

COMETES ET ASTEROÏDES MYTHES, NATURE ET IMPORTANCE

Par M. Henri RÈME

Les «petits corps» du système solaire comprennent les comètes, parfois très spectaculaires lors de leur passage près du Soleil, et les astéroïdes.

1. Les comètes «astres chevelus»

Dans le passé les comètes, imprévisibles et spectaculaires, étaient observables sans aucune pollution lumineuse et ont eu une influence certaine sur l'humanité.

Qu'est-ce qu'une comète ? Une comète est une grosse boule de neige sale, pouvant avoir un «diamètre» (ces petits corps ne sont jamais sphériques) de l'ordre d'une dizaine de kilomètres, composée de gaz gelés mélangés avec des particules de poussière. En approchant du soleil, les comètes glacées commencent à fondre. Les glaces passent directement de l'état solide à l'état gazeux (elles se subliment) et une longue queue de gaz et de poussières se déployant sur plusieurs millions de kilomètres est libérée ainsi qu'une queue ionisée. Les comètes sont connues depuis la nuit des temps et une des plus anciennes représentations est celle d'un livre de soie chinois du 4^{ème} siècle avant JC (Figure 1).

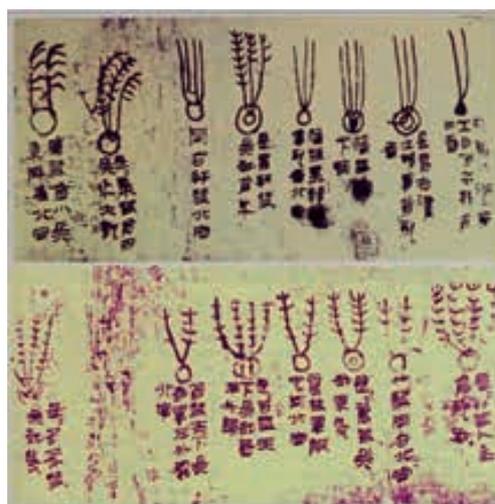


Figure 1

Comètes dans le livre de soie chinois du IV^e siècle avant JC

Ces comètes si spectaculaires au temps où les nuits étaient si peu polluées par des lumières artificielles ont été jugées comme amenant de bons ou de mauvais présages. Parmi les présages mortuaires citons la mort de César en 44 avant JC, celle d'Attila en 453, celle de Valentinien en 455, celle de Mérovée en 457, celle de Mahomet en 632 et parmi les bons présages les victoires (à Hastings pour les Normands qui tuent le roi Harold 2 en 1066, Figure 2), les bonnes récoltes, les grands vins (comme ceux de 1811). Le cas le plus célèbre est le cas de César divinisé après sa mort en 44 avant J.C lors du passage d'une très belle comète. Cette comète a été visible en pleine journée pendant 7 jours et on l'apercevait encore à l'œil nu quand elle est passée à la distance de Jupiter.

L'iconographie sur les comètes est très riche. En voici quelques exemples dans les figures 2 à 5.



Figure 2

La comète passe dans le ciel lors de la bataille d'Hastings en 1066 à 15 millions de km de la Terre. C'est la comète de Halley qui ne sera identifiée qu'au 18^e siècle.



Figure 3

La peinture «L'adoration des mages» de Giotto di Bondone faite vers 1305. L'étoile de la nativité représente une comète qui est en fait celle vue par Giotto en 1301.



La grande comète de 1577
vue de Prague

Figure 4



La comète de Chéseaux en 1744.
Passée à 33 millions de kilomètres
du Soleil, elle a dû se fragmenter.

