

Les comètes et l'espace

Démo Tutoriel Opale



JEAN HEYVAERTS

Table des matières



Objectifs	7
Introduction	9
I - Les comètes avant Halley	11
A. Apparitions.....	11
B. Quelques définitions.....	12
C. Phénomène astronomique ou atmosphérique ?.....	12
II - Kepler, Newton, Halley et la comète de 1682	15
A. De Copernic à Kepler.....	15
B. Les lois de Kepler.....	16
C. Les lois de Newton.....	16
III - La nature physique des comètes	19
A. Le dégazage.....	20
B. L'origine des queues des comètes.....	20
C. Le noyau.....	21
D. Érosion du noyau et diminution de la masse.....	21
IV - L'origine des comètes	23
A. Propriétés orbitales des comètes.....	23
B. L'évolution orbitale des comètes.....	24
C. L'exemple de Hale Bopp.....	24
D. Le nuage d'Oort.....	24
E. La ceinture de Kuiper.....	25
V - L'exploration des comètes	27
A. Les programmes spatiaux.....	27
VI - Exercices	29
A. Tester vos connaissances.....	29
1. Exercice : Périhélie.....	29
2. Exercice : Lois de Kepler.....	29
3. Exercice : Ordre d'apparition.....	30
4. Exercice : De l'accélération.....	30
5. Exercice : Glace et gaz.....	30
6. Exercice : Reconnaissance.....	31

VII - Bibliographie - Webographie	33
Conclusion	35
Solution des exercices	37

Objectifs

A la fin de ce module vous devez avoir acquis une connaissance générale des comètes :

Vous pourrez notamment expliquer la distinction entre les comètes et les autres corps lumineux (météores, étoiles filantes etc.), maîtriser le vocabulaire relatif aux comètes (coma, queue, périhélie), resituer les grandes comètes dans l'histoire générale de l'astronomie de *Tycho Brahé* à *Newton*, être capable de rendre compte synthétiquement du phénomène astrophysique des comètes (origine, évolutions et extinction).

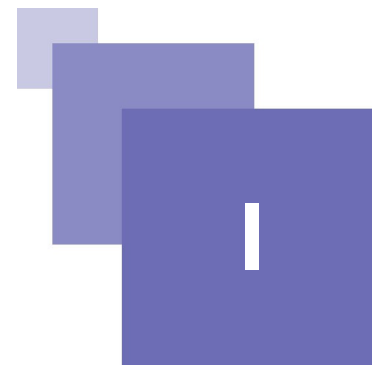
Introduction



Ce module aborde la compréhension des comètes sous un angle historique et problématique :

Si les comètes sont des astres, et non de simples phénomènes atmosphériques comme on l'a longtemps supposé, comment comprendre leur mouvement atypique et leur extinction ?

Les comètes avant Halley



Apparitions	11
Quelques définitions	12
Phénomène astronomique ou atmosphérique ?	12

Le mot comète signifie « *astre chevelu* ».

Le mouvement des comètes, comme celui des planètes, se réfère à leur position par rapport au « *fond céleste* » que constituent les constellations d'étoiles, dont la forme et la disposition relative semble immuable. Sur ce fond les comètes se déplacent bien plus vite que les planètes.

Le phénomène est très spectaculaire car certaines comètes sont très grandes et très lumineuses. Celle de l'an 1680 était aussi brillante que la lune.

A. Apparitions

Les divers peuples du monde connaissent les comètes depuis bien longtemps.

Les Chaldéens ont remarqué le phénomène déjà 2000 ans avant Jésus Christ. Il était connu des Égyptiens et des Grecs. Les comètes apparaissent dans le ciel, leur brillance augmentant progressivement en quelques mois en révélant une majestueuse structure formée d'une tête brillante, appelée chevelure ou coma, suivie d'une longue traîne lumineuse, la queue. Parfois il y a deux queues de couleurs différentes, l'une moins visible que l'autre (voir, par exemple, la comète de *Hale Bopp* dans le chapitre de ce cours intitulé « *La nature physique des comètes* »). Les comètes s'affaiblissent ensuite progressivement et disparaissent en plusieurs mois.

L'apparition de comètes est rapportée dans de nombreuses chroniques. Ayant beaucoup frappé ceux qui en ont été témoins, elles sont souvent représentées dans des œuvres d'époque, comme la célèbre *tapisserie de Bayeux*¹ (comète de l'an 1066). Dans une peinture, l'empereur aztèque Moctezuma est représenté observant une comète.

On a gardé trace d'environ 1500 apparitions de comètes.

Dans les quelques dernières dizaines d'années, nous avons pu admirer, entre autres, **la comète West** (1976), **la comète Shoemaker Levy 9** (1994), **la**

1 - http://fr.wikipedia.org/wiki/Tapisserie_de_Bayeux#mediaviewer/File:Bayeux_Tapestry_scene32_Halley_comet.jpg

comète **Hale Bopp** (1997).



Remarque

De nos jours les comètes reçoivent les noms de ceux qui les premiers ont signalé leur apparition.

B. Quelques définitions

Ces corps lumineux différent les uns des autres :



Définition : Astéroïdes

Les astéroïdes sont de petits corps rocheux de forme quelconque et de dimensions kilométriques ou un peu plus. Comme les planètes, ils orbitent autour du soleil.



Définition : Météorites

Les météorites ressemblent aux astéroïdes. Ce sont des rochers d'une taille de quelques dizaines de mètres.



Définition : Météores

Les météores, plus petits que les météorites, sont des pierres plus ou moins grosses.



Définition : Etoiles filantes

Une étoile filante est la trace lumineuse provoquée par un météore qui pénètre dans l'atmosphère terrestre. Le frottement sur l'air dû à sa vitesse le porte à l'incandescence, ce qui le rend lumineux et, le plus souvent, amène à sa volatilisation avant même qu'il ne parvienne au sol.

