

Par Toutatis !

- Les gaulois n'avaient peur que d'une chose parait-il, à savoir que le ciel leur tombe sur la tête!
- Ils n'avaient peut-être pas tout à fait tort.....



Astéroïde OUMUAMUA

Vue d'artiste



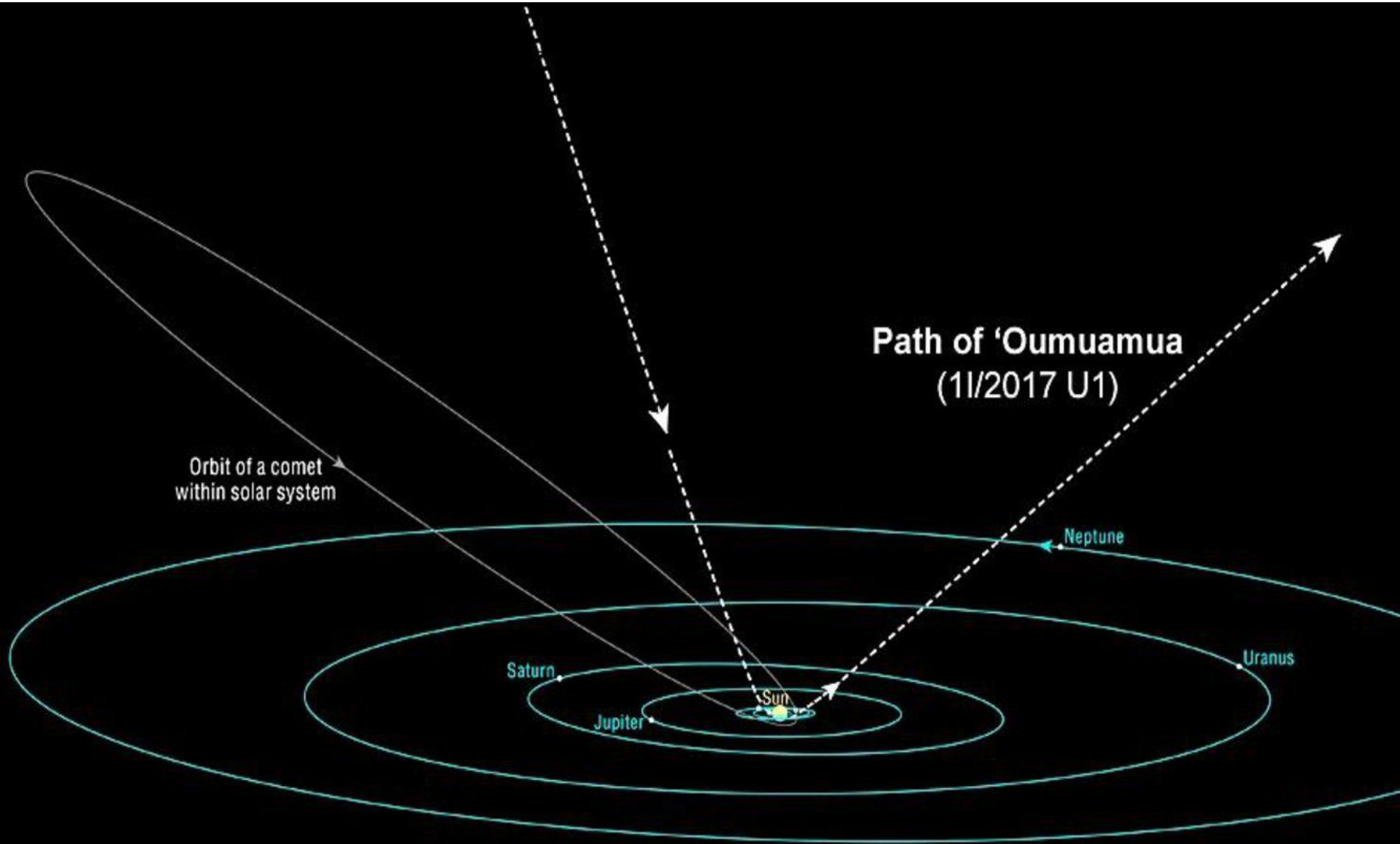
Caractéristiques

- Il a été découvert le 18 octobre 2017
- De mesures faites par différents observatoires donnent une taille estimée de 400m mini de long par 40m de large. Mais d'autres avancent une taille double.....
- Il tourne sur lui-même en 7,3 heures.
- De plus l'étude de son albédo montre des variations importantes de celle-ci et il a une couleur rougeâtre qui rappelle celle des corps faits de roches et de fer. On pense que sa densité doit être élevée.

Caractéristiques (suite)

- Deux caractéristiques spectaculaires:
- Sa géométrie tout en longueur qui le faisait ressembler à un engin spatial.
- Son origine extérieure au système solaire est établie et sa vitesse au plus près du soleil était de plus de 90 km/s. Il ne pouvait donc rester dans le système solaire. De plus il n'était pas dans le plan de l'écliptique. Il ne faisait que passer.
- Le 20 novembre, à 200 Millions de km de la terre sa vitesse était encore de 38,3 km/s.

La trajectoire de Oumuamua



Comment l'étudier?

- **Du coup certains scientifiques se sont mis à fantasmer: aller le visiter pour l'étudier de plus près. On a commencé à l'écouter dans la gamme des ondes radio pour savoir s'il n'émettait pas des signaux! Désespérément muet.....**
- **Il faut concevoir une sonde pour faire des mesures et ensuite il faut trouver un lanceur puissant capable d'imprimer à la sonde une vitesse supérieure à celle de notre astéroïde pour l'observer. Problème: pas trop lentement car on ne va pas attendre 50 ans mais pas trop vite car il faut avoir le temps de faire des mesures!**

Météorites, astéroïdes, comètes

- **Cet astéroïde n'est cependant pas le seul.**
- **Dans le système solaire il existe une quantité gigantesque de corps célestes qui tournent au dessus de nos têtes.**
- **En plus de nos planètes préférées et des satellites artificiels, nous voyons des météorites ou étoiles filantes, des comètes et puis aussi nous connaissons des astéroïdes.**
- **Revue rapide et petits rappels.....**

Les Comètes

(ici Hale-Bopp)



- Sources Wikipédia
- Elles se manifestent dans notre ciel sous la forme de spectaculaires trainées qui durent souvent plusieurs semaines.
- Il s'agit d'un corps céleste peu dense constitué d'un noyau de glace et de poussière en orbite autour d'une étoile. Lorsque son orbite, qui a généralement la forme d'une ellipse très allongée, l'amène près de cette étoile le noyau s'entoure alors d'une sorte de fine atmosphère brillante constituée de gaz et de poussières, appelée chevelure ou coma, souvent prolongée de deux traînées lumineuses composées de gaz et de poussières, les queues (une de gaz ionisé de couleur bleue, une de poussières de couleur jaune), qui peuvent s'étendre sur plusieurs dizaines de millions de km.