Figure 5

Beaucoup de comètes sont restées dans les mémoires et quelques-unes ont été particulièrement impressionnantes:

- La comète de Gottfried Kirch découverte au moyen d'une lunette astronomique le 14 novembre 1680. Sa magnitude (voir note en fin de la communication) aurait dépassé celle de la lune lors de son passage à moins d'un million de kilomètres du Soleil.
- La comète Lexell qui passe à 2,2 millions de kilomètres de la Terre le 14 juin 1770 et dont l'éclat est supérieur à celui des étoiles.
- La grande comète de 1811, année de la comète ou du vin de la comète, côté français, et présage de l'invasion de la Russie par Napoléon et de son échec pour les Russes. Visible pendant 260 jours à l'œil nu, sa magnitude a atteint la valeur zéro.
- La grande comète de mars 1843 qui a été visible à l'œil nu en plein jour. Elle est passée à moins d'un million de kilomètres du Soleil. Elle a déployé deux queues sur 50°.

- La comète de Tebbutt de 1861. Elle a déployé une queue sur la moitié de la voûte céleste car elle est passée à seulement 20 millions de kilomètres de la Terre. Sa magnitude a atteint la valeur 0.
- La grande comète de 1881 qui a permis de réaliser les premières belles photos de comète.
- Le XX^e siècle a été riche en comètes avec la grande comète de janvier 1910 (magnitude 1 à 2), la comète de Halley en 1910 (magnitude 0 à 1), la comète Skjellerup- Maristany en 1927 (magnitude 1), la comète Ikeya-Seki en 1965 (magnitude 2), la comète Bennett en 1970 (magnitude 0 à 1), la comète West en 1976 (magnitude 0), la comète Hyakutake en 1996 (magnitude 0), la comète Hale-Bopp en 1997.
- La comète Ikeya-Seki, qui est passée le 21 octobre 1965 à 450.000 kilomètres du Soleil, s'est alors brisée en 3 morceaux et a eu une queue très lumineuse.
- La comète Hale-Bopp de 1997 qui a été visible à l'oeil nu pendant 18 mois avec un très gros noyau, 5 fois plus gros que la comète de Halley, mais qui est restée éloignée de la Terre.
- La comète McNaught de 2007 qui a été observable en plein jour et a été la plus brillante depuis 1965.
- La comète Lovejoy, très belle depuis l'hémisphère sud, en 2011 (Figure 6).



Figure 6

La comète Lovejoy le 22 décembre 2011 au-dessus de Santiago du Chili

Les premières explications scientifiques sur les comètes

Une première approche scientifique a été faite par Tycho Brahé avec la comète de 1577. Il a débuté ses observations de la comète le 13 novembre 1577 au Danemark. Elle était aussi brillante que Vénus avec une queue très longue, diffuse du côté du levant et dirigée à l'opposé du Soleil. Ses observations ont duré 2 mois et demi. La tête de la comète avait un diamètre de 7 minutes d'arc et la queue une longueur de 22° . Il a fait des comparaisons avec des mesures faites à Prague. Ceci a débouché sur une découverte considérable : la comète était au moins 6 fois plus loin que la Lune de la Terre. Jusque-là, conformément au vieux système du monde d'Aristote et de Ptolémée les comètes n'étaient que des émanations atmosphériques.

Un énorme pas fut fait en 1705 par une prédiction d'Edmund Halley qui publia un livre avançant que les comètes qui étaient apparues dans le ciel en 1531, 1607 et 1682 étaient en fait une seule et même comète. Expliquant que la comète voyageant sur une orbite elliptique prend 76 ans pour faire une révolution complète autour du Soleil, Halley prédit qu'elle reviendrait en 1758. Et elle est revenue le soir de Noël 1758, 16 ans après sa mort !!!

Depuis on a pu trouver les premières mentions de la comète de Halley dans des textes chinois en - 611, en - 467 et en - 240 et dans des textes babyloniens en - 164 et en -87. Des observations ont pu être identifiées aussi en - 12, 66, 141, 218, 295, 374, 451 (défaite d'Attila), 530, 684, 760, 837 (passage le plus spectaculaire de la comète durant les temps historiques, à environ 3 millions de kilomètres seulement de la Terre. En France, L'Astronome, auteur d'une chronique sur la vie de Louis le Pieux, indique ce passage et précise qu'à sa suite le roi et sa cour se livrèrent à un jeûne), en 912, 989, 1066, 1145, 1222, 1301-1302, 1378, 1454, 1531, 1607, 1682, 1758, 1835, 1910, 1986. La comète est attendue pour un prochain passage au périhélie en 2061.

