météorite sacrée
transportée sur un char.*



*Pièce en argent de l'empereur romain
Vespasien (70-79 après J.-C.)
représentant une pierre sacrée en
omphalos supposée provenir
du « domaine des dieux ».*



*La météorite de Krasnojarsk, une pallasite,
trouvée en ex-U.R.S.S. en 1749.*

divinités. Par contre, en Europe occidentale tout au moins, au Moyen-Âge, on n'y voyait qu'une conséquence de la foudre.

En France, la chute d'aérolithes à Luponnas, dans la Bresse, en 1753, rapportée par un astronome, Jérôme de La Lande, n'entame pas le scepticisme général malgré un exposé clair et irréfutable. En 1769, quand l'abbé Bachelay fait parvenir à l'Académie des sciences la relation de la « chute de pierres » de Lucé (Sarthe) du 13 septembre 1768, accompagnée d'un échantillon, une commission d'étude est enfin constituée, avec Fougereux, Bondary, Cadet et le célèbre Lavoisier. Ils soutiennent dans leur rapport que : «... la pierre ne doit point son origine au tonnerre... Elle n'est pas tombée du ciel... (il s'agit d'un grès pyriteux ordinaire frappé à terre par la foudre... Toute origine autre n'est que le fait de l'imagination...) »

Pourtant, Pallas, un naturaliste allemand, décrit une météorite de 680 kg découverte en place par un cosaque, en 1749, entre Krasnojarsk et Ababansk, en Sibérie.

Il la ramène de Saint-Petersbourg à Berlin (1775).

Chladni, sans doute le premier, compile en 1794 de multiples rapports, étudie cet objet, affirme qu'il s'agit d'un corps extraterrestre ; il s'oppose donc aux idées de l'époque.

En Angleterre, Edward Howard donne lecture devant la Royal Society de Londres (25 février 1802) du résultat d'analyses chimiques et minéralogiques d'objets tombés du ciel tant à Bénarès, en Inde, en 1798, qu'à Wold Cottage, au Yorkshire, en 1795 ; il conclut que ce sont des météorites.

Malgré cela la science officielle reste sur la réserve. Il faudra attendre la chute de L'Aigle, dans l'Orne, en 1803, pour que le gouvernement envoie enfin le physicien Jean-Baptiste Biot pour établir un rapport sur un phénomène mystérieux et une pluie de pierres. Le tournant est pris définitivement.

L'idée était bien sûr dans l'air avant lui, mais on admet maintenant que c'est effectivement ce rapport qui a fait changer d'orientation les plus incrédules.



*CHLADNI - C'est lui qui le premier, en 1794, émit
l'hypothèse que les météorites étaient d'origine
extraterrestre, mais la « science officielle » n'était pas
encore prête à accepter de telles assertions.*

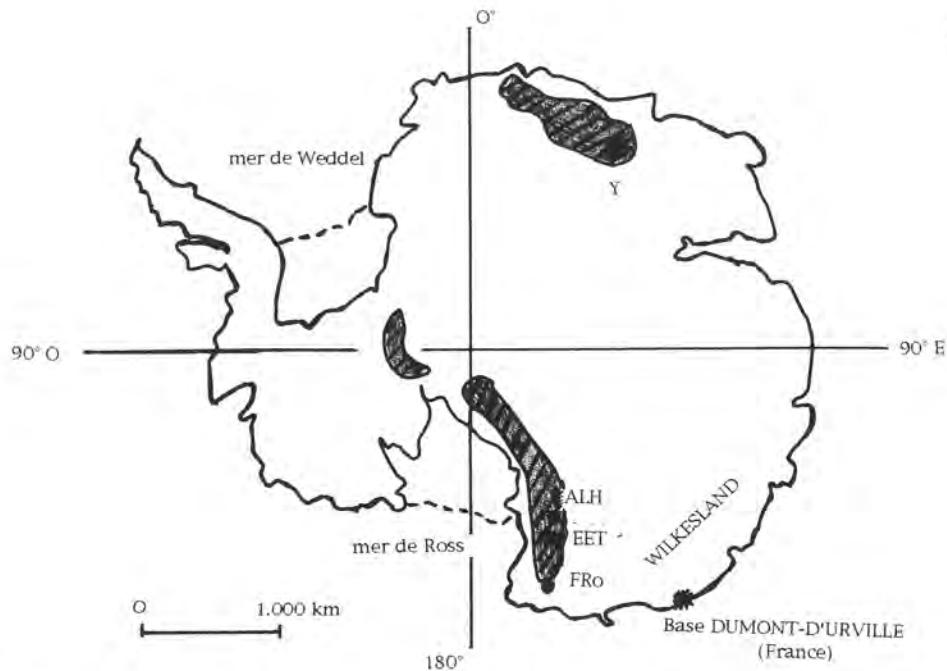
CARACTÉRISTIQUES DES MÉTÉORITES

La Terre, dans sa course autour du Soleil, rencontre beaucoup de poussière météoritique qui « stagne » dans l'espace. De plus, son orbite peut recouper celle de corps solides (astéroïdes, noyaux cométaires,...) qui gravitent eux aussi autour du Soleil.

Les chiffres varient avec les auteurs. Selon la NASA, 100 000 tonnes arriveraient annuellement jusqu'au sol ; mais il s'agit surtout de poussières, seuls les plus gros fragments pouvant traverser l'atmosphère : 90% des grains pèseraient moins du gramme, dont 70% moins d'un décigramme.

En fait, on estime qu'il doit tomber cinq cents grosses météorites par an, dont cent cinquante sur le sol, bien que l'on n'en retrouve qu'une vingtaine, soit 7 à 8%. Il y en a une de plus de quatre tonnes tous les dix ans.

Combien de ces chutes sont-elles observées ou retrouvées et rangées dans les collections ? En 1985, le *Catalogue of Meteorite* de Graham et al. recensait 2 611 « chutes » différentes authentifiées, dont 905 chutes et 1 706 trouvailles.



Carte de l'Antarctique avec quelques localités où l'on a trouvé de nombreuses météorites.
(« ALH » = Allan Hills ; « Y » = Yamato mountains ; « EET » = Elephant moraine ;
« FRO » = Frontier).

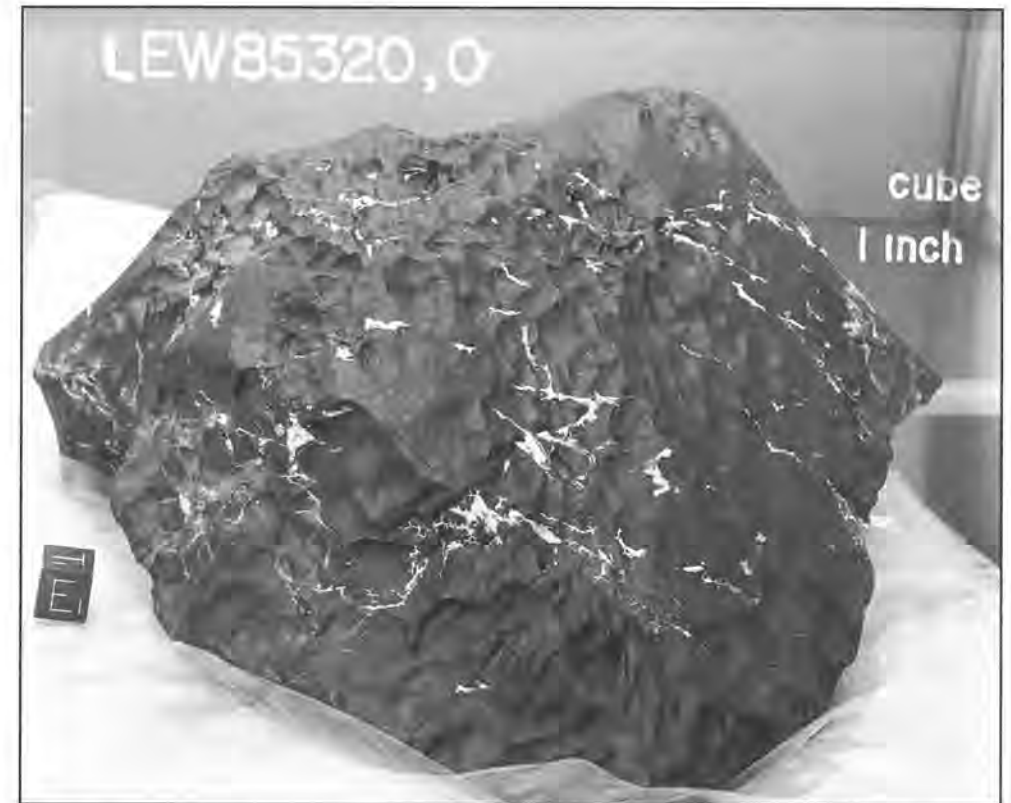
La vitesse maximale d'une météorite dans l'espace est de 42 km/s. Une valeur supérieure supposerait une orbite hyperbolique, ce qui n'a jamais été observé. La vitesse moyenne de la Terre est de 30 km/s. Si la Terre était privée d'atmosphère et ne possédait pas de force d'attraction, la vitesse d'arrivée au sol serait la somme vectorielle des deux vitesses, soit environ 12 km/s si la météorite rattrapait notre planète, et 72 km/s si elles se télescopaient. Mais l'atmosphère va freiner la météorite en fonction de son coefficient de pénétration aérodynamique. De plus, l'attraction terrestre va également modifier à tout moment cette vitesse.

L'arrivée d'une météorite est toujours accompagnée d'un certain nombre de phénomènes qui ont, à toute époque, frappé ceux qui ont eu la chance d'être témoins de l'une d'elle. C'est d'abord une traînée lumineuse qui s'estompe dans les couches denses de l'atmosphère pour faire place à une traînée blanchâtre de vapeur d'eau, puis à des phénomènes sonores. On entend d'abord la, ou les explosions correspondant à l'onde de choc située en avant du, ou des bolides, le passage du mur du son par les avions supersoniques nous ayant familiarisé avec ce type de détonation. Ensuite une sorte de sifflement succède à ces « coups de canon » correspondant au passage des différents éclats dans l'air.

Une fois au sol, en moins de deux heures, la météorite va équilibrer sa température avec celle de l'air ambiant. En général, elle présente une croûte de fusion noire ou brune d'une épaisseur inférieure au millimètre. Si la chute est constituée d'un grand nombre de fragments, la répartition au sol sera elliptique et on parlera de chute multiple.

À ce jour on n'a aucune certitude qu'une météorite ait tué un être humain, malgré des récits apocalyptiques ne pouvant être authentifiés. Par contre on a connaissance de la mort d'un veau (Ohio, U.S.A.), de bestiaux (Brésil), d'un chien (Nakhla, Egypte), et de dégâts à des bâtiments, voire, de quelques incendies, dont celui qui a détruit le château de Milan, le 23 juin 1525, sans doute consécutif à une chute sur le dépôt de munitions.

Il ressort de la carte des chutes et trouvailles dressée en 1968 par le Centre d'étude des météorites de Tempe (Arizona, U.S.A.) que celles-ci sont proportionnelles à la densité de la population. En fait, plusieurs paramètres sont à considérer : si la chute est observée mais que le corps va s'abîmer au milieu de l'océan, on a peu de chance de le



Météorite trouvée dans l'Antarctique, en 1985. C'est une chondrite H5 pesant 110 kg.
(Photo de la NASA, avec son aimable autorisation)

recupérer ; s'il est très petit, bien suivi, et tombe au cœur de la forêt amazonienne ou tropicale africaine, là encore, les chances restent minimes ; qu'il arrive place de la Concorde en fracassant l'obélisque, on est certain de le retrouver, c'est l'évidence.

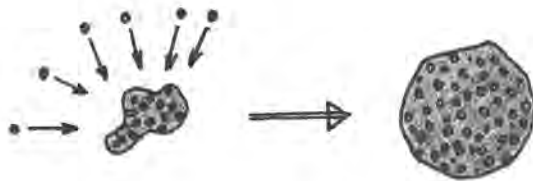
Par contre, des spécialistes avertis parcourant systématiquement des zones désertiques peu explorées où il n'y a pas encore eu de ramassage sauvage, ont la possibilité de retrouver des météorites. C'est le cas de l'Antarctique qui est devenu un nouvel Eldorado pour les scientifiques. Cette possibilité de ramassage, exceptionnelle, a été mise en évidence fortuitement en 1969 par des géologues japonais. A ce jour, plus de quinze mille spécimens ont été récoltés par diverses missions. L'Antarctique permet d'avoir accès à un paramètre intéressant, car grâce au grand nombre d'échantillons récoltés, on peut établir une statistique précise quant aux proportions des divers types de météorites.