Voici quelques comètes

- Tout d'abord Hale-Bopp découverte en 1995 dont le noyau est estimé à environ 60 km et de périodicité d'environ 2500 ans. Magnifique!



Comètes

- La comète Hyakutake découverte en 1996 dont le noyau est estimé à 3 km maximum et de périodicité 70 000ans !



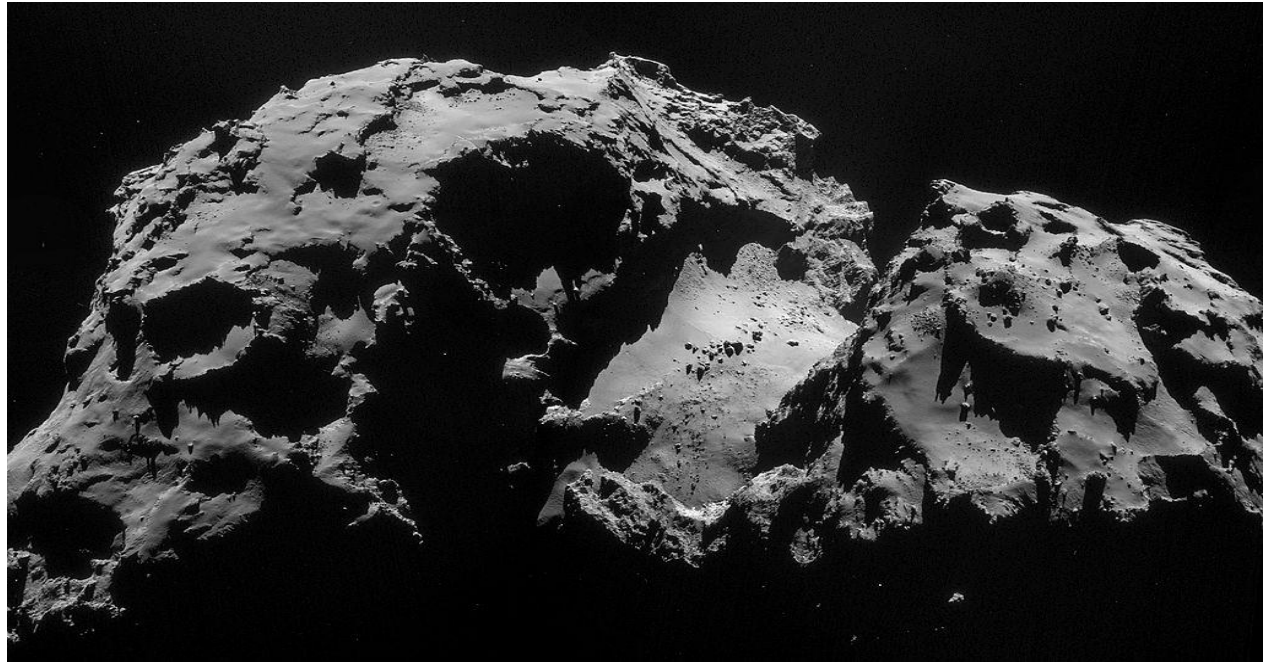
Comètes

- La comète de Halley dont le noyau a la forme d'une cacahuète d'environ 16x8x7 km à et de périodicité 76 ans. Elle a été observée depuis l'antiquité.



Comètes

- La comète Tchourioumov-Guérassimenco découverte en 1969. Célèbre car la sonde Rosetta est allée se mettre en orbite autour en 2014 et a même lâché un petit robot, Philae qui est allé se poser sur la comète. Taille environ 6x4x4 km.
- Périodicité 6,6 ans



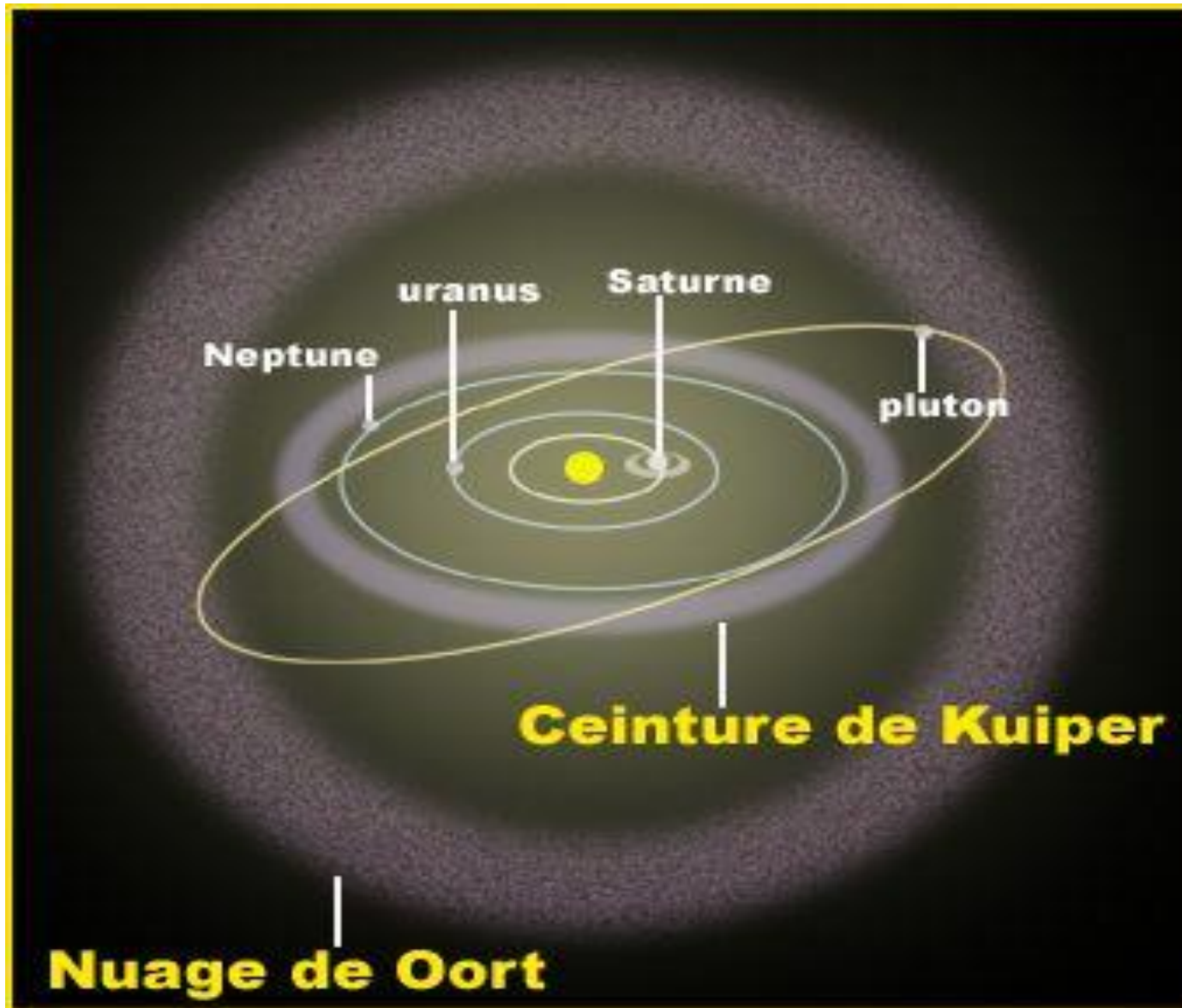
Comètes (suite)

