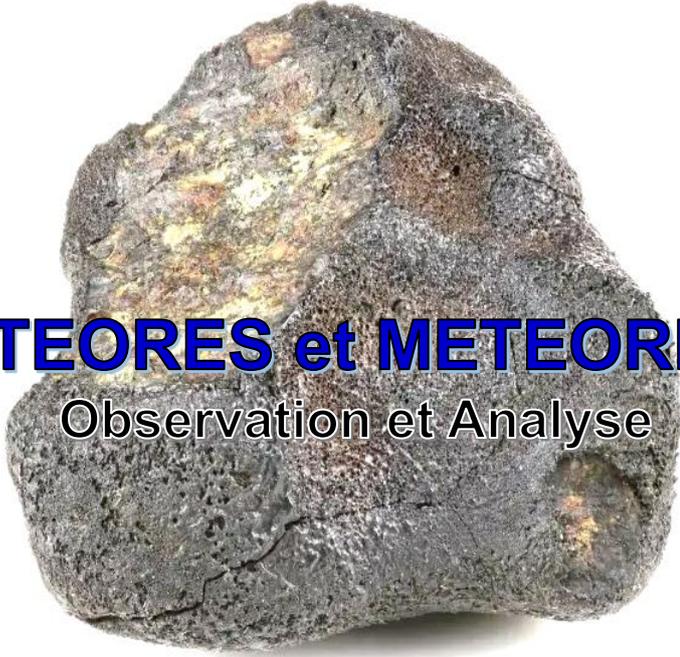


20 FEVRIER 2024



METEORES et METEORITES

Observation et Analyse

REGIS KIEFFER
CLUB D'ASTRONOMIE LONGEVUE
COMPILATION ET VULGARISATION

A la mémoire d'Alain MULLER

Table des matières

METEORES, METEOROIDES ET METEORITES - GENERALITES	2
Définitions	2
La mécanique du vol d'un météoroïde	2
L'OBSERVATION DES METEORES	2
La préparation d'une observation visuelle	2
Les méthodes d'observation	2
Quand planifier une session d'observation ?	3
Où observer ?	3
L'équipement	3
Comment préparer une session d'observation ?	3
Le déroulement d'une session d'observation	4
Déterminer la magnitude limite	4
Que faire lorsqu'un météore apparaît ?	4
Relever les paramètres essentiels	4
A qui adresser un rapport d'observation ?	4
L'International Meteor Organization (IMO)	4
Les projets Vigie-Ciel et FRIPON	4
LES METEORITES	5
Les différentes catégories de météorites	5
Les météorites primitives ou météorites non différenciées	5
Les météorites différenciées	5
Comment se comporter face à une météorite ?	5
Analyser les circonstances de la découverte	5
Examiner la météorite	6
Protéger une météorite après sa découverte	6
Effectuer les tests primaires	6
Les tests approfondis	7
La recherche du nickel	7
Le test à l'acide	7
Le recours aux experts	7
Les pseudo-météorites	8
Les pseudo-météorites naturelles	8
Les pseudo-météorites artificielles	8
DESCRIPTION SOMMAIRE DES PRINCIPALES METEORITES	8
Les Chondrites	8
Les Achondrites	8
Les météorites ferreuses (sidérites)	8
<i>Les Pallasites</i>	9
BIBLIOGRAPHIE	9

METEORES, METEOROIDES ET METEORITES - GENERALITES -

Définitions

A l'origine, le mot "**météore**" (du grec ancien "meteoros" qui signifie "en haut", "qui s'élève") désignait tous les phénomènes visibles dans le ciel. De nos jours, sa signification a évolué et un météore n'est plus qu'une traînée lumineuse produite par un corps extraterrestre lors de son entrée dans l'atmosphère. Ce corps est appelé "**météoroïde**".

Les plus petits météoroïdes, d'un diamètre inférieur à celui d'un grain de sable, se volatilisent rapidement et entièrement dans l'atmosphère à des altitudes supérieures à 100 km. Les météores résultant de leur désintégration sont appelés "étoiles filantes". La plupart de ces petits météoroïdes sont des poussières cométaires qui forment dans l'espace de véritables nuages que la Terre traverse périodiquement au cours de son orbite. Certaines périodes de l'année sont donc plus propices que d'autres pour observer les "pluies d'étoiles filantes".

Les "**bolides**" sont des météoroïdes plus gros dont le diamètre varie d'un centimètre à quelques décimètres. Malgré leur plus grande taille, ils se volatilisent eux aussi presque entièrement lors de leur entrée dans l'atmosphère. Seuls quelques résidus microscopiques en chute libre parviennent jusqu'au sol. La phase de désintégration d'un bolide produit un météore très lumineux dont la magnitude est souvent supérieure à -4. Elle produit parfois un son grave s'apparentant à un coup de tonnerre.

Les météoroïdes dont le diamètre initial est supérieur à celle d'un bolide et dont la masse peut excéder plusieurs tonnes sont plus rares. Ces objets finissent généralement par se fragmenter lorsqu'ils pénètrent dans les couches denses de l'atmosphère entre 70 et 50 km d'altitude. Leur descente dans l'atmosphère produit un météore très brillant qui disparaît lorsque le météoroïde se fragmente. Certains fragments tombent alors en chute libre vers le sol et sont appelés "**météorites**".