ACCRÉTION ET IMPACTISME ORIGINELS

Il y a 4,5 milliards d'années, l'impactisme a dû être très violent pour permettre la formation des planètes. C'était un véritable jeu de massacre, mélange de création et de destruction. Les poussières originelles se sont d'abord agglutinées en petits grains, les fameuses chondres, puis celles-ci se sont agglomérées en boules de plus en plus volumineuses, s'entrechoquant ; ce fut l'accrétion qui l'emporta pour aboutir aux diverses planètes. On estime qu'elles se sont formées en 100 à 150 millions d'années. Elles furent toutes réussies, sauf une, celle qui devrait se situer entre Mars et Jupiter, et qui est demeurée ce que l'on appelle la ceinture d'astéroïdes.

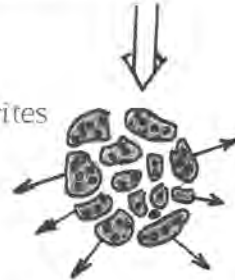
FRAGMENTATION

ACCRETION



La formation des chondrites

Chondrites



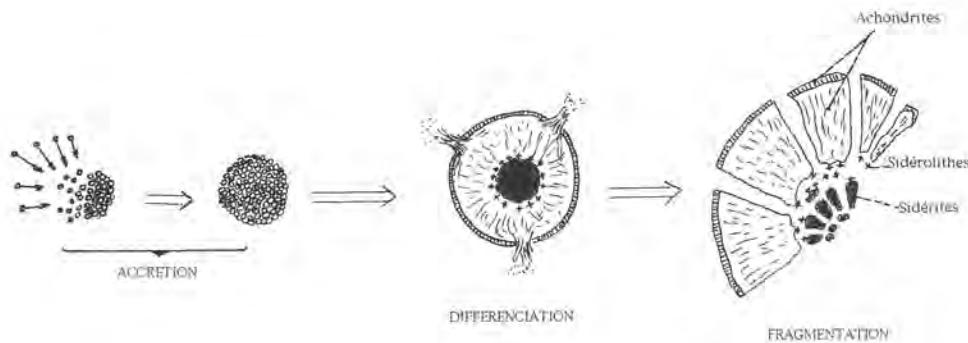
En 1760, le mathématicien Titius von Wittenberg avait observé une certaine régularité dans la position des planètes tournant autour du Soleil, et celle-ci pouvait se traduire par une formule :

$$R = 0,4 + 0,3 \times 2^{n-1}$$

C'est une progression géométrique dans laquelle « R » est le rayon moyen de l'orbite par rapport au Soleil et « n » la position de la dite planète par rapport à celui-ci.

Cette égalité eut d'autant plus de succès que quelques années plus tard, grâce à elle, Sir William Herschel découvrait Uranus à la position prévue. Mais il « manquait » une planète entre Mars et Jupiter. Bode émit l'hypothèse que celle-ci avait existé, puis explosé.

Effectivement, en 1801, l'Italien Piazzi découvrait un petit objet planétaire, Cérès, à l'emplacement prévu. La loi devenait celle de Titius-Bode. Bien d'autres petits objets



La formation des météorites différenciées.

furent repérés dans cette zone où l'on en a actuellement identifié plus de deux mille cinq cents, dont on connaît parfaitement l'orbite : c'est la fameuse ceinture d'astéroïdes.

L'hypothèse de Bode est actuellement révisée et l'on admet qu'il n'y a jamais eu formation d'une vraie planète, à cause de la proximité de Jupiter, planète massive, qui a induit une zone de perturbation empêchant l'accrétion d'une planète majeure dans cette zone, sorte de puits de potentiel où sont venus se piéger de gros astéroïdes et de mini-planètes.

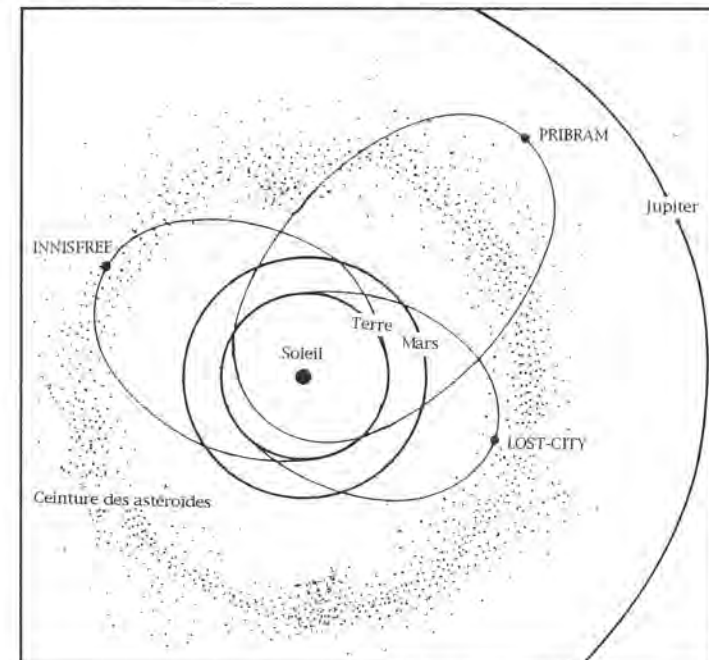
ORIGINE SPATIALE DES MÉTÉORITES

Les récits des rares témoins ayant assisté à la chute de météorites avaient autrefois permis de calculer les orbites de quelques unes d'entre elles. L'imprécision était telle que les scientifiques n'arrivaient pas à trancher pour savoir si certaines météorites ne provenaient pas de l'extérieur du système solaire et pour cela auraient voyagé sur des orbites hyperboliques. La question fut tranchée un peu par hasard en 1959. Les Tchécoslovaques avaient disposé en batterie circulaire une série de caméras braquées vers le ciel afin de suivre les satellites artificiels et de calculer leur trajectoire. Cette année-là, le 7 avril, à 19 h 30, une météorite tomba à Příbram. La traînée lumineuse fut enregistrée par plusieurs caméras. L'orbite était bien elliptique, et non hyperbolique, et on trouvait son origine dans la ceinture des astéroïdes. Après cet événement, deux autres météorites furent étudiées de façon similaire. Il s'agit de Lost City (U.S.A. - 3 janvier 1970) et d'Innisfree (Canada - 5 février 1977). Les résultats confirmèrent les premières hypothèses.

On admet donc que l'origine des corps-parents dont sont issues nos météorites sont des planétoïdes circulant dans la ceinture des astéroïdes sur des orbites diverses, ce qui conduit à des collisions fréquentes et violentes, certains fragments étant éjectés dans l'espace sur des trajectoires excentrées. Ces objets peuvent alors croiser la trajectoire de l'orbite terrestre et devenir des météorites. Les calculs ont montré que 30% de ceux-ci ont une sérieuse probabilité d'entrer en collision avec notre planète, les 70% restant percuteront soit les autres planètes (Mercure, Vénus, Mars,...) soit notre satellite, la Lune, soit encore un autre astéroïde.

On a signalé que l'âge intermédiaire, ou « temps de vol », d'une météorite dépend de sa structure et va de un à soixante millions d'années pour une météorite pierreuse, de vingt millions à deux milliards d'années pour les métalliques. Si l'on admet le nombre de trente mille astéroïdes de plus de cent mètres de diamètre qui croisent régulièrement l'orbite terrestre, chiffre actuellement avancé par les astronomes, on en déduit une fréquence de collision de :

- un impact d'astéroïde de cent à deux cents mètres tous les mille ans ;
- un impact d'astéroïde de cinq cents à huit cents mètres tous les trente mille ans environ ;
- un impact d'astéroïde d'un kilomètre tous les cent mille ans environ.



Orbites calculées pour trois météorites repérées grâce aux faisceaux de caméras braquées vers le ciel.

Météorites différenciées et non différenciées

Les mini-planètes de la ceinture des astéroïdes, comme leurs grandes sœurs, ont subi la différenciation (voir schéma) sous l'effet d'un réchauffement ultérieur dont les causes sont encore aujourd'hui hypothétiques. Parmi celles-ci on cite la radioactivité naturelle de certains isotopes, les chocs successifs et répétés dus à l'impactisme violent, la ségrégation du fer vers le centre de ces mini-planètes, celles-ci ayant même pu avoir présenté une activité volcanique.

Le matériel chondritique originel a complètement disparu dans ce genre d'astres. Ceux-ci seront donc à l'origine des météorites dites différenciées : achondrites, sidérites et sidérolithes.

Par opposition, on a les astéroïdes n'ayant pas subi la différenciation et qui sont à l'origine des météorites appelées chondrites. Rappelons que celles-ci représentent 85% des chutes.

CLASSIFICATION

Chaque discipline scientifique suppose un système de classement. Dès les premiers travaux, des difficultés apparaissent et plusieurs systèmes sont successivement proposés, s'appuyant sur la composition chimique ou minéralogique de la structure interne,...

Nous rappellerons (cf. le tableau de A. Daubrée et S. Meunier reproduit en troisième page de couverture) la classification ancienne, pour le plaisir des mots, accompagnée de leur racine grecque. On retrouve d'ailleurs certains de ces termes sur les étiquettes de vieilles collections.

À partir de 1950 l'usage du spectromètre de masse permet de revoir ce classement et de l'affiner. Dans le groupe des chondrites, Urey et Craig (1953) insèrent les groupes L et H (L = « low iron », signifiant « faible teneur en fer » ; H = « high iron », signifiant « forte teneur en fer »). En 1964, Keil et Fredriksson proposent le groupe LL (« low iron, low metal » signifiant « faible teneur, à la fois en fer natif et en fer métallique »). En 1967, van Schmus et Wrold, se basant sur le degré d'homogénéité de la cristallisation, introduisent six types pétrologiques : du type 1 à chondres isolés au type 6 à chondres peu différenciables. En 1974, van Schmus et Hayes révisent les chondrites carbonées.

Pourcentage des chutes

Le tableau ci-après comporte les pourcentages des divers types de météorites. Les deux premières colonnes sont déduites par le calcul des trouvailles faites dans l'Antarctique. Il faut ici pondérer les résultats bruts car on a accès au nombre d'échantillons, mais pas au nombre de chutes. La dernière colonne est fonction des chutes et trouvailles répertoriées dans le *Catalogue of Meteorites* de Graham et ce sont celles de nos collections, à l'exception de celles trouvées dans l'Antarctique.



La chute de Pulstok (Pologne) a été très divisée : on parle de 100.000 fragments. En voici un sous sa cloche de présentation de l'époque (1868).

	calculé à partir des météorites récupérées en Antarctique		catalogue de Graham
	% en masse	% nombre	% nombre
Chondrites	75,07	85,37	64,30
Achondrites	9,41	7,62	5,00
Météorites mixtes	4,15	0,97	3,00
Météorites métalliques	11,37	6,05	27,70

• Les météorites non différenciées ou chondrites

Ce sont les plus nombreuses, surtout constituées de silicates, parfois de roches carbonées plus quelques traces de fer. Si l'on accepte l'hypothèse selon laquelle l'état d'oxydo-réduction de ces diverses chondrites est lié à leur zone de formation, c'est-à-dire à la distance au soleil des corps-parents qui leur ont donné naissance, on peut classer les chondrites depuis les plus réduites jusqu'aux plus oxydées de la manière suivante :

— CHONDRITES À ENSTATITE. Elles sont divisées en deux sous-groupes, H et L, suivant leur teneur en fer, inférieure à 12% pour le premier, le second pouvant atteindre 35%. Elles sont constituées en grande partie de pyroxène et on y trouve également du quartz, de la tridymite. Elles ont été métamorphosées à des températures supérieures à 650 °C et sont notées E dans les collections.

— CHONDRITES ORDINAIRES. Elles représentent 80% des chondrites au sens large, contenant de l'olivine, de la bronzite, du plagioclase et d'autres minéraux à base de fer. On les divise en deux sous-groupes, H et L.

— AMPHOTÉRITES. Elles contiennent environ 35% d'olivine et n'ont qu'une faible teneur en métal libre, toujours inférieure à 7%. On les répertorie sous le sigle LL.

— CHONDRITES CARBONÉES. Ce sont les météorites les plus primitives de toutes, très voisines de la nébuleuse pré-solaire. Elles contiennent en général 40% de plagioclase, mais aussi du carbone, parfois sous forme organique. Par contre elles ne contiennent que très peu, ou pas du tout, de fer.

C'est un groupe assez hétérogène qui est divisé en quatre sous-groupes :

- CI type chondrite d'Ivona,
- CM, type chondrite de Mighéï,
- CO, type chondrite d'Ornans,
- CV, type chondrite de Vigarano,

noms des chutes servant de référence.