La prévision de Halley a permis de montrer que cette comète périodique avait une trajectoire elliptique autour du Soleil. La comète de Halley (Figure 7) a un aphélie de 35,3 unités astronomiques (voir note en fin de la communication) et un périhélie de 0,59 unité astronomique, une orbite rétrograde autour du Soleil inclinée de 18° par rapport au plan de l'écliptique, une période de 76 ans, une vitesse au périhélie de 54,5 km/s et une vitesse à l'aphélie de 810 m/s. La comète n'est active que lorsqu'elle est réchauffée par le Soleil.

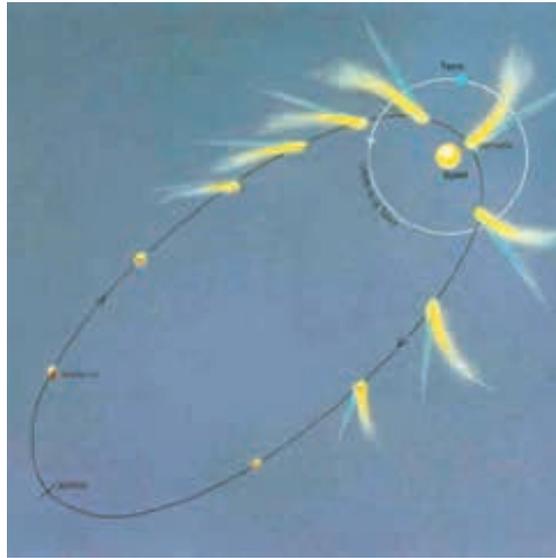


Figure 7

La trajectoire de la comète de Halley autour du Soleil

2. Les astéroïdes

Ce sont des morceaux de roches et de métal de toutes formes et tailles (d'un grain de sable à 950 km de diamètre dans le cas de Cérés). Au total, en regroupant tous les astéroïdes de la ceinture d'astéroïdes en un seul objet, celui-ci aurait moins de 1500 km de grandeur. Le premier astéroïde, découvert en 1801, est Cérés, le plus gros. Mais les autres astéroïdes sont plus petits et pas du tout sphériques comme le montre la photo de l'astéroïde Gaspra (Figure 8).



L'astéroïde Gaspra (19 km x 12 km x 11 km)

Figure 8

La très grande majorité des astéroïdes se trouve dans une ceinture (Figure 9) située entre les planètes Mars et Jupiter. On estime que ces astéroïdes sont les restes d'une planète avortée due aux effets gravitationnels de Jupiter et qu'elle contient plus de 30 millions d'astéroïdes de plus de 100 mètres.