	Diamètre avant entrée dans l'atmosphère	Comportement lors de l'entrée dans l'atmosphère	Phénomène lumineux associé	Remarques
METEOROIDES	Moins d'un centimètre	Volatilisation rapide et complète dans les hautes couches atmosphériques	Etoile filante	Aucun résidu ne parvient jusqu'au sol
	Entre un centimètre et quelques décimètres	Volatilisation presque complète dans l'atmosphère - Chaleur intense	Bolide	Seuls quelques résidus microscopiques parviennent sur Terre
	Supérieur à quelques décimètres	Fragmentation après une phase de vol supersonique - Quelques fragments parviennent jusqu'au sol	Bolide durant la phase supersonique L'émission de lumière cesse après la fragmentation	Des fragments parfois de taille importante atteignent le sol : les météorites

La mécanique du vol d'un météoroïde

Un météoroïde traverse les couches supérieures de l'atmosphère à une vitesse largement supersonique. Il génère donc une onde de choc associée à une lumière intense (*le météore*) et à un son caractéristique. La température de l'air environnant s'élève alors à plusieurs milliers de degrés Celsius et sa chaleur se transmet au météoroïde dont la couche superficielle se met à fondre. Une partie de la matière fondue se disperse dans l'espace et le reste se vaporise. La perte de masse résultant de la fusion peut atteindre 95% de la masse initiale du météoroïde. Cette perte de masse est appelée "**ablation**".

L'air comprimé ralentit la chute du météoroïde dont la vitesse décroît rapidement et redevient subsonique. A ce stade, l'échauffement diminue et la couche superficielle en fusion se refroidit et se fige, formant ce que l'on appelle une "**croûte de fusion**". Celle-ci mesure rarement plus d'un millimètre d'épaisseur car la chaleur n'a généralement pas eu le temps de pénétrer profondément dans la partie non ablatée du météoroïde. Très souvent d'une couleur sombre et d'un aspect vitreux caractéristiques, cette croûte permet souvent de repérer une météorite parmi les autres roches endogènes de notre planète.

Nota : Lors de leur entrée dans l'atmosphère, les étages des fusées ou les satellites artificiels produisent également des météores mais ces objets conçus par l'homme ne sont pas des météoroïdes.

L'OBSERVATION DES METEORES

La préparation d'une observation visuelle

Les méthodes d'observation

La méthode du comptage

L'observateur enregistre simplement les météores observés sur un dictaphone ou un morceau de papier. Il note la magnitude estimée du météore ainsi que son éventuelle appartenance à une pluie météorique. Cette méthode de comptage convient particulièrement aux pluies météoriques majeures produisant un grand nombre de météores.

La méthode du dessin

Si l'on veut enregistrer plus d'informations lors d'une session d'observation, le choix du dessin s'impose mais présente toutefois un gros inconvénient. En effet, le temps passé à dessiner n'est pas consacré à l'observation. Si la fréquence d'apparition des météores est élevée, il peut donc arriver que l'on passe plus de 50% de son temps à dessiner ! Des observations réalisées dans de telles conditions ne sont généralement pas scientifiquement fiables.

La combinaison des deux méthodes

Il est recommandé de combiner les deux méthodes lorsqu'une pluie météorique majeure se produit en même temps qu'une ou deux pluies météoriques mineures, comme c'est généralement le cas en octobre lorsque les Orionides, les Taurides et les Epsilon-Géminides

sont actives a même moment. Dans ce cas, les météores provenant des sources mineures devront être dessinés alors que ceux qui sont issus de la source principale seront simplement comptés.

Quand planifier une session d'observation ?

Il faut privilégier les périodes proches d'un maximum d'activité météorique. On aura ainsi la satisfaction d'observer beaucoup de météores et surtout de s'exercer à l'enregistrement des données. Des pics d'activité météorique nommés "**essaims**", "**pluies d'étoiles filantes**" ou "**pluies de météores**" se manifestent périodiquement lorsque la Terre passe dans l'orbite d'une comète. De grandes quantités de poussière cométaires pénètrent alors dans l'atmosphère où elles se volatilisent en générant beaucoup de météores.

On recense annuellement plusieurs dizaines d'essaims plus ou moins actifs. Leurs noms sont étroitement liés à ceux des constellations où ces météores sont visibles. Le tableau ci-dessous récapitule les principales opportunités d'observations en 2024.

Nom de l'essaim	Pic d'activité	ZHR	Constellation
QUADRANTIDES	3/4 janvier	80	Bouvier
LYRIDES d'avril	22/23 avril	18	Lyre
η - AQUARIIDES	5/6 mai	50	Verseau
δ- AQUARIIDES sud	30/31 juillet	25	Verseau
PERSEIDES	12/13 août	100	Persée
GEMINIDES	14/15 décembre	150	Gémeaux
URSIDES	22/23 décembre	10	Petite Ourse

Toutefois, le fait que la Terre traverse ou non un nuage de poussières cométaires n'est pas le seul paramètre à prendre en compte pour organiser une session d'observation. Il faut également tenir compte du radiant et du ZHR.

Le **radiant** est le point de la voûte céleste d'où la plupart des météores d'un même essaim semblent provenir. Lorsque ce point est situé dans une constellation, l'essaim prend un nom dérivant de celle-ci. Ainsi, le radiant de l'essaim des Perséides se situe dans la constellation de Persée. En général, **plus le radiant est bas sur l'horizon, moins il y a de météores à observer**.