- **Les comètes se distinguent des astéroïdes, autres petits corps, par l'activité de leur noyau. Cependant, les observations récentes de plusieurs astéroïdes qui présentent une activité cométaire, notamment dans la ceinture principale, tendent à rendre de plus en plus floue la distinction entre comètes et astéroïdes. Elles proviendraient de deux réservoirs principaux du Système solaire : la ceinture de Kuiper et le nuage d'Oort, tandis que les comètes interstellaires , ayant une origine extérieure restent encore hypothétiques.**

Les réservoirs à comètes

- La ceinture de Kuiper s'étend au-delà de Neptune à environ 50 UA (UA = unité astronomique, c. à d. la distance terre soleil).
- Le nuage d'Oort couvre une région gigantesque puisqu'il s'étend de 1000 à 150000 UA... c. à d. à 2,4 années lumières! Il y aurait des Milliards de comètes dans le nuage d'Oort.
- Et Sedna? 995 km de diamètre; Bien grosse pour une comète..... Distance de 76 à 960 UA

Les réservoirs à Comètes

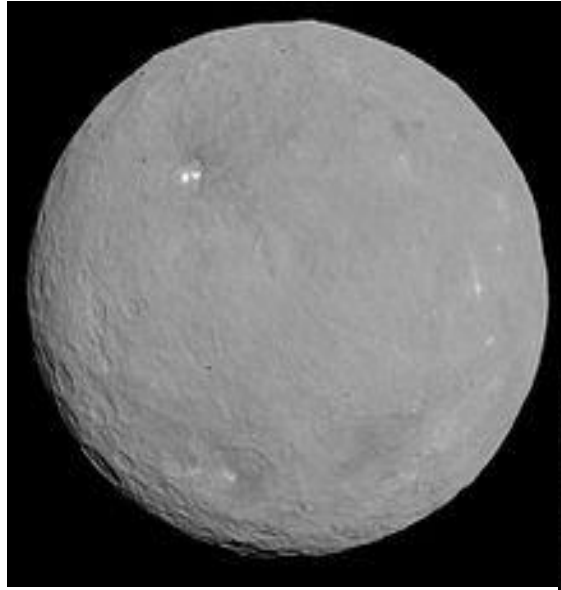


Les astéroïdes

- **Un astéroïde est une planète mineure qui est composée de roches, de métaux et de glaces, et dont les dimensions varient de l'ordre du mètre (limite actuelle de détection) à plusieurs centaines de kilomètres.**
- **Lorsque leur diamètre avoisine ou dépasse 1 000 km, ce qui est rarissime, leur forme peut être sphérique et ils peuvent prendre alors également le statut de planète naine. C'est le cas de Cérès. Dans le cas contraire, ils ont généralement une forme irrégulière et font partie de la classe des petits corps.**

Les astéroïdes

- Cérès
r= 473 km
Dist. de
2,5 à 3 UA



- Astéroïdes de formes irrégulières →



Les astéroïdes

- Les astéroïdes (appelés météoroïdes pour les plus petits) pénétrant dans l'atmosphère d'un autre corps créent des météores. Si une partie de l'astéroïde réussit à toucher la surface du corps impacté, elle forme alors une météorite et peut créer un cratère d'impact.

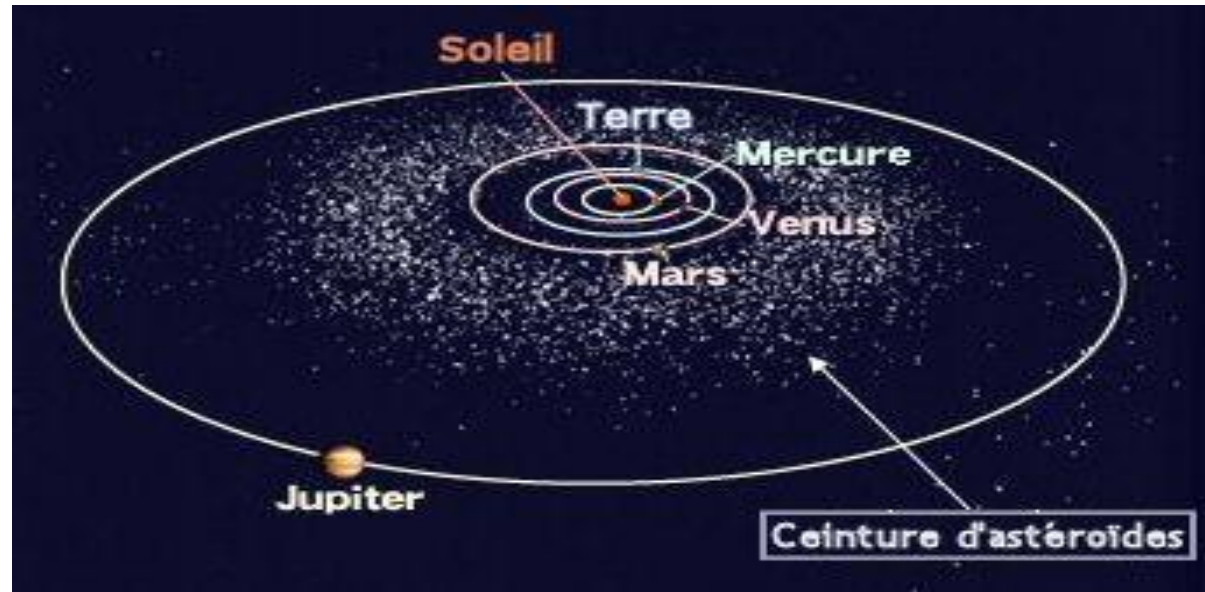


Astéroïdes

- **En 1801, le premier astéroïde est découvert et nommé Cérès; il est le plus grand du système solaire (en 2015 une sonde spatiale a tourné autour pour la première fois). Depuis 1801, plus de 580 000 astéroïdes du Système solaire ont été répertoriés. Les premiers astéroïdes découverts ont une orbite située entre celles de Mars et de Jupiter; aussi cette zone est-elle appelée la ceinture principale d'astéroïdes. Une autre zone située au-delà de l'orbite de Neptune comporte une forte concentration d'astéroïdes : la ceinture de Kuiper.**

