

# SYSTÈME SOLAIRE

## LE SYSTÈME SOLAIRE EN CHIFFRES

LE SYSTÈME SOLAIRE est formé d'une étoile, le Soleil, et de l'ensemble des astres, en particulier des planètes, qui gravitent autour.

Les planètes se concentrent autour du Soleil dans un disque d'environ 6 milliards de km de rayon, une distance que la lumière parcourt en moins de 6 h, mais l'on présume qu'il existe une vaste concentration de comètes à des distances de l'ordre de 1 à 1,5 année de lumière. L'étoile la plus proche du système solaire, Proxima du Centaure, se trouve à une distance de 4,22 années de lumière.

## CONSTITUANTS

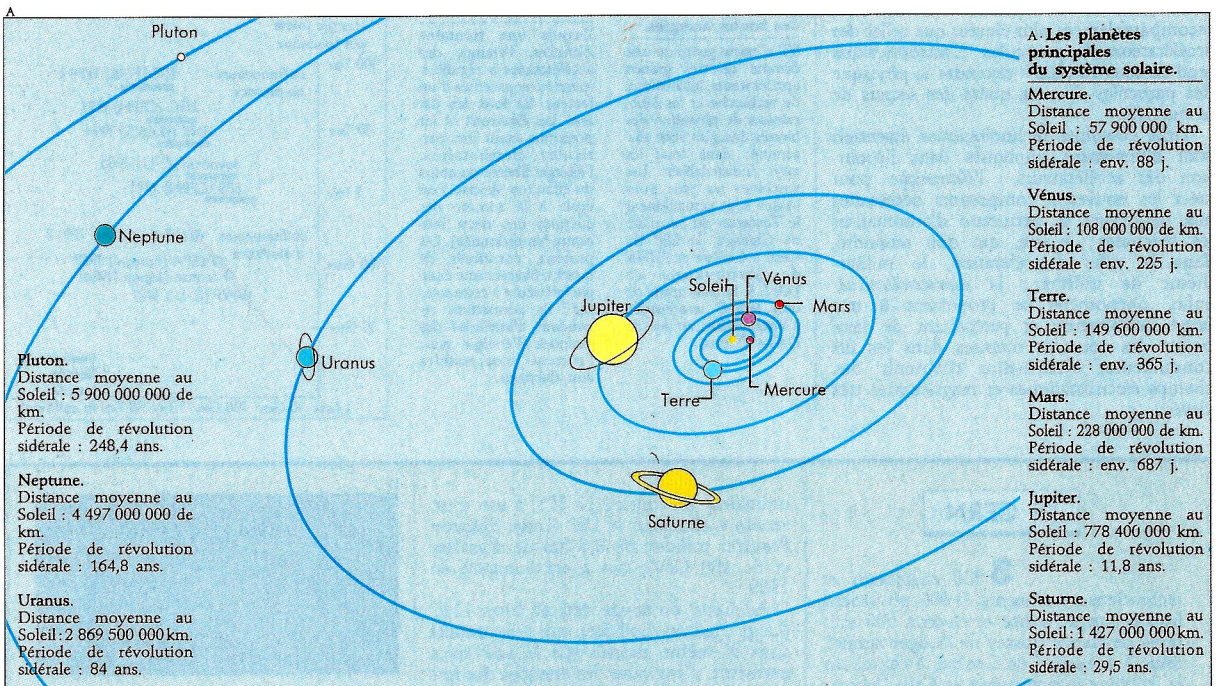
EN DEHORS du Soleil lui-même, le système solaire comprend neuf planètes principales, des milliers d'astéroïdes, des comètes, des météorites et des poussières interplanétaires. Les neuf planètes principales sont, de la plus proche du Soleil à la plus éloignée : Mercure, Vénus, la Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune et Pluton. Elles se répartissent en deux familles :

1° près du Soleil, les *planètes telluriques* (Mercure, Vénus, la Terre, Mars), petites mais denses, dotées d'une croûte solide et qui ont profondément évolué depuis leur formation ;

2° plus loin du Soleil, les *planètes géantes* (Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune), nettement plus massives et plus volumineuses,

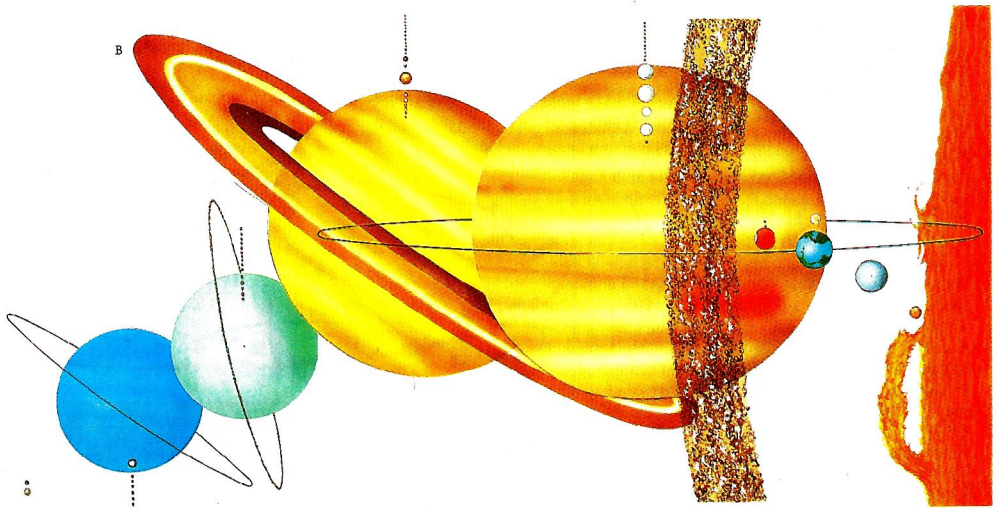
mais peu denses, et dont l'atmosphère, à base d'hydrogène et d'hélium, a gardé une composition très proche de celle de la nébuleuse dont elles sont issues. Pluton, encore mal connue, paraît s'apparenter aux planètes telluriques par ses dimensions et aux planètes géantes par sa densité.

**Loi de Titius-Bode.** Jusqu'à Uranus, les distances moyennes  $D$  des planètes au Soleil sont données approximativement (en unités astronomiques) par la relation :  $D = 0,4 + 0,3 \cdot 2^n$  avec  $n$  égal à  $-\infty$  pour Mercure, à 0 pour Vénus, à 1 pour la Terre, à 2 pour Mars, etc. Cette relation empirique, appelée loi de Titius-Bode, a été découverte en 1741 par l'Allemand Wolf, retrouvée en 1766 par son compatriote Johann Daniel Titius (1729-1796), mais popularisée par Johann Elert Bode (1747-1826), qui la publia en 1772.