Le **ZHR** (*Zenithal Hourly Rate*) aussi dénommé **THZ** (*Taux Horaire Zénithal*) est l'indication de l'activité d'une pluie météorique. Il exprime le **nombre théorique** de météores qu'un observateur peut espérer voir en une heure dans de parfaites conditions avec un radiant au zénith. Les pluies météoriques majeures ont généralement des ZHR supérieurs à 20.

Le tableau ci-dessous donne le nombre de météores théoriquement observables selon la hauteur du radiant au-dessus de l'horizon et avec un ZHR de 100.

Radiant (en ° au-dessus de l'horizon)	90	70	50	40	30	20	10
Nombre de météores observables	100	94	77	64	50	34	17

Toutefois, le ZHR n'est une donnée fiable que si les conditions d'observation sont parfaites. S'il y a de la brume, des nuages ou de la pollution lumineuse, le nombre de météores observables sera bien inférieur au maximum théorique.

Où observer ?

Les meilleurs sites sont ceux qui offrent un ciel bien noir et transparent. A la campagne, il faut privilégier les endroits sombres, à l'abri des lumières artificielles. Les citadins, eux, n'auront d'autre alternative que d'effectuer leurs observations à la campagne ou à la montagne.

L'équipement

Une chaise longue, un lit de camp, un matelas gonflable ou même un simple oreiller améliorent significativement le confort de l'observateur. Pour combattre le froid, rien de tel qu'un sac de couchage, une couverture et de vêtements bien chauds, même en été. Prévoir de quoi boire et manger pendant les pauses est également une excellente idée. Il ne faut jamais oublier, en effet, que l'inconfort, le froid et l'humidité sont les pires ennemis de l'observateur.

Le matériel nécessaire à l'observation de terrain comprend, *a minima*, une montre, un GPS, une lampe torche peu puissante de couleur rouge, un crayon et un bloc-notes ou un dictaphone.

Comment préparer une session d'observation ?

Avant de se rendre sur le site

Il faut d'abord effectuer le travail de préparation :

- porter sur les cartes du ciel les positions effectives des différents radiants ;
- noter les magnitudes des principales étoiles présentes dans le champ d'observation (*on trouve ces informations sur les cartes stellaires*). En procédant ainsi, on pourra ultérieurement estimer facilement la magnitude des météores en la comparant à celles de ces étoiles ;
- s'informer sur les horaires du crépuscule nautique, sur la hauteur des radiants au-dessus de l'horizon, les horaires de lever et de coucher de la Lune, etc. ;
- rassembler le matériel nécessaire pour améliorer le confort et consigner les données d'observation.

Sur le site

L'observation des météores, rapides et peu lumineux, requiert des réflexes et une bonne acuité visuelle. Celle-ci peut être altérée par un manque de vitamine A et/ou par les effets néfastes du tabac et de l'alcool.

Il faut également éviter d'exposer ses yeux à la lumière en cours de session. L'œil met, en effet, un certain temps pour s'adapter à l'obscurité après avoir été exposé à la lumière (*il faut compter 20 minutes, en moyenne*). Pour préserver sa vision nocturne, l'observateur devra donc bannir de son champ de vision toute lumière parasite et ne s'éclairer qu'avec une lampe rouge de faible puissance.

Il faut ensuite choisir une direction d'observation telle que le champ d'observation ne soit jamais masqué par des obstacles naturels ou artificiels, et qu'il ne soit pas exposé aux lumières parasites ou à la clarté lunaire. Il faut également veiller à ce que le centre du champ d'observation se situe idéalement entre 50 et 70° au-dessus de l'horizon. Il est enfin conseillé de ne jamais regarder directement vers le radiant mais d'utiliser sa vision décalée et concentrer son attention sur une zone de 20 à 40° autour du radiant.

Le déroulement d'une session d'observation

Si l'on travaille en groupe, chaque membre du groupe devra observer indépendamment des autres. Il ne faut jamais combiner ses données avec celles de quelqu'un d'autre et toujours se fier à ses propres observations pour remplir son rapport d'observation.

Ce qu'il faut enregistrer

Les données d'observation doivent être enregistrées sur un dictaphone ou couchées sur le papier. Elles comportent toujours les renseignements suivants :

- les **horaires** de début et de fin de session et ceux des pauses. Ils seront exprimés en unités de temps universel (*heures TU ou UTC*) et non en unités de temps légal. Rappelons que l'heure légale, en France, est égale à l'heure UTC + 1 heure en hiver, et UTC + 2 heures en été ;
- les informations relatives à la **couverture nuageuse** ;
- la **position dans l'espace du centre du champ d'observation** exprimée en ascension droite et déclinaison. A défaut, on pourra le situer approximativement dans les limites d'une constellation ou à proximité d'une étoile remarquable dont les coordonnées pourront être déterminées ultérieurement sur un atlas stellaire ;
- la **magnitude limite du ciel**, ainsi que son évolution durant la session d'observation ;
- les **informations spécifiques** à chaque météore observé (*voir plus bas*).

A cause de la rotation terrestre, le champ d'observation se déplace au cours de la nuit. Il peut donc, à terme, ne plus répondre aux critères fixés au départ (*sa hauteur au-dessus de l'horizon, par exemple, peut passer sous la barre des 50°*). Il faut alors choisir un nouveau champ d'observation et noter ses coordonnées sur le rapport final.

