

# MÉTÉORITES

ORIGINE ET  
CLASSIFICATION

ET SOUVENEZ-VOUS!  
LA SEULE CHOSE QUE NOUS  
AYONS À CRAINDRE, C'EST  
QUE LE CIEL NOUS TOMBE  
SUR LA TÊTE!



Exposé Albédo 38  
Hervé Lerat  
29/01/2021

# Qu'est-ce qu'une météorite?

C'est un objet solide d'origine extraterrestre qui atteint la surface de la Terre.

La terre est bombardée de plus de 100 tonnes de météoroïdes par jour!



Météoroïde (100  $\mu$ m - 50 m)

Météore

Étoile filante

Bolide

Météorite  
>230 de plus de 10g/ jour

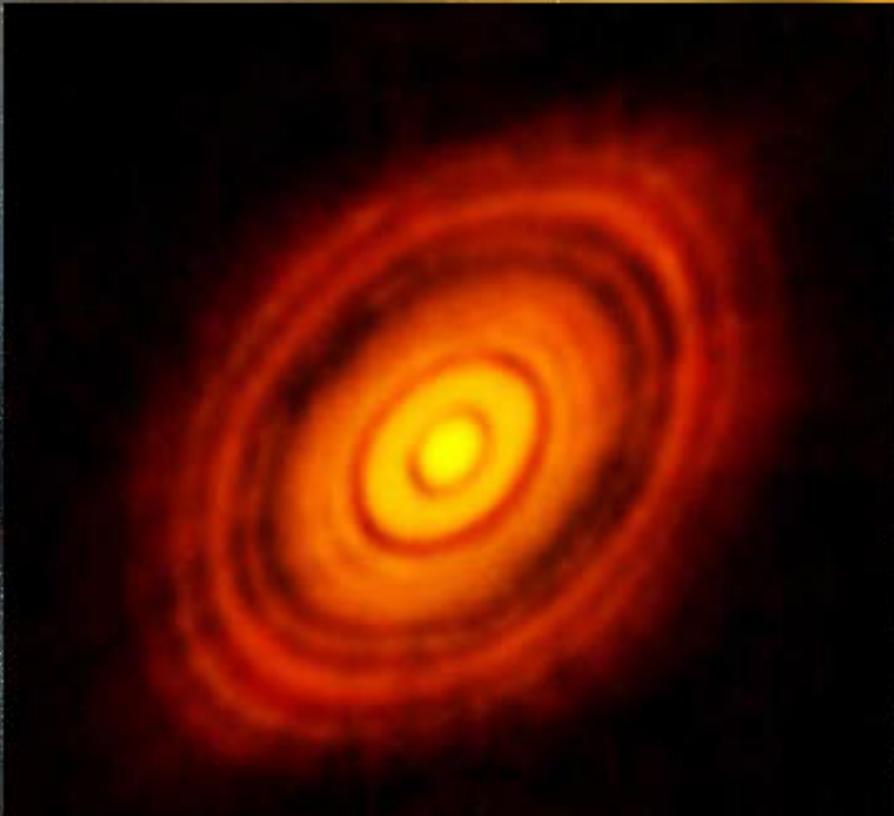


D'où proviennent les météorites?



# D'où proviennent les météorites?

Image du disque protoplanétaire de HL Tauri réalisée par l'Atacama Large Millimeter Array.



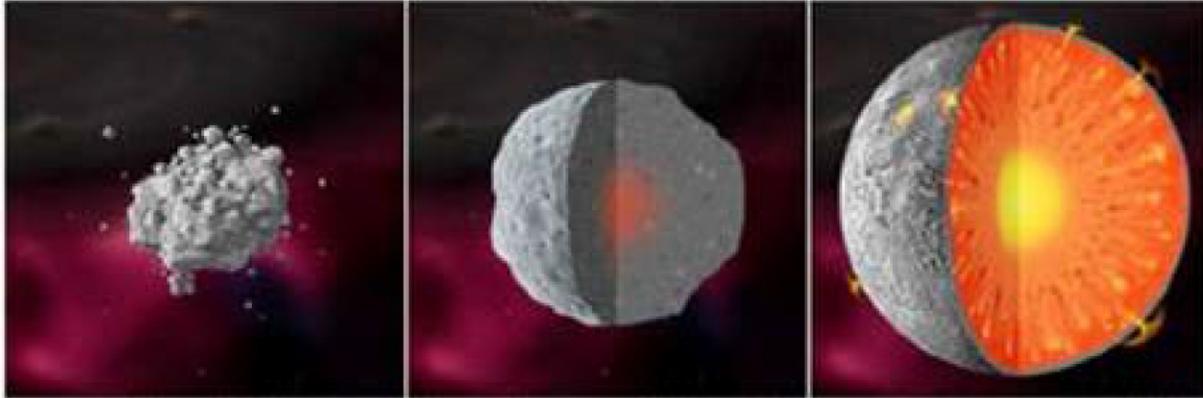
Il y a 4,6MM années, formation des planètes du système solaire à partir du disque de poussières orbitant autour soleil (proto-étoile)... Et de beaucoup d'autres corps de tailles inférieures : planètes naines



Un ensemble de poussières (silicates, de fer et de nickel) s'agglomèrent (accrétion) pour former des corps de plus grande taille. Par collisions successives, ces corps forment un agglomérat de taille supérieure.



Ce dernier se chauffe au cours de sa formation, à partir de la chaleur de désintégration des éléments radioactifs à courte durée de vie et surtout de l'énergie libérée au cours des impacts (énergie gravitationnelle). Cette énergie devient de plus en plus importante au fur et à mesure que le corps grossit par accrétion.



À partir d'une certaine température (donc à partir d'une certaine taille...) , la protoplanète entre en fusion et la différenciation chimique se produit. La différenciation commence donc pendant l'accrétion, même si elle se continue quelques dizaines de millions d'année après la fin de cette accrétion.

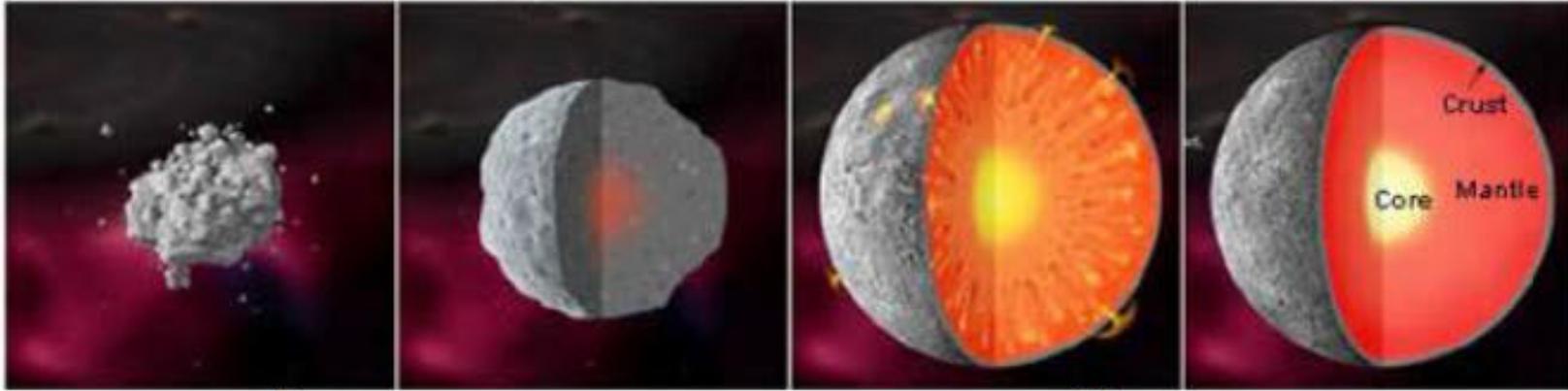
Accrétion

Différentiation + accrétion

Corps non-différencié



Corps différencié



- Planètes rocheuses
- Planètes naines
- Astéroïdes

Fragmentation  
(collisions)

Astéroïdes

Astéroïdes  
(corps parent)