C. Phénomène astronomique ou atmosphérique ?

La nature des comètes est restée longtemps mystérieuse.

Nous savons aujourd'hui que certaines réapparaissent régulièrement mais à des intervalles de temps (leur « période ») très longs. Ce fait est resté ignoré jusqu'au 17^{ème} siècle, car rien, en dehors de la périodicité de ses apparitions, ne permet de reconnaître que la comète d'aujourd'hui est celle qui est apparue un ou plusieurs siècles auparavant.

Les anciens se représentaient le système solaire comme un ensemble de planètes, chacune en mouvement circulaire autour de la terre, à une vitesse constante qui lui est propre. Ce géocentrisme était considéré comme allant de soi et le mouvement circulaire comme le seul qui fût suffisamment parfait pour présider aux mouvements célestes. Ils imaginaient au delà des planètes une vaste sphère sur laquelle les étoiles occupaient une position fixe.

Les comètes ne trouvaient aucune place dans cette représentation, n'étant ni fixes par rapport aux étoiles ni en mouvement circulaire autour de la terre.

C'est pourquoi, d'Aristote (4^{ème} siècle avant JC) à *Tycho Brahé* (16^{ème} siècle), les comètes furent considérées comme un phénomène atmosphérique comparable aux

étoiles filantes, bien que leur déplacement sur la voûte céleste soit beaucoup plus lent.

En 1577, Tycho Brahé détermine, par une méthode de triangulation, la distance de la « grande comète » apparue cette année là.

Il trouve qu'elle est bien plus éloignée de nous que la lune !



Fondamental

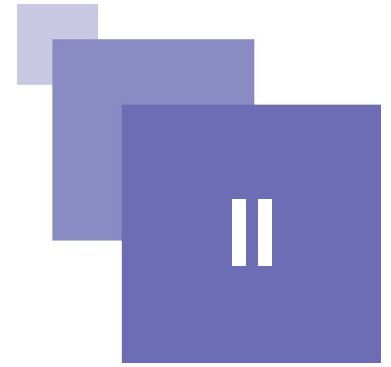
Cette observation ruina totalement l'hypothèse atmosphérique, plaçant définitivement les comètes parmi les astres du système solaire.

* *

*

Comment, dès lors, expliquer le mouvement des comètes ? Et pourquoi s'allument elles pour ensuite s'éteindre ? C'est ce que nous allons voir dans la suite de ce cours.

Kepler, Newton, Halley et la comète de 1682



De Copernic à Kepler	15
Les lois de Kepler	16
Les lois de Newton	16

Il faudra attendre le passage du géocentrisme à l'héliocentrisme, puis la théorie de la force gravitationnelle de *Newton* pour être en mesure de prédire avec justesse l'apparition des comètes.

A. De Copernic à Kepler

L'image que les anciens se faisaient du système solaire a subi par la suite quelques modifications. Copernic a proposé un modèle héliocentrique dans lequel toutes les planètes, y compris la terre, tournent à vitesse constante sur des orbites circulaires autour du soleil.

Mais ceci ne permettait pas de rendre compte du mouvement de la planète Mars, observé avec précision par *Tycho Brahé*.

Kepler a surmonté cette difficulté en énonçant en 1609 ses trois célèbres lois, dans lesquelles il substitue au géocentrisme l'héliocentrisme de Copernic et à l'ancien concept de mouvement circulaire celui de mouvement elliptique.



Rappel : Ellipse

Rappelons qu'une ellipse est constituée de tous les points dont la somme des distances à deux points fixes, les foyers de l'ellipse, a une valeur déterminée. Le rapport de la distance entre foyers au grand axe de l'ellipse est son excentricité. Quand les deux foyers sont confondus, l'ellipse se réduit à un cercle et l'excentricité est nulle. Quand l'excentricité est égale à 1, ce qui est la plus grande valeur possible, l'ellipse se réduit au segment joignant les deux foyers. Quand l'excentricité est légèrement inférieure à 1, l'ellipse est très aplatie et entoure de près le segment qui joint les foyers.

B. Les lois de Kepler

Vous lisez ci-dessous l'équation de l'orbite dans son plan.

En notant r la distance de la comète au soleil, r_0 la distance de son périhélie au soleil, θ l'angle périhélie soleil comète et e l'excentricité de l'orbite, on a :

$$r = r_0 \frac{1 + e}{1 + e \cos \theta}$$

Voici l'énoncé des lois de Kepler :

- Les planètes décrivent des ellipses dont le soleil occupe un foyer.
- Le rayon qui joint le soleil à la planète balaie des aires égales en des temps égaux.
- Le carré du temps mis par une planète à parcourir son orbite est proportionnel au cube du grand axe de cette orbite.

Ces lois ouvrent une voie pour comprendre le mouvement des comètes.

Car, si les trajectoires elliptiques suivies par les planètes sont toutes de faible excentricité, presque des cercles, rien n'interdit de penser qu'il puisse exister des astres dont l'orbite aurait une forte excentricité et dont les foyers seraient très éloignés l'un de l'autre. Ces astres suivraient une orbite bien différente d'un cercle. La troisième loi de Kepler indique que quand les foyers sont très éloignés, le temps mis à parcourir l'orbite est très long.

C. Les lois de Newton

Kepler ne proposait aucune justification de ses lois, qu'il ne concevait que comme une description du mouvement des planètes. C'est à Newton qu'il revint d'en comprendre l'origine.

L'idée lui vint, sous un pommier dit on, qu'une pomme qui tombe le fait parce qu'elle est attirée vers la terre par une force, « *d'attraction