## B - Dimensions comparées des planètes.

Les planètes du système solaire sont toutes représentées à la même échelle, avec leurs satellites connus (pour les plus petits, l'échelle n'est pas respectée). À partir du Soleil dont une portion apparaît à droite, on rencontre successivement *Mercure* (env. 4 880 km de diamètre), *Vénus* (env. 12 100 km), la *Terre* (env. 12 700 km), accompagnée de la Lune, *Mars* (env. 6 800 km) et ses 2 minuscules satellites, *Jupiter* (env. 140 000 km) et ses 16 satellites, *Saturne* (env. 120 000 km) et ses 17 satellites, *Uranus* (env. 51 000 km) et ses 15 satellites, *Neptune* (env. 49 000 km) et ses 8 satellites, enfin *Pluton* (env. 2 200 km), accompagné de son satellite Charon.



## LE SOLEIL EN CHIFFRES

LE RAYON DU SOLEIL est de 696 000 km environ et sa masse est évaluée à  $2.10^{30}$  kg, soit quelque 333 000 fois celle de la Terre. Sa masse volumique moyenne est voisine de  $1\,400\text{ kg/m}^3$  mais, au centre de l'astre, la masse volumique effective est à peu près 100 fois plus forte tandis que, dans les régions superficielles, elle est au contraire 1 000 fois plus faible.

## ACTIVITÉ SOLAIRE

DE NOMBREUX phénomènes sont liés à des perturbations magnétiques du Soleil : ils constituent l'activité solaire. Celle-ci se manifeste sur la photosphère par des taches et des facules ; dans la chromosphère, par des éruptions et des protubérances ; dans la couronne, par des jets. On la détecte dans tous les domaines de longueur d'onde

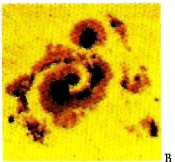
accessibles à l'observation. Au terme de 25 ans d'observation quotidienne du Soleil, l'astronome amateur allemand H.S. Schwabe a mis en évidence, en 1843, une périodicité de 11 ans dans le nombre de taches solaires. Les observations poursuivies ensuite systématiquement par le Suisse R. Wolf ont confirmé l'existence de ce cycle undécennal de l'activité solaire, marqué notamment par une alternance de maximums et de minimums du nombre de taches à la surface du Soleil.

Spicules. A. Structure du Soleil.

Structures en forme d'épis observables dans la chromosphère en lumière monochromatique.

Protubérances.

Taches solaires. Formations temporaires sombres de la photosphère ; leur température ( $\sim 4\,500\text{ K}$ ) est plus basse que celle de leur environnement et elles sont le siège de champs magnétiques intenses.



Facules.

Plages brillantes entourant les taches et correspondant à des zones de renforcement du champ magnétique.

Noyau.

Région centrale du Soleil, la plus chaude ( $\sim 15$  millions de degrés), siège des réactions thermonucléaires qui alimentent le Soleil en énergie.

Vent solaire.

Flux de particules chargées, principalement protons et électrons, qui s'échappe en permanence de la couronne solaire vers le milieu interplanétaire.

Zone de convection.

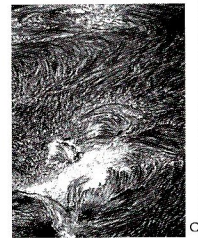
Couche turbulente, située sous la photosphère, où l'énergie est transportée par convection ; elle serait épaisse d'environ 200 000 km.

Zone radiative.

Couche profonde, enveloppant le noyau, où l'énergie est transportée par rayonnement.

Chromosphère.

Couche rose vif, épaisse d'environ 10 000 km, qui enveloppe la photosphère, et d'où s'échappent des protubérances.



Couronne.

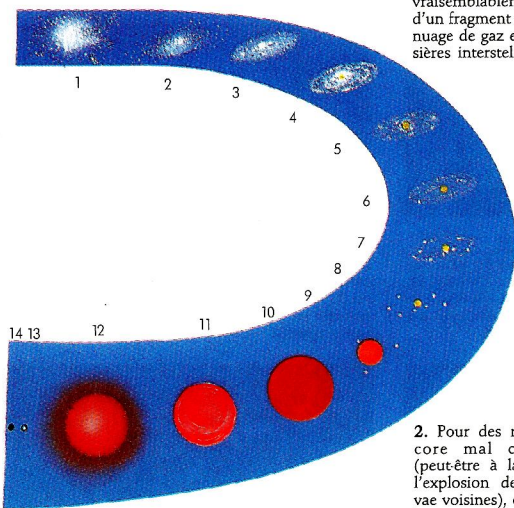
Région la plus externe de l'atmosphère solaire, qui s'étend jusqu'à plusieurs millions de kilomètres dans le milieu interplanétaire.



Photosphère.

Région de l'atmosphère solaire d'où provient la quasi-totalité de la lumière visible. Elle ne dépasse pas 200 km d'épaisseur.

## E. Évolution du système solaire.



1. Le système solaire est vraisemblablement issu d'un fragment d'un vaste nuage de gaz et de poussières interstellaires.

2. Pour des raisons encore mal comprises (peut-être à la suite de l'explosion de supernovae voisines), cette nébuleuse a commencé à s'effondrer sous son propre poids.

3. Sous l'effet de sa contraction gravitationnelle, la nébuleuse a pris progressivement la forme d'un disque aplati en rotation, où la pression, la température et la densité augmentaient du bord vers le centre.

4. Il y a 4,6 milliards d'années, le Soleil s'est condensé dans la partie centrale de la nébuleuse, la plus chaude et la plus dense.

5. Après l'allumage des réactions nucléaires au cœur du Soleil, sa luminosité diminua et le disque de matière qui l'entourait se refroidit. Son environnement gazeux se solidifia en petits grains constitués, près du Soleil, d'éléments réfractaires et, plus loin, de glaces diverses.

6. Par accretion progressive de matière, sous l'effet de leurs collisions mutuelles, les grains engendrèrent de petits planètes de dimensions kilométriques.

7. La poursuite du processus d'accrétion collisionnelle aboutit à la formation d'embryons planétaires d'environ 1 000 km de diamètre.

8. Les embryons planétaires, par leurs interactions gravitationnelles mutuelles, ont achevé leur croissance et donné naissance aux planètes. L'ensemble du processus de formation des planètes s'est déroulé sur quelque 100 millions d'années.

9. Dans 5 milliards d'années environ, le Soleil aura épuisé ses réserves d'hydrogène et changera de structure. Tout en se contractant au centre, il deviendra beaucoup plus volumineux avec une température de surface plus basse.

10. Lorsque sa température centrale dépassera 100 millions de degrés, le Soleil commencera à brûler son hélium. Ce sera alors une géante rouge, au rayon 50 fois

plus grand qu'aujourd'hui, et la Terre sera une fournaise.