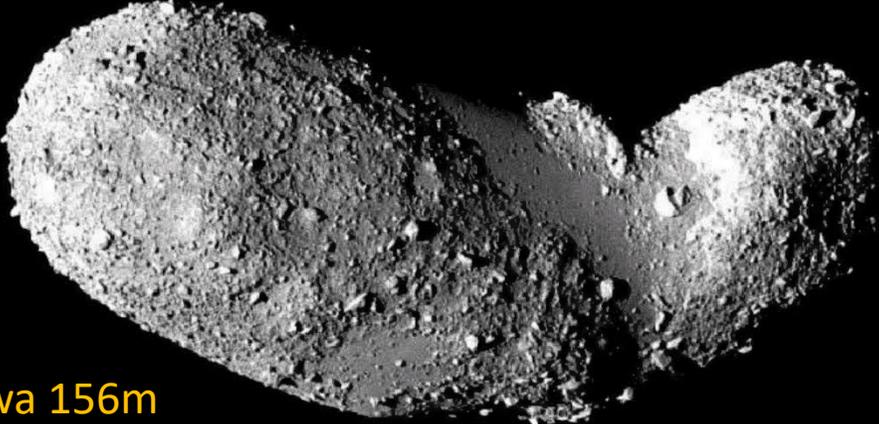


Astéroïdes  
(corps parent)

Vesta 480x460 km



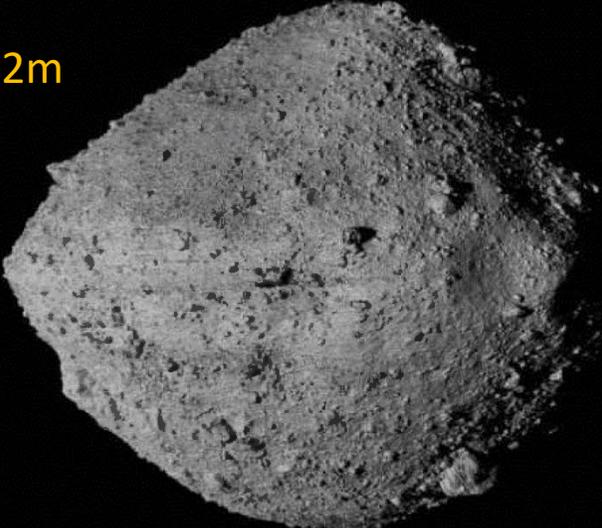
Itokawa 156m



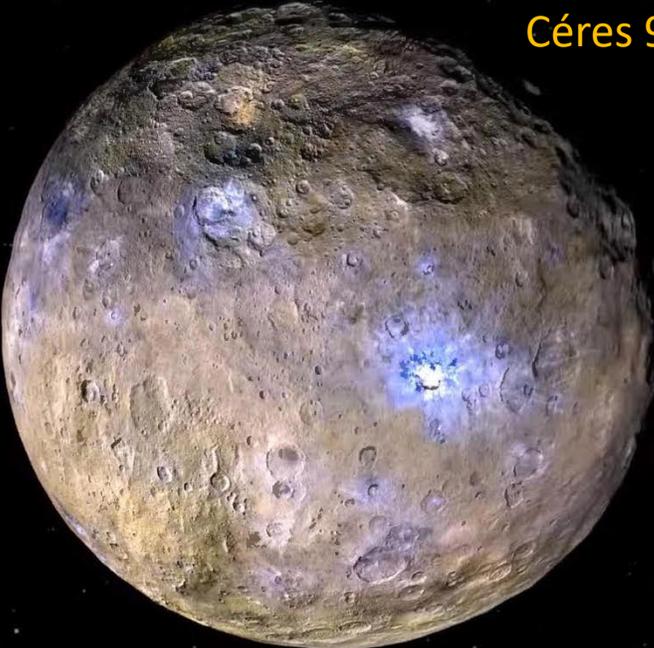
Corps non-différencié

Corps différencié

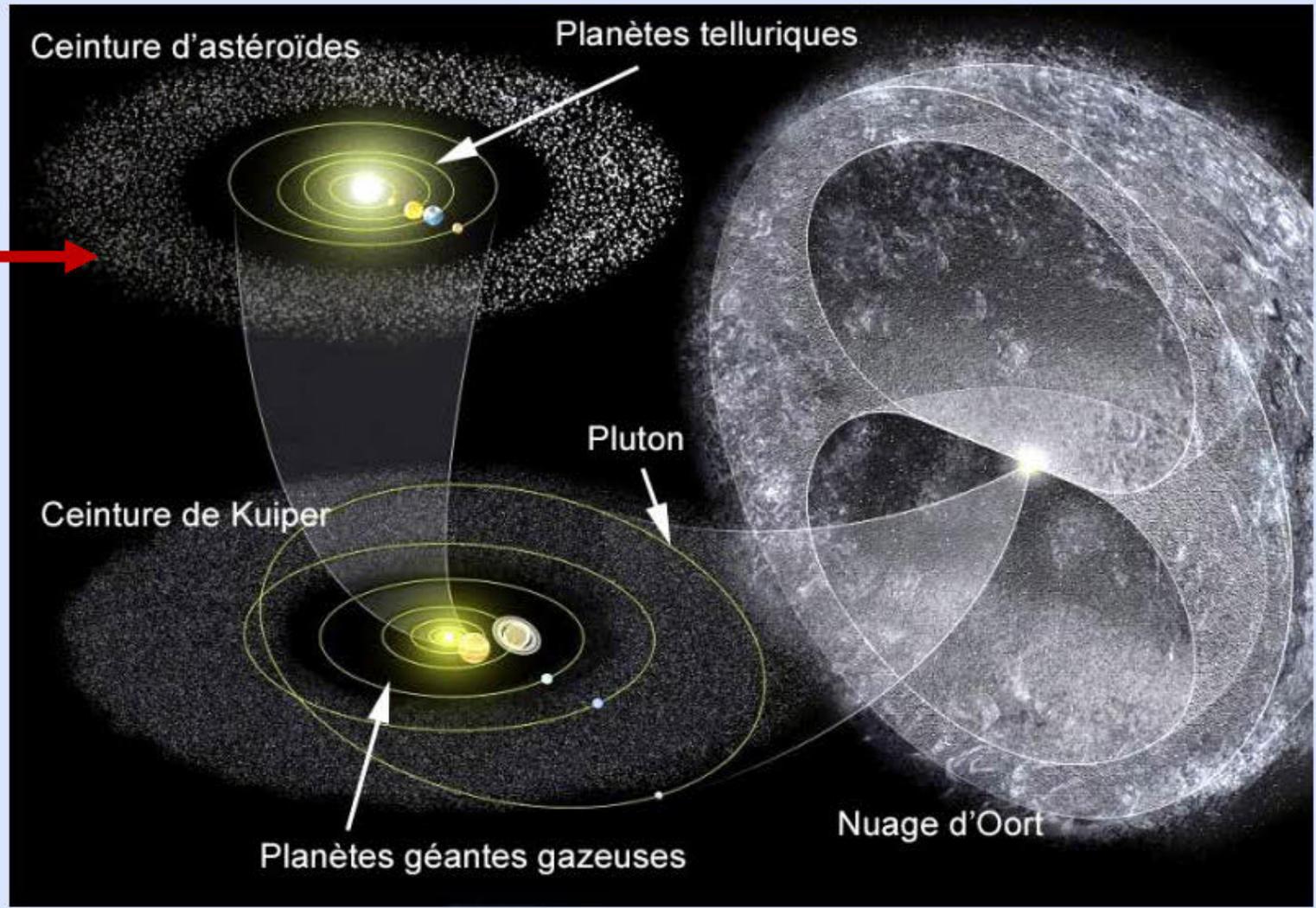
Bennu 262m



Céres 975 km



**99,8% des météorites  
proviennent de la  
Ceinture Principale**



**D'où proviennent les météorites?**

# La classification des météorites : relation avec le corps d'origine!

## Météorites non-différenciées Chondrites

Carbonacées

Ordinaires

CB, CH,  
CI, CK,  
CM, CO,  
CR et CV



Planétésimal  
primitif



H L LL  
FER

ALTERATIONS  
Aqueuses

Type 3 Type 2 Type 1  
Températures

Type 3 Type 4 Type 5 Type 6



Planétésimal  
métamorphique

## Météorites différenciées

Achondrites

Lithosidérîtes

Sidérîtes

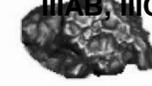
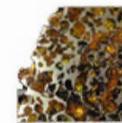
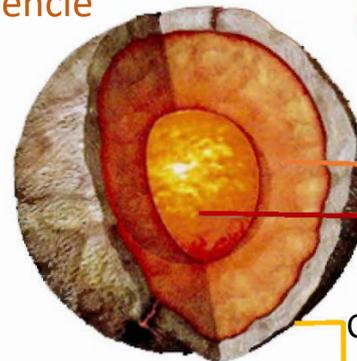
Pallasites