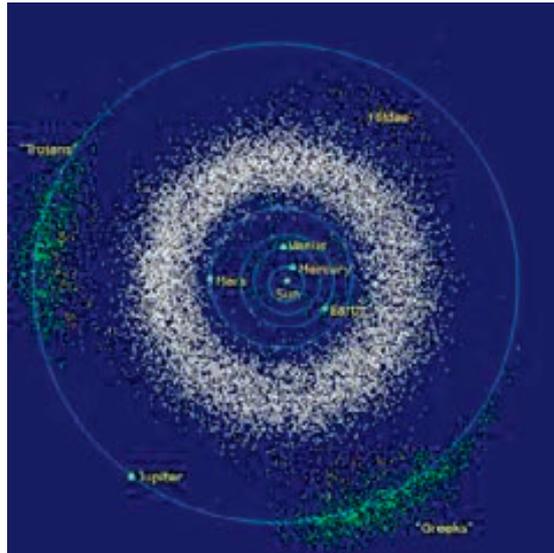


Figure 9

La ceinture des astéroïdes

Il y a plusieurs types d'astéroïdes. 75% sont des astéroïdes de type C (carbonnés). Ces astéroïdes sont très sombres (coefficient d'albédo autour de 0,03) et similaires aux météorites de chondrites carbonées. Leur composition chimique est proche de celle du système solaire primitif, sans les éléments légers et volatils comme les glaces. Leur spectre est plutôt bleu et plat. 17 % des astéroïdes sont de type S, le S correspondant à la silice. Ils sont assez brillants (albédo 0,10-0,22) et riches en métal (fer, nickel et magnésium principalement). Leur spectre se situe vers le rouge, similaire à celui des météorites sidérolithes. Il y a aussi les astéroïdes de type M. Cette classe inclut la plupart du reste des astéroïdes. M signifie métallique. Ils sont faits d'alliage fer-nickel et brillants (albédo 0,10-0,18).

En 1992 a été trouvé le premier corps d'une nouvelle ceinture d'astéroïdes, la ceinture de Kuiper. Située beaucoup plus loin du Soleil, au-delà de l'orbite de Neptune, elle est 20 fois plus étendue que la 1^o ceinture. On estime que l'effet gravitationnel des planètes géantes a balayé ces corps au-delà de Neptune. Cette ceinture comprend des corps relativement gros tels que Pluton (diamètre de 2306 km) et son satellite Charon.

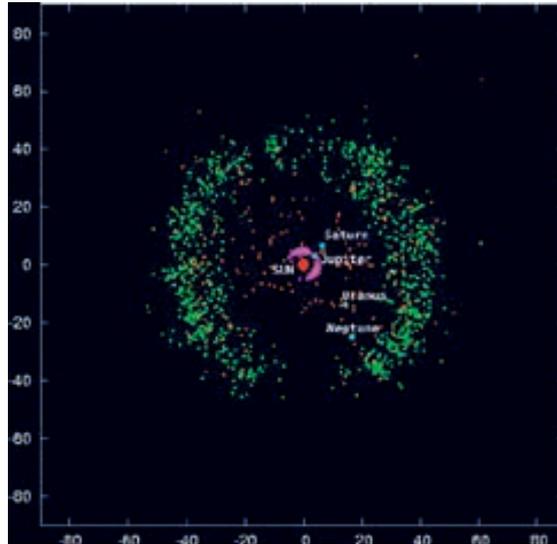


Figure 10

La ceinture de Kuiper

Cette ceinture est principalement localisée entre 30 et 60 unités astronomiques. Elle contiendrait des milliards de corps glacés dont 70.000 de plus de 100 km et 100 millions de plus de 10 km. Plus de 1000 objets ont été identifiés à ce jour. C'est la 2^e ceinture d'astéroïdes mais avec des composés volatils gelés comme le méthane, l'ammoniac, l'eau.

3. Origine des Comètes

Les comètes ont deux origines: la ceinture de Kuiper pour les comètes de courtes périodes et le nuage d'Oort. Le nuage d'Oort est sphérique et comprend des petits corps formés vers 15 unités astronomiques et éjectés par les planètes géantes ; la température y est de l'ordre de -269°C , les orbites sont situées entre 15 unités astronomiques et 50 à 100.000 unités astronomiques. Leur période orbitale est de l'ordre de 10 millions d'années. Le nombre de comètes estimé est de l'ordre de 6.000 milliards bien qu'elles soient séparées de dizaines de millions de km. C'est l'origine des comètes de périodes supérieures à 200 ans. 50% de ces comètes sont rétrogrades montrant qu'elles entrent dans la zone des planètes de façon isotrope. La figure 11 présente le système solaire avec les 2 ceintures d'astéroïdes et le nuage d'Oort (à une échelle différente, en bas à droite).