11. Quand ses régions centrales seront principalement composées des produits de fusion de l'hélium, le carbone et l'oxygène, le Soleil connaîtra une nouvelle période d'instabilité, et son diamètre oscillera.

12. Lorsqu'il aura épuisé tout son combustible nucléaire, le Soleil éjectera brutalement son enveloppe, et cette coquille de gaz en expansion engendrera une nébuleuse planétaire.

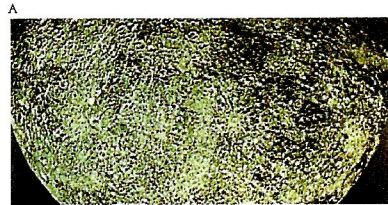
13. Le noyau résiduel du Soleil s'effondrera pour former une naine blanche, petite étoile très dense de la taille de la Terre, ayant une température de surface d'environ 10 000 K.

14. Le rayonnement de la naine blanche déclinera peu à peu et celle-ci se transformera finalement en une naine noire, très froide et inobservable.

# SYSTÈME SOLAIRE

## PLANÈTES

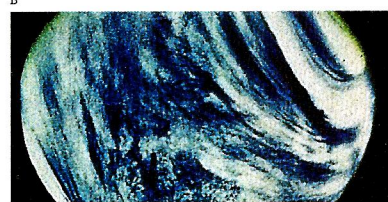
**P**ARMI LES PLANÈTES principales du système solaire, les cinq plus proches de la Terre (Mercure, Vénus, Mars, Jupiter, Saturne) sont visibles à l'œil nu et observées depuis l'Antiquité. Les trois plus lointaines ont été découvertes au télescope : Uranus en 1781, Neptune en 1846 (à la suite de calculs) et Pluton en 1930.



**A - Mercure.**

Un petit monde dont la surface, soumise à de grands écarts thermiques et bombardée par les météorites,

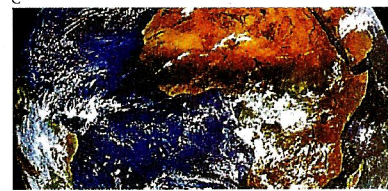
s'apparente à celle de la Lune mais qui recèle vraisemblablement un volumineux noyau de fer.



**B - Vénus.**

La sœur jumelle de la Terre, devenue un enfer par suite de sa plus grande proximité du So-

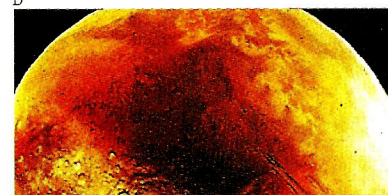
leil et de son épaisse atmosphère de gaz carbonique.



**C - Terre.**

La planète bleue, qui abrite la vie. Elle se distingue des autres planètes par son atmo-

sphère, constituée essentiellement d'azote et d'oxygène.

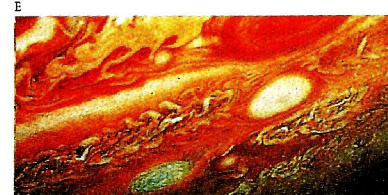


**D - Mars.**

La planète rouge, jadis siège d'un volcanisme intense et sur laquelle de l'eau paraît avoir coulé. L'homme ira l'explorer.

**E - Jupiter.**

Un monde géant d'hydrogène et d'hélium, en rotation rapide. Sa masse représente plus de 300 fois celle de la Terre.



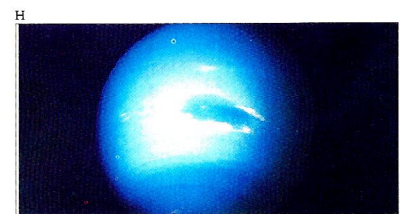
### Caractéristiques des planètes du système solaire.

	MERCURE ☿	VÉNUS ♀	TERRE ♁	MARS ♂	
<b>Caractéristiques orbitales</b>					
Révolution sidérale	87,95 j	224,70 j	365,26 j	686,98 j	
Révolution synodique	115,88 j	583,92 j	-	779,94 j	
Distance moyenne au Soleil (ua)	0,387	0,723	1,0	1,524	
Distance moyenne au Soleil (millions de km)	57,90	108,2	149,6	227,99	
Distance max.-min. à la Terre (millions de km)	80 - 219	42 - 257	-	50 - 380	
Excentricité de l'orbite	0,2056	0,0068	0,0167	0,0934	
Inclinaison de l'écliptique	7° 00'	3° 24'	0°	1° 51'	
Vitesse orbitale (km/s)	48	35	30	24	
<b>Caractéristiques physiques</b>					
Période de rotation	59 j	243 j (rétr.)	23h 56min	24h 37min	
Aplatissement	0,0	0,0	0,003353	0,005	
Rayon équatorial (km)	2 439	6 052	6 378,14	3 397,2	
Rayon apparent max.-min.	6", 5 - 2", 5	32" - 5"	-	12", 5 - 1", 7	
Masse rapportée à celle de la Terre	0,0553	0,815	1,00	0,1074	
Densité moyenne	5,4	5,2	5,52	3,97	
Température moyenne diurne au sol	400 °C	470 °C	20 °C	0 °C	
Albédo	0,06	0,49	0,37	0,14	
Constituants principaux de l'atmosphère	Ne H	CO <sub>2</sub> , CO H <sub>2</sub> O N <sub>2</sub> , HCl HF O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O, Ar CO <sub>2</sub> , CO H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> CO <sub>2</sub> , CO (H <sub>2</sub> O), Ar	
Champ magnétique (gammas)	350	0	35 000	0	
Nombre de satellites connus	0	0	1	2	
<b>JUPITER</b> ♃					
<b>SATURNE</b> ♄					
<b>URANUS</b> ♅					
<b>NEPTUNE</b> ♆					
<b>PLUTON</b> ♇					
<b>Caractéristiques orbitales</b>					
Révolution sidérale	11,86 ans	29,46 ans	84,01 ans	164,79 ans	248,4 ans
Révolution synodique	398,88 j	378,09 j	369,66 j	367,49 j	366,74 j
Distance moyenne au Soleil (ua)	5,203	9,539	19,18	30,07	39,44
Distance moyenne au Soleil (millions de km)	778,37	1 427,0	2 869,5	4 497,0	5 900
Distance max.-min. à la Terre (millions de km)	590 - 965	1 200 - 1 650	2 700 - 3 100	4 347 - 4 647	5 700 - 6 100
Excentricité de l'orbite	0,0485	0,0556	0,0472	0,0086	0,25
Inclinaison de l'écliptique	1° 18'	2° 29'	0° 46'	1° 46'	17° 10'
Vitesse orbitale (km/s)	13	10	7	5	5
<b>Caractéristiques physiques</b>					
Période de rotation	9h 55min	10h 24min	17h 14min	16h 07min	6j 9h 18min
Aplatissement	0,062	0,096	0,06	0,02	?
Rayon équatorial (km)	71 398	60 000	25 600	24 765	~ 1 100
Rayon apparent max.-min.	25" - 16"	10" - 7"	1,8"	1,1"	< 1"
Masse rapportée à celle de la Terre	317,892	95,168	14,559	17,617	0,17 ?
Densité moyenne	1,33	0,69	1,27	1,64	?
Température moyenne diurne au sol	-103 °C	-138 °C	-218 °C	-224 °C	-200 °C
Albédo	0,38	0,42	0,42	0,49	0,15 ?
Constituants principaux de l'atmosphère	H <sub>2</sub> H <sub>2</sub> CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub> N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , HCN H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> H <sub>2</sub> CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> H <sub>2</sub> CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> H <sub>2</sub> H <sub>2</sub> CH <sub>4</sub>	?
Champ magnétique (gammas)	420 000	20 000	25 000	10 000	?
Nombre de satellites connus	16	17	15	8	1