Mésosidérîtes

Octaédrites, Hexaédrites, Ataxites

IAB, IC, IIAB, IIC, IID, IIE, IIF, IIG,  
IIIAE, IIICD, IIIE, IIIF, IVA, IVB

Planétésimal  
différencié



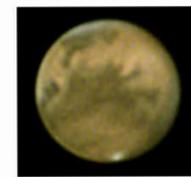
Limite  
noyau/manteau

Noyau



Lune

Météorites lunaires



Mars

Shergottites, nakhlites, chassignites  
(Groupe SNC)



Howardites

Eucrites

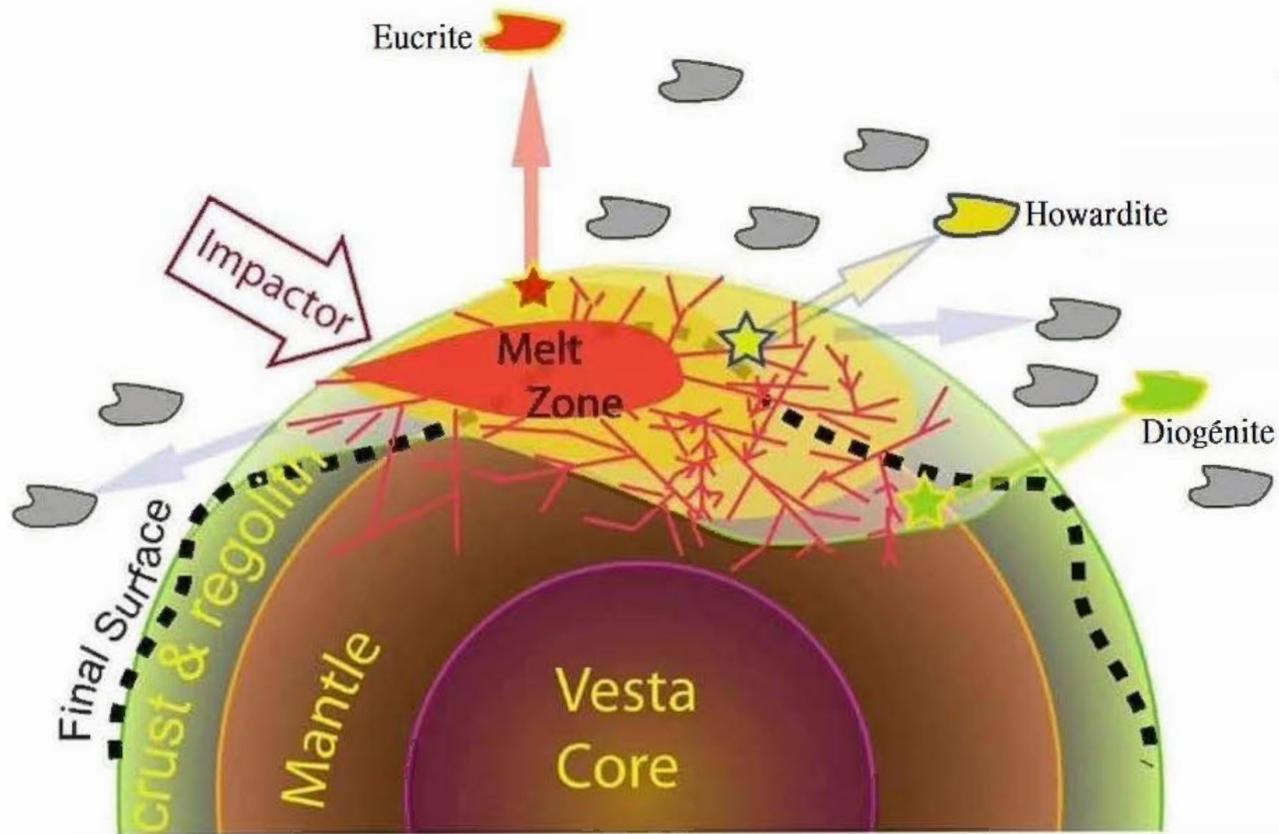
Diogénites

(Groupe HED)