• Les météorites différenciées

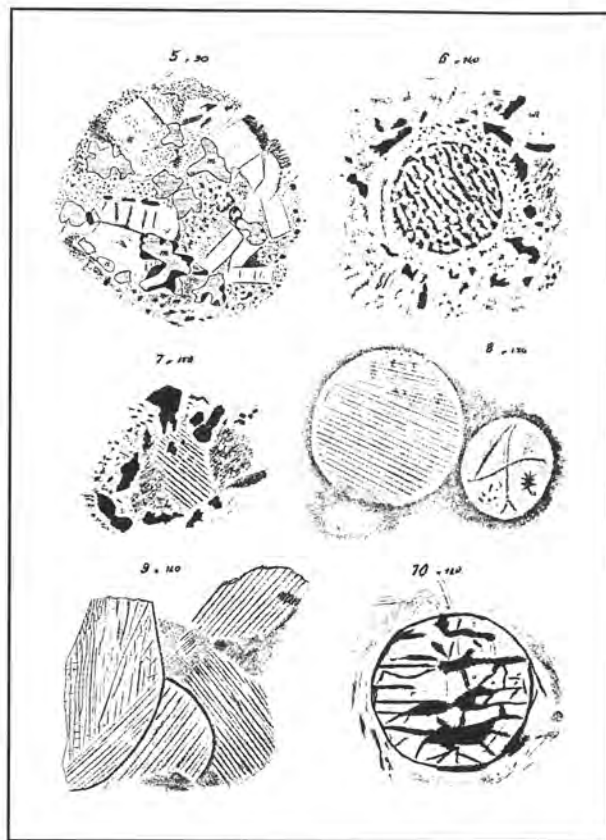
Les achondrites

Elles ont été nommées par Brezina, de Vienne (1895). Ces pierres pauvres en métal se classent en fonction de leur teneur en calcium, qui va de 0 à 25%.

Leur texture et leur composition minéralogique laissent penser qu'elles se sont formées à partir d'un magma analogue à celui qui conduit aux roches ignées terrestres, hypothèse très acceptable pour celles qui ont une structure grenue ou des cristaux de plagioclase et de pyroxène orientés.

On y trouve les météorites supposées lunaires et martiennes (S.N.C.).

On distingue deux grandes catégories :



Les chondres des chondrites de Stavropol -L6- (5, 6, 7), de Timochin -H5- (10) vus au microscope et grandis de 90 à 140 fois.
(Selon G. Rose, 1864, planche IV)

— ACHONDRITES RICHES EN CALCIUM, avec plus de 5% de CaO, réparties comme suit :

- * groupe des angrites, noté « ANG »,
- * groupe des eucrites, noté « EUC »,
- * groupe des howardites, noté « HOW ».

— ACHONDRITES PAUVRES EN CALCIUM, avec moins de 3% de CaO, réparties en :

- * groupe des diogénites, noté « DIO »,
- * groupe des urélites, noté « URE »,
- * groupe des aubrites, noté « AUB ».

Les sidérites

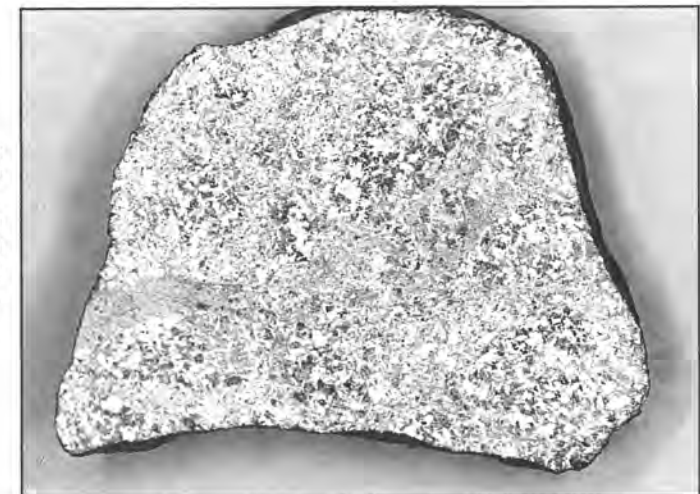
Elles représentent 27% des diverses localités conservées dans les collections, mais seulement 6% des chutes réelles si l'on se réfère aux données comptabilisées dans l'Antarctique. Cela vient du fait qu'elles se conservent mieux et plus longtemps que les autres météorites, et aussi parce qu'elles se repèrent plus facilement que les autres.

C'est parmi elles que l'on trouve les plus grosses météorites. La plus importante est restée en place à Hoba, en Namibie. Elle fut découverte en 1920 et son poids est estimé à 70 tonnes. Le musée de New York possède la seconde, en poids, qui provient de

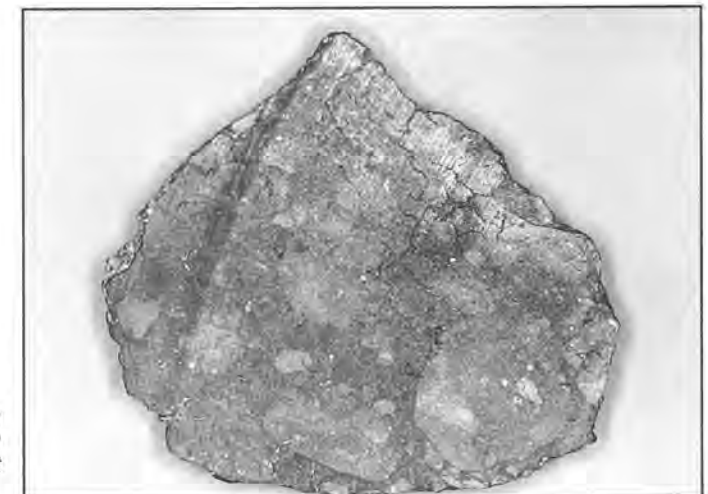


La météorite de Bjurböle tombée en Finlande en 1899. Classe L4. Les chondres sont bien visibles

Coupe de la météorite de Milbillillie, tombée en Australie en 1960 ; une achondrite, variété eucrite



La météorite de Bison trouvée en 1958 au Kansas (U.S.A.). C'est une amphotérite LL6.



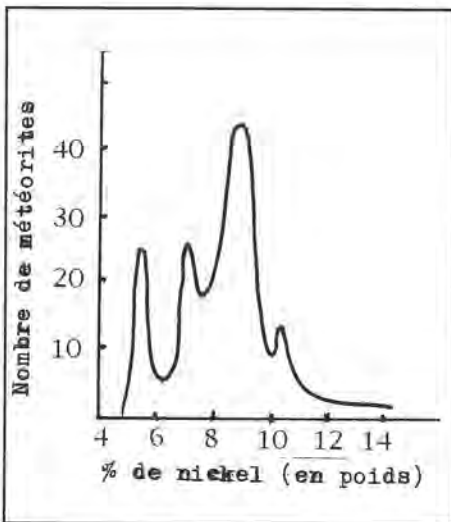
Cap York (Groënland) d'où elle fut rapportée par bateau à la fin du siècle dernier ; elle pèse 59 tonnes. On connaît d'autres spécimens restés en place : dans le désert de Gobi, la météorite de Shingo pèse environ 35 tonnes, et on l'appelle aussi « le chameau d'argent » à cause de sa forme. La météorite de Chaco (Argentine) pèse à peu près le même poids. On connaît plusieurs autres météorites pesant plus de dix tonnes. Enfin, certaines sont considérées comme des « monuments nationaux » : par exemple la météorite M'Bosi (Tanzanie) qui pèse 16 tonnes.

Les sidérites présentent entre elles une très grande diversité et leur classement s'est toujours avéré difficile. Actuellement, on les répartit en treize groupes (IAB, IC, IIAB, IIC,...) distribués en fonction de la composition chimique s'appuyant sur les « parties pour mille » de gallium, de germanium et d'iridium qu'elles contiennent. Sur les diagrammes, on obtient des plages distinctes où l'on doit pouvoir classer telle ou telle météorite. Ceci dit, 25% d'entre elles sont notées « anormales », car n'entrant pas dans les différentes plages ainsi définies.

Les sidérites sont classées également suivant leur structure ou leur teneur en nickel. On observe qu'aucune météorite métallique ne possède un pourcentage de nickel inférieur à 5%. Dans les météorites on trouve en fait un mélange de deux espèces minérales, la kamacite et la taénite, ayant la même formule chimique mais des structures différentes. La quantité de l'une par rapport à l'autre dépend des conditions de refroidissement et du pourcentage de nickel présent initialement.

— OCTAÉDRITES : l'octaèdre caractérise leur structure et elles contiennent de 7 à 15% de nickel.

L'attaque à l'acide d'une face polie met en évidence quatre systèmes de bandes de kamacite, trois séries se coupant selon un angle de 60° , la quatrième série étant parallèle au plan de section. Elles sont bordées de taénite, les espaces polyédriques compris entre ces deux minéraux étant comblés d'une association microcristalline de ces deux minéraux appelée plessite : ce sont les figures de Widmanstätten qui s'expliquent par l'étude du refroidissement du système fer-nickel. Le réseau de ces bandes qui se croisent selon deux, trois, ou plusieurs directions, diffère selon l'orientation de la section observée.



Ce diagramme montre que la majorité des météorites métalliques contiennent entre 5 et 10% de nickel. On n'en connaît aucune en ayant moins de 4% ; par contre, certaines en contiennent jusqu'à 35%.

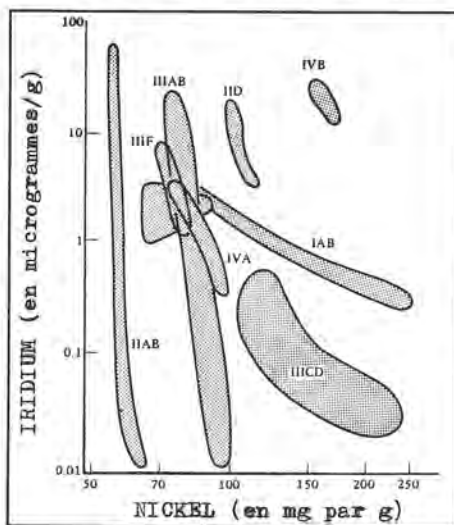
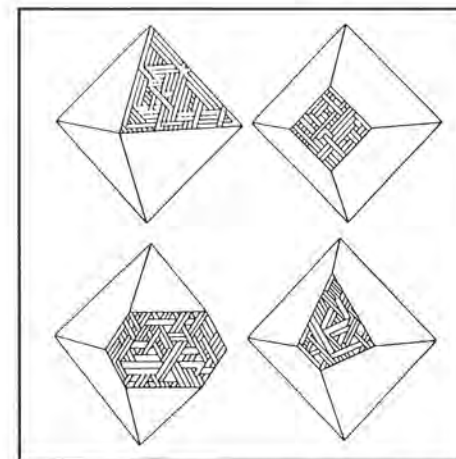


Diagramme nickel/iridium. Il existe d'autres diagrammes identiques, nickel/germanium ou nickel/gallium. En fait, 75% des sidérites peuvent se répartir dans ces diagrammes, les 25% restantes étant dites « anormales ».

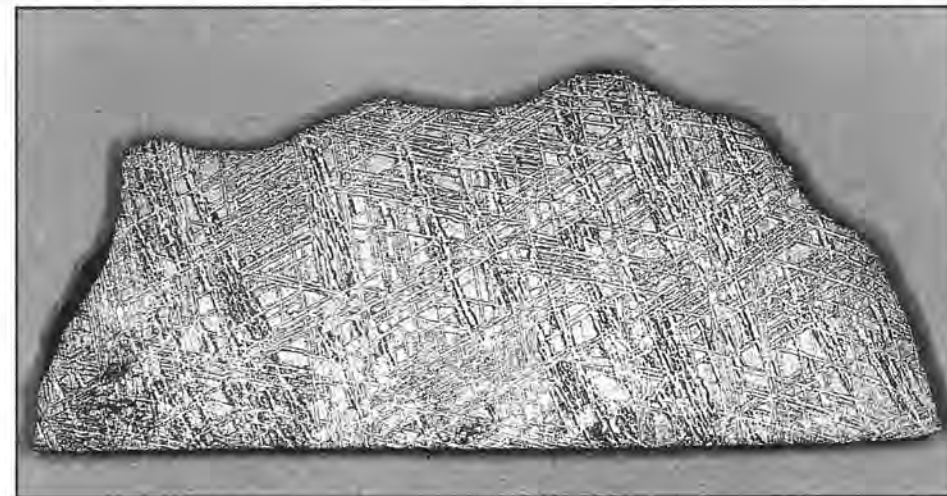
Depuis Tschermak on distingue six sous-groupes en fonction de la largeur des lamelles de kamacite, car il existe une relation directe entre celle-ci et la teneur en nickel. Ce sont les sous-groupes Ogg, Og, Om, Of, Off et Opl (de « très grosses » à « très fines »).



Différentes sections de l'octaèdre selon Tschermak (1894) montrant les diverses figures de Widmanstätten possibles.

— ATAXITES : elles n'ont pas de structure visible à l'œil nu (d'où leur nom) car la largeur des bandes de Widmanstätten diminue avec l'enrichissement en nickel et elles disparaissent quand il y en a plus de 15%.