**F - Saturne.**

Un autre géant entouré d'une nappe de débris glacés, structurés en un impressionnant système d'anneaux.



**H - Neptune.**

La plus lointaine des planètes géantes, découverte par le calcul en 1846, et survolée en 1989 par une sonde spatiale.



**G - Uranus.**

Un monde de glace, enveloppé d'hydrogène, d'hélium, de méthane et de fins anneaux de matière carbonée.



**I - Pluton.**

Le nain de la famille, découvert en 1930. Il pourrait s'agir d'un ancien satellite de Neptune.

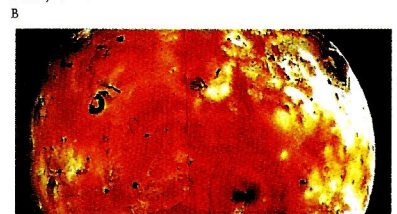
SATELLITES NATURELS

ON CONNAÎT aujourd'hui 60 satellites planétaires naturels dans le système solaire : 1 autour de la Terre (la Lune), 2 autour de Mars, 16 autour de Jupiter, 17 autour de Saturne, 15 autour d'Uranus, 8 autour de Neptune et 1 autour de Pluton ; 26 ont été découverts sur des photographies obtenues par des sondes spatiales. Le plus gros, **Ganymède**, autour de Jupiter, a 5 260 km de diamètre ; les plus petits ne sont que des rochers d'environ 10 km. Le plus proche de sa planète mère est **Phobos**, qui tourne à 9 380 km de Mars ; le plus éloigné, **Sinope**, qui circule, en moyenne, à 23 725 000 km de Jupiter. **Néréide** présente l'orbite la plus allongée : en 360 jours, sa distance à Neptune varie de 140 000 km à 9 500 000 km. **Io** (3 630 km de diamètre), l'un des principaux satellites de Jupiter, est le siège de volcans : on y a décelé une centaine de cheminées volcaniques, parmi lesquelles au moins 8 volcans en activité, d'où s'échappent des panaches d'anhydride sulfuré à des altitudes atteignant jusqu'à 280 km. **Miranda** (480 km de diamètre), autour d'Uranus, présente le relief le plus accidenté.



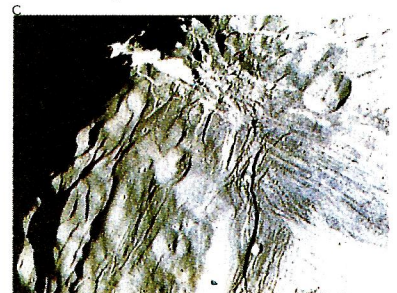
A - Europe.

Ce satellite de Jupiter, un peu plus petit que la Lune, est un monde de glace à la surface exceptionnellement lisse, striée de fractures.



B - Io.

Autre satellite de Jupiter, de dimension comparable à la Lune, il est le siège d'un volcanisme actif.



C - Miranda.

Étonnamment complexe, le relief de ce satellite d'Uranus juxtapose des terrains chaotiques semés de cratères d'impact et de corps aussi petit (480 km de diamètre) et aussi froids (-187°C à la surface) reste une énigme. hauteur et des fossés d'effondrement de 10 à 15 km de profondeur. Cette extraordinaire mosaïque géologique sur un corps aussi petit (480 km de diamètre) et aussi froid (-187°C à la surface) reste une énigme.

Les satellites naturels des planètes.