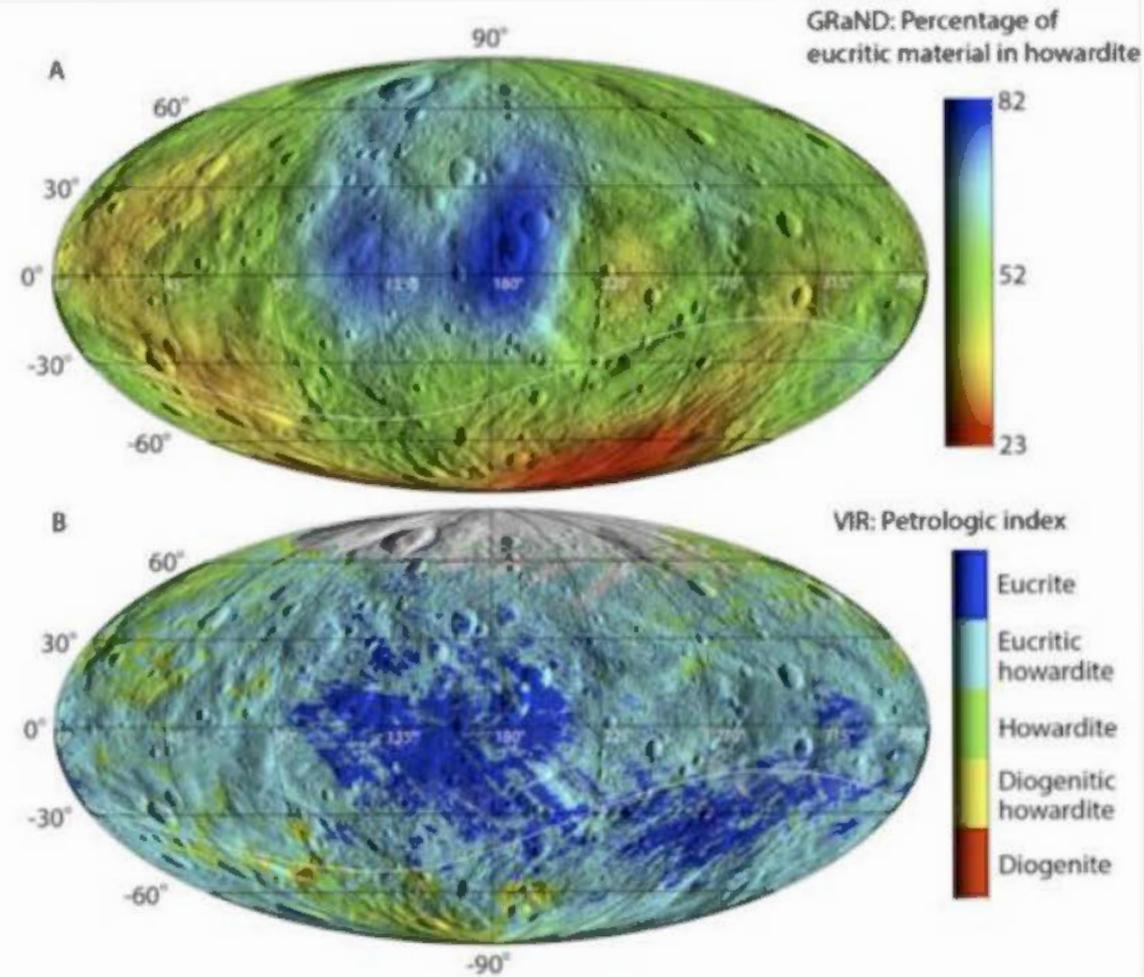
Vesta

# La classification des météorites : Les achondrites HED proviendraient d'un impact d'astéroïde sur Vesta

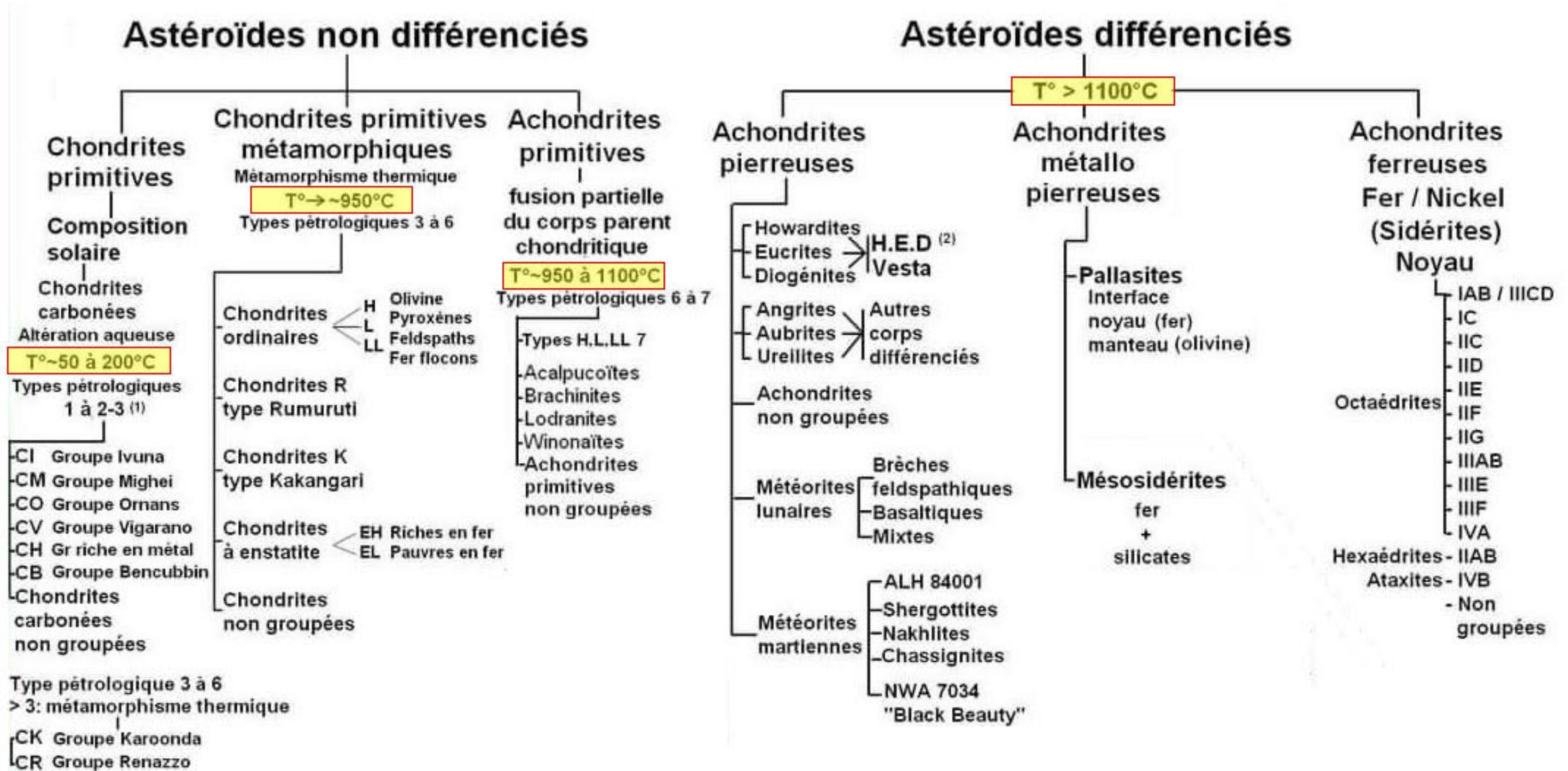


co: delaney, 2014

- ★ eucrite
- ★ howardite
- ★ diogenite
- melt Zone
- ✂ Impact melt veins & fractures
- ☾ Vestoids
- Final surface after rebound



# La classification des météorites : relation avec le corps d'origine et la composition chimique



# La classification des météorites : critères supplémentaires liées à l'arrivée sur Terre!

## Shock grade

- **S1**: completely unshocked (up to 5 GPa)
- **S2**: very weakly shocked (5-10 GPa); uneven darkening of olivine as seen under polarized light; planar and irregular fractures (breaks in other than a natural cleavage plane.)
- **S3**: weakly shocked (15-20 GPa); weak fractures in olivine seen under polarized light; dark shock veins and some melt pockets
- **S4**: moderately shocked; (30-35 GPa); weak planar fracturing of olivine under polarized light; some pockets of melted material, dark interconnected shock veins
- **S5**: strongly shocked (45-55 GPa); very strong planar fracturing and deformation features in olivine; alteration of plagioclase into maskelynite; formation of dark melt veins
- **S6**: very strongly shocked (75-90 GPa); olivine recrystallizes, with local alteration to a mineral called ringwoodite and shock melting of plagioclase to a glass

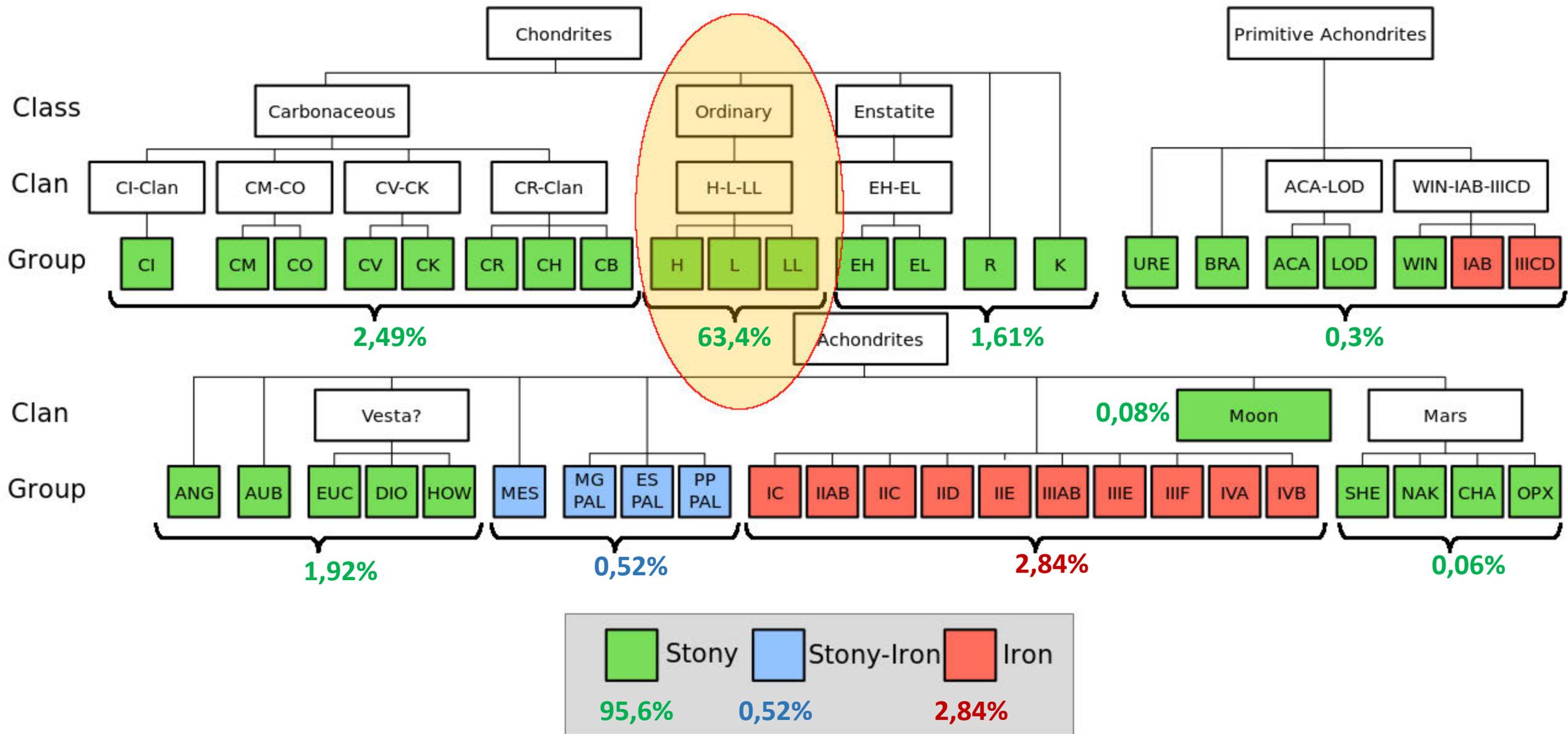
## Niveau d'oxydation des météorites

- **W0** : pas d'oxydation, météorite tombée très récemment (< quelques mois) ;
- **W1** : oxydation très faible enveloppant les nodules métalliques et de troïlites, veines d'oxydes étroites ;
- **W2** : oxydation des métaux modérée (environ 20 à 60 % sont altérés) ;
- **W3** : la forme oxydée remplace la majorité des métaux (60 à 95 %) ;
- **W4** : oxydation complète des métaux (> 95 %) mais aucune altération des silicates ;
- **W5** : légère altération des silicates, surtout le long des fissures ;
- **W6** : remplacement massif des silicates par l'oxyde et des argiles minérales.