Astéroïdes

- La ceinture principale d'astéroïdes



- La ceinture de Kuiper

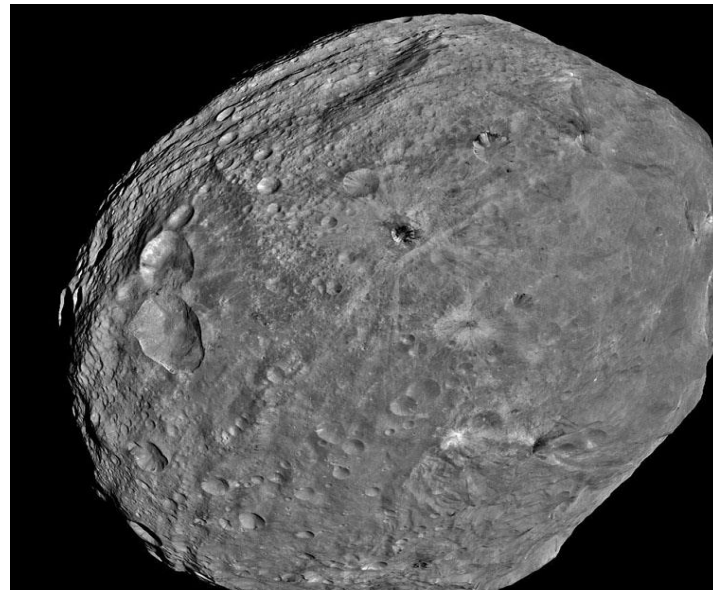
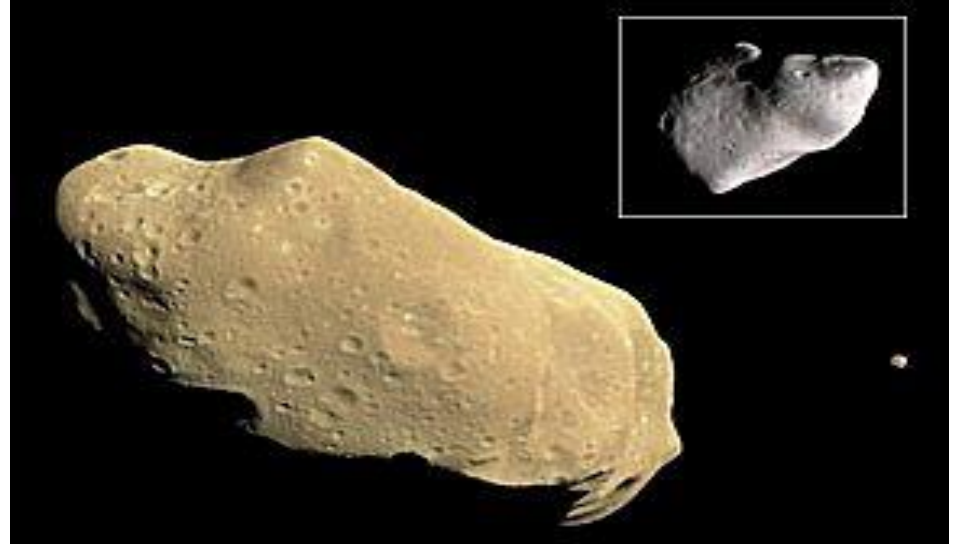


Astéroïdes

- **La composition des astéroïdes de la ceinture de Kuiper est plus riche en glace et plus pauvre en métaux et en roche, ce qui les apparente à des noyaux cométaires. Contrairement aux comètes les astéroïdes sont inactifs, cependant quelques-uns ont été observés avec une activité cométaire.**
- **On suppose que les astéroïdes sont des restes du disque protoplanétaire qui ne se sont pas regroupés en planètes.**

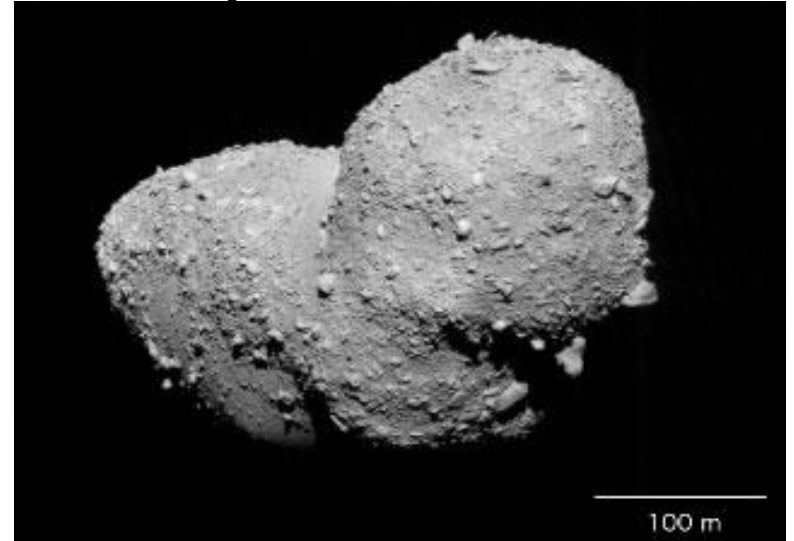
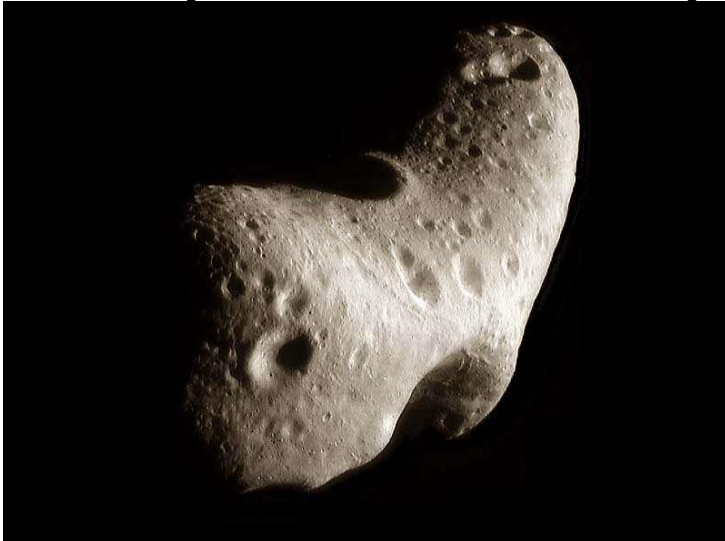
Astéroïdes

- Quelques exemples:
- Ida 56×24×21 km et sa lune Dactyle 1,6x 1,4x1,2 km
- Vesta 578 × 560 × 458 km



Astéroïdes (suite)