nom	n°	année de découverte	année de découverte [r si rétrograde]	de révolution sidérale (jours)	de l'orbite (distance moyenne à la planète)	(en rayons de la planète)	diamètre (km)	densité (eau=1)
<b>Terre</b>								
Lune				27,3217	384,40	60,268	3476	3,33
<b>Mars</b>								
Phobos	I	1877		0,319	9,35	2,76	27 × 21 × 19 <sup>4</sup>	2
Deimos	II	1877		1,262	23,49	6,91	15 × 12 × 11 <sup>4</sup>	2
<b>Jupiter</b>								
Métis	XVI	1979		0,294	127,6	1,79	~40	?
Adrastée	XV	1979		0,297	128,4	1,80	~40	?
Amalthée	V	1892		0,498	181,0	2,52	270 × 170 × 150	?
Thébée	XIV	1979		0,678	222,4	3,11	~80	?
Io	I	1610		1,769	421,6	5,90	3 632	3,53
Europe	II	1610		3,551	670,9	9,40	3 126	3,08
Ganymède	III	1610		7,155	1 070,0	14,99	5 276	1,93
Callisto	IV	1610		16,689	1 880,0	26,33	4 820	1,79
Leda	XIII	1974		239	11 094	156,0	~10	?
Himalia	VI	1904		251	11 480	159,8	180	?
Lysithea	X	1938		259	11 720	163,2	~20	?
Elara	VII	1905		260	11 737	163,4	~80	?
Ananke	XII	1951		631 (r)	21 200	295,3	~20	?
Carme	XI	1938		692 (r)	22 600	314,2	~30	?
Pasiphae	VIII	1908		735 (r)	23 500	326,6	~40	?
Sinope	IX	1914		758 (r)	23 000	330,3	~10	?
<b>Saturne</b>								
Atlas	XV	1980		0,602	137,7	2,28	20 × 40	?
Prométhée	XVI	1980		0,613	139,4	2,31	140 × 100 × 80	?
Pandore	XVII	1980		0,628	141,7	2,35	110 × 90 × 70	?
Épiméthée	XI	1980		0,694	151,4	2,51	140 × 120 × 100	?
Janus	X	1966		0,695	151,5	2,51	220 × 200 × 160	?
Mimas	I	1789		0,942	188,2	3,08	390	1,2
Encelade	II	1789		1,370	240,2	3,95	510	1,2
Calypso	XIV	1980		1,888	294,6	4,88	34 × 22 × 22	?
Téthys	III	1684		1,888	294,7	4,88	1060	1,2
Teleso	XIII	1980		1,888	294,7	4,88	34 × 28 × 26	?
Dioné	IV	1684		2,737	377,4	6,26	1120	1,4
Hélène	XII	1980		2,737	377,4	6,26	36 × 32 × 30	?
Rhée	V	1672		4,517	527,1	8,74	1530	1,2
Titan	VI	1655		15,945	1 221,9	20,25	5150	1,9
Hypériorion	VII	1848		21,276	1 481,0	24,55	410 × 260 × 220	1,2
Japet	VIII	1671		79,33	3 560,8	59,02	1460	1,2
Phoébé	IX	1898		550,45 (r)	12 954	214,7	220	?
<b>Uranus</b>								
Cordelia	VI	1986		0,33	49,7	1,95	~40	?
Ophélie	VII	1986		0,37	53,8	2,10	~50	?
Bianca	VIII	1986		0,43	59,2	2,31	~50	?
Cressida	IX	1986		0,46	61,8	2,41	~60	?
Desdémona	X	1986		0,47	62,7	2,45	~60	?
Juliet	XI	1986		0,49	64,6	2,52	~80	?
Portia	XII	1986		0,51	66,1	2,58	~80	?
Rosalind	XIII	1986		0,56	69,9	2,73	~60	?
Belinda	XIV	1986		0,62	75,3	2,94	~60	?
Puck	XV	1985		0,76	86,0	3,36	~170	?
Miranda	V	1948		1,41 (r)	129,9	5,49	480	1,3
Ariel	I	1851		2,520 (r)	190,9	8,14	1160	1,6
Umbriel	II	1851		4,144 (r)	266,0	11,35	1190	1,4
Titania	III	1787		8,706 (r)	436,3	18,61	1580	1,6
Obéron	IV	1787		13,46 (r)	583,4	24,89	1526	1,5
<b>Neptune</b>								
1989 N6		1989		0,29	48	1,94	50	?
1989 N5		1989		0,31	50	2,02	80	?
1989 N3		1989		0,34	52,5	2,12	180	?
1989 N4		1989		0,43	62	2,50	150	?
1989 N2		1989		0,56	73,6	2,97	190	?
1989 N1		1989		1,12	117,6	4,75	400	?
Triton	I	1848		5,88 (r)	354,8	14,33	2 705	2,05
Néréide	II	1949		365,2	5 513,4	222,65	340	?
<b>Pluton</b>								
Charon	I	1978		6,3867	19,7	13	1 200	

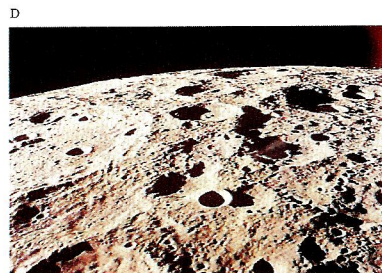
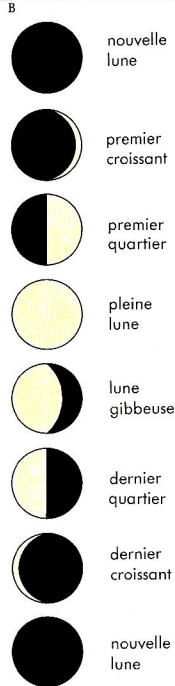
# SYSTÈME SOLAIRE

## LA LUNE EN CHIFFRES

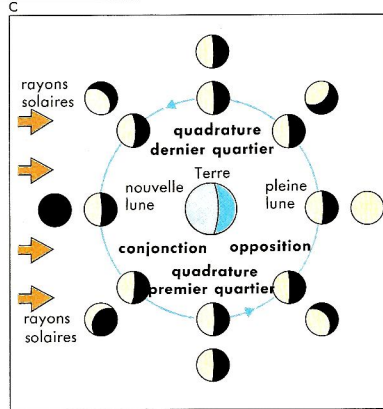
**S**ATELLITE NATUREL de la Terre, la Lune tourne, en moyenne, à 384 400 km de notre planète (356 375 km au plus près, 406 720 km au plus loin) à une vitesse d'environ 3 700 km/h. Son diamètre moyen vaut 3 476 km (0,27 fois le diamètre équatorial de la Terre). Sa masse est estimée au 1/81 de celle de la Terre et sa densité à 3,34. L'accélération de la pesanteur à l'équateur n'y dépasse pas 1,627 m/s<sup>2</sup>, de sorte que les corps, à sa surface, paraissent environ 6 fois plus légers que sur la Terre. Sa rotation par rapport aux étoiles s'effectue en 27 j 7 h 43 min 11,5 s mais il lui faut en moyenne 29 j 12 h 44 min 2,8 s pour revenir dans la même position par rapport au Soleil, cette durée correspondant au cycle des phases lunaires (lunaisons).

## LE RELIEF LUNAIRE

**O**N DISTINGUE principalement sur la Lune : **des mers**, vastes étendues planes, sombres, constituées de roches basaltiques et généralement bordées de montagnes; les premiers observateurs, au XVII<sup>e</sup> s., les avaient prises pour des étendues d'eau, d'où leur nom; certaines, au contour irrégulier, se ramifient en **golfs**, **caps**, **lacs** ou **marais**; **des continents**, régions claires, montagneuses et saturées de cratères; les plus hautes montagnes (monts Leibniz) culminent à 8 200 m; **des cratères** (ou **cirques**, pour les plus vastes, bordés de remparts montagneux), dépressions circulaires ou polygonales creusées par des météorites; le plus grand (Bailey) a 270 km de diamètre; le plus profond (Newton), 7 250 m de profondeur; les plus petits discernables de la Terre, environ 1 km de diamètre.



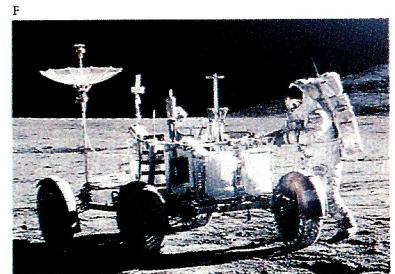
**D. Cratères lunaires.**  
Les cratères d'impacts météoritiques constituent l'un des traits majeurs du relief lunaire.



**B. Une lunaison.**  
De haut en bas : nouvelle lune (invisible), premier croissant, premier quartier, lune gibbeuse, pleine lune, dernier quartier, dernier croissant. Au premier quartier, on voit l'équivalent de la partie supérieure d'un p (initiale de premier); au dernier quartier, l'équivalent de la partie inférieure d'un d (initiale de dernier).