### *Altération des météorites antarctiques :*

- **A** : rouille légère ; halos de rouille sur les particules métalliques et les taches de rouille le long de fractures sont mineures ;
- **B** : rouille modérée ; grands halos de rouille sur les particules métalliques et taches de rouille nombreuses sur les fractures internes ;
- **C** : rouille importante ; particules métalliques la plupart du temps colorées par la rouille ;
- **E** : minéraux évaporitiques visibles à l'œil nu.

# La classification des météorites : abondance sur Terre (celles retrouvées!)



- Aujourd'hui, il y a 65 111 météorites classifiées (nom officiel validé) par la [Meteoritical Society](#) qui publie chaque année un catalogue des nouvelles météorites analysées, le *Meteoritical Bulletin*.
- Parmi ces météorites, 97 % sont des trouvailles, 3 % sont des chutes et 70 % proviennent de l'[Antarctique](#).
- Ce nombre augmente d'environ 1 500 chaque année!

← → ↻ [ipi.usra.edu/meteor/metbull.php](http://ipi.usra.edu/meteor/metbull.php)



# THE METEORITICAL SOCIETY

International Society for Meteoritics and Planetary Science



[MetSoc Home](#)
[Publications](#)
[Contacts](#)

Search the [Meteoritical Bulletin Database](#)

**Last update: 23 Jan 2021**

<u>Search for:</u>	<u>Search type:</u>	<u>Search limits:</u>	<u>Display:</u>	<u>Publication:</u>	
<input checked="" type="radio"/> Names	<input checked="" type="radio"/> Contains	<input type="text" value="All countries"/>	<input type="text" value="Link to Google Earth"/>	<input type="text" value="All bulls"/>	
<input type="radio"/> Text <sup>?</sup>	<input type="radio"/> Starts with	<input type="text" value="All classifications"/>	<input type="text" value="Sort by name"/>	<b>What's new in the last:</b>	
<input type="radio"/> Places	<input type="radio"/> Exact	<input type="checkbox"/> NonAntarctic	<input type="text" value="50 lines/page"/>		<input type="text" value="(no time limit)"/>
<input type="radio"/> Classes	<input type="radio"/> Sounds like	<input type="checkbox"/> Falls <input type="checkbox"/> Non-NWAs	<input type="text" value="Normal table"/>		
<input type="radio"/> Years		<input type="checkbox"/> <a href="#">Has strewnfield</a>	<input type="checkbox"/> Limit to approved meteorite names		
		<input type="checkbox"/> <a href="#">Has photo</a>			
Search text: <input type="text"/>		<input type="button" value="Search!"/>	<input type="button" value="Reset"/>		

**Database stats:** 65111 valid meteorite names (includes relict meteorites); 7525 provisional names; 11921 full-text writeups.

**News feed for newly approved meteorites:**

**Data sources:**

- [The Catalogue of Meteorites](#): 2002 June (current through *Met. Bull.* 87).
- [MetBase](#): v7.2 (current through *Met. Bull.* 89).
- [Antarctic Meteorite Newsletter](#): through **43(2)**, 2020 Sept.
- [Meteorite Newsletter \(NIPR\)](#): through v.25, 2016.
- [Meteoritical Bulletin](#): through *Met. Bull.* 109, 2020.
- [Meteoritical Bulletin](#): 110 (2021): Meteorites approved through 23 Jan 2021.
- [Provisional names](#): Provisional names (all approved by NomCom).
- [Earth Impact Database](#): 18 January 2019.



## Search the Meteoritical Bulletin Database

**Last update: 23 Jan 2021**

Search for:

Search type:

Search limits:

Display:

Publication:

Names

Contains

All countries

Link to Google Earth

All bulls

Text <sup>?</sup>

Starts with

All classifications

Sort by name

**What's new  
in the last:**

Places

Exact

NonAntarctic

50 lines/page

(no time limit)

Classes

Sounds like

Falls  Non-NWAs

Normal table

Limit to approved meteorite names

Years

[Has strewnfield](#)

[Has photo](#)

Search text:

Campo del Cielo

Search!

Reset

2 records found for meteorites with names that contain "Campo del Cielo"

(click on a name for more information; click in header to sort)

Name <sup>?</sup>	Status <sup>?</sup>	Year <sup>?</sup>	Place <sup>?</sup>	Type <sup>?</sup>	Mass <sup>?</sup>	MetBull <sup>?</sup>	GoogleEarth <sup>?</sup> •• <a href="#">Map all</a> ↓	Notes
<a href="#">Campo del Cielo</a> **	Official	1576	Chaco, Argentina	<a href="#">Iron, IAB-MG</a>	50 t	<a href="#">36</a>		
<a href="#">Campo del Cielo [crater]</a> **	Crater	<4000 a	Chaco, Argentina	<a href="#">Impact Crater</a>				<a href="#">From EIDB</a>

\*\* Click on the meteorite's name to see the full initial description.

## Data for a specific record:

## Campo del Cielo

Basic information	<p><b>Name:</b> Campo del Cielo This is an OFFICIAL meteorite name.</p> <p><b>Abbreviation:</b> There is no official abbreviation for this meteorite.</p> <p><b>Observed fall:</b> No</p> <p><b>Year found:</b> 1576</p> <p><b>Country:</b> Argentina</p> <p><b>Mass:</b> <sup>2</sup> 50 t</p>								
Classification history:	<p>Meteoritical Bulletin: <a href="#">MB 36</a> (1966) Iron</p> <p>NHM Catalogue: <a href="#">5th Edition</a> (2000) IAB</p> <p>MetBase: <a href="#">v. 7.1</a> (2006) IAB-MG</p> <p><b>Recommended:</b> <b>Iron, IAB-MG</b> <a href="#">[explanation]</a></p> <p>This is 1 of 115 approved meteorites classified as Iron, IAB-MG. <a href="#">[show all]</a> Search for other: <a href="#">IAB complex irons</a>, <a href="#">Iron meteorites</a>, and <a href="#">Metal-rich meteorites</a></p>								
Writeup <sup>2</sup>	<p>Writeup from <a href="#">MB 24</a>:</p> <p><b>Warning: the following text was scanned and may contain character recognition errors. Refer to the original to be sure of accuracy.</b></p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px;"> <p><i>ELABIPÓN</i>, Environs of Gancedo, situated to the extreme S. W. of the Chaco government; (<math>\phi = 27^{\circ}30'S</math>, <math>\lambda = 61^{\circ}42'W</math>). Found, 1936. Iron, (undescribed). 1 specimen, the dimensions are approximately 73 X 50 X 40 cms., weight 460 kg. The meteorite was found by a day laborer, in the place «Campo del Cielo». The meteorite was received by the Museum of Natural History (Buenos Aires, Argentina) in 1942.</p> </div>								
References:	<p>Published in <a href="#">Meteoritical Bulletin, no. 24, Moscow (1962)</a></p> <p>Published in <a href="#">Meteoritical Bulletin, no. 33, Moscow (1965)</a></p> <p>Published in <a href="#">Meteoritical Bulletin, no. 36, Moscow (1966) reprinted Met. 5, 85-109 (1970)</a></p> <p>Find references in NASA ADS: </p> <p>Find references in Google Scholar: </p>								
Photos:	<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">Credit</th> <th>Photos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">Photos from the <a href="#">Encyclopedia of Meteorites</a>:</td> </tr> <tr> <td><a href="#">Meteoritemarket</a></td> <td></td> </tr> <tr> <td><a href="#">The "El Chaco" 37 tons meteorite. L. Mammana</a></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Credit	Photos	Photos from the <a href="#">Encyclopedia of Meteorites</a> :		<a href="#">Meteoritemarket</a>		<a href="#">The "El Chaco" 37 tons meteorite. L. Mammana</a>	
Credit	Photos								
Photos from the <a href="#">Encyclopedia of Meteorites</a> :									
<a href="#">Meteoritemarket</a>									
<a href="#">The "El Chaco" 37 tons meteorite. L. Mammana</a>									
Geography:	<p><b>Coordinates:</b></p> <p>Catalogue of Meteorites: (27° 28'S, 60° 35'W)</p> <p><b>Recommended:</b> (27° 28'S, 60° 35'W)</p> <p><b>Strenwfield:</b> <a href="#">Click here to view 21 members</a></p>								