Déterminer la magnitude limite

Pour que les données recueillies présentent un intérêt scientifique, il est essentiel d'évaluer précisément les paramètres d'observation. L'un d'eux est la **magnitude limite**, qui correspond à celle de l'étoile la plus faible que l'on peut apercevoir au zénith en utilisant sa vision décalée. La magnitude limite renseigne donc sur la clarté du ciel au moment de l'observation, mais aussi sur l'acuité visuelle de l'observateur. C'est une donnée très personnelle mais aussi très utile car elle sert, en quelque sorte, à "calibrer" le rapport d'observation.

Que faire lorsqu'un météore apparaît ?

Jusqu'ici on avait un peu l'impression que l'observation ne consistait qu'à enregistrer un grand nombre de données n'ayant, en fait, aucun rapport direct avec les météores. Il est donc temps de définir ce qu'il convient de faire quand un météore apparaît.

Relever les paramètres essentiels

Lorsqu'un météore paraît, il faut garder son calme et enregistrer le plus objectivement possible les paramètres suivants classés par ordre d'importance :

- sa **trajectoire**. Il est plus important de relever la direction générale du météore en se basant sur les étoiles d'arrière-plan que de noter les points réels de début et de fin d'apparition du phénomène ;
- son **association à une pluie météorique**. Tous les météores appartenant à une même pluie météorique semblent provenir d'une même région du ciel appelée radiant. Si la trajectoire d'un météore se prolonge jusqu'au radiant, on considère qu'il fait partie de la pluie observée. Dans le cas contraire, le météore est sans doute un phénomène sporadique ;
- sa **magnitude minimale**. On peut l'estimer en comparant la luminosité maximale du météore observé à celle d'une étoile proche qui va servir de référence et dont la magnitude est connue ;
- l'existence d'une **traînée**. Si une traînée semble persister dans le ciel après la disparition d'un météore, il faut évaluer et noter sa durée en secondes ;
- sa **couleur**. Il est pratiquement impossible de distinguer les couleurs des objets dont la magnitude est supérieure à +2. L'information de couleur n'est donc pas toujours fiable et ne constitue pas une donnée essentielle. Elle peut souvent être négligée ;
- l'**horaire** d'apparition des météores. L'information, dénuée d'intérêt véritable, n'est utile que si l'on observe un bolide de belle taille et qu'on souhaite en conserver un souvenir.

A qui adresser un rapport d'observation ?

L'International Meteor Organization (IMO)

L'**IMO** est un organisme international chargé d'étudier l'activité météorique mondiale. L'IMO a besoin de données pour étoffer sa "Visual Meteor Data Base" (*VMDB*) mais ces données doivent être formatées. L'IMO a donc mis au point un formulaire normalisé de recueil des informations d'observations visuelles que l'on peut se procurer librement.

Ceux qui désirent participer au programme doivent d'abord s'inscrire sur le site de l'IMO, puis renseigner le formulaire de recueil d'observation avant de l'envoyer à l'IMO à l'adresse suivante : http://www.imo.net/members/imo_observation/add_observation.

Toutefois, la rédaction d'un rapport d'observation formaté est complexe et exige qu'on y porte des données que l'observateur occasionnel ne possède pas, ou n'a pas pu ou pas su enregistrer. Il n'est donc pas facile de rédiger un rapport exploitable et l'opération n'est pas forcément à la portée de tous. L'exercice en rebute d'ailleurs plus d'un...

Les projets Vigie-Ciel et FRIPON

Vigie-Ciel est un programme de sciences participatives dédié à l'observation des météores et à la recherche des météorites. Soutenu par le Museum National d'Histoire Naturelle, Vigie-Ciel rassemble des chercheurs de divers organismes comme l'Observatoire de Paris, l'Université de Paris Sud, l'Université de Grenoble, la Cité des sciences, le Palais de la Découverte, des planétariums et des associations d'astronomie et de géologie. Vigie-Ciel fait partie du projet "**65 Millions d'Observateurs**" qui vise à développer les sciences participatives dans notre pays. Ce programme s'adresse à tous et chacun peut y contribuer en transmettant aux scientifiques ses propres observations.

Vigie-Ciel est adossé au programme **FRIPON** (*Fireball Recovery and Inter Planetary Observation Network – en français : Réseau de Recherche de Bolides et de Matière Interplanétaire*) qui a vocation à détecter les bolides, à en découvrir l'origine, à déterminer les zones de chutes d'éventuelles météorites et, si possible, à les récupérer. La réussite de cet objectif repose sur la construction d'un réseau de caméras couvrant l'Europe toute entière (*100 caméras seront, à terme, installés sur le territoire français*) associé à un réseau participatif de bénévoles pour la récupération de météorites.

LES METEORITES

Les différentes catégories de météorites

Il existe deux grandes catégories de météorites :

- les météorites primitives encore appelées **météorites non différenciées**,
- et les **météorites différenciées**.

Les météorites primitives ou météorites non différenciées

Elles proviennent de corps primitifs uniquement composés de la matière originelle de l'univers. Les météorites primitives sont exclusivement des **chondrites**. Elles contiennent des petites billes ou grains de silicates et de métal plus ou moins déformés (*les chondres*) et agrégées les unes aux autres. Les chondrites se répartissent en quatre groupes distincts dont les deux principaux regroupent :