**C. Le cycle des phases lunaires.**  
Les phases de la Lune se reproduisent au terme d'un cycle de 29,5 j (lunaison, ou mois lunaire). Celui-ci débute à

la nouvelle lune : située dans la direction du Soleil, la Lune tourne alors vers nous sa face obscure et est invisible. Puis apparaît, le soir, un fin croissant, qui s'épaissit de jour en jour. Au premier quartier, la Lune est en quadrature avec le Soleil. On voit la moitié droite de son hémisphère éclairé et elle se couche à minuit. Sa phase augmente encore (lune gibbeuse) jusqu'à la pleine lune. La Lune se trouve alors à l'opposé du Soleil et brille toute la nuit en nous montrant la totalité de sa face éclairée. Ensuite, sa phase décroît. Au dernier quartier, on voit la moitié gauche de son hémisphère éclairé et elle se lève à minuit. Puis sa portion visible se réduit à un croissant qui s'amincit progressivement et finit par disparaître.



**F. L'homme sur la Lune.**  
Notre connaissance de la Lune a considérablement progressé depuis qu'elle a été explorée par l'homme. Dans le cadre du programme américain Apollo, 12 astronautes ont foulé son sol, entre 1969 et 1972, et rapporté sur la Terre pour analyse 382 kg d'échantillons de roches lunaires.

## LES ÉCLIPSES

**L**E MOUVEMENT de la Lune autour de la Terre permet d'observer périodiquement des éclipses de Lune et de Soleil. Une éclipse de Lune se produit lorsque la Lune traverse l'ombre de la Terre; elle peut être totale ou partielle et survient toujours à la pleine lune. Une éclipse de Soleil se produit lorsque la Lune occulte le Soleil dans le ciel; elle peut être totale, partielle ou annulaire et survient toujours à la nouvelle Lune. Les

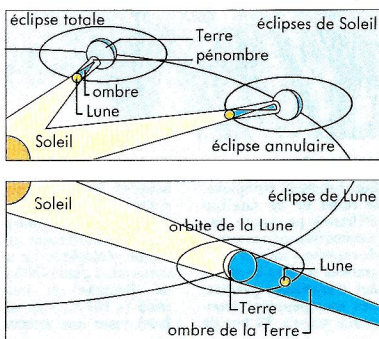
éclipses de Soleil et de Lune se reproduisent identiquement au terme d'un cycle de 18 ans et 10, 11 ou 12 jours appelé *saros*, durant lequel se produisent, en moyenne, 84 éclipses (42 de Lune et 42 de Soleil). À la différence d'une éclipse de Lune, une éclipse de Soleil n'est observable que dans une zone relativement restreinte de la surface terrestre. En un lieu donné, il est donc plus rare d'être témoin d'une éclipse de Soleil.

**Les prochaines éclipses de Lune**

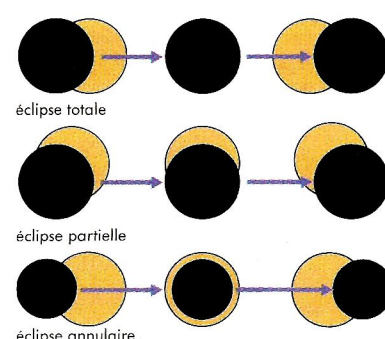
date	type	grandeur (fraction du diamètre lunaire éclipsé)	heure du milieu de l'éclipse lunaire (en temps universel)
21 déc. 1991	partielle	0,095	10 h 33
5 juin 1992	partielle	0,687	04 h 58
9 déc. 1992	totale	1,277	23 h 45
4 juin 1993	totale	1,566	13 h 02
29 nov. 1993	totale	1,091	06 h 27
25 mai 1994	partielle	0,248	03 h 31
15 avr. 1995	partielle	0,118	12 h 19
4 avr. 1996	totale	1,384	0 h 11

Ce tableau ne contient pas les éclipses par la pénombre.

**A. Mécanisme des éclipses de Soleil et de Lune.**



**E. Différents types d'éclipses de Soleil.**



**Les prochaines éclipses de Soleil**

date de l'éclipse	type	durée maximale de la phase de totalité
15 janvier 1991	annulaire	—
11 juillet 1991	totale	7 min 06 s
4 janvier 1992	annulaire	—
30 juin 1992	totale	5 min 24 s
10 mai 1994	annulaire	—
3 novembre 1994	totale	4 min 36 s
29 avril 1995	annulaire	—
24 octobre 1995	totale	2 min 15 s

## LES ASTÉROÏDES EN CHIFFRES

LE 1<sup>er</sup> JANVIER 1801, à Palerme, le P. Giuseppe Piazzi eut la surprise de découvrir dans la constellation du Taureau un astre ne figurant sur aucune carte et qui se révéla être une petite planète circulant entre Mars et Jupiter à une distance moyenne de 414 millions de kilomètres du Soleil avec une période de révolution de 1680 j. Mais cette petite planète, qui fut nommée Cérès, n'était pas unique. Dans les années suivantes, on découvrit successivement Pallas (1802), Junon (1804), Vesta (1807) et Astrée (1845). Depuis 1848, il ne s'est pas passé d'année sans nouvelle découverte. Actuellement, quelque 4 000 astéroïdes sont répertoriés et plusieurs centaines attendent que l'on ait pu calculer leurs éléments orbitaux. Enfin, des milliers d'autres restent probablement à découvrir : on estime à 400 000 environ le nombre d'objets circulant entre Mars et Jupiter dont le diamètre est supérieur à 1 km. La plus grosse de ces petites planètes, Cérès, n'a que 1 000 km environ de diamètre, et la masse totale de matière observée dans la ceinture d'astéroïdes est évaluée à 5 milliards de milliards de tonnes, soit environ 1/1 000 de la masse de la Terre.

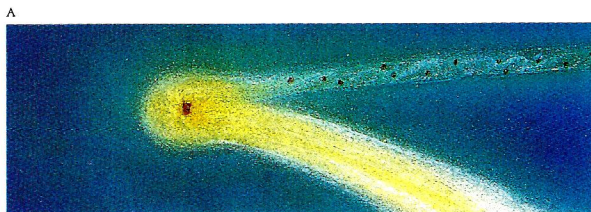
## COMÈTES

AUTRES PETITS CORPS du système solaire, les comètes sont observées depuis l'Antiquité et ont longtemps semé la terreur du fait de leur apparition soudaine et de leur aspect insolite.