— HEXAÉDRITES : ce sont des assemblages de gros hexaèdres (= cubes) de kamacite, parfois un seul cristal qui se rompt à l'impact. Si on attaque la surface à l'acide



Figures de Widmanstätten sur une coupe de la météorite de Gibbeon (Namibie).

chlorhydrique, un réseau de bandes orientées, les bandes (ou lignes) de Neumann, peut apparaître. Elles proviennent de la déformation mécanique subie par la kamacite à une température comprise entre 300 et 600 °C. Notons que s'il y a plusieurs cristaux, ces bandes ont une orientation propre pour chacun.

Les sidérolithes

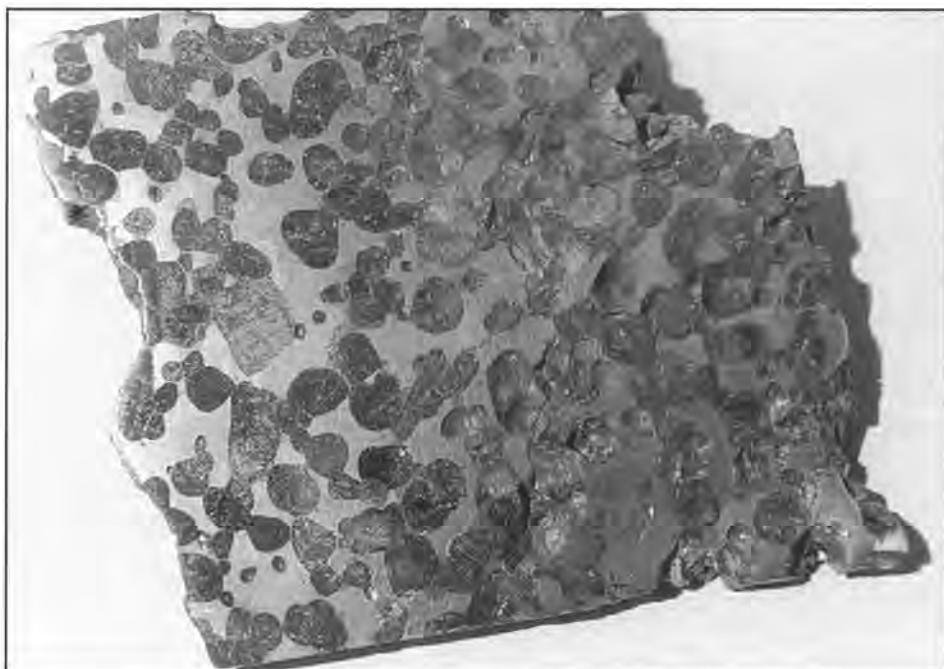
Elles représentent 1% des chutes récupérées dans l'Antarctique et 3% des météorites de nos collections.

Comme leur nom l'indique, elles sont un mélange des deux autres types et on les divise en trois groupes :

— PALLASITES, qui contiennent des grains cristallisés d'olivine, parfois gemmés, allant du millimètre au centimètre, d'une couleur variant du jaune brun au vert chartreuse. Ce silicate est inclus dans une matrice de ferro-nickel. Sciées et polies, ce sont sans doute les météorites les plus esthétiques. Leur nom vient de l'illustre naturaliste Pallas qui, en 1775, trouva une « éponge de fer » en Sibérie.

— MESOSIDÉRITES, présentant un mélange de parties à peu près égales de métal (ferro-nickel) et de deux silicates (pyroxène et plagioclase).

— LES LODRANITES, beaucoup plus rares, avec deux chutes répertoriées. Elles contiennent en parties égales, du métal, de l'olivine et du pyroxène.



Une pallasite dont on voit les grains d'olivine dans la matrice métallique.
(Brenham - Kansas - U.S.A.)

Les météorites sont formées des mêmes éléments chimiques (au sens du tableau de Mendelév) que ceux que nous connaissons sur Terre, mais leur composition (dans le sens de l'assemblage de ces éléments) peut en être parfois différente. Il existe certaines espèces minérales qui ne se trouvent que dans les météorites. Rappelons que les chondres pour les aérolithes et les figures de Widmanstätten pour les sidérites ne se rencontrent que dans les météorites, et jamais dans les roches terrestres.

FAUX ET PSEUDO-MÉTÉORITES

Quand on parle de météorites il faut constater qu'un certain nombre de personnes pensent posséder chez elles des fragments de ces rares objets. En province j'ai exposé plusieurs fois ma collection dans diverses bourses aux minéraux. Les journaux locaux avaient souvent annoncé cette exposition et certains parlaient de ma présence en écrivant

que je pouvais expertiser ces objets extraterrestres. Il n'était pas rare de voir une vingtaine de personnes en deux jours, certaines avec la, ou les pierres en question.

Je dois convenir que j'ai très rarement eu la chance de reconnaître de nouvelles météorites. Ma réponse lorsque l'on me montre de telles pierres est toujours l'une de ces trois :

— OUI, c'est une météorite ;

— NON, ce n'est pas une météorite : c'est une marcassite, une scorie,... et cela représente 95% des cas.

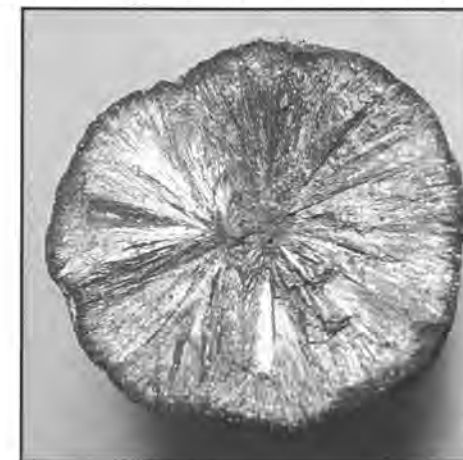
— JE NE SAIS PAS, il vous faut contacter un spécialiste au Muséum, car votre échantillon est intéressant.

Parmi les faux les plus classiques, les marcassites du cap Blanc-Nez ou de Champagne figurent de loin en première place. Il s'agit de nodules arrondis de sulfure de fer. Lorsqu'on les casse, l'intérieur est brillant et fibroradié. Laissés tels quels, surtout ceux trouvés au bord de la mer, ils finissent par s'oxyder, se couvrent d'une efflorescence blanchâtre et se brisent naturellement. Cela est dû à leur structure, très riche en ions de soufre libres qui se combinent avec la vapeur d'eau atmosphérique pour former de l'acide sulfurique qui attaque la pyrite. Le phénomène enclenché est alors irréversible.

L'une des escroqueries les plus classiques consiste à vendre de tels objets pour des météorites. Un exemple très significatif m'a été rapporté par un confrère parisien ; celui-ci avait été mandaté comme expert pour déterminer la valeur d'une pierre prétendue d'origine lunaire d'un kilogramme environ. Elle avait été acquise par un riche industriel chocolatier, alors à la retraite. En fait, ses héritiers voulaient faire évaluer exactement l'objet



Etiquettes numérotées d'un grand collectionneur du début du siècle qui accompagnait une pseudo-météorite : les faux existaient déjà !



Une marcassite des environs de Reims (France).

de leur litige, chacun désirant le garder pour lui. Quelle ne fut pas leur surprise lorsque mon ami leur annonça qu'il n'avait aucune valeur marchande, s'agissant d'une marcassite en état de décomposition avancée.

Il est à noter, qu'à ma connaissance, aucun fragment lunaire n'est entré dans le circuit commercial. N'oublions pas que le prix de revient d'un gramme de roche lunaire rapporté par la NASA est chiffré à 60 000 dollars. La naïveté des acheteurs est toujours confondante. J'ai en mémoire d'autres exemples, où, au cours de bourses aux minéraux, comme à Bordeaux ou à Millau, certains négociants proposaient de soi-disant météorites, qui, en fait, n'étaient, dans un cas, que des galets de broyeurs trouvés à la surface du désert dans le sud-marocain, dans l'autre cas, que des scories de minerai prétraité ramassées sur les plages de l'île d'Oléron, près du phare de Chassiron.

De tels objets ne peuvent pas s'acheter n'importe où et n'importe comment.

Pour en finir avec les faux et les diverses croyances qui leur sont rattachées, voici deux exemples :

— la météorite que beaucoup de Girondins voient exposée dans un parc municipal de Bordeaux n'est en fait qu'un très gros nodule phosphaté trouvé dans des bancs de calcaire tertiaire ;

— la télévision, grâce aux interventions du professeur Théodore Monod, a popularisé la légende de la météorite de l'Adrar. Tout avait commencé en 1916, en Mauritanie, lorsqu'un méhariste, le capitaine Ripert, rapporta une véritable météorite de quelques kilos, ramassée en plein désert. Il prétendait qu'il avait vu sur place, à côté de celle qu'il rapportait, une énorme météorite en fer de quarante mètres de haut et de cent mètres de long. Après bien des rebondissements, Théodore Monod mettait un point final à cette histoire en publiant, en juin 1989, à l'Académie des sciences, un rapport dans lequel il écrivait qu'après des études gravimétriques négatives et de nombreuses recherches sur le terrain, on pouvait en conclure que la météorite géante n'existait pas et qu'il s'agissait d'une erreur d'interprétation de Ripert.

L'ÂGE DES MÉTÉORITES

Il convient de bien s'entendre sur le terme « âge » en ce qui concerne les météorites.

On parle d'âge absolu, c'est-à-dire de la durée de temps séparant la solidification et les ultimes différenciations chimiques de l'époque actuelle. On le détermine à l'aide du spectromètre de masse, toutes les mesures, fort complexes, étant basées sur des gaz radiogéniques et menées à l'aide d'un matériel hautement spécialisé. Cet âge absolu déterminé par différentes méthodes, plomb/plomb ou rubidium 87/strontium 87, est identique pour pratiquement toutes les météorites et voisin de $4,57 \pm 0,07$ milliards d'années.

Les météorites sont donc contemporaines de la formation du système solaire. Rappelons que l'âge de l'Univers est d'environ 15 milliards d'années.

On parle d'âge d'exposition aux rayons cosmiques ; c'est le temps qui s'est écoulé depuis l'extraction de la météorite de son corps-parent, à la suite d'une collision, jusqu'au moment où elle est tombée sur Terre. Les mesures varient suivant la nature des météorites : pour les aérolithes, on trouve un âge de 1 à 60 millions d'années, et pour les sidérites, l'écart va de 20 millions à 2 milliards d'années.

On parle d'âge terrestre, c'est-à-dire de la durée du séjour de la météorite sur notre planète, si la chute n'a pas été observée, bien évidemment. Il ne dépasse guère quelques millions d'années. C'est en fait souvent l'âge le plus difficile à déterminer.

À titre d'exemple, on a mesuré pour une météorite, un âge absolu de 4,5 milliards d'années, un âge d'exposition de 180 millions d'années et un âge terrestre de 49 700 ans. C'est la météorite de Canyon Diablo, celle qui est responsable de la formation de Meteor Crater.

L'IMPACTISME : EFFETS, CONSÉQUENCES

Les astroblèmes

Quand une météorite arrive au sol, des phénomènes physiques de pressions et de contre-pressions ouvrent une cavité en forme de cratère. Pour la distinguer d'un cratère volcanique, on l'appelle astroblème, du grec « astron » pour « astre » et « bleme » pour « coup ».

Depuis 1970 on classe les astroblèmes en trois catégories : authentiques, douteux, discrédités.

En 1991 on avait répertorié 130 astroblèmes authentiques, 32 ayant un diamètre supérieur à 20 km, en se basant sur les critères de classification suivants : avoir retrouvé des fragments de la météorite responsable (ce qui est rare et une dizaine seulement présentent cette propriété), avoir observé un métamorphisme d'impact indiscutable sur les roches.

Le métamorphisme d'impact se signale surtout par des « shatter cones », figures coniques de brisure, de dimensions allant du centimètre au mètre, avec angle au sommet de 75 à 80°, qui témoignent de pressions considérables.

On trouve aussi des modifications de structure du quartz (devenu clivable) et la formation de roches vitrifiées (impactites) contenant des éléments rares (nickel, iridium,...).

L'avancement des études fait que l'un d'eux peut passer d'une catégorie à l'autre. Jusque vers 1970, les scientifiques étaient réservés sur l'idée même de l'impactisme.

Il est bien évident que notre planète étant « vivante » (vent, glaciers, mers, déplacement des pôles, des continents,...) beaucoup d'astroblèmes ont disparu à jamais, érodés ou bouleversés par des plissements. Sur les vieux socles continentaux on en a reconnu âgés de deux milliards d'années (Canada, Afrique du Sud, C.E.I.,...). Depuis vingt ans, tous les moyens sont employés pour en découvrir de nouveaux car on s'est vite aperçu qu'ils étaient souvent liés à des régions économiquement très riches ; au Canada, la zone de Sudbury possède les deux tiers des réserves mondiales de nickel et, en Afrique du Sud, l'astroblème de Vredefort, formé à la même époque, d'une taille initiale de deux cents kilomètres de diamètre, est ouvert dans un périmètre qui, outre du chrome en abondance, contient la plus grande réserve mondiale de platine.

De vastes zones en Amérique du Sud, en Chine, en Afrique centrale restent à explorer.