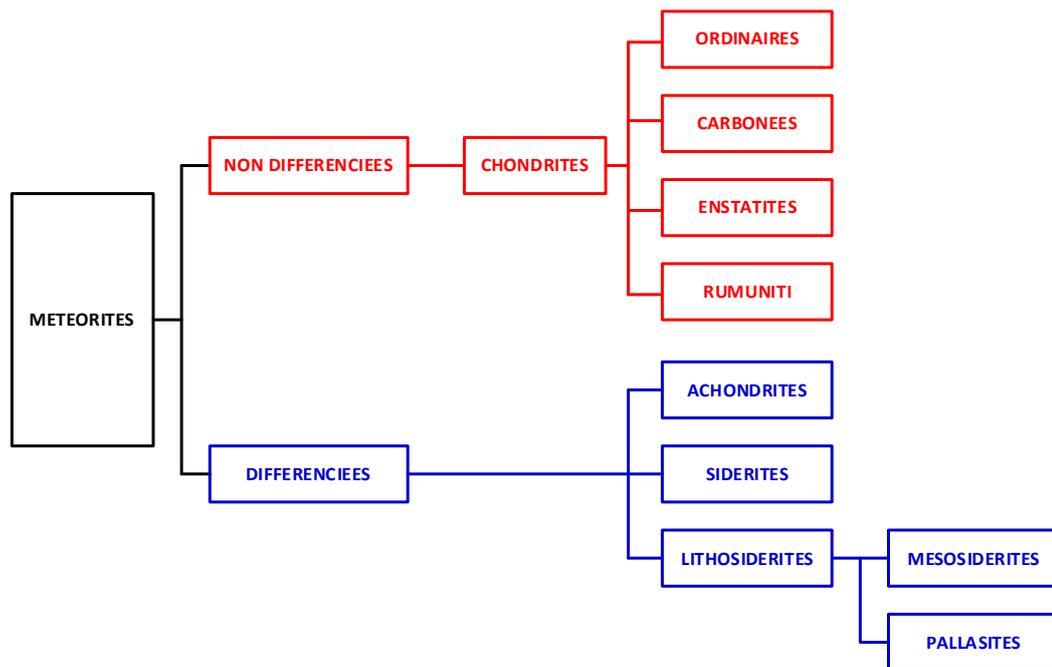
- les "**chondrites ordinaires**" (80% des chondrites), riches en olivine, en pyroxène, en feldspath, en fer et en nickel,
- et les "**chondrites carbonées**" constituées essentiellement de feldspath, d'éléments carbonés et parfois d'un peu de fer.

Les météorites différenciées

Ces météorites proviennent de corps différenciés, c'est-à-dire de corps célestes assez gros dont les constituants ont fondu après leur formation et se sont structurés en couches. La Terre, avec sa croûte, son manteau et son noyau, est un bon exemple de corps différencié.

Les météorites différenciées comprennent trois groupes distincts :

- de rares **achondrites** issues de gros astéroïdes ou de planètes qui ressemblent beaucoup aux roches terrestres,
- des **sidérites** (*météorites ferreuses*), résidus de noyaux d'astéroïdes surtout constitués de fer et de nickel,
- des **lithosidérites** ou météorites mixtes comportant à la fois des parties ferreuses (*fer et nickel*) et des silicates. Les lithosidérites se décomposent elles-mêmes en deux sous-groupes :
 - o les mésosidérites
 - o et les pallasites.



Comment se comporter face à une météorite ?

Analyser les circonstances de la découverte

Il faut avant tout s'assurer qu'on a bien affaire à une météorite, et donc s'intéresser aux circonstances de sa découverte. Les météorites retrouvées au sol après la chute et la dislocation d'un bolide dont on a été le témoin direct ont une très grande valeur scientifique et présentent les meilleures garanties d'authenticité.

Une "trouvaille" est une météorite découverte fortuitement et dont la chute n'a pas été observée. Dans pareil cas, il faut examiner soigneusement la scène de la découverte et noter sa localisation, la date et l'heure et les données relatives au site et aux circonstances de la découverte. Il faut également prendre des photographies avant de manipuler la météorite pour conserver une trace de la position qu'elle occupait lorsqu'elle a été trouvée.

L'achat est une manière simple et rapide d'acquérir une météorite. Les vendeurs sérieux sont toutefois assez rares et les experts le sont encore plus. C'est pourtant vers eux qu'il faut se tourner lorsqu'on veut acheter une météorite, mais il est bon de se renseigner préalablement sur le vendeur et sur ses compétences. Le fait qu'il travaille avec des musées ou des laboratoires constitue un gage supplémentaire de sérieux.

Examiner la météorite

L'examen visuel

L'examen visuel d'un échantillon est indispensable car il est très facile de se tromper et de prendre une roche terrestre pour une météorite. On imagine souvent que les météorites sont rondes et lisses ou qu'elles ont, au contraire, des formes torturées et un aspect métallique. Il faut se méfier de ces idées préconçues et toujours observer attentivement un échantillon à l'œil nu ou la loupe. Il est également conseillé de consulter des ouvrages spécialisés et d'étudier attentivement les photographies publiées sur internet pour se faire une idée précise d'une possible météorite.

L'examen de la forme générale

Les météorites récentes n'ont généralement pas de bords bien définis et bien rectilignes. Certaines d'entre elles prennent parfois la forme d'un bouclier. Toutefois, certaines météorites se brisent à l'impact et peuvent présenter des arêtes plus vives et des faces plus anguleuses. La forme d'un échantillon n'est donc pas toujours un critère déterminant pour authentifier un échantillon.