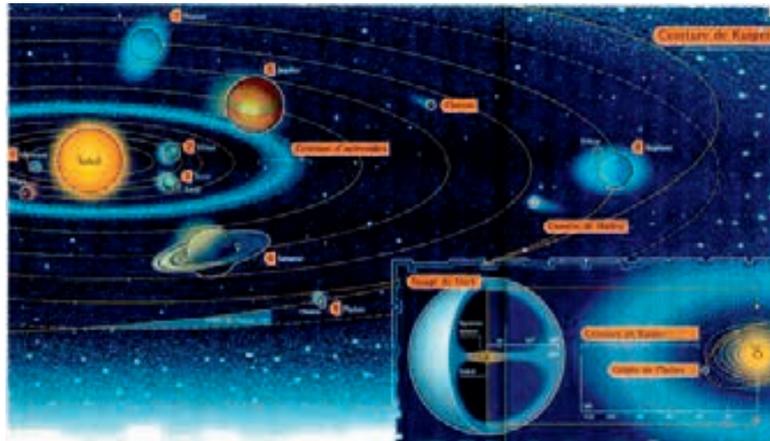


Figure 11

Le système solaire

4. Pourquoi étudier les comètes ?

Les comètes sont particulièrement intéressantes car ce sont les vestiges («archives») de la nébuleuse primitive du système solaire qui sont restées congelées depuis la formation de ce système. Elles gardent donc les traces des conditions physiques et chimiques dans lesquelles les planètes se sont formées il y a 4,5 milliards d'années. Ont-elles pu apporter une fraction importante de l'eau terrestre et de la matière organique et contribuer au développement de la vie sur la Terre ?

Plusieurs missions spatiales ont étudié des comètes. Des missions marquantes ont été Giotto qui a survolé la comète de Halley en 1986, Deep Space One en 2001 (comète Borelly), Stardust en 2004 (comète Wild 2), Deep Impact en 2005 (comète Tempel 1), Deep Impact en 2010 (comète Hartley-2).

La sonde Giotto, qui est passée à 600 km de la comète de Halley, a pu mettre en évidence le très faible albédo de la comète particulièrement sombre, a permis de prendre des photos de ce corps en activité (Figure 12) et a mis en évidence la présence de nombreux composés organiques dans et autour de la comète (Figure 13).



Figure 12

Photographie en 1986 de la comète de Halley par la sonde Giotto de l'Agence Spatiale Européenne

Main ions detected in the P/Halley comet environment and composition of organic residues at the origin of high mass ions.

$C^+, CH^+, O^+, OH^+, H_2O^+, C_2^+, CN^+, HCN^+, CO^+, S^+, CO_2^+, CS^+, S_2^+, H_3S^+, HCS^+, H_3CS^+, SO^+$

Linear chain of polymerized formaldehyde (...CH₂-O-CH₂-O...)
 (H₂CO)_n: polyoxymethylene
 Aromatic ions C₃H₃⁺ (Cyclopropenyl) and C₃H⁺ ions

Ionic Species	Mass	Ionic Species	Mass
HN-CHNH ₂	44	H ₂ NCOCONH ₂	88
		H ₂ NCOCOOH	
H ₂ NCONH ₂	60	HOCH ₂ CH ₂ COOH	90
H ₂ NCH ₂ CH ₂ OH	61	HOCH ₂ CHOHCH ₂ OH	92
H ₂ NCH ₂ COOH	75	H ₂ NCONHCONH ₂	103
HOCH ₂ CONH ₂	75	HOCH ₂ CHOHCONH ₂	105
HOCH ₂ COOH	76	HOCH ₂ CHOHCOOH	106
		C ₆ H ₁₂ N ₄	140

Figure 13

Les composés chimiques et les ions trouvés dans l'environnement de la comète de Halley en 1986

La mission Rosetta

La mission Rosetta, lancée en 2004, va atteindre la comète Churyumov-Gerasimenko en 2014. Elle a pour but d'effectuer la caractérisation globale du noyau, de déterminer ses propriétés dynamiques et physiques, de déterminer la composition chimique, minéralogique et isotopique des volatils et du matériau réfractaire du noyau, d'étudier l'interaction volatils réfractaires, de rechercher l'origine des comètes en étudiant la relation entre les matériaux cométaires et interstellaires, de caractériser globalement des astéroïdes, de déterminer leurs propriétés dynamiques et leur composition. Elle a effectué deux survols d'astéroïdes : le survol de l'astéroïde 2867 STEINS (5 km, découvert en 1969) le 5 septembre 2008 à 9 km/s, à 800 km de distance et à 2,13 ua du Soleil et le survol de l'astéroïde 21 LUTETIA (120 km, découvert en 1852 à Paris) qui est un astéroïde de la classe M. Le survol a eu lieu le 10 juillet 2010 à 15 km/s, à une distance de 3.100 km et à 2,72 ua du Soleil.