L'impactisme dans l'espace

L'impactisme a laissé des traces sur Terre mais également dans l'espace. Il fut particulièrement violent au début de la formation du système solaire.

Certaines anomalies sont expliquées par des théories liées aux effets de ce phénomène. Ainsi, l'inclinaison de l'axe de la Terre serait liée à l'impact d'un astéroïde dont la masse estimée aurait atteint le millième de celle de notre planète. Uranus, qui a un axe encore plus incliné, aurait été victime d'un choc frontal avec un planétoïde du dixième de sa propre masse. Quant à Vénus qui présente à l'inverse de toutes les autres planètes un sens de rotation rétrograde, le choc dut être encore plus violent, mais tangentiel.

Les explications précédentes ne posent pas trop de problèmes aux scientifiques et sont généralement admises par les moins conservateurs d'entre eux.

L'origine de la Lune comme étant produite par une énorme météorite, de la taille de Mars, qui aurait frappé la Terre sur le côté, en projetant un énorme jet de matière qui se serait solidifiée pour former notre satellite a beaucoup plus de détracteurs, et pourtant c'est la seule théorie qui puisse expliquer correctement sa taille et sa composition chimique.

À suivre !



Meteor Crater sous la neige

Meteor Crater

L'astroblème le mieux connu, aménagé pour les touristes, et fort bien conservé, est Meteor Crater, sis en Arizona, à 200 km au nord de Phoenix. Pratiquement invisible depuis l'interstate n° 40, qui, entre Winslow et Flagstaff, passe à 5 km au nord, on la

quittera pour se rendre tout d'abord au Centre de visite (petite exposition de météorites, cafétéria, souvenirs,...) qui abrite le plus gros fragment connu de la chute, un bloc de 700 kg environ. Une plateforme extérieure s'avance au-dessus de la dépression. Tout visiteur, même le moins émotif, est saisi par le calme, le silence, la grandeur et la majesté sauvage du site, face à cet astroblème circulaire de 1 400 mètres de diamètre et de 180 mètres de profondeur.

La première description imprimée de ce site date de 1871, mais ils ont pensé voir là un simple cratère d'origine volcanique, nommé initialement Coone Butte. En 1886, un berger ramassa le premier morceau de « fer » près du Canyon Diablo River qu'il crut être de l'argent. Expédié en Pennsylvanie, son analyse donna 92% de fer et 7% de nickel, plus des traces de cobalt, de platine, d'iridium. En 1891, un scientifique, le docteur A.E. Foote vint sur place et récolta beaucoup d'échantillons. Mais c'est G. K. Gilbert qui émit le premier l'idée d'une origine météoritique, bien qu'il ne pût la démontrer. En 1902, un avocat et ingénieur, D. M. Barringer, reprit les études, acheta la concession (signée de Th. Roosevelt en personne !), créa la *Standard Iron Co* et tenta d'exploiter la masse de fer qu'il croyait être enfouie sous l'astroblème.

En 1909, vingt-huit sondages avaient été descendus, certains à six cents mètres, mais on ne retrouvait pas trace de la masse principale attendue. On remontait, dans les carottes, par endroit, une sorte de poudingue constitué d'un mélange de fer et de roches. Au début de la guerre de 1914-1918, les résultats s'avéraient médiocres. En 1929 survint la crise économique, et on arrêta là les recherches ; il subsiste encore, au fond, des installations mécaniques témoins de cet acharnement.

Ce n'est qu'en 1953 que la véritable origine fut admise. La météorite a dû pénétrer dans l'atmosphère sous un angle de 45°, à une vitesse voisine de 15 km/s, sa masse approchant le million de tonnes. Ceci se passait, selon les dernières évaluations (1991), il y a 49 700 ans \pm 850 ans.

Rochechouart - Chassenon, en France

La France n'a pas été épargnée par la chute d'une énorme météorite.

Il y a 210 millions d'années, au milieu du Trias, un objet extraterrestre d'un kilomètre de diamètre s'écrasait près du petit village de La Valette, situé entre Rochechouart et Chassenon, aux confins du Limousin et de la Charente.

L'effet a dû être destructeur dans un rayon de plusieurs centaines de kilomètres, avec, comme toujours, un terrible effet de souffle, des projections de débris rocheux incandescents allumant des incendies, l'émission de gaz toxiques dans l'atmosphère.

Les roches du substratum local ont conservé la mémoire de cet événement ; ce sont les brèches monogéniques et polygéniques qui peuvent être encore récoltées sur place, dans un rayon d'environ dix kilomètres autour de La Valette.

Après un temps aussi long, le cratère est complètement érodé, aucune structure originale, telle que cavité, bordure, pic central,... n'ayant été conservée.

Ce n'est qu'en 1969 que le Français Kraut, du Muséum national d'histoire naturelle de Paris a découvert des « shatter cones », formations caractéristiques qui permettent de classer définitivement cette structure parmi les cratères d'origine météoritique. De 1974 à 1977, Philippe Lambert publia deux thèses sur le sujet, apportant des précisions sur la géologie locale et les paramètres de la météorite incidente ; ainsi, l'énergie libérée au moment du choc aurait été 14 millions de fois celle de la bombe atomique d'Hiroshima. La profondeur de pénétration fut d'environ six kilomètres.

Les tectites

Lors de l'impact de grosses météorites il peut y avoir formation de tectites. Ce terme vient du grec « *téktos* » qui signifie « fondu ».

Ces objets, cités dans la littérature spécialisée depuis quelque deux siècles, ont posé bien des questions car on s'interrogea longtemps quant à leur origine exacte ; ils furent même classés sous l'étiquette de « météorites vitreuses ». On y a vu du sable fondu par la foudre, des « larmes pleurées » par des comètes et surtout des morceaux de Lune arrachés par une grosse météorite et « tombés » sur Terre,...

Au début des années soixante, les Américains, qui préparaient leurs expéditions lunaires, étudièrent de près les tectites conservées dans les collections ou allèrent sur place pour en ramasser. Très rapidement, après avoir dépouillé les informations amassées par les premiers astronautes, il fallut abandonner l'hypothèse d'une origine lunaire. On admet actuellement qu'elles sont formées lors de l'impact d'une météorite. Celle-ci projette

dans l'espace de la matière terrestre qui va retomber quelques centaines de kilomètres plus loin.

On a essayé de corrélérer l'âge de formation de certains astroblèmes avec les champs de tectites proches.



Tectite : une rhizalite des Philippines faisant partie des « australasites ».



Moldavite, tectite verte, gemme, de Locenice, en République tchèque



Tectite de Thaïlande en forme de « goutte » faisant penser à une matière brutalement figée (une « australasite »)

C'est ainsi que l'on a pu associer le champ de tectites de la Côte d'Ivoire avec l'astroblème Bosumtwi situé au Ghana, l'âge commun étant ici de 1 100 000 ans. On a également rattaché les moldavites, ces tectites vert-bouteille du sud de la République tchèque, au Nördlingen Ries, cratère-parent situé aux environs de Stuttgart en Allemagne et qui mesure 24 km de diamètre. L'âge commun tectites-cratère est de 14 à 15 millions d'années. On trouve également des tectites en Amérique du Nord et dans une vaste zone de soixante millions de kilomètres carrés dans l'hémisphère austral, où on les appelle australasites. Celles-ci sont regroupées dans divers champs de tectites, mais leur âge, identique, de 700 000 ans, fait penser à une origine commune. A ce jour, on n'a pas

retrouvé le cratère-parent, mais d'après les dernières études, il devrait se situer à la frontière du Laos et de la Thaïlande. Malheureusement les mines restées en place après les guerillas qui ont endeuillé la région interdisent l'accès aux géologues pour qu'ils puissent confirmer que le cratère repéré par photo aérienne est bien d'origine météoritique.

La Toungouska

On ne peut clore ce chapitre sur l'impactisme sans évoquer la terrible catastrophe qui a frappé le cœur de la Sibérie, 30 juin 1908, à 7 h 47. Les rares habitants de cette région ont observé une fantastique lueur brillante accompagnée d'un bruit assourdissant.

Cela se passait à 80 km au nord de Vana-Vara. La détonation fut entendue à plus de 1 000 kilomètres, le souffle renversant quelques personnes à 40 ou 50 kilomètres de là !

La « chute » qui s'était produite dans une zone boisée, marécageuse, d'accès difficile de la Toungouska fut enregistrée par les sismographes du monde entier.

La première expédition scientifique n'arriva sur place qu'en 1921. Les arbres de la taïga étaient couchés et brûlés dans un rayon de 30 kilomètres, leur disposition permettant de repérer la zone centrale.

Depuis, beaucoup d'autres, et assez récemment, sont retournées sur place pour procéder à de nouvelles observations et effectuer des prélèvements d'échantillons, mais depuis quatre-vingt-dix ans, l'aspect du secteur s'est modifié et des vestiges qui auraient pu servir à conforter une théorie ou une autre ont disparu à jamais.



Le 12 août 1958, les Postes d'U.R.S.S. ont émis un timbre commémorant le cinquantième anniversaire de la catastrophe de la Toungouska avec le portrait d'A. Kulik qui conduisit plusieurs expéditions scientifiques sur place.

L'hypothèse la plus vraisemblable pour expliquer cet événement a été avancée il y a quelques années par les chercheurs russes de l'école de Kiev. Il s'agirait en fait d'une météorite de faible densité, sans doute une chondrite carbonée, d'une centaine de mètres de diamètre, qui aurait explosé en se vaporisant complètement entre 5 et 10 kilomètres d'altitude. Cette dernière proposition est pour l'instant admise par la majorité de la communauté scientifique.

Perséïdes et Léonides

On observe à certains moments de l'année des pluies de météores, nommées communément, dans le langage populaire, « pluies d'étoiles filantes ».

L'une des plus remarquables, qui se produit entre le 10 et le 12 août, est désignée sous le nom particulier de « larmes de la Saint-Laurent », du nom de ce saint fêté le 10 août, ou encore « d'essaim des Perséïdes », du nom de la région du ciel d'où elles semblent provenir. Cette pluie de météores est la plus connue dans nos contrées, car l'été se prête bien à l'observation du ciel nocturne.

Les Léonides sont observées à la mi-novembre, dans la constellation du Lion.

On sait maintenant que ces phénomènes sont liés aux résidus laissés par le passage de certaines comètes. En effet, celles-ci se décomposent tout au long de leur trajectoire et lorsque l'orbite terrestre recoupe cette dernière, des millions de minuscules fragments « s'allument » dans la haute atmosphère.

Les Perséïdes et les Léonides sont connues depuis le Moyen-Âge et reviennent chaque année avec des intensités variables. *Swift-Tuttle* est la comète responsable des Perséïdes et *Tempel* celle qui est associée aux Léonides.

QUELQUES MÉTÉORITES QUI FONT RÊVER

Ensisheim

Ensisheim se situe en Alsace, entre Mulhouse et Colmar. Cette ville est entrée dans l'Histoire il y a cinq siècles, en 1492, à cause de la chute d'une météorite qui est maintenant la plus ancienne conservée en Europe. Cela se passait l'année où Christophe Colomb découvrait l'Amérique !

De nombreux documents mentionnent cette chute, et nous allons relire une partie de celui qui est conservé à la bibliothèque de Strasbourg :

« En l'an de grâce 1492, le mercredi d'avant la Saint Martin, le septième jour de novembre, se produisit un étrange miracle. Ce jour-là donc, entre la onzième et la douzième heure de midi survint un grand coup de tonnerre et un long vacarme qu'on entendit loin à la ronde, puis une pierre de deux cent soixante livres tomba des airs sur le ban d'Ensisheim. Et le bruit fut beaucoup plus fort ailleurs qu'ici. Un jeune garçon la vit s'abattre dans un champ de blé vers le bois situé vers le Rhin et l'Ill, près de Gissgang, et ceci sans faire de mal à l'enfant. Quand le Conseil l'apprit, il se rendit sur place et beaucoup



La météorite d'Ensisheim, en Alsace, la plus ancienne météorite conservée en Europe.

de morceaux en furent détachés, ce que les baillis interdirent ensuite. On fit amener la pierre dans l'église où l'on devait la regarder comme quelque chose de merveilleux, et beaucoup de gens vinrent de partout la voir et on raconta aussi beaucoup de choses curieuses au sujet de cette pierre. Les savants eux-mêmes disaient qu'ils ne savaient pas ce dont il s'agissait et qu'une telle pierre tombant du ciel serait quelque chose de surnaturel. Il s'agirait plus sûrement d'un signe divin dont on n'a jamais vu auparavant, lu ou écrit quelque chose de ressemblant.