**Structure.** Loin du Soleil, une comète se réduit à un *noyau* irrégulier, de dimensions kilométriques, en rotation sur lui-même, constitué d'un mélange de glaces, de fragments rocheux et de poussières. Lorsque la comète se rapproche du Soleil, les glaces se subliment ; des gaz s'échappent, entraînant des fragments rocheux et des poussières et il se forme une nébulosité diffuse, la *chevelure*, rendue lumineuse par la diffusion de la lumière solaire par les poussières et sa fluorescence au contact des gaz. La chevelure est entourée d'une vaste enveloppe d'hydrogène décelable dans l'ultraviolet. Repoussés par le vent solaire, les ions formés dans la chevelure engendrent dans la direction opposée à celle du Soleil une longue queue bleutée

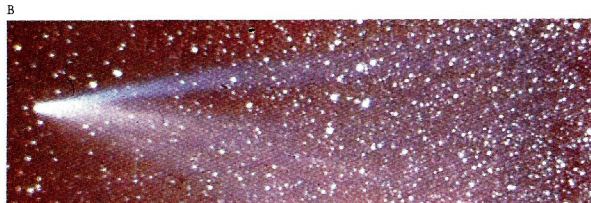
### A. Structure d'une comète.

Près du Soleil, une comète présente, autour de son noyau, une chevelure lumineuse, qui s'étire dans la direction opposée à celle du Soleil en une queue de gaz et une queue de poussières.



### B. La comète West (1976 VI).

Elle devint très brillante et son noyau se fragmenta à 30 millions de kilomètres du Soleil. Remarquer la queue de gaz (fine, rectiligne) et la queue de poussières (large, incurvée), bien différenciées.



## LES EARTH-GRAZERS

LA PLUPART des petites planètes se concentrent entre l'orbite de Mars et celle de Jupiter, à une distance moyenne du Soleil comprise entre 2,17 et 3,3 unités astronomiques. Certains astéroïdes toutefois s'écartent notablement de cette zone. Leurs orbites, très excentriques, leur valent de s'approcher périodiquement de la Terre, de Vénus, voire de Mercure. Parmi ceux qui peuvent ainsi frôler la Terre (*earth-grazers* ou *earth-grazing asteroids*, en abrégé *EGA*), on distingue :

- les astéroïdes du type *Apollo* (ou *earth-crossers*), dont le périhélie est situé à l'intérieur de l'orbite terrestre et dont l'orbite coupe donc celle de la Terre ;
- les astéroïdes du type *Amor*, dont le périhélie est situé légèrement à l'extérieur de l'orbite terrestre et qui peuvent s'approcher fortement de la Terre lors de leur retour au périhélie ;
- les astéroïdes du type *Aten*, qui circulent essentiellement à l'intérieur de l'orbite terrestre.

Le 30 octobre 1937, Hermès, un petit astéroïde du type *Apollo*, de 800 m environ de diamètre, est passé à moins de 800 000 km de la Terre (soit 2 fois seulement la distance de la Lune).

rectiligne, dite *queue de gaz* (ou de *plasma*), qui peut s'étirer sur plusieurs centaines de millions de kilomètres. Les poussières éjectées du noyau, repoussées par la pression du rayonnement solaire, forment elles-mêmes une *queue de poussières* jaunâtre, plus large, plus diffuse et incurvée.

**Orbites.** En première approximation, une comète décrit une conique (ellipse, parabole ou hyperbole) autour du Soleil. En fait, les orbites sont perturbées par l'action gravitationnelle des planètes massives et par des forces non gravitationnelles.

**Nombre.** Environ 1 200 apparitions de comètes ont été recensées depuis l'Antiquité, représentant moins de 800 comètes distinctes, et l'on découvre ou retrouve chaque année une vingtaine de comètes. Mais il en existerait près de mille milliards, réparties dans un vaste halo, aux confins du système solaire.

## LE WHO'S WHO DES COMÈTES

La plus célèbre des comètes périodiques est celle de Halley. Elle porte le nom de l'astronome britannique E. Halley, le premier à avoir reconnu son caractère périodique et à avoir calculé son orbite (en 1705). Circulant entre 88 et 5 300 millions de kilomètres du Soleil, elle revient près du Soleil tous les 75 à 79 ans et a été observée à chacun de ses retours depuis 240 av. J.-C. Nettement moins spectaculaire, la comète d'Encke est celle qui a la période de révolution la plus courte : 3,3 ans. Elle circule entre 51 et 615 millions de kilomètres du Soleil. Elle a reçu le nom de l'astronome allemand J. Encke, qui, en 1818, reconnut son caractère périodique et détermina son orbite. Autre célébrité, la comète de Biéla, découverte en 1826 par l'Autrichien W. von Biela, s'est fragmentée en 1846 et a engendré l'essaim de météorites des Andromédides (ou Biéliades), à l'origine de pluies spectaculaires d'étoiles filantes en 1872 et 1885. Parmi les découvreurs de comètes les plus illustres, on peut citer le Français Charles Messier (1730-1817 ; 16 comètes découvertes, plus de 40 observées), surnommé « le Furet des comètes » par Louis XV ; le Français Jean-Louis Pons (1761-1831 ; 37 comètes découvertes), surnommé « l'Aimant des comètes » ; l'Allemand Wilhelm Tempel (1811-1889 ; 17 comètes découvertes) ; l'Américain Edward Emerson Barnard (1857-1923 ; 19 comètes découvertes) ; l' Australien William Bradfield (13 comètes découvertes jusqu'en 1989).

## COMÈTES ET SUPERSTITIONS

Venant inopinément troubler la stricte ordonnance du ciel nocturne, les comètes ont été longtemps considérées comme des présages, en général de catastrophes : épidémies, famines, sécheresses, inondations, séismes, guerres... il n'est guère de calamités qu'elles n'étaient censées annoncer.

En 43 av. J.-C., une brillante comète apparut après la mort de Jules César et l'on crut que c'était l'âme de l'empereur romain qui remontait au ciel.

Ainsi s'instaura la superstition consistant à voir dans les comètes des présages de la mort de personnages illustres.

En 1811, l'apparition d'une comète très brillante coïncida avec d'excellentes vendanges et de nouveau en 1858 (comète de Donati). Depuis, les comètes brillantes passent pour annoncer de grands millésimes viticoles.

# SYSTÈME SOLAIRE

## CLASSIFICATION DES MÉTÉORITES

ON DIVISE LES MÉTÉORITES en trois grandes classes : les *sidérites*, qui contiennent principalement du fer et du nickel, mélangés à de petites quantités de minéraux ; les *météorites pierreuses*, composées surtout de silicates ; les *sidérolithes* (ou *lithosidérites*), contenant en quantités à peu près égales du fer-nickel et des silicates. Les météorites pierreuses se divisent en *chondrites* et *achondrites*, suivant qu'elles contiennent ou non des chondres, petites inclusions sphériques de silicates inconnues dans les roches terrestres. Des fragments rocheux projetés dans l'atmosphère lors de l'impact d'une grosse météorite retomberaient parfois très loin du point d'impact, formant des *tectites*.