## Comment reconnaître et déterminer la composition (la provenance) d'une météorite ?

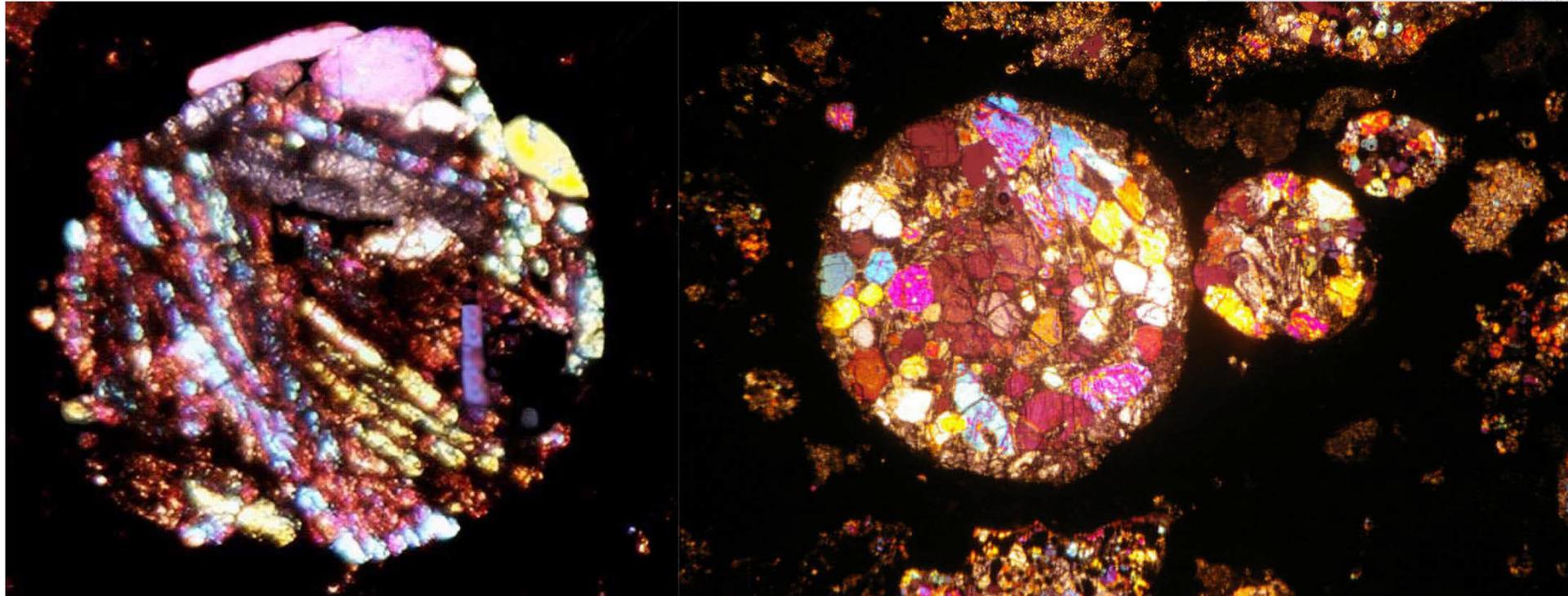
Le détail le plus frappant d'une météorite est son **poids**. Une météorite contenant généralement un peu de fer, sa masse volumique est supérieure à  $3.3 \text{ g/cm}^3$ . Une météorite ferreuse, ou *sidérite*, est bien souvent 2 à 3 fois plus lourde que les roches terrestres de même taille ( $\sim 8 \text{ g/cm}^3$  contre  $2.7 \text{ g/cm}^3$  pour une roche terrestre), tandis que les météorites rocheuses ou pierreuses, appelées *lithoïdes*, n'atteignent que la moitié de la densité des roches terrestres de même gabarit. Aussi, si vous découvrez une roche suspecte, la première chose à faire est d'évaluer sa masse volumique (cf. l'expérience d'Archimède ou l'encart ci-dessous).

Le test à l'acide est très intéressant pour les météorites ferreuses (sidérites). Les météorites ferreuses peuvent laisser apparaître lorsqu'elles sont coupées des formes géométriques typiques qu'on ne retrouve pas sur Terre. Ces structures correspondent à la cristallisation très lente du métal (fer et nickel) dans l'espace (quelques degrés par millions d'années). C'est ce qu'on appelle des **figures de Widmanstätten**.



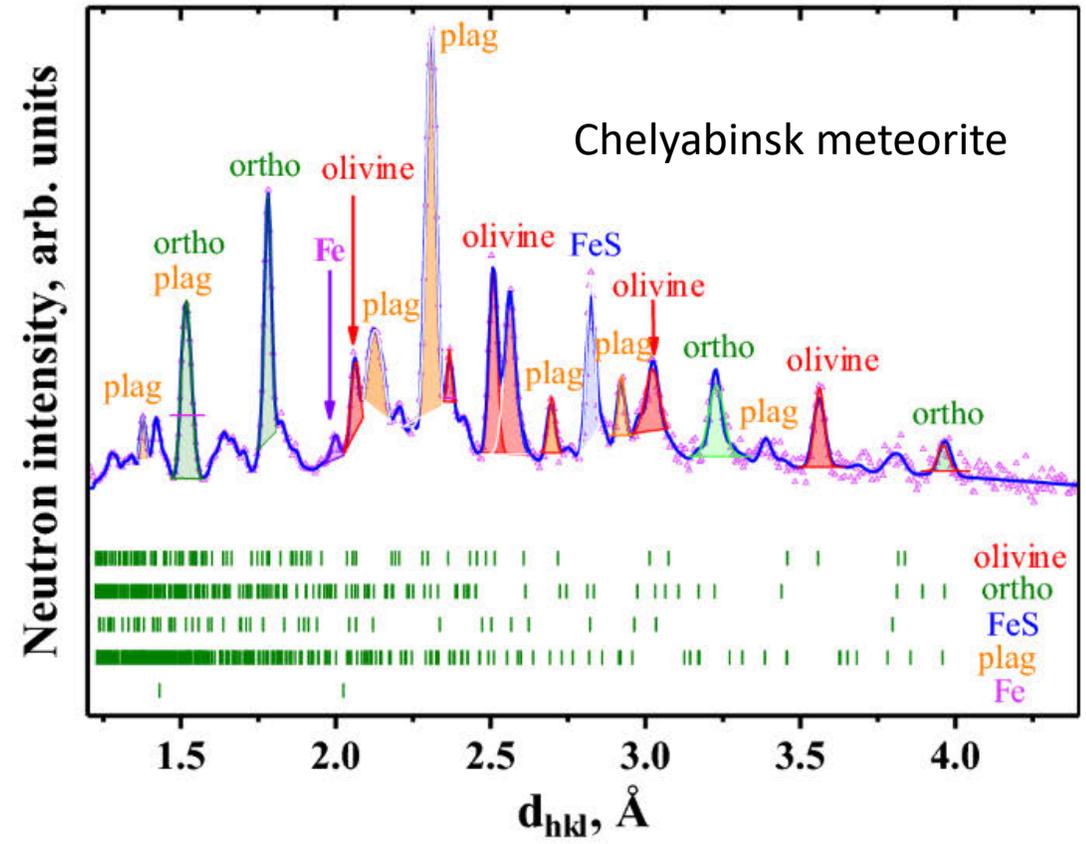
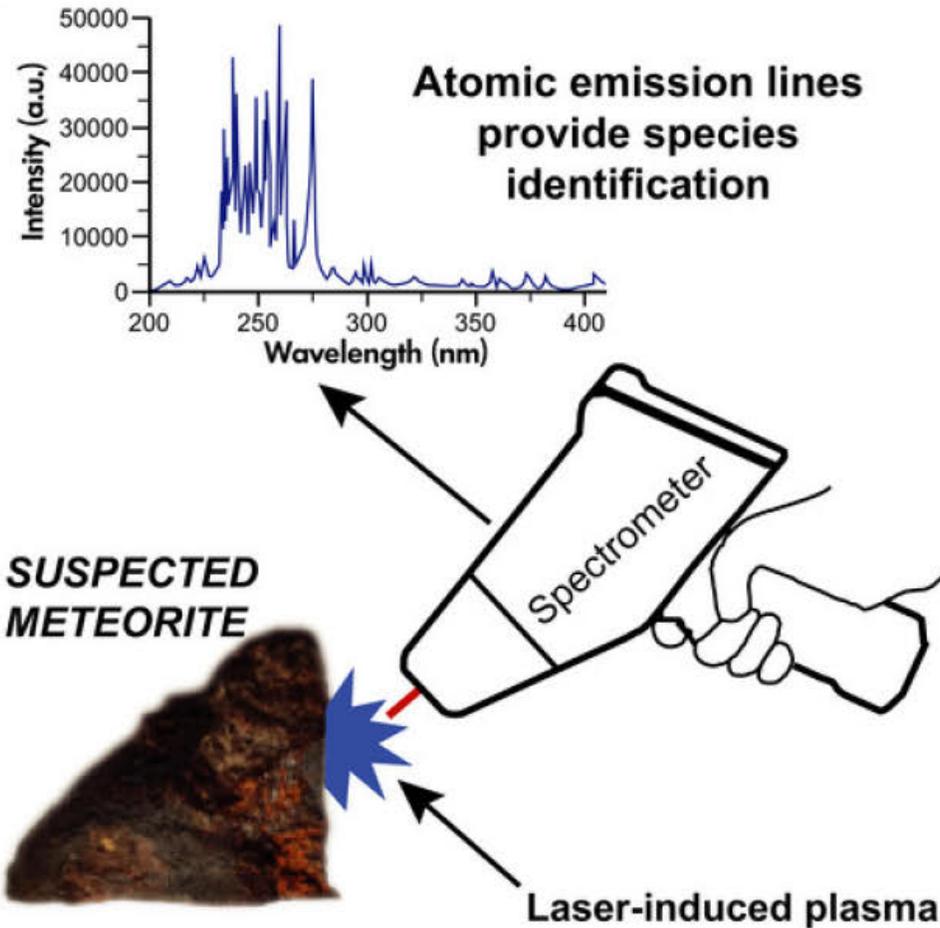
Grâce à des équipements de découpe professionnels, on réalise des coupes ou des lames minces de météorites (30 $\mu$ m).