L'examen de la croûte de fusion

Un bolide est soumis à de très hautes températures lorsqu'il pénètre dans l'atmosphère. La chaleur est si intense que l'enveloppe extérieure du bolide fond. Cette couche superficielle fondue forme, après refroidissement, ce que l'on appelle une **croûte de fusion**. La présence de cette croûte sur un échantillon est la quasi-certitude que l'on a bien affaire à une météorite mais la croûte de fusion n'est pas présente sur toutes les météorites. Certaines, en effet, sont des fragments provenant de l'intérieur d'un bolide qui n'a pas été soumis à des températures extrêmes. D'autres, ensevelies ou présentes sur terre depuis longtemps, ont vu leurs croûtes de fusion disparaître sous les effets combinés de l'érosion, de l'humidité ou des attaques chimiques.

L'examen des regmaglyptes et des lignes de fuites

La surface d'une météorite est parfois "sculptée" lors de sa traversée de l'atmosphère. Des formes particulières appelées "**regmaglyptes**" (*piezogylyptes* ou "*empreintes de pouce*") peuvent apparaître lorsque les turbulences de l'air façonnent la croûte de fusion. Les météorites couvertes de regmaglyptes sont très recherchées pour leur bel aspect esthétique.

Les **lignes de fuites**, elles, sont créées par des écoulements de la couche en fusion. Elles sont toujours orientées dans le sens de la chute. Tout comme les regmaglyptes, les lignes de fuites augmentent la beauté cosmétique d'une météorite.

Protéger une météorite après sa découverte

La plupart des experts s'accordent sur le fait que les feuilles d'aluminium sont les plus indiquées pour protéger une météorite sans en altérer les caractéristiques physiques. Il faut donc rapidement emballer une météorite qui vient d'être découverte dans un film d'aluminium avant de la glisser dans un sachet de congélation.

Effectuer les tests primaires

Des tests simples permettent d'obtenir davantage d'informations sur la nature d'une météorite, son magnétisme, sa densité et sa composition. Ils nécessitent généralement peu de matériel : une balance, un récipient et de l'eau, une ficelle, une scie à métaux et du papier de verre. Ces tests ne peuvent toutefois pas être réalisés sur le terrain.

Évaluer les propriétés magnétiques

On utilise souvent un aimant pour savoir si une météorite est magnétique ou pas (*la plupart le sont mais les achondrites et les météorites lunaires ou martiennes ne le sont pas*). L'emploi d'un aimant donne une bonne indication du magnétisme d'un échantillon mais cette technique n'est pas recommandée car elle risque d'altérer certaines propriétés de la météorite et de fausser par la suite les analyses en laboratoire. Il vaut donc mieux recourir à des méthodes plus douces comme celle qui consiste à approcher progressivement une boussole de l'objet à tester et à observer la déviation de l'aiguille, ou encore d'utiliser une application de détection de métal pour Smartphone.

Évaluer le poids et la densité

On peut peser un échantillon à l'aide d'une balance ou le soupeser et comparer son poids à celui d'une roche terrestre de taille équivalente qui sert d'étalon. Cela donne déjà une bonne idée de sa densité car c'est ce dernier paramètre qui est, en fait, le plus important.

La densité dépend de la composition chimique de la météorite. Ainsi, la densité d'une sidérite riche en fer est toujours plus élevée que celle d'une simple chondrite. Encore faut-il la déterminer précisément...

Comment mesurer la densité d'une météorite ?

La meilleure méthode consiste à utiliser le principe d'Archimède qui stipule que tout corps plongé dans un fluide subit une poussée verticale dirigée de bas en haut et égale au poids du volume de fluide déplacé. Il suffit donc :

- 1 – de peser la météorite avec une balance et de noter le résultat **P1** en grammes ;
- 2 – de peser ensuite un récipient à moitié rempli d'eau et de noter le résultat **P2** en grammes ;
- 3 – d'accrocher la météorite à un bout de ficelle, puis de l'immerger complètement dans l'eau mais sans qu'elle touche le fond du récipient, et de noter le résultat de cette nouvelle pesée **P3** en grammes ;
- 4 – d'appliquer ensuite les formules suivantes pour déterminer la densité de la météorite :
 - 1) $P1 - P2 = \text{Volume de la météorite en cm}^3$
 - 2) $P1 / \text{Volume de la météorite} = \text{Densité de la météorite en g/cm}^3$

A titre d'information, voici les densités moyennes des roches terrestres et de quelques météorites courantes :

- Roches terrestres	: 2,7 à 2,8 g/cm ³
- Météorites de type chondrites carbonées (CI et CM)	: 2,1 à 2,7 g/cm ³
- Météorites lunaires : 2,7 à 3,1 g/cm ³ (brèches feldspathiques) et basaltes	: 3,2 à 3,4 g/cm ³
- Météorites martiennes	: 3,1 à 3,15 g/cm ³
- Météorites de type achondrites	: 3 à 3,3 g/cm ³
- Météorites de type chondrites carbonées (CV, CK, CR)	: 3 à 3,5 g/cm ³
- Météorites de type chondrites ordinaires (dites pierreuses)	: 3 à 3,6 g/cm ³
- Météorites mixtes (pallasites et mésosidérites avec \approx 50 % de silicate)	: 4,5 à 7 g/cm ³
- Météorites de type sidérites (météorites ferreuses)	: 7 à 8 g/cm ³

Examiner l'intérieur de la météorite

Pour examiner l'intérieur d'une météorite il faut en couper un morceau à l'aide d'une scie à métaux, puis polir le plan de coupe (*le talon*) en le frottant sur une feuille de papier de verre. On pourra alors observer l'intérieur de la météorite à l'œil nu sous une bonne lumière, ou avec une loupe (*l'examen au microscope nécessite une préparation spéciale de l'échantillon*). De nombreux éléments permettront alors de confirmer ou non que l'on est bien en présence d'une météorite :

La couleur

Lorsque la couleur du plan de coupe se situe entre le gris clair et le gris foncé et que l'échantillon comporte des particules de métal, on est très probablement en présence d'une météorite. A noter toutefois que certaines météorites ont des couleurs différentes, du vert foncé au noir, mais ces variétés ne renferment jamais de grains de métal.