La comète Churyumov-Gerasimenko a un noyau de 3 x 5 kilomètres, un albédo de 4%, une période de révolution autour du Soleil de 6,57 ans, une distance minimale au Soleil de 1,29 ua, une distance maximale de 5,74 ua et une gravité estimée à $1/10.000^{\text{ème}}$ de la gravité terrestre. En 2014 la sonde Rosetta se placera en orbite autour de la comète puis déposera un atterrisseur à sa surface. La durée de la mission est de deux ans. Rosetta est équipée de 11 instruments sur l'orbiteur et de 10 instruments sur l'atterrisseur. Rosetta fera le suivi du développement de l'activité de la comète lorsqu'elle se rapproche du Soleil, la cartographie complète de la comète, l'étude précise et détaillée des glaces et des composés organiques, des mesures intensives à la surface de la comète après la pose de l'atterrisseur, l'étude des matériaux de surface dans des conditions très délicates (températures très froides).

5. Comètes et astéroïdes sont-ils dangereux ?

Il y a des risques majeurs liés aux comètes et aux astéroïdes. La Terre est parfois en danger. Comment y remédier ?

Figure 14

Le Meteor
Crater



L'exemple le plus spectaculaire sur Terre d'un impact d'un corps extérieur est le «Meteor Crater» situé près de Flagstaff en Arizona (Figure 14). D'un diamètre de 1300 m, d'une profondeur de 190 m, datant de 50.000 ans environ, il est dû à l'impact d'une météorite de 45 m pesant 300.000 tonnes avec du fer et du nickel qui se serait fragmentée vers 5.000 m d'altitude.

Deux exemples récents nous montrent l'actualité des dangers possibles de ces corps percutant la Terre :

Le cas de La Toungouska s'est produit le 30 juin 1908 en Sibérie. Tous les arbres dans un cercle de 100 km ont été soufflés et des milliers de rennes décimés. Heureusement c'était une région quasi-inhabitée. L'énergie de l'impact a été équivalente à 15 millions de tonnes de TNT soit l'équivalent de 1.000 fois la bombe atomique d'Hiroshima. Ce n'est qu'en 2010 qu'une expédition a enfin trouvé des fragments des restes d'une comète de 50 mètres de diamètre, qui a pénétré l'atmosphère terrestre à 80.000 km/h, qui s'est désintégrée à 8.000 m d'altitude et a créé une onde de choc qui a détruit la taïga sur 2.000 km².

Le cas du météore de Tcheliabinsk s'est produit le 15 février 2013 en Russie. D'un diamètre de 15 mètres environ il s'est en partie désintégré à 20 km d'altitude. Le phénomène a libéré l'équivalent de 440.000 tonnes de TNT soit 30 fois la puissance de la bombe d'Hiroshima. L'onde de choc a fait tomber un mur et un toit d'usine détruisant des milliers de vitres et de fenêtres et blessant près d'un millier de personnes.

On estime que les plus gros impacts du passé ont entraîné des extinctions massives d'espèces vivantes notamment il y a 245 millions d'années (95% des espèces), 216 millions d'années (62% des espèces), 65 millions d'années (67% des espèces dont les dinosaures), 36 millions d'années (26% des espèces) jouant un très grand rôle dans l'évolution de la vie animale sur la Terre. Environ 150 cratères ont été identifiés sur Terre mais sont difficiles à trouver à cause de leur disparition progressive sur de longues échelles de temps (vent, tectonique des plaques, érosions diverses).