Quand la pierre fut trouvée, elle gisait à un mètre de profondeur dans le sol, comme si Dieu avait voulu qu'on la trouve. Et si le bruit s'est entendu jusqu'à Lucerne et Villingen, il fut si fort dans certains villages que les gens crurent que des maisons s'étaient écroulées. »



Le palais de la Régence, à Ensishheim, où est conservée actuellement la météorite tombée en 1492

Ce document, malheureusement non daté, remontant au XVI^e siècle, est cependant l'un des plus détaillés. En fait le document qui a popularisé la chute demeure incontestablement une lettre de Sébastien Brandt, professeur de droit à l'université de Bâle, qui publiait régulièrement un éditorial politique sous forme de lettre. La chute de la météorite d'Ensishheim fut l'occasion pour cet éditorialiste d'assimiler cet événement à un signe divin grâce auquel il essaya d'influencer le prince régnant, Maximilien d'Autriche, pour l'inciter à déclarer la guerre aux Français. En effet, à cette époque, des rivalités territoriales et d'alliances opposaient le roi de France, Charles VIII, et Maximilien. Il semblerait que la lettre ait porté ses fruits, car l'empereur passa avec ses troupes à Ensishheim le 26 novembre 1492, demandant alors que l'on fixe l'aérolithe dans le chœur de l'église. Présage des dieux ou non, toujours est-il que la campagne fut couronnée de succès et les deux parties signèrent le traité de Senlis (23 mai 1493) par lequel Maximilien reprenait, outre sa fille, ex-promise au roi de France, trois provinces : l'Artois, le Charolais, la Franche-Comté.

La météorite allait rester suspendue pendant plusieurs siècles dans le chœur de l'église. Durant la Révolution, en l'an III, en sa qualité de bien ecclésiastique, elle fut mise sous séquestre. On la sortit de ses griffes métalliques pour l'emporter à Colmar où elle se retrouva au musée pour une dizaine d'années. En l'an XIII (1804) elle fut restituée à la ville d'Ensishheim, ne pesant plus que 55 kg, car le Muséum de Paris avait prélevé un échantillon de 10 kg, et le musée de Colmar un autre fragment plus petit. On la remplaça dans le chœur de l'église, bâtiment qui, faute d'entretien, vit son clocher s'écrouler le 6 novembre 1854. Elle fut alors abritée à l'école, puis à la mairie.

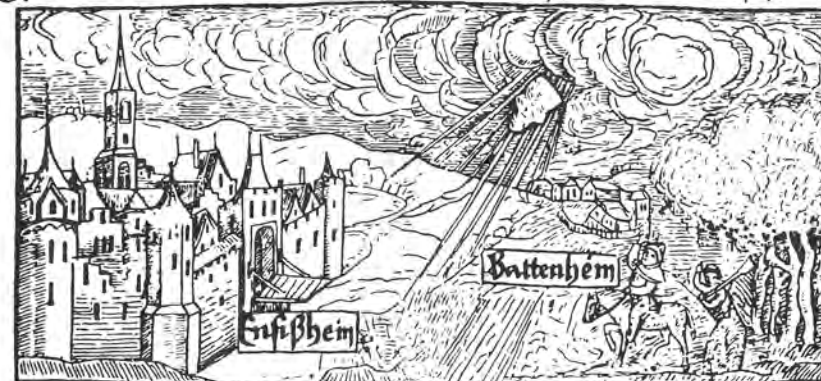
Elle constitue maintenant la pièce maîtresse du musée de la Régence installé dans l'ancien palais du même nom. C'est l'un des endroits à visiter absolument pour tout amateur inconditionnel des météorites.

La météorite d'Allende

On l'appelle encore la « pierre de Rosette de la planétologie ». Champollion, au XIX^e siècle, avait pu déchiffrer les hiéroglyphes grâce à une stèle gravée en trois langues, à

Ci-contre : la lettre de Sébastien Brandt, en latin et en allemand (Bâle, 1492)

Von dem donnerstein gefallē im xcij. jar: vor Ensishheim



Defulgetra anni xcij. Sebastianus Brant.

Erlegat antiquis racula facta. sub anno
Qui voluit et nostris comparare inde dies.
Cui licet fuerint potētia / horēdaq; mōstra
Lucere et celo: flamma / coona / trabes /
Istra diuina / faces / tremor et telluris byatus
Et bolide: Typhon / sanguineus q; polius /
Circulus ut lumē nocturno rpe visum /
Hrēdentes clypeet / nubigenę feze.
Thonabus et vili quondā concurrere montes
Rimorū et crepitus / et tuba terribilis.
Ascpluere et celo visum est / fruges q; calybsq;
Ferrū citam / et lateres / et caro / lana / culo /
Esfercenta alijs ostenta / scripta / libello:
Prodigijs ausim vix simillare nouis.
Visto oia quādē Friderici te in pace primi:
Et tremor in terris / luna q; sol q; triplex.
Dine cruce signatus Friderico rege secundo
Excidit inscrip; gramate / ab hūmbre lapis
Austria quē genuit senior Frideric' / in agros
Terci' hunc pprio . et cadere aua vider.
Rempē q; dringēros / p' mille pegerat annos
Sol nouisq; decem signifer / atq; duos.
Seprē p'reza dat idus / mētemda nouēbris:
Ad mediū curlum tenderat illa breu.
Lum tonat horēdū: c'cepitq; per aera fulmē
Hulitōnū: hic ingens concidit atq; lapis.
Lui spō belte est / aciesq; triangula: obustus
Est color / et terre sōma metalligere.
Missus ab obliquo: errat: visusq; sub auris
Saturni quolcin lūtreze / syduo habet
Seferat huc Ensishēi. Sūgāudis sēfir: agros
Illic influit / de populus humum.
Qui licet in parres fuerit distractus vbiq;
Pond' ad ductanē hoc p'inet / ecce vide.
Qui mē est poruile hycmis cecidisse oieq;
Aut fieri in rāto frigore agēnes?
Er nūl anagore referant monimēta: molarē
Collūm lapidē. credere et illa negem.
Ihic it auditus fragor: vndiq; litore / Rheini:
Audijt hunc / q; p' r'um' alpicoia:
Rouica vallis eil. / Sacu' / Rherry stupebāt:
Allobroges timeant: Francia certe tremi.
Quicqd id ē / magnū potēdū: c'cedē / lūtu p'
Dmen: ar id vnuat hostib' oro malis



Ich wunder mancher fremder geschicht
Der merck vnd les auch diß bericht
Es sint geschehen wunder vil
Im lust: / omet vud füren pfil.
Brinnend fackel / flamme vnd krou.
Wild kreiß vn d zirckel vmb den mont
Am hymel: blüt / vnd füren schilt /
Begen noch form der thier gebild:
Stoß bruch des hymels vnd qer eid /
Eind ander vil selgen geberd
Iratzlich zerliessen sich zwen berg /
Brüßlich trümet / vnd harnesch werck /
Ißen / milch / regen / stahel korn
Ziegel flach / woll / von bymeis zorn
Als auch ander der wunder glich
Wann by dem ersten Friderich
Roch at bydem vnd finsternis
Sach man oris sunn vnd mon gewis
Eind vnder keyser Friderich
Dem ondern / siel ein stein gräflich
Sin form was groß / ein cruz dar jun
By wil des dritten Friderich
Geboren harr von Österreich
Regt har in diß sin egen landt
Der stein der hie ligt an der wande
Als man zalt vierzehen hundert Jar
Eiffant Florentzen tag ist war
Huntzig vnd zwa vnd murtanag
Geschach ein grusam donnerschlag /
Brizentner schwer siel diser stein
Wie in dem feld vor Ensishelm /
Dn eck hat der verschwertz: gat
Wie ertz gestalt vnd erde yar
Ouch ist gesehen in dan lust
Slymbes siel er in erde kir sit
Elen stuch sint komen hin vnd jar
Eind wir zersuert siel sich in gar
Lanow / Flecker / Rhy / Jll / vnd Bin
Switz / Elu / hied en klapp der z:
uch doert ei den Burgunden ve:
In forchen die Frau zosen fe:
Bechtlich sprach ich das es bedüt
Eil bfunde plag der selben iut.

Römischen künig:

Burgundisch heitz von die nit wich
Römisch ere vrd türscher naon
An dir o hüchster künig fran
Rym war der stein dir gesant
Dich mant gott in dim eigen lant
Was du dich stellen solt zu wer
D künig milt für vß dm her
Eing harnesch vnd der büchsen wuch
Er lümet herischdi / frantzösisch erich
Duch mach den groffen hochnüt zam.
Bett schirm dir ere vnd aüen nam.

An Maximilianum

Ich für dich rechts o Adler milt.
Erlich sint wapen in dim schilt
Bruch dieh noch eren gen dun fudt
An dem all truw vulere ist blündt
Schl ag redlich vnd mu fröuden dia
Eind ymb das radez armitan
In dim geucl das gluck jetzt stat
Ach sün dich nit stümi nit zu spat
Mit soz den vnfal vß diß Jar
Mit soicht din fünd alomid ein har
Sigleib / vnd heyl von Österreich

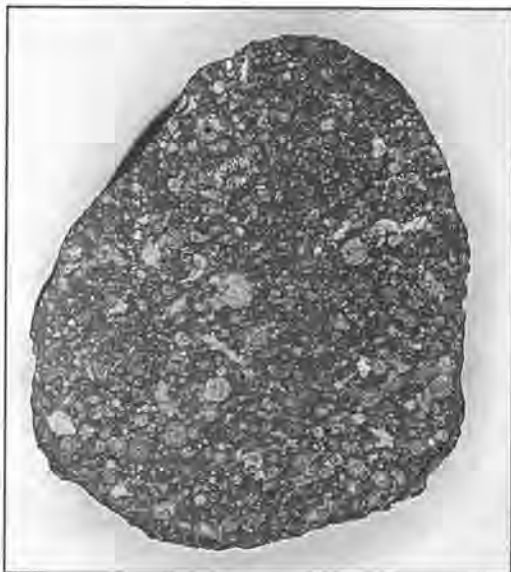


12. 9. 2.
Rüt on vß fact
3. B

savoir le grec, le démotique et l'égyptien hiéroglyphique ; par analogie, certains auteurs scientifiques n'ont pas hésité à baptiser les échantillons de la chute d'Allende comme étant la pierre de Rosette de la planétologie. En effet, les particularités de cette météorite induisent des thèmes de recherche inépuisables, les publications se comptant par centaines, et le nombre d'équipes qui, à travers le monde, travaillent le sujet, dépasse la cinquantaine.

C'est en pleine nuit, à 1 h 05, le 8 février 1969, que cette météorite arriva sur Terre, dans le nord du Mexique. Il y eut plusieurs explosions et les fragments se dispersèrent tout autour du petit village d'Allende, dans l'État de Chihuahua, sur une zone semi-désertique qui se prête assez bien à la récolte de spécimens. On admet qu'à ce jour plus de trois tonnes ont été ramassées dans une aire assez vaste, de plus de 150 km².

Il s'agit d'une météorite carbonée notée CV3 : « C » pour « carbonée », « V » pour Vigarano, nom de la météorite de référence tombée en Italie en 1910, « 3 » pour le type pétrologique, à chondres bien visibles. Les météorites carbonées sont extrêmement rares sur Terre ; avant cette chute, nous n'en possédions que quelques dizaines de kilogrammes dans nos collections.



Fragment de la météorite d'Allende (Mexique)
avec ses diverses inclusions blanches.



Fragment de la météorite d'Allende
(Mexique) pesant 6 kg

« Allende » est truffée d'inclusions blanches qui sont en fait des oxydes et des silicates de calcium, de titane et d'aluminium ; ces inclusions, datées par la méthode iode/xénon, se sont révélées être les fragments de roches les plus anciens que nous connaissions à travers tout le système solaire. Celles-ci se seraient formées 200 millions d'années avant les météorites les plus primitives.

Ces inclusions blanches repérées pour la première fois par Mireille Christophe, minéralogiste au CNRS, furent la confirmation du modèle par condensation pour expliquer la formation du système solaire, théorie qui avait été émise en 1957 par Harold Urey.

Cette théorie restait en suspens faute de preuves. D'après celle-ci le système solaire se serait formé par refroidissement d'un gaz chaud et homogène, de composition identique au Soleil. On aurait alors la formation préférentielle de certains minéraux, au fur et à mesure du refroidissement. Vers 1 300 °C on voit d'abord se former les fameux oxydes d'aluminium et de calcium, puis, vers 1.050 °C, se condenser le fer métallique. Vers 950 °C apparaît l'olivine, un silicate particulier. Enfin, vers 450 °C et au-dessous, se forment les silicates hydratés, puis la serpentine, la magnétite, et ce scénario était compatible avec la variété des roches terrestres, mais l'on ne connaissait pas sur Terre ces minéraux réfractaires formés vers 1 300 °C.

Les météorites carbonées venaient de nous fournir le chaînon manquant. La théorie du modèle par condensation était l'explication idéale et les scientifiques au début des années soixante-dix pensaient avoir réglé définitivement le problème de la formation du système solaire. Mais en fait les études poursuivies sur ces petits fragments de la météorite d'Allende allaient infirmer cette hypothèse et, de nouveau, plonger le monde scientifique dans un débat acharné.