La présence ou l'absence de chondres

Les chondres sont des petites sphères régulières de quelques millimètres de diamètre dont le nombre peut être important. Lorsqu'on en trouve dans un échantillon, on peut être pratiquement certain de son origine météoritique.

Les tests approfondis

Les tests primaires permettent déjà de se faire une idée de l'authenticité d'une météorite. Des analyses plus poussées sont toutefois nécessaires pour l'identifier avec certitude et révéler sa composition. Ces analyses ne nécessitent qu'un matériel basique et quelques équipements de protection et peuvent être effectuées au domicile de l'observateur. Toutefois, ceux que la chimie rebute devront contacter un organisme professionnel qui réalisera le travail à leur place.

La recherche du nickel

Le test au nickel est souvent présenté comme le moyen infaillible d'authentifier une météorite, notamment une météorite ferreuse. Ce test repose sur le postulat qu'une météorite contient plus ou moins de nickel, un métal qui n'est pas présent dans les roches terrestres.

Le test au nickel n'est cependant pas très fiable parce qu'il exige une préparation spécifique de la surface à analyser, une opération complexe, mais surtout parce que les réactifs du commerce ne sont pas très sensibles. Le nickel présent en faible quantité dans une météorite peut donc échapper à la détection et, à l'inverse, un échantillon dépourvu de nickel pourra, dans certains cas, produire un " faux positif " et mener à des conclusions erronées.

Le test à l'acide

Le test à l'acide, encore appelé "test au nital" (*le nital est un mélange d'éthanol et d'acide nitrique*) n'est efficace que sur les météorites ferreuses (*sidérites*). Leur plan de coupe montre souvent des formes géométriques qu'on ne retrouve dans aucune autre roche. Ces structures résultent de la lente cristallisation du métal dans le vide de l'espace et sont appelées "**figures de Widmanstätten**".

Pour les révéler, il faut disposer d'équipements de protection adaptés (*gants, lunettes, blouse*) et d'un local ventilé. Il convient également de faire preuve d'une extrême prudence lors des manipulations.

Il faut préalablement scier un bout de la météorite avec une scie à métaux. On ne doit jamais utiliser une tronçonneuse à métaux car cet outil génère une température élevée qui détruira irrémédiablement les structures que l'on cherche à révéler. La partie coupée (*le talon*) doit ensuite être soigneusement polie au papier de verre pour qu'elle soit bien lisse.

Il faudra également se procurer de l'acide nitrique (*on en trouve dans le commerce mais son acquisition est soumise à conditions pour d'évidentes raisons de sécurité*), de l'alcool à 90° (*éthanol*) et de l'eau distillée.

Mode opératoire

1 - Dans un récipient, verser **d'abord** l'alcool à 90° et **ensuite** seulement l'acide nitrique. Le mélange doit comporter 4% d'acide nitrique (*pour 1 litre d'alcool, il faut compter environ 40 ml d'acide*).

Respectez l'ordre des opérations et ne versez jamais l'alcool dans l'acide nitrique pour éviter les projections d'acide.

2 - Immerger le talon dans la solution en s'assurant que la face coupée reste visible. Les figures géométriques de Widmanstätten, si elles existent, apparaissent dans les minutes qui suivent.

3 - Rincer le talon à l'eau distillée dans plusieurs bains successifs de quelques minutes chacun.

4- Sécher le talon au four à 80°C pendant 1h30. Attention ! **Ne jamais utiliser un four à micro-ondes.**

L'apparition de figures de Widmanstätten prouve indubitablement que l'on est en présence d'une météorite. Toutefois, ces figures ne sont pas systématiquement présentes dans toutes les météorites ferreuses. Certaines en sont même totalement dépourvues.

Le recours aux experts

Si les tests ordinaires ne permettent pas d'identifier une météorite, il peut être nécessaire d'en confier l'analyse à des experts confirmés disposant de spectromètres et du matériel permettant de réaliser des lames minces pour l'examen au microscope.

Certains laboratoires ou musées sont en mesure d'analyser un échantillon s'ils estiment que cela en vaut la peine. L'opération peut toutefois prendre beaucoup de temps. Voici quelques organismes que l'on pourra éventuellement contacter :

Museum d'Histoire Naturelle, Paris

http://www.impmc.upmc.fr/fr/equipements/mineralogie_des_interieurs_planetaires_mip/liste-des-membres/membres-permanents/brigitte_zanda.html
Contact : zanda@mnhn.fr

Laboratoire CEREGE, Aix-en-Provence

http://www.cerege.fr/spip.php?page=pageperso&id_user=51
Contact : gattacceca@cerege.fr

Les pseudo-météorites

Il n'est pas rare de confondre une météorite avec une roche terrestre car elles se ressemblent beaucoup. Voici quelques pseudo-météorites qui sont souvent confondues avec d'authentiques météorites :

Les pseudo-météorites naturelles

- Les marcassites
- Le fer natif, ou fer tellurique
- Le ferromanganèse ou fer-miroir (*spiegelsen*)
- La Goethite et la Bauxite
- Les fulgurites, également appelées "pierres de foudre"

Les pseudo-météorites artificielles

- Les résidus de fonderie (*scories – laitier*)

DESCRIPTION SOMMAIRE DES PRINCIPALES METEORITES

Les Chondrites

- Croûte de fusion

Sur les chondrites "fraîches", elle est généralement noire et très caractéristique. C'est le fer qui lui donne cet aspect noir carbonisé mat. Toutefois, la croûte des météorites pauvres en fer n'a pas cette couleur noire.