Les risques d'impacts avec la Terre varient selon la taille des corps. Pour une taille inférieure à 10 mètres, la fréquence d'impact est de 200 fois par an avec pour conséquence d'une chute sur la Terre une désintégration dans l'atmosphère. Pour une taille de 10 à 100 m la fréquence d'impact est d'une fois par siècle avec pour conséquence possible la destruction d'une ville ou un raz-de-marée. Pour une taille de 100 m à 1 km la fréquence d'impact est d'une fois tous les 5 000 à 30 000 ans avec pour conséquence d'une chute sur la Terre environ cinq millions à cent millions de morts. Pour une taille de 10 km la fréquence d'impact est d'une fois tous les 100 millions d'années avec pour conséquence d'une chute sur la Terre l'hiver nucléaire, la disparition de l'humanité, soit une catastrophe globale. Pour une taille du corps de 100 à 200 km la fréquence d'impact est très rare avec pour conséquences la vaporisation des océans et la disparition de la vie sur Terre.

En plus des gros météorites la Terre balaye 100 à 1000 tonnes/jour de matière interplanétaire, essentiellement de toutes petites particules de poussière. On dénombre 2 à 3.000 météorites de plus d'un kg et une centaine de plus de 100 kg par an. 75 % de la matière de ces météorites est perdue lors de la traversée de l'atmosphère terrestre.

La Pierre noire de la Kaaba à la Mecque

Cette pierre «envoyée par le ciel» aurait été apportée par l'archange Gabriel à Abraham. Actuellement brisée en 15 fragments, elle est considérée comme une météorite pouvant provenir du cratère de Wabar, en Arabie Saoudite, situé à 1.000 km de la Mecque.

Les géocroiseurs

Les objets passant près de la Terre sont appelés NEA (Near Earth Objects). Les objets gravitant près de la Terre comprennent des comètes et surtout des astéroïdes. Les géocroiseurs sont des objets se rapprochant à moins de 45 millions de km de la Terre. Plus de 9.000 sont répertoriés. Certains astéroïdes géocroiseurs sont potentiellement dangereux. Il s'agit d'objets se rapprochant à moins de 7,5 millions de km de la Terre et dont le diamètre dépasse 130 mètres. 1200 sont répertoriés dont le plus gros est de 32 km. Plusieurs milliers de géocroiseurs de plus de 1 km dont 1331 présentant un certain risque ont aussi été recensés.

Apophis 2036

La menace se précise-t-elle ? Apophis, nommé d'après le dieu égyptien Apep, le Destructeur, est un astéroïde de 325 mètres et de 25 millions de tonnes découvert en décembre 2004. En avril 2029, Apophis passera à 36.000 km de la Terre, au niveau des orbites des satellites géostationnaires et sa trajectoire sera un peu modifiée. Le dimanche de Pâques, le 13 avril 2036, Apophis repassera près de la Terre mais la probabilité de collision n'est que au plus de 1/250.000 et probablement moins. En cas de collision l'énergie dégagée serait de 510 mégatonnes soit l'équivalent de 34.000 bombes type Hiroshima. Un pays comme la France serait anéanti avec un hiver de plusieurs mois dans l'hémisphère touché. En cas de chute en mer un tsunami de 170 m arrivant à 100 km/h ferait autant de victimes.

Les observations du satellite Herchell publiées début 2013 ont montré que l'astéroïde a un albédo est de 23%, trop grand pour que Apophis soit primitif.

Comment se protéger en cas de risque majeur ?

- Plusieurs moyens sont possibles pour se protéger d'un impact :
- La pulvérisation : Pour un gros géocroiseur la charge nucléaire semble inévitable mais comment se répartiront les débris ? Il faut donc une charge suffisante pour pulvériser.