### Les plus grosses météorites retrouvées

lieu	masse (t)	année de découverte
Hoba (Afrique du Sud)	60	1920
Ahngaito, Cape York (Groenland)	36	1895
Chingo (Chine)	30	?
Bacubirito (Mexique)	27	1863
Mbosi (Tanganyika)	25	1930
Armanty (Mongolie)	20	?
Agpalilik (Groenland)	17	1963
Willamette (Oregon, É.-U.)	15	1902
Chapaderos (Mexique)	14	1852
Otumpa (Argentine)	13,6	1783
Mundrabilla (Australie)	12	1966
Morito (Mexique)	11	1600

## PROBABILITÉS DE CHUTE

ON ESTIME qu'il tombe chaque année sur la Terre près de 200 000 météorites, représentant environ 10 000 tonnes de matière cosmique. L'atmosphère terrestre recevrait de l'espace, en moyenne, chaque jour un corps de 100 t, chaque mois un corps de 1 000 t, chaque année un corps de 15 000 t, tous les dix ans un corps de 100 000 t, une ou deux fois par siècle un corps de 1 000 000 de t. Les météorites les plus grosses se fragmentent avant d'arriver au sol. Depuis 500 millions d'années, la masse de la Terre aurait augmenté de 1/100 000 (soit près de 6 millions de milliards de tonnes) grâce à l'apport de matière météoritique.



A - Le Meteor Crater.

Le plus grand cratère météoritique connu sur la Terre est le Meteor Crater, dans l'Arizona. Découvert en 1891, il a 1 200 m de diamètre et 180 m de profondeur. Il aurait été creusé il y a quelque 50 000 ans par une météorite dont le diamètre était de l'ordre

de 25 m et la masse d'environ 65 000 t. La surface de la Terre, à la différence de celle d'autres comme Mercure ou la Lune, est rapidement remodelée par le volcanisme et l'érosion et ne conserve que des vestiges d'impacts assez récents à l'échelle géologique.

### Cratères météoritiques certains à la surface de la Terre

site	latitude	longitude	nombre de cratères	diamètre du cratère principal (m)	année de la découverte
Meteor Crater, Barringer, Arizona (É.-U.)	35° 02' N	111° 01' W	1	1 200	1891
Wolf Creek (Australie)	19° 10' S	127° 47' E	1	850	1937
Boxhole (Australie)	22° 37' S	135° 12' E	1	185	1937
Odessa, Texas (É.-U.)	31° 48' N	102° 30' W	3	168	1921
Henbury (Australie)	24° 34' S	133° 10' E	14	150	1931
Kaalijärvi, Estonie (U.R.S.S.)	58° 24' N	22° 40' E	7	110	1928
Morasko (Pologne)	52° 29' N	16° 54' E	7	100	
Wabar (Arabie Saoudite)	21° 30' N	50° 28' E	2	97	1932
Campo del Cielo (Argentine)	27° 38' S	61° 42' W	20	90	1923
Sobolev, Sibérie (U.R.S.S.)	46° 18' N	137° 52' E	1	51	
Sikhote Alin, Sibérie (U.R.S.S.)	46° 07' N	134° 40' W	122	26,5	1947
Dalgaranga (Australie)	27° 43' S	117° 05' E	1	21	1923
Haviland, Kansas (É.-U.)	37° 37' N	99° 05' W	1	11	1933

(d'après R.A.F. Grieve et P.B. Robertson, 1978)

## CHUTES CÉLÈBRES DE MÉTÉORITES

Lorsqu'elles explosent dans l'atmosphère, les grosses météorites peuvent engendrer des pluies de fragments comme à L'Aigle (Orne) le 26 avr. 1803 (2 000 à 3 000 météorites recueillies dans une zone de 11 km sur 4 ; la plus grosse pesant 9 kg) ; à Knyahinya (Ukraine) le 9 juin 1866 (500 kg de fragments récupérés, dont un de 293 kg) ; entre Pultusk et Ostrolenka (Pologne) le 30 janv. 1868 (plus de 200 fragments de plus de 1 kg recueillis) ; dans la région de Mocs, près de Cluj (Roumanie), le 3 févr. 1882 (près de 300 kg récupérés) ; près de Holbrook (Arizona) le 19 juill. 1912 (210 kg récupérés) ; à Sikhote-Alin (Sibérie orientale) le 12 févr. 1947 (plus de 20 t de débris récupérés sur une aire de 50 km<sup>2</sup> avec un fragment majeur de 1,7 t) ; enfin, à Kirin (Chine), le 8 mars 1976 (plus de 4 t de débris récupérés avec un fragment majeur de 1,77 t).

### Caractéristiques des principaux essaims de météorites connus

nom	comète d'origine	période d'activité	date approximative du maximum	coordonnées équatoriales moyennes du point radian (1950)	
				ascension droite	déclinaison
Quadrantides	Kozik-Peltier	1/01 au 4/01	3 jan.	15 h 28 min	+ 50°
Lyrides	Thatcher	19/04 au 24/04	21 avr.	18 h 08 min	+ 32°
η Aquarides	Halley	1/05 au 8/05	4 mai	22 h 24 min	0°
Ariétides		29/05 au 19/06	7 juin	3 h 00 min	+ 23°
ζ Perséides		1/06 au 17/06	9 juin	4 h 08 min	+ 24°
β Taurides	Encke	24/06 au 2/07	28 juin	5 h 48 min	+ 20°
δ Aquarides S		21/07 au 15/08	29 juill.	22 h 36 min	- 17°
δ Aquarides		15/07 au 18/08	29 juill.	22 h 36 min	0°
α Capricornides	Mrkos	15/07 au 20/08	1 <sup>er</sup> août	20 h 32 min	- 10°
ι Aquarides S		15/07 au 25/08	5 août	22 h 32 min	- 15°
ι Aquarides		15/07 au 25/08	5 août	22 h 04 min	- 6°
Perséides	Swift-Tuttle	22/07 au 18/08	12 août	3 h 04 min	+ 58°
κ Cygnides		18/08 au 22/08	20 août	19 h 20 min	+ 55°
Giacobinides (ou Draconides)	Giacobini-Zinner	9/10 au 10/10	9 oct.	16 h 08 min	+ 54°
Orionides	Halley	18/10 au 26/10	20 oct.	6 h 24 min	+ 15°
Taurides S	Encke	15/09 au 15/12	5 nov.	3 h 44 min	+ 14°
Taurides	Encke	15/10 au 30/11	10 nov.	3 h 44 min	+ 22°
Léonides	Tempel	14/11 au 20/11	16 nov.	10 h 08 min	+ 22°
Géminides		7/12 au 15/12	13 déc.	7 h 28 min	+ 32°
Ursides	Tuttle	17/12 au 24/12	22 déc.	14 h 28 min	+ 78°