Les chondrites "anciennes" ont parfois perdu leur croûte sous les effets du vent et des éléments. Elles présentent parfois aussi une croûte de couleur rouille que l'on doit à l'oxydation. La croûte des chondrites enfouies dans le sol peut être, selon les cas, préservée ou endommagée par l'humidité.

Certaines chondrites sont dites "orientées" : leurs bords se sont arrondis lors de la traversée de l'atmosphère et présentent la forme caractéristique d'un dôme d'où rayonnent des traînées d'écoulements.

- Texture interne

Les chondrites contiennent des sphérules (*de petites billes*) de silicates dénommées « chondres ». Celles-ci remplissent plus ou moins la matrice de la météorite. Les chondres ont une couleur plus sombre que celle de la matrice qui est généralement gris clair.

- Poids / Densité

Les chondrites sont des météorites pierreuses dont la densité est supérieure à celle des roches terrestres : de 3,6 à 3,9. Elles paraissent donc plus lourdes.

- Magnétisme

Selon leur teneur en fer et en nickel, l'aiguille d'une boussole ou d'un détecteur de métaux pour Smartphone réagira plus ou moins.

- Oxydation

Elle est parfois présente sur la croûte.

Les Achondrites

- Croûte de fusion

Les achondrites riches en calcium (*type HED*) ont une croûte fine et brillante dont la couleur va du noir brillant au beige crème.

- Texture interne

Ces météorites présentent, soit une texture fine, soit une texture bréchique (*des fragments anguleux sont noyés dans une matrice fine*). Les achondrites ne renferment pas de chondres. Leurs matrices sont généralement de couleur claire et offrent une multitude de nuances colorées allant du gris au vert.

- Poids / Densité

Les achondrites sont des météorites pierreuses. Leur densité est souvent assez proche de celle des roches terrestres.

- Magnétisme

Les achondrites ne sont pas magnétiques ou le sont très peu.

- Oxydation

Elle est parfois présente sur la croûte.

Les météorites ferreuses (sidérites)

- Croûte de fusion

La croûte de fusion d'une sidérite est généralement noire, mate et fine. Elle comporte souvent des regmaglyptes ou des indicateurs d'orientation comme les lignes de fuites. Les météorites ayant longtemps séjourné en milieu humide présentent une oxydation de surface.

- Texture interne

Les sidérites sont constituées de métal. Leur aspect intérieur est donc principalement métallique, avec de belles structures géométriques qui peuvent être révélées à l'acide.

- Poids / Densité

Les sidérites sont les plus denses de toutes les météorites : de 7 à 8 g/cm³. Eu égard à leur volume, elles sont donc très lourdes.

- Magnétisme

Les sidérites réagissent très bien aux tests d'aimantation à cause des importantes quantités de fer qu'elles contiennent.

- Oxydation

Elles ont souvent un aspect de bloc très rouillé.

Les Pallasites

- Croûte de fusion

Les pallasites sont les plus connues des météorites ferreuses. Elles sont, en réalité, tout à la fois ferreuses et pierreuses : ce sont des météorites mixtes. Elles sont constituées de métal et de cristaux d'olivines qui peuvent être translucides. La croûte de fusion de ces météorites est similaire à celle des autres sidérites. Celles qui ont longuement séjourné dans un milieu humide peuvent présenter une importante oxydation de surface.

- Texture interne

La matrice métallique des pallasites peut être révélée à l'acide et dévoiler de belles figures de Widmanstätten. Les cristaux d'olivines, eux, sont dispersés dans la matrice et peuvent avoir des tailles très diverses. Ils sont translucides et sur les coupes minces on peut admirer leurs belles teintes allant du jaune miellé au vert clair.

- Poids / Densité

A cause de leur teneur moyenne en fer, les pallasites sont généralement assez denses : de 4,5 à 7 g/cm³. Eu égard à leur volume, elles donnent la sensation d'être beaucoup plus lourdes qu'une roche terrestre.

- Magnétisme

Les pallasites réagissent très bien aux tests d'aimantation à cause du fer qu'elles contiennent.

- Oxydation

La surface des pallasites est très souvent oxydée.

BIBLIOGRAPHIE

- **L'observation visuelle des météores**
<https://saf-astronomie.fr/wp-content/uploads/2019/11/Observation-visuelle-des-me%CC%81te%CC%81ores-IMO-1.pdf>
Traduction de l'anglais par Karl Antier d'après <http://www.imo.net/observations/methods/visual-observation>
- **Le projet FRIPON**
<https://www.vigie-ciel.org/le-projet-fripon/>
- **WIKIPEDIA**
L'encyclopédie Libre
- **Site du Museum national d'Histoire Naturelle**
<https://www.mnhn.fr/fr/qu-est-ce-qu-une-meteorite>.
- **Site du Musée de Minéralogie**
<https://www.musee.minesparis.psl.eu/Collections/Collections/Meteorites/Classification/>