- Certains astéroïdes croisant l'orbite de la Terre (appelés géo-croiseurs) sont considérés comme potentiellement dangereux, à cause du risque de collision, et sont surveillés par des systèmes automatisés. On en dénombre env. 21500 en nov 2019! Quelques exemples:
- Eros (34X11X11 km) Itokawa (607x287x264 m)



Astéroïdes

- **Toutatis**

4,5×2,4×1,9 km



- **Gaspra**

19×12×11 km



Les impacts d'astéroïdes

- **Un astéroïde frappe Mars... Vue d'artiste**



Les Cratères sur la Lune

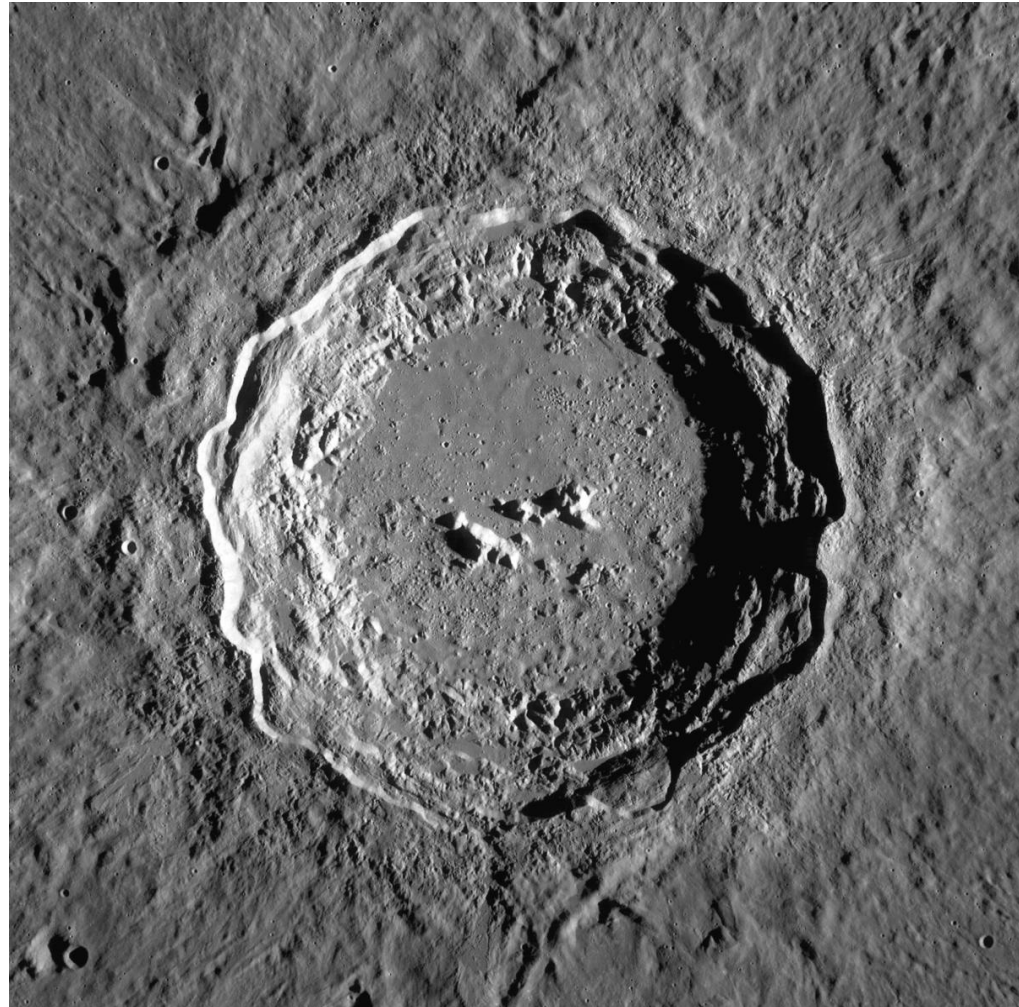
Le cratère Copernic

Profond. : 3800m

Diamètre: 93 km

Piton central: 1200 m

**Age: 800 millions
d'années.**



Les Cratères de la Lune

Le Cratère Tycho

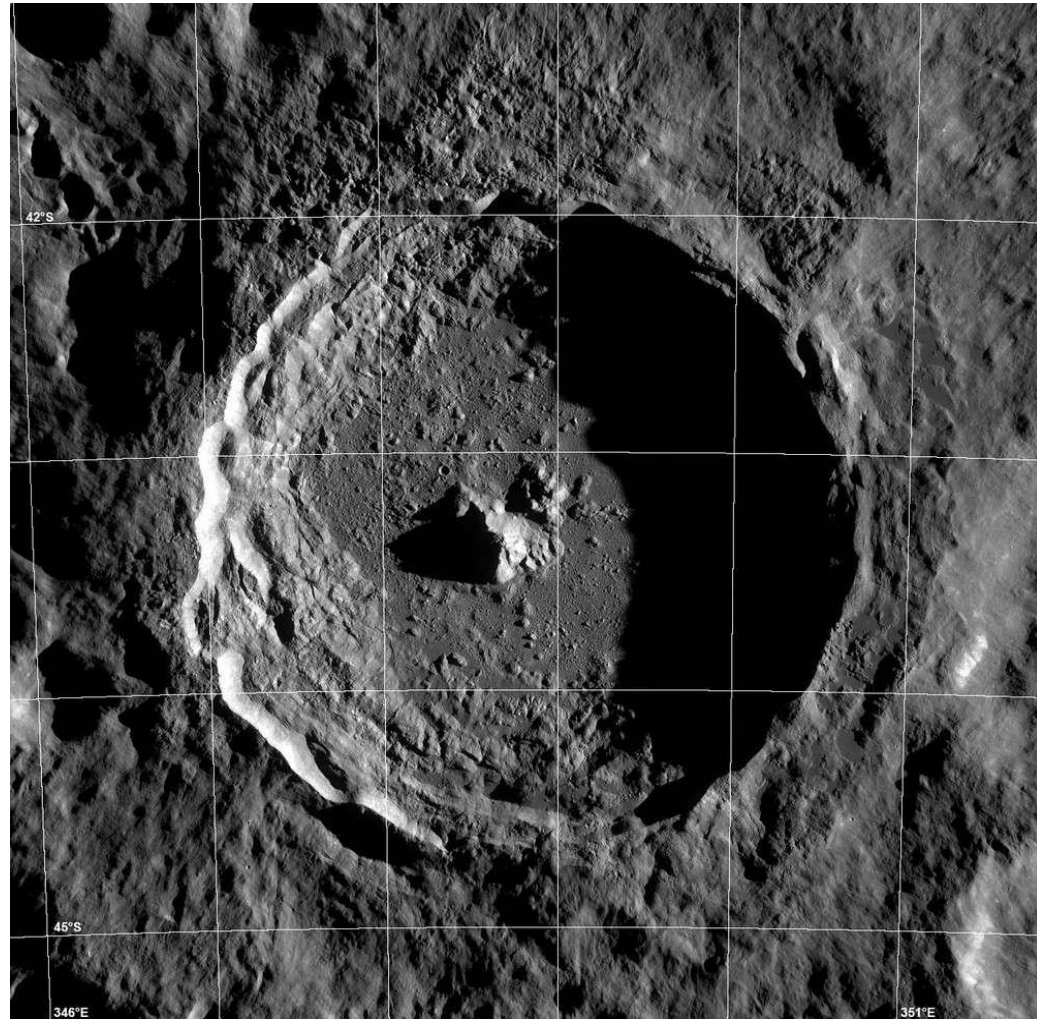
Profond. : 4700m

Diamètre: 85 km

Piton central: 2000m

**Taille estimée du bolide
impacteur: 10 km**

Age: 107 millions d'années



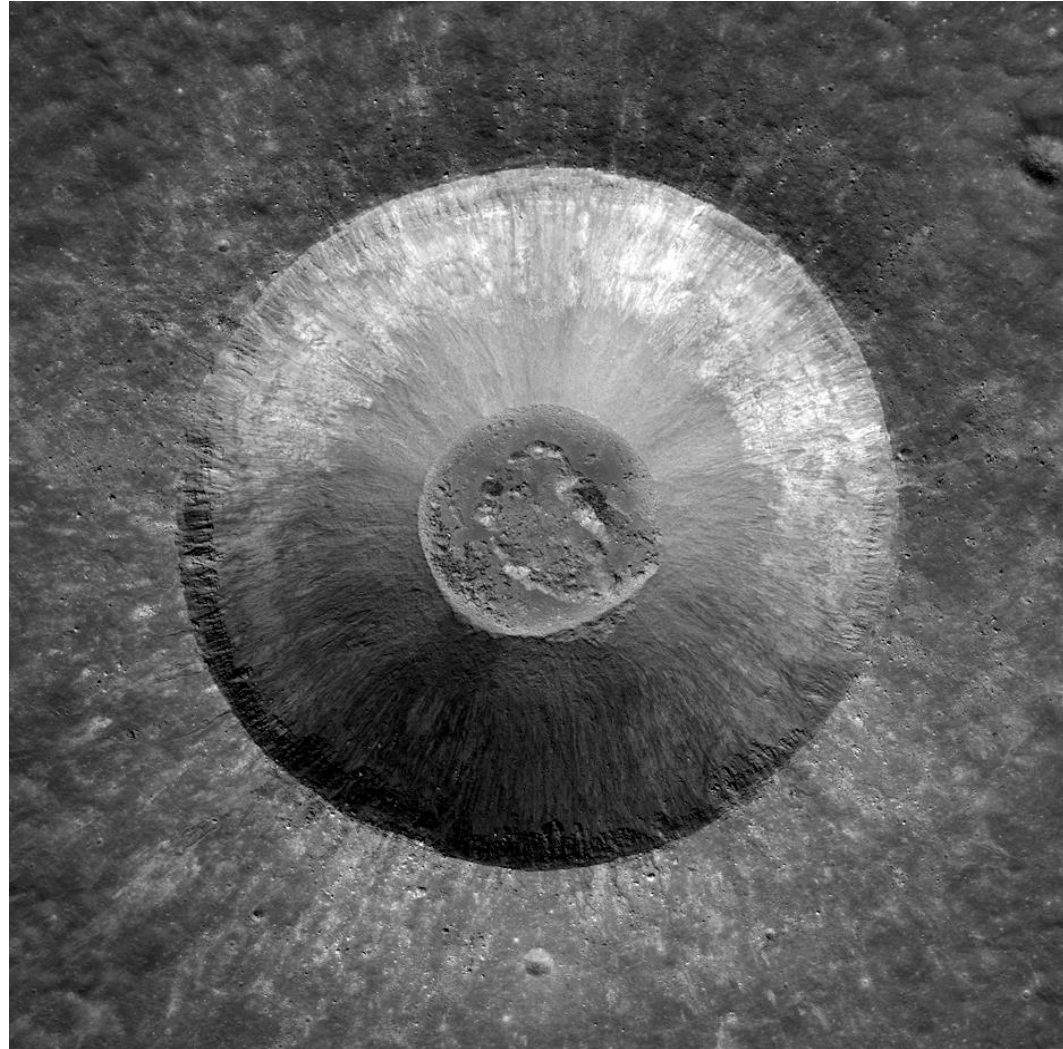
Les cratères de la Lune

Le cratère Lichtenberg B

Profond. : ?

Diamètre: 5 km

Impact « récent »



Les cratères des corps célestes

Les cratères Messier (exception notable)

Dim :

15x8 km

et 16x11 km

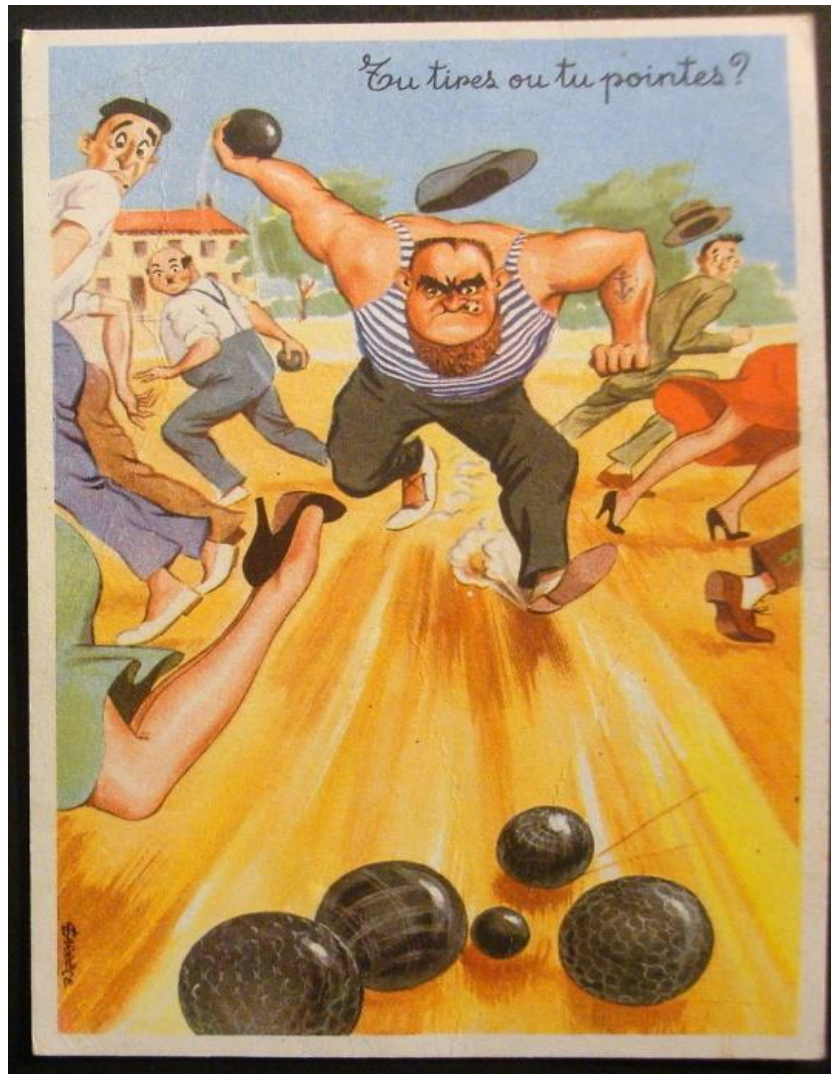
Profond. : 1,3 km



Pourquoi sont-ils en général circulaires?

- Pourquoi les cratères d'impact sont-ils (presque tous) circulaires sur tous les corps célestes?
- La pétanque.....
- Notions d'énergie
- La bombe atomique et la bombe H
- Calcul de l'énergie d'impact d'un petit astéroïde
- Et les gros astéroïdes?
- Comparaison avec les explosions nucléaires

La pétanque (chaud devant)



La pétanque (bis)

- Si vous laissez tomber une boule sur du sable, l'empreinte sera circulaire. Normal.
- Si vous lancez très fort une boule sur le sable, de façon plus ou moins tangentielle, la trace sera longiligne. Logique.
- Pourquoi sur la lune et sur tous les corps du système solaire les cratères d'impact sont-ils en général circulaires? La plupart des astéroïdes doit arriver plus ou moins de façon oblique voire tangentielle.... Alors mystère? Non et on va voir pourquoi.

Notion d'Énergie et de TNT



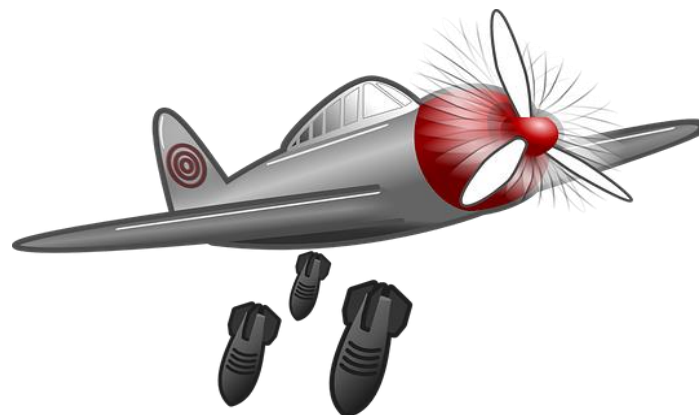
- **Le trinitrotoluène ou TNT a été découvert par un chimiste allemand, Julius Wilbrand en 1863 et a commencé à être utilisé pendant la 1^{ère} guerre mondiale. (source Wikipédia).**
- **1kg de TNT dégage une énergie de 4,6 MJ lors de son explosion (Conventionnellement les militaires annoncent 4,18 MJ). Certains aliments dégagent plus d'énergie comme le sucre, 17 MJ, ou bien les matières grasses, 38 MJ; le pétrole plus de 43 MJ...**



De l'astronomie à la guerre!



- Par commodité les militaires utilise le Kg ou la tonne de TNT comme évaluation de l'énergie dégagée lors des explosions de leurs armes.
- Nous avons tous vu ces paysages dévastés par la guerre et couverts de cratères d'obus.....
circulaires!



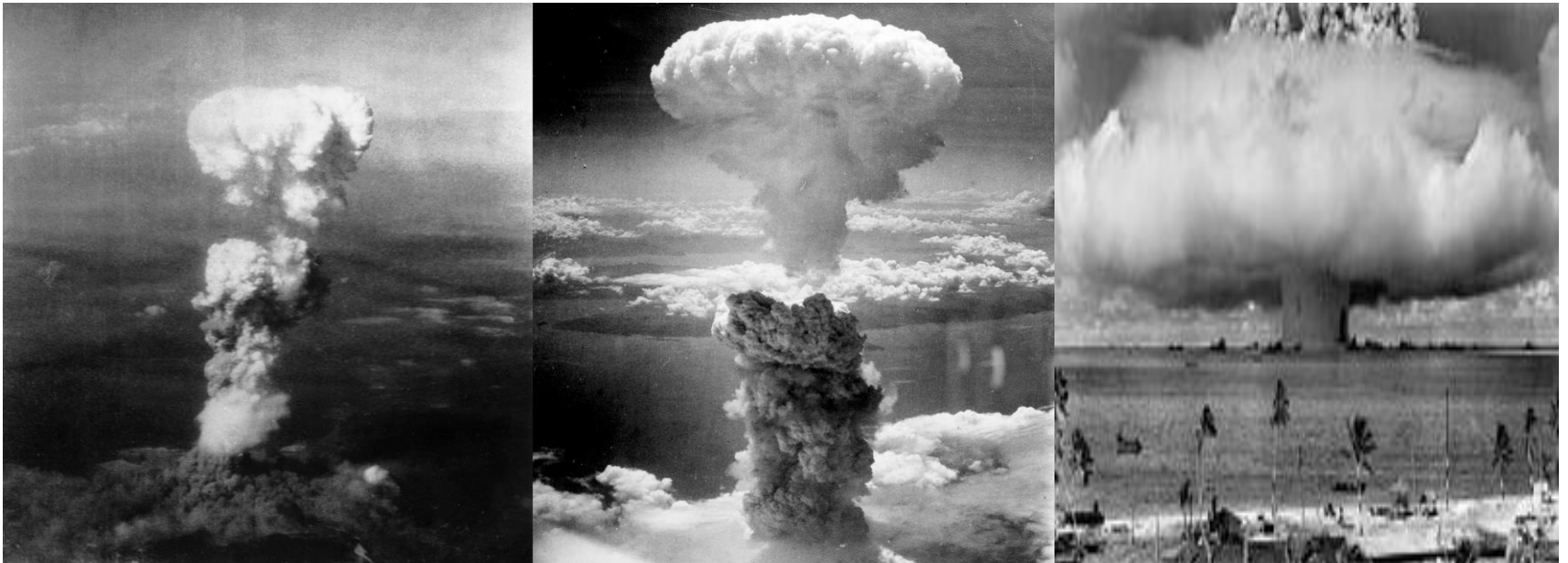
- Pourtant un obus ou une bombe, ce n'est rien par rapport aux bolides qui peuvent venir du ciel.

Tableau de comparaison

Masse en grammes de TNT	Symbole	Masse en tonnes de TNT	Symbole	Énergie
gramme	g	microtonne	μt	$4,184 \times 10^3 \text{ J}$
kilogramme	kg	millitonne	mt	$4,184 \times 10^6 \text{ J}$
mégagramme	Mg	tonne	t	$4,184 \times 10^9 \text{ J}$
gigagramme	Gg	kilotonne	kt	$4,184 \times 10^{12} \text{ J}$
téragramme	Tg	mégatonne	Mt	$4,184 \times 10^{15} \text{ J}$
pétagramme	Pg	gigatonne	Gt	$4,184 \times 10^{18} \text{ J}$

Les bombes nucléaires

- **Deux types de bombe: les bombes à fission nucléaire (telle celle d'Hiroshima) qui sont abandonnées et les bombes à fusion de l'arsenal nucléaire d'aujourd'hui car bien plus puissantes tout en étant moins lourdes.**



Les bombes nucléaires

- La bombe A qui détruisit Hiroshima est estimée équivalente à 15 000t (15 kt) de TNT avec les effets que l'on connaît.
- La bombe A qui détruisit Nagasaki est estimée de 21 à 23 kt de TNT et pesait 4,5t.
- La Bombe H la plus puissante jamais fabriquée est soviétique et était estimée à 42Mt de TNT.
- Aujourd'hui les missiles nucléaires sont dits à têtes multiples et chaque bombe fait environ 1Mt maxi.



Essai américain dans le Nevada



Site d'essais dans le Nevada



Et nos bolides célestes?

- **Tout d'abord nous allons faire un calcul simplifié sur un petit astéroïde:**
- **Supposons un cube de 5 cm d'arête. Son volume est donc de 125 cm^3 . Supposons une densité moyenne de 2 (elle peut varier largement suivant sa composition), sa masse est de 250 g.**
- **Arbitrairement prenons une vitesse relative par rapport à la terre de 40km/s.**
- **Son énergie cinétique est de $\frac{1}{2} mv^2$**

Calcul simplifié

- **Énergie cinétique: $1/2 \times 2,5 \times 10^{-1} \times 16 \times 10^8$ soit encore 2×10^8 joules ce qui est équivalent à déjà 50 kg de TNT.**
- **En arrivant sur terre cette énergie est dissipée presque entièrement dans l'atmosphère par frottement et le météorite est réduit en poussière ou vaporisée. Cependant quelques fragments échappent à la destruction puisqu'on en retrouve dans le désert ou sur la glace.**
- **Plus un corps est gros plus les effets de l'inertie font que la part dissipée par frottement dans l'atmosphère terrestre diminue.**

Un météoroïde bien plus gros?

- Le calcul est le même que ci-dessus.
- Supposons un cube de 5m d'arête. Son volume est donc de 125m^3 . Supposons une densité moyenne de 2, sa masse est de 250t (soit 1 000 000 de fois plus).
- Vitesse par rapport à la terre est de 40km/s.
- Son énergie cinétique est donc de 2×10^{14} joules soit 48 kt de TNT

Astéroïde

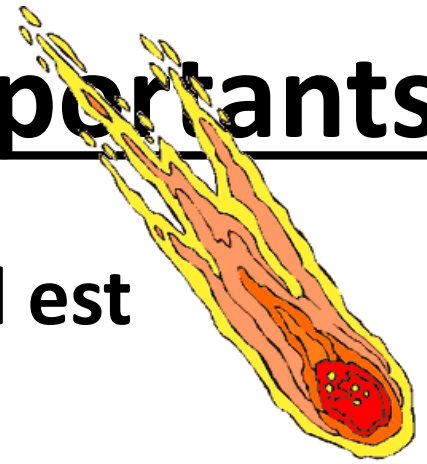


- **48 kt de TNT soit déjà 2 fois Nagasaki ou Hiroshima!**
- **En arrivant sur terre cette énergie est dissipée en grande partie dans l'atmosphère par frottement. Mais sur la lune cela fait déjà un beau cratère.**
- **Si le corps est de faible densité il explose dans l'atmosphère. En revanche s'il est très dense il touche le sol à coup sûr. Mieux vaut éviter de se trouver dans le secteur!**

Tcheliabinsk



Calculs pour des corps importants



- Pour un corps plus important le calcul est identique... au facteur de taille près.
- Si la météorite fait 50m au cube la masse est multipliée par 1000 par rapport à l'exemple précédent: 250000t. L'énergie à dissiper est équivalente à 47 800 kt de TNT ou encore 47,8 Mt, soit plus que la bombe H la plus puissante.
- Si la météorite fait 500m au cube l'énergie devient 47 800 Mt de TNT! Les dégâts au sol deviennent gigantesques.... Cela ressemble déjà à l'apocalypse.

Ex. de chute de grosse météorite

Ci-dessous Meteor crater, diam. Env. 1,4 km et prof. 190 m, créé par l'impact d'un objet de diam.

50 m et d'une

Masse de

300 000t

Age: 50 000ans



Les collisions pour les gros corps

- Dans l'exemple précédent un corps de 500m au cube à une masse de $250 \cdot 10^6$ t et l'énergie libérée est de 47,8 Gt de TNT. Si l'on double la vitesse de pénétration l'énergie libérée est quadruplée. Gigantesque cratère en perspective! Les spécialistes disent que le cratère peut atteindre 20 fois le « diamètre » de l'objet percuteur.
- Si tel est le cas il n'est pas surprenant que même en cas d'impact oblique il ne reste que le cratère circulaire. A noter que la plus grande partie du sol et de l'objet est volatilisée et pulvérisée.

Cratères circulaires ou non?

- Néanmoins comme le montre l'exemple des deux cratères Messier sur la Lune, certaines traces sont oblongues.
- Des spécialistes ont établis qu'un impact, de 90° jusqu'à 45° , laisse une trace circulaire . En dessous de cette valeur la trace est plus ou moins déformée. Difficile à vérifier en vraie grandeur!



Tchouri « posée » sur une grande ville



Corps très importants (suite)

- Amusons nous à nous faire peur....
- Supposons un corps d'un diamètre de 6 km de densité moyenne 2 et d'une vitesse relative égale à 50 km/s.
- Son volume : 113 km^3 ($1,13 \times 10^{11} \text{ m}^3$)
- Sa masse sera donc de 226 milliards de tonnes et l'énergie d'impact sera de 28×10^{20} joules soit 675 Gt de TNT. Imaginez 675 000 bombes nucléaires de 1 Mt tombant ensemble au même endroit! Que resterait-il de la vie sur terre?



Conclusion

- **Les exemples ci-dessus ne donnent que des ordres de grandeur mais ces énormes objets qui tournent au dessus de nos têtes ont un potentiel de destruction gigantesque.**
- **Les traces de leurs impacts datent le plus souvent de dizaines de millions d'années, voire de milliards d'années. Heureusement que ces impacts sont plus rares aujourd'hui; mais pas impossibles!**
- **Il faudra vraiment mettre au point des procédures pour tenter de dévier ces monstres dans le cas où les risques de collision sont avérés sinon.....**

Joli cratère en perspective