On s'était très vite aperçu que cette météorite présentait une panoplie d'anomalies isotopiques. En 1973, Robert Clayton, professeur à l'université de Chicago, étudiait l'abondance relative des différents isotopes de l'oxygène. Cet élément est très abondant sur Terre où on le trouve dans l'air, dans les roches et dans l'eau. L'isotope principal est l'oxygène 16, un autre isotope souvent mesuré étant l'oxygène 18. Le rapport oxygène 16/oxygène 18 est un indicateur géochimique dont la variation par comparaison avec un étalon fixe, l'eau de mer, permet par exemple de déterminer dans quelles conditions climatiques vivait un fossile en analysant simplement sa coquille. Les variations restent toutefois très faibles, de l'ordre du dix millième et les mesures au spectromètre de masse demandent une grande expérience et un étalonnage fréquent. Cela explique qu'un autre isotope, l'oxygène 17, avec des variations encore plus faibles, soit peu étudié. Clayton, au cours de ses travaux, s'aperçut que l'oxygène des inclusions blanches d'Allende était particulièrement riche en oxygène 17, avec des variations observées jusqu'à 7% par rapport à l'eau de mer servant de référence. En 1974, Lee et Papanastassiou étudiaient les variations du magnésium dans les inclusions blanches de cette météorite, y découvrant également des anomalies dans les rapports magnésium 24/magnésium 25 et magnésium 26/magnésium 25 qui se chiffrent également à quelques pour cent.

Enfin, dès 1969, on s'était aperçu que la répartition des différents isotopes de deux gaz rares, le néon et le xénon, était bien différente de ce que l'on connaissait sur Terre. Il aura fallu quinze années aux chercheurs pour localiser ces gaz à l'intérieur de la météorite inclus dans des microdiamants dont la météorite d'Allende est truffée. Ceux-ci sont des grains minuscules, constitués seulement de quelques atomes, ne dépassant pas le millionième de millimètre. La panoplie des isotopes du carbone était également anormale.

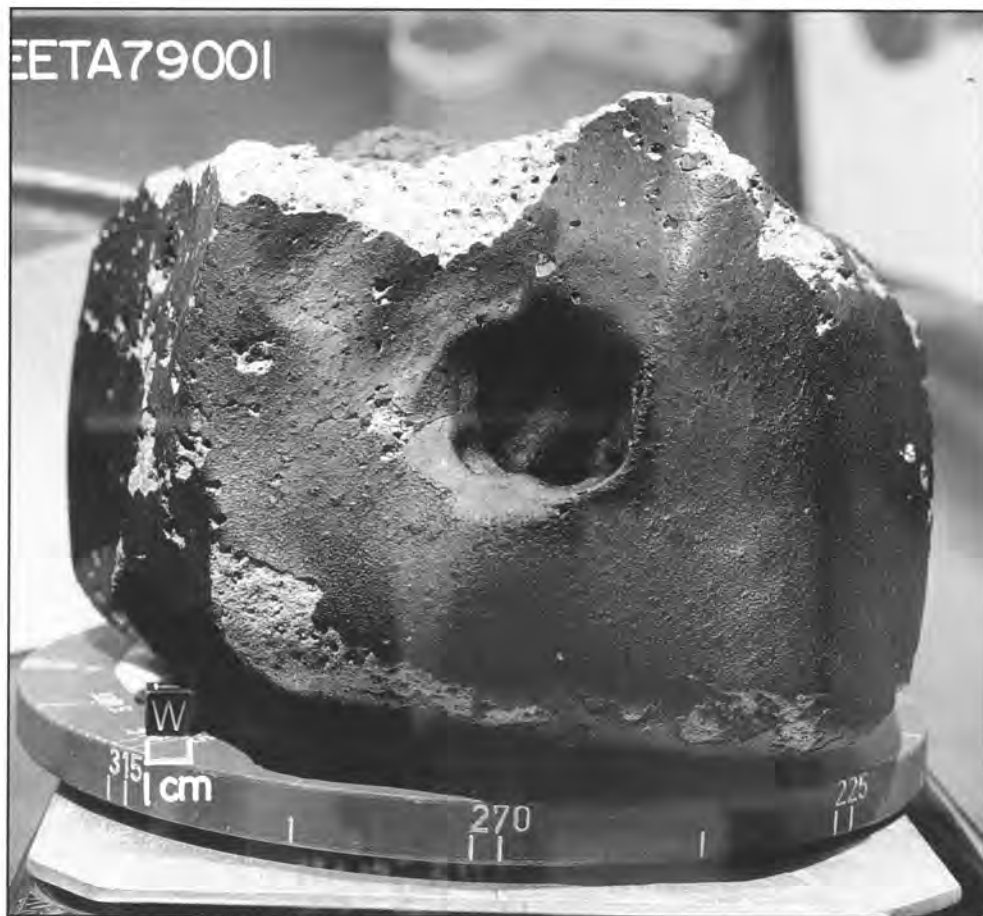
De plus certains échantillons présentent des anomalies avec le magnésium, mais pas avec l'oxygène, et inversement. L'hétérogénéité des résultats ne varie plus seulement d'une météorite à l'autre, mais dans le même corps, d'une zone à l'autre.

Cette fois-ci les scientifiques se posent de sérieuses questions, car l'origine de ces variations isotopiques ne peut provenir ni d'un phénomène physico-chimique, ni d'une filiation radioactive. Les anomalies reflètent directement celles de la nébuleuse pré-solaire. La théorie du modèle par condensation pour expliquer la formation du système solaire à partir d'un gaz chaud et homogène devient caduque.

Parmi les hypothèses actuelles les plus plausibles, on pense que pour interpréter ces anomalies, il faut admettre la présence de « grumeaux » pré-solaires existant au moment de la formation du système solaire, ceux-ci devant être liés à la nucléosynthèse d'une ou de plusieurs étoiles. En effet, dans l'enveloppe des géantes rouges arrivant au terme de leur vie il peut se former de tels grains. Ce groupe d'étoiles massives aurait explosé en un feu d'artifice de supernova à proximité de la nébuleuse pré-solaire en y projetant ses débris. L'onde de choc aurait induit l'amorce de la contraction du nuage de poussières qui se serait effondré sur lui-même pour créer notre Soleil et ses planètes.

Ce qui est formidable, c'est que de telles théories puissent être bâties grâce à l'étude de petits cailloux, *a priori* bien banals. Lorsqu'on fait le bilan des originalités de cette météorite, elle devient magique, avec un grand « M ».

	shergottite	sol martien	basalte terrestre
SiO ₂	50,4	53,9	47,3
FeO	19,3	19,7	10,5
CaO	9,6	6,7	12,8
MgO	9,3	10,0	10,2
Al ₂ O ₃	7,0	6,8	16,3
TiO ₂	0,9	1,0	1,0
K ₂ O	0,2	0,4	0,05



« EETA 79001 » trouvée dans l'Antarctique en 1979. Ce fut l'une des premières météorites à être étudiée, que l'on suppose originaire de la planète Mars.
(Photo NASA - avec son aimable autorisation)

Les S.N.C.

Possédons-nous sur Terre des météorites d'origine martienne ? Ce n'est pas impossible !

Tout a commencé en 1983 lors de la quatorzième conférence annuelle sur la Lune et l'espace qui se déroulait à Houston (Texas, U.S.A.). Cette ville a été impliquée dès le début de l'aventure spatiale, car c'est le siège du Centre de contrôle de la NASA, et que c'est ici que sont conservées dans un bunker, sous atmosphère neutre et stérile, la plupart des roches lunaires et des météorites trouvées dans l'Antarctique.

Chaque année les scientifiques du monde entier se réunissent pour développer et confronter leurs résultats et leurs nouvelles théories. Cette année-là, deux chercheurs du Minnesota prirent la parole de façon informelle ; ils étudiaient deux achondrites riches en calcium trouvées dans l'Antarctique, « ALHA 77005 » et « EETA 79001 ». La première anomalie qu'ils avaient constatée était liée à l'âge de ces deux échantillons. Ils dataient leur formation de 1,3 milliard d'années, ce qui était bien différent des 4,5 milliards habituellement mesurés pour les météorites.

Mais le déclic s'est vraiment produit lorsqu'ils dépouillèrent les résultats obtenus par la méthode du dégazage progressif. Cette expérience consiste à enfermer l'échantillon dans un vide le plus parfait possible puis à le chauffer progressivement jusqu'à 1 300 °C environ et à analyser l'éventail des différents isotopes des gaz émis. Ils furent



La météorite de Zagami fait partie du groupe des S.N.C., supposées provenir de la planète Mars.



Le village de Chassigny en Haute-Marne (France)

immédiatement surpris par l'importance du rapport azote 15/azote 14, et ils eurent l'idée de le comparer avec les résultats fournis par les diverses sondes *Viking* qui avaient analysé l'atmosphère martienne. Là également, le rapport azote 15/azote 14 était important, car pour cette planète, on admet que l'isotope léger a dû s'échapper lors de sa formation.

Ces deux météorites sont des shergottites, du nom de la météorite-type tombée en Inde au XIX^e siècle. L'analyse chimique les montre constituées presque exclusivement de plagioclase et de pyroxène. Leur structure fait penser à certaines roches volcaniques voisines des basaltes terrestres formés par un empilement de cristaux au fond d'une chambre magmatique.

Si l'on compare l'analyse chimique de ces deux météorites avec celle du sol martien, et celle d'un basalte terrestre, on ne peut pas nier une certaine similitude des deux premières colonnes :

Mais le fantastique ne s'arrête pas là, car on a également retrouvé dans ces météorites des vacuoles tapissées de maskélynite, une sorte de verre amorphe qui ne se forme qu'à très haute pression à partir de plagioclases. On a analysé les gaz contenus dans ces vacuoles, en particulier l'argon 40, isotope qui résulte de la transmutation naturelle de l'isotope-parent, le potassium 40, lui-même radioactif et instable. Le rapport d'argon 40/potassium 40 pour un échantillon déterminé va donner l'âge de formation de ces vacuoles ; plus le rapport est élevé, plus l'échantillon est ancien. Ici, on découvre qu'elles ont été formées il y a 180 millions d'années. Le scénario peut donc s'écrire de la manière suivante : il y a 1,3 milliard d'années une lave se forme et s'épanche à la surface de Mars, planète beaucoup plus petite que la Terre, en diamètre et en masse, qui possède une vitesse de libération deux fois moindre. Il y a 180 millions d'années une météorite arrive de façon rasante et éjecte une partie du sol martien. Lors du choc, certains cristaux de plagioclase se transformaient en maskélynite. En étudiant d'un peu plus près ces météorites et l'effet du rayonnement cosmique (RCG), on s'aperçut qu'elles avaient subi un choc ultérieur, bien moins important, il y a 2 millions d'années, lors de la collision de deux planétoïdes vagabonds de l'espace. Elles finirent par se faire piéger par l'attraction terrestre et par tomber sur Terre il y a quelques dizaines d'années seulement.

En fait, grâce à l'étude de ces deux météorites de l'Antarctique on a pu créer tout un groupe de météorites que l'on appelle les « S.N.C. », abréviation des trois chutes principales : Shergotty, Nakhla, Chassigny. Toutes sont des achondrites, et toutes ont un âge de formation voisin du milliard d'années ; de plus toutes les analyses des météorites de ce groupe par la méthode du dégazage progressif donnent des résultats similaires.

Des météorites lunaires

L'origine de météorites venant de Mars est encore controversée, faute de preuve formelle et il faudra attendre quelques années pour que des sondes automatiques ramènent quelques échantillons de cet astre et permettent de procéder à des analyses comparatives en nombre suffisant. Par contre, le monde scientifique admet que nous avons dans nos collections des météorites d'origine lunaire ; en effet, ici, la comparaison est plus facile grâce aux nombreux kilos ramenés par les Américains et par les Soviétiques.



« ALHA 81005 ». Cette météorite de 38 g a été trouvée dans l'Antarctique. Ce fut la première à être reconnue d'origine lunaire.
Photo NASA - Avec son aimable autorisation)

La première météorite reconnue d'origine lunaire provient elle aussi de l'Antarctique : c'est « ALHA 81005 ».

Elle fut d'abord sélectionnée du fait de son aspect physique : une brèche multiple constituée de grains blancs d'anorthosite et de grains noirs basaltiques, le tout étant noyé dans un gel siliceux brunâtre.

Les premières analyses s'avèrent si captivantes que six mois plus tard (vers fin 1982) vingt deux équipes travaillaient à décrypter les mystères de ce petit caillou de 38 grammes. Elles montrèrent que les rapports oxyde de manganèse/oxyde de fer et potassium/lanthane étaient en concordance exceptionnelle avec les échantillons en provenance de la Lune. Mais le plus significatif fut l'étude des rapports isotopiques des différents oxygènes, oxygène 18/oxygène 16 et oxygène 17/oxygène 16, ceux-ci également en accord parfait avec les roches d'origine lunaire. Le scénario est donc identique à celui proposé pour les météorites martiennes, mais ici la vitesse de libération est encore plus faible et l'éjection plus aisée.