La cristallisation interne est typique. Analyse en lumière polarisée au microscope (indice de réfraction).



Allende (CV3)  
Chondres

Un spectromètre XRF (X-Ray Fluorescence) permet d'analyser les compositions chimiques exactes des météorites



Quelques exemples remarquables...



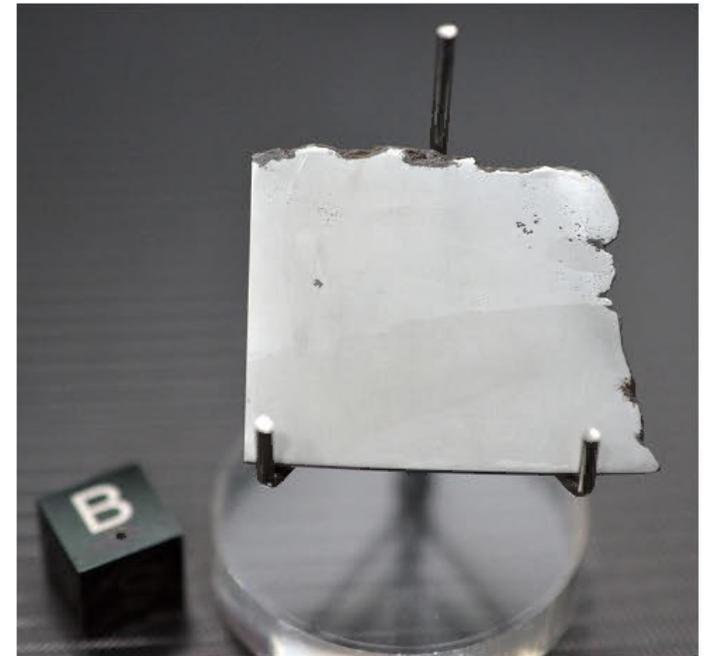
Ivuna, CI : composition initiale du système solaire et proto-Terre (rare 0,02%). Contient des aa

Allende (CV3) Chondres, éléments pré-solaires (-7,7MM années!!)





La Météorite d'Hoba, La Plus Grande Météorite Connue sur Terre (Iron, IVB), Namibie. 60 tonnes...





Sidérite IAB-MG



Deux fragments de météorite classés sur l'incroyable site de Campo Del Cielo [Campo Del Cielo](#), c'est le nom qui a été donné à une zone d'impact située en Argentine. On y trouve une vingtaine de cratères, résultant des impacts d'une seule et même météorite fragmentée. Celle-ci aurait frappé la Terre il y a 5.000 ans et la somme de ses fragments pèserait plus de 100 tonnes. Le plus imposant des morceaux, El Chaco, ne pèse pas moins de 37 tonnes. Il a été découvert tardivement, en 1969, enterré sous cinq mètres de terre. Mais elle pourrait être détrônée par un autre fragment du site, baptisé Gandeco et déterré fin 2016. En attendant confirmation, son poids est estimé à 30 tonnes.

Quelques spécimens beaucoup plus modeste de ma collection !!



Chondrite LL5 (S4 W0)



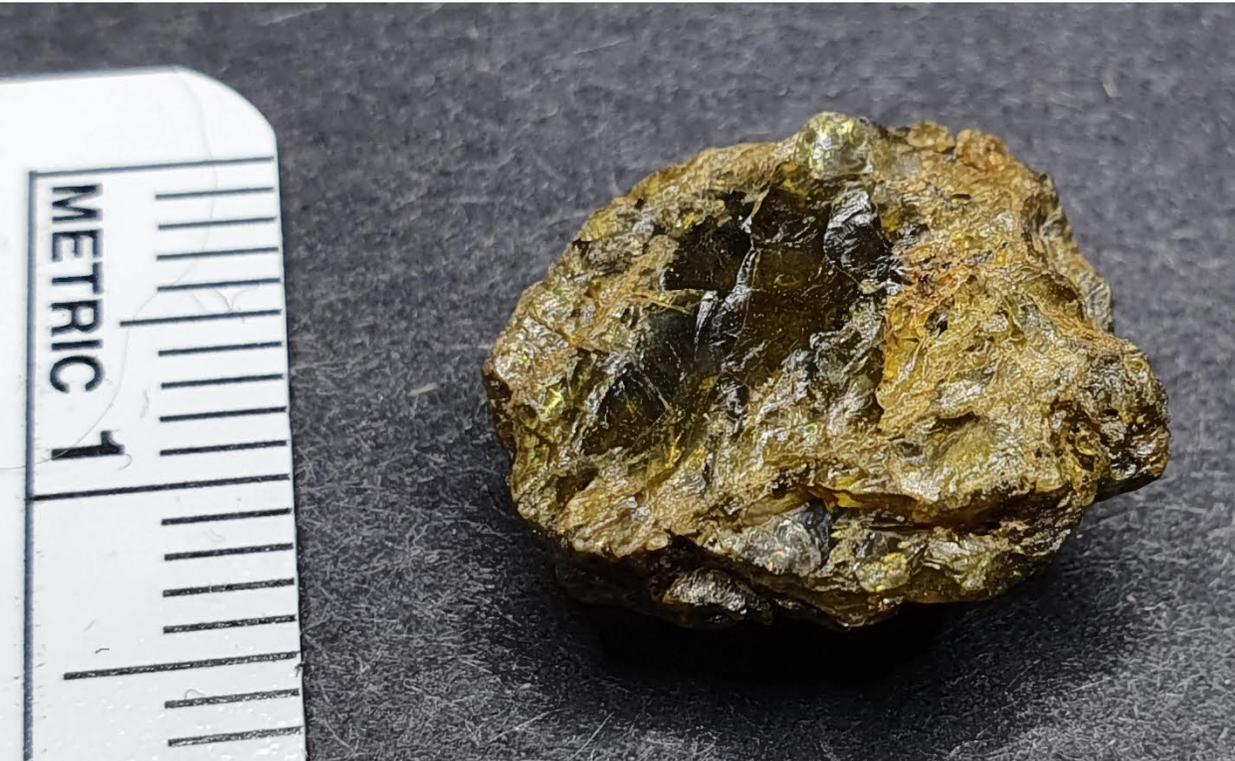
## Canyon Diablo, Sidérite octaédrite IAB-MG



La météorite Canyon Diablo s'est écrasée sur Terre il y a environ 49 000 ans. L'impact a formé Meteor Crater en Arizona.