- La déviation : bombe à neutrons déclenchée un peu au-dessus de l'objet.
- L'écorchage : concentration des rayons du Soleil par un miroir gonflable de 800 m pour échauffer à plus de 1.000°C la surface qui fondrait avec de la vapeur fournissant une poussée pour dévier ou utilisation d'un laser ultra puissant ou creuser la surface de l'astéroïde par 1 tonne de TNT ou utiliser un « canon à étincelles ». Il est pour ceci nécessaire de bien connaître la composition de l'objet.
- L'effet Yarkovsky : les propriétés physiques de la surface d'un astéroïde affectent la réflexion de la lumière solaire et peuvent donc modifier son orbite. En peignant ou en déposant une couche colorée sur l'astéroïde on pourrait ainsi dévier l'objet mais lentement.
- Mise en place d'un écran solaire devant l'objet.
- Arrimer une voile solaire à l'objet.
- Remorquage gravitationnel (mise en orbite près de l'objet d'un vaisseau spatial de 1 tonne maintenu en position avec des moteurs ioniques fonctionnant à l'énergie solaire).

L'attraction entre les 2 corps permet de dévier l'objet.

6. Rôle majeur des petits corps du système solaire pour la Terre

Contribution à la formation des océans de notre planète:

Les astéroïdes primitifs, dont les météorites chondrites carbonées, qui contiennent de l'eau, sont des fragments et les comètes ont eu un rôle majeur. Des mesures en 2011 avec le satellite Herschel dans l'infrarouge dans les chevelures des comètes Garrald (comète du nuage de Oort) et Hartley 2 (comète de la ceinture de Kuiper) ont montré que le rapport des molécules H₂O (eau) et HDO (eau semi-lourde où un atome d'hydrogène est remplacé par un atome de deutérium) y est proche de celui des océans terrestres (1 molécule semi-lourde pour 3.000 molécules d'eau) et très différent du rapport que l'on mesure ailleurs dans le système solaire. Les comètes ont donc pu contribuer à remplir nos océans.

Pourquoi l'eau de la Terre vient-elle d'ailleurs ? Il y a 4,55 milliards d'années, la Terre, relativement proche du Soleil, est née dans un nuage de gaz et de poussières très chaud où l'eau se trouvait à l'état de vapeur. Sous cette forme elle n'a pas pu être intégrée aux roches qui ont formé la planète. Ce n'est seulement que 30 millions d'années plus tard que la Terre a reçu sous forme de glace l'eau qu'elle possède encore aujourd'hui. Cette glace provenait des régions lointaines et froides du système solaire où elle avait pu demeurer à l'état solide. Ce sont les comètes et les astéroïdes situés à l'origine entre 4 et 12 ua qui l'ont apportée. Depuis ces objets ont migré vers la ceinture de Kuiper.

Contribution à la chimie du vivant

Les comètes par les poussières qu'elles envoient dans le milieu interplanétaire ont pu apporter sur Terre des molécules organiques complexes qui ont favorisé une chimie du vivant.

Contribution à l'évolution des espèces par collisions avec la Terre

Les extinctions d'espèces au fil des collisions avec la Terre ont totalement modifié l'évolution des espèces vivantes. Sans l'impact d'il y a 65 millions d'années entraînant la disparition des dinosaures, l'Homme ne se serait probablement pas développé sur la Terre.

Enfin on peut dire aujourd'hui que la distinction astéroïdes-comètes n'a plus vraiment sa raison d'être. Les comètes en fin de dégazage deviennent des astéroïdes.

Remarquons pour terminer que 2013 doit être «Un grand cru cométaire» grâce à la comète PANSTARRS au printemps 2013 et surtout à la comète ISON qui devrait être très spectaculaire en novembre et décembre 2013.

Notes

Magnitude (apparente): Mesure de l'irradiance d'un objet céleste vu de la Terre avec une échelle logarithmique inverse dans laquelle la magnitude augmente d'une unité lorsque l'irradiance est divisée par 2,51. Le Soleil a une magnitude de - 26,7, la pleine lune de - 12,6, Sirius, l'étoile la plus brillante, - 1,5, l'étoile la plus faible à l'œil nu + 6,5.

Unité astronomique (ua): distance moyenne de la Terre au Soleil soit 150.000.000 km.

Discussion

Dans la discussion qui a suivi sont intervenus Mme. Anne-Catherine WELTÉ, MM. Alain BOUDET, Jean-Baptiste HIRIART-URRUTY, Armand LATTES, Jacques TOURNET.