On admet aujourd'hui que ce phénomène se produit assez fréquemment sur notre satellite, certains avançant le chiffre d'un millier de tonnes de roches lunaires arrachées annuellement de cette façon. La Terre n'en récupérerait qu'une faible partie, mais nous en possédons peut-être dans nos collections plus que nous ne pouvons l'imaginer.

LA MORT DES DINOSAURES

Tout le monde a entendu parler des dinosaures, surtout parce que certains d'entre eux, une minorité en fait, ont atteint une taille considérable par rapport à la nôtre et une morphologie des plus spectaculaires : épines dorsales impressionnantes, longueur pouvant dépasser trente mètres, mâchoires armées de dents de trente centimètres.... Ces animaux se sont développés et ont évolué durant des millions d'années, les paléontologues les divisant du reste en deux grands groupes très différents.

Leur disparition relativement brutale (mais on ignore encore combien de dizaines ou de centaines de milliers d'années elle a demandé) a suscité à ce jour plus de soixante-dix théories, recensées par un Américain, et qui tentent d'expliquer pourquoi ils n'ont pas dépassé ce que les géologues appellent la fin du Secondaire (il y a 65 millions d'années).

Parmi ces explications, la chute d'une ou de plusieurs météorites, simultanément ou à des périodes rapprochées, a été retenue, et certains, actuellement, ont adopté cette théorie.

Vers les années soixante-dix on a observé qu'une fine couche d'argile séparant les terrains secondaires (dans lesquels on trouve des os de dinosaures) des terrains tertiaires, postérieurs (dans lesquels on n'a encore jamais retrouvé d'os de dinosaures) se retrouvait dans quelques endroits privilégiés à travers le monde. C'est Isabella Premoli-Silva de l'université de Milan, qui, la première, mit cette couche en évidence au sud de Gubbio, en Ombrie (Italie), dans une petite carrière sise en bord de route. Depuis lors, ce site a connu un tel succès que pour accéder à ce dépôt, il faut pratiquer des sondages dans les champs du plateau supérieur.

On désigne cette couche sous le nom de « limite KT » (« K » pour Crétacé - *Kreidezeit* en allemand - et « T » pour Tertiaire - *Tertiär* en allemand). Les chercheurs ont très rapidement découvert qu'elle était anormalement riche en iridium, un métal rare à la surface de la Terre, mais dix mille fois plus concentré dans les météorites. Cette découverte a été faite accidentellement par Walter Alvarez grâce à une suggestion de son père, Luis Alvarez, prix Nobel de physique. Il cherchait à déterminer le temps nécessaire à un dépôt sédimentaire d'une épaisseur donnée. Pour ce faire, Luis Alvarez proposa à son fils de calculer la quantité d'iridium contenu dans cette couche, partant du principe que ce métal, à la surface terrestre, provient des poussières météoritiques et que son flux est constant. Il devait très vite s'apercevoir de l'anormalité de la couche KT avec sa teneur en iridium considérablement supérieure. Dès 1980, les Alvarez publiaient leur hypothèse : c'est une énorme météorite de dix kilomètres de diamètre qui a frappé la Terre à la fin du Crétacé qui expliquerait la disparition de nombreuses espèces, dont les dinosaures.

L'idée lancée fut accueillie avec scepticisme par les paléontologues et la communauté scientifique en général.

Toutefois, les études se multipliant, on retrouvait dans cette couche KT des traces de suie, des microtectites, puis, surtout, d'infimes fragments de quartz clivable, cette structure étant la signature caractéristique d'un impact météoritique. Mais l'argument principal des détracteurs de cette théorie s'appuyait sur le fait que l'on n'avait pas découvert



En 1986, la Mauritanie a émis un bloc-feuillet (valeur de 18 um) en l'honneur de W. Huggins, illustré d'un dessin d'imagination montrant la chute de la météorite qui aurait tué les dinosaures. (Dessin d'après celui de J. L. Puvillaud)

l'astroblème laissé par la météorite qui devait être d'une taille énorme. Il semblerait que l'on vienne de le localiser, en 1991, au large du Yucatan (Mexique) : il s'agit d'un « cratère » de 170 km de diamètre initial, mi-terrestre, mi-marin.

L'effet d'un tel cataclysme n'a jamais, bien heureusement, été observé de mémoire d'homme, mais de nombreux calculs et simulations sur ordinateur ont été réalisés : sans compter les conséquences immédiates dues à la surpression, au souffle, à la chaleur dégagée dans un rayon de dix fois celui de l'astroblème, la chute de la météorite a dû engendrer des effets qui allaient modifier notre planète tout entière. L'impact marin provoquait un colossal raz-de-marée (*tsunami*). On estime qu'une vague d'un kilomètre de hauteur a dû pénétrer très profondément dans les continents, avec des flux et des reflux. La surpression créée par l'arrivée du bolide a entraîné dans la haute atmosphère une grande quantité de poussière (mélange du substratum et de la météorite). Ces particules ont généré un véritable écran opaque tout autour de notre planète qui fut ensuite alimenté par la fumée d'incendies gigantesques déclenchés par la retombée de blocs incandescents. Il s'en suivit un « hiver nucléaire » et la baisse de luminosité stoppa la photosynthèse, entraînant la mort de nombreux herbivores, particulièrement celle des plus gros dinosaures.

Pour expliquer l'extinction de nombreuses espèces marines, dont les ammonites, on admet que ces incendies auraient dissocié l'azote atmosphérique, celui-ci s'étant recombinaison avec la vapeur d'eau dont l'atmosphère devait être saturée, pour former des « pluies acides ». Des traces de cette hypothèse subsistent dans les sédiments adjacents à la couche KT.

La crise biologique majeure qui est survenue à la fin du Crétacé n'est pas la seule à avoir affecté notre planète au cours des temps géologiques. Les savants chinois essaient

de relier la fin du Trias (il y a 195 millions d'années) avec l'impact d'un autre astéroïde dont ils ont retrouvé les traces dans des sédiments au Yunnan. Il faut toutefois constater que ces diverses crises, au cours des 600 millions d'années pendant lesquelles la vie s'est différenciée n'ont jamais été un obstacle rédhibitoire, et que grâce à la disparition de certaines espèces, d'autres sont arrivées à leur apogée. Ainsi, par exemple, la crise qui nous occupe, à la fin du Crétacé, a-t-elle permis aux petits mammifères, et finalement à l'Homme, d'occuper de nouvelles niches écologiques et de poursuivre cette évolution.

LA PANSPERMIE

Si la disparition des dinosaures a suscité tant de théories, l'apparition, le « pourquoi » de la vie sur la Terre, en a généré incontestablement tout autant, sinon plus.

L'apport de la vie, sous forme de semence, venue ou ne sait trop d'où, a très bien pu être le rôle de météorites et des scientifiques le soutiennent.

La théorie de la panspermie remonte au XIX^e siècle. Elle avait été formulée par le chimiste suédois Arrhénius. A l'époque, on admettait que des spores ou des bactéries avaient été emprisonnées dans une météorite pour arriver sur Terre. Actuellement cette hypothèse a un peu évolué, mais l'idée directrice reste identique. Les premières traces de vie sur Terre remontent à 3,5 milliards d'années : ce sont ces fameux bancs de stromatolithes (en fait les restes d'une variété d'algues) que l'on retrouve en Australie, en Afrique... Notre planète aurait donc étéensemencée bien avant par des amino-acides, ceux-ci bénéficiant des conditions favorables pour conduire aux protéines, elles-mêmes à l'origine du monde vivant. Nous sommes loin d'avoir compris toutes les étapes, mais le scénario est assez plausible pour être défendu par de nombreux scientifiques, surtout après l'analyse de certaines météorites carbonées.

Des études controversées sur les rares exemplaires arrivés, à notre connaissance, sur Terre (une dizaine) ont reconnu, à côté de l'olivine (40%), du pyroxène (30%), des plagioclases (10%), du ferro-nickel (3 à 10%), de la troïlite (6%), de la chromite, de la tridymite, de la cristoballite, du spinelle, 10% de composés organiques, corps aliphatiques ou aromatiques, acide carbonique...

La question essentielle est de savoir, si, malgré toutes les précautions prises lors du ramassage, il n'y a pas eu contamination par l'environnement terrestre.

Les premières découvertes d'acides aminés extraterrestres avaient été faites au cours des années soixante par des chercheurs américains étudiant des échantillons de la météorite d'Orgueil (France), tombée en 1854. Il s'était alors élevé bien des critiques quant aux processus expérimentaux et à l'ancienneté des spécimens.

Depuis, grâce aux études effectuées sur les échantillons de Murchinson (Australie, 1969) dont les fragments avaient été ramassés rapidement après la chute, on a pu établir, là aussi, la présence d'acides aminés « exotiques » présentant une panoplie d'isotopes possédant une signature extraterrestre.

En effet, on a trouvé que les rapports carbone 13/carbone 12 et deutérium/hydrogène sont de façon significative plus élevés dans les composés organiques extraterrestres que dans les composés organiques terrestres. Ceci serait lié à la présence de grains interstellaires dans les météorites carbonées (cf. hypothèse sur l'origine du système solaire grâce à « Allende »).

L'hypothèse de la vie extraterrestre importée sur Terre est très séduisante et régulièrement les astrophysiciens apportent par leurs recherches des éléments supplémentaires. Ainsi la découverte de molécules de plus en plus complexes dans les nuages moléculaires intergalactiques a fait dire à Sir Fred Hoyle que ceux-ci sont « ... les berceaux les plus naturels pour la Vie ».

CONCLUSION

Les météorites sont des objets exceptionnels par leur origine bien sûr, mais aussi parce qu'elles ont conservé intactes des informations précieuses pour les scientifiques.

Il faut donc s'y intéresser avec respect.

Si vous avez la chance d'observer une chute et de pouvoir en ramasser quelques morceaux, il faut, le plus rapidement possible, les envelopper dans des sachets en plastique pour les préserver de la pollution ambiante et les faire parvenir au Muséum national d'histoire naturelle de Paris, Section des météorites, qui est l'organisme centralisateur pour la France.

Les météorites sont des objets atypiques et actuellement nous connaissons peu de gens qui peuvent donner sur elles un avis spécialisé. La science est de plus en plus complexe et l'*Homo universalis* du XIX^e siècle n'existe pratiquement plus. C'est pourquoi si vous habitez la province il vaut mieux vous adresser directement au sommet de la pyramide et ne pas hésiter à prendre rendez-vous avec un patron de laboratoire.

Une collection de météorites est une entreprise difficile. Les objets disponibles sont rares. Une bonne filiation est un gage de plus-value éventuelle et il ne faut pas hésiter à demander un certificat d'authenticité avec description précise de l'échantillon : poids, dimensions, origine, prix,... Pour un débutant, les météorites les plus accessibles sur le marché sont les spécimens de Canyon Diablo (Arizona - U.S.A.) ou de Gibbeon (Namibie). Ce sont des sidérites et leur prix est en général de quelques francs par gramme. L'étape suivante est souvent l'acquisition d'un fragment d'Allende (Mexique). Nous avons la chance que cette chute ait été abondante, et malgré l'intérêt qu'elle suscite, le prix en est encore raisonnable.

Enfin, si lors de vos promenades vous découvrez quelques objets « suspects », n'hésitez pas à les préserver et à les faire expertiser lors d'un déplacement à Paris.

Bonne chance !

POUR EN SAVOIR PLUS

- ALLÈGRE, C. (1985) - *De la pierre à l'étoile*. Fayard, Paris.
 ALLÈGRE, C. (1992) - *Introduction à une histoire naturelle*. Fayard, Paris.
 AYER, J. () - *Tombé du ciel, météorites et catastrophes*.
 CARION, A. (1997) - *Les météorites et leurs impacts*. 2^e édition, Masson, Paris.
 Collectif (1996) - *Les météorites*. Bordas & MNHN de Paris, Paris.
 FRANKEL, C. (1996) - *La mort des dinosaures : l'hypothèse cosmique*. Masson, Paris.
 KURAT, G. & MAURETTE, M. (1997) - *Matière extraterrestre sur terre*. Michael Ittah.
 MARCHAT, Cl. (1996) - *Les structures d'impacts météoritiques. Un exemple en France ; Rochechouart - Chassenon*. Ass. Pierre de Lune, Rochechouart.
 MAURETTE, M. (1993) - *Chasseurs d'étoiles*. La Villette, Paris.
 MONOD, Th. & ZANDA, B. (1992) - *Le fer de Dieu*. Actes-Sud, Arles.
 NORTON, R. (1998) - *Rocks from space*. 2^e édition, Mountain Press, Missoula, Montana, USA.

Achévé d'imprimer le 18 mai 1998

Imprimerie Landais

Dépôt légal - Mai 1998

Tableau établi par A. Daubrée (1867) et S. Meunier (1874)