HED = VESTA

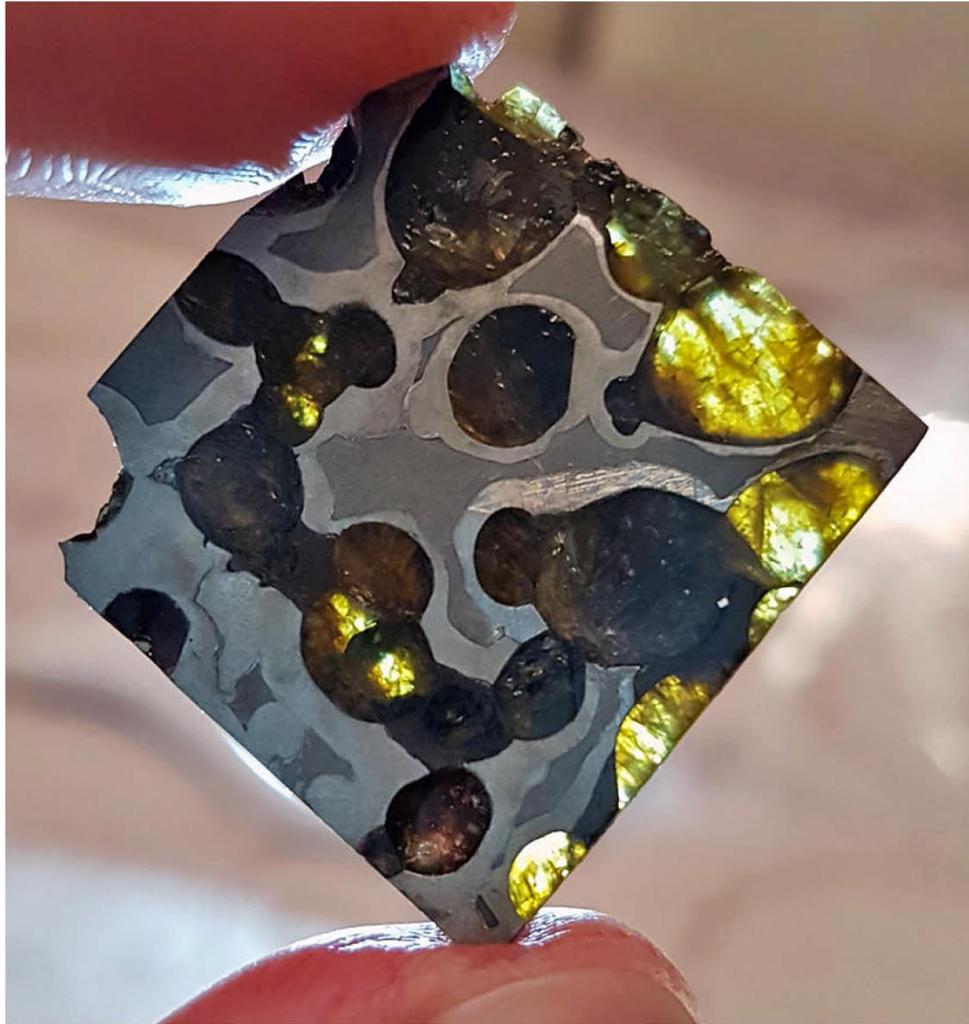
Diogénite NWA7831



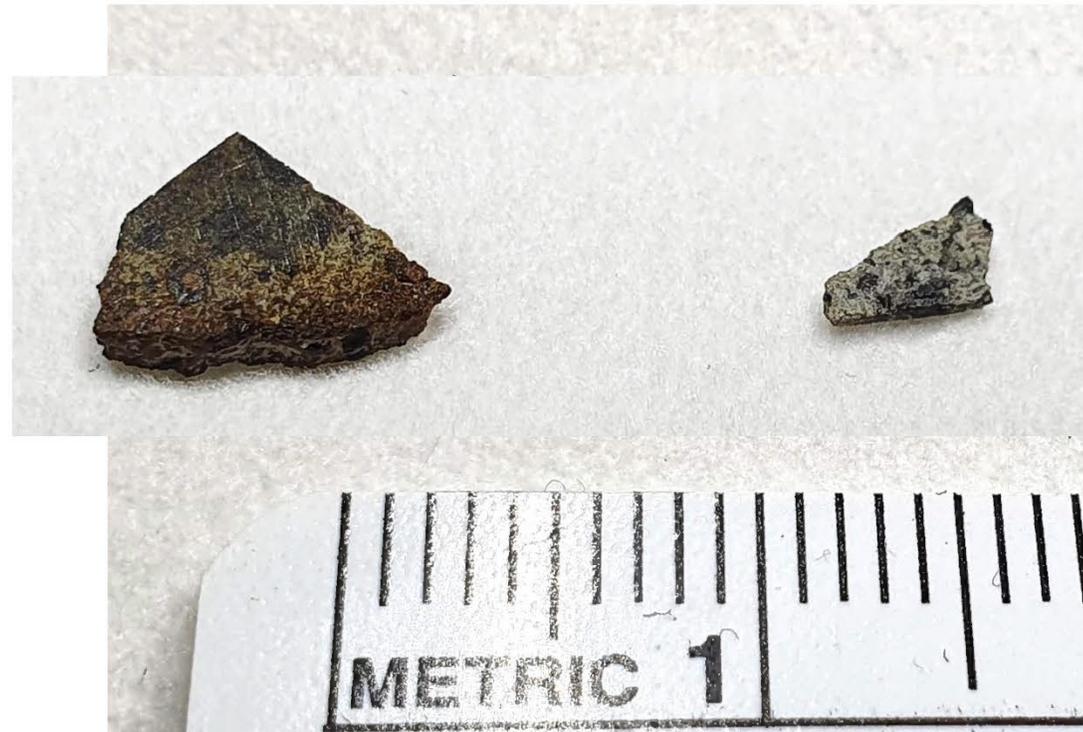
Eucryte Labenne 16001



Brenham, Pallasite-an

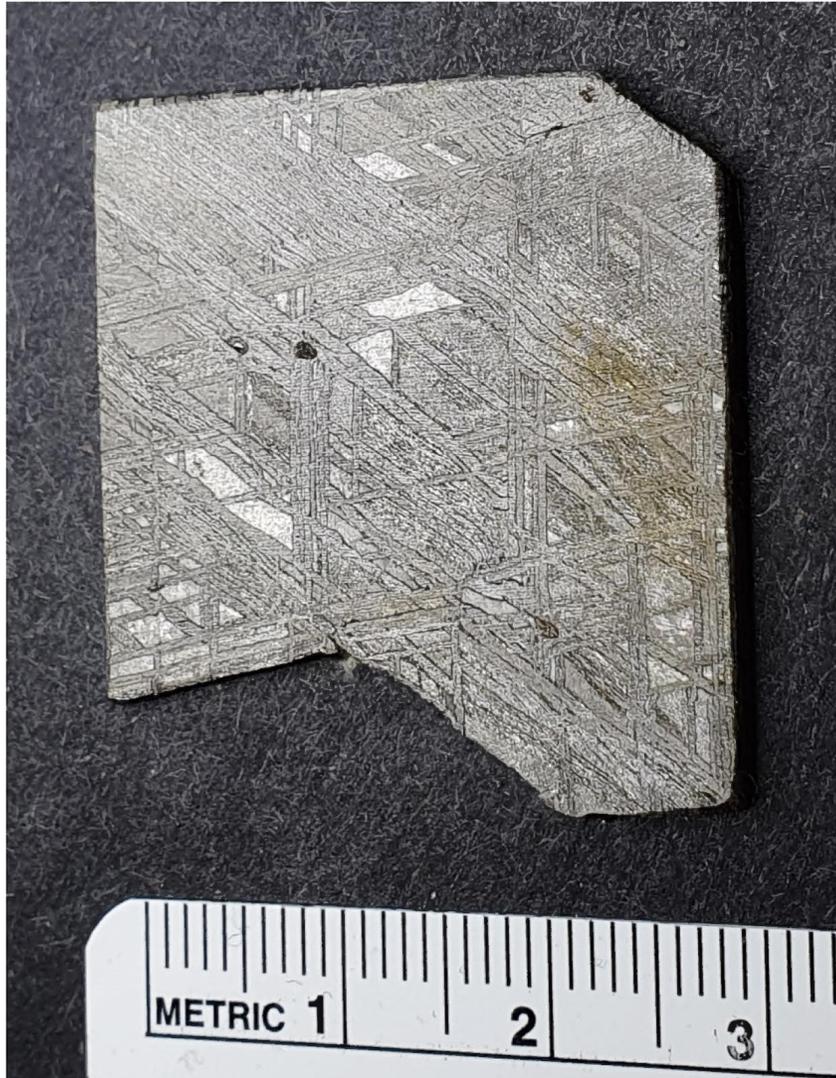


Lune  
NWA 10782  
Regolith breccia



Mars  
NWA 1195  
shergottite

NWA 2465 , Chondrite Ordinaire H5



Muonionalusta  
Sidérite, tranche, IVA



Travis (b) Chondrite H4



NWA 6552  
Chondrite L6 (S3 W2)



**LE CIEL VA  
NOUS TOMBER  
SUR LA  
TÊTE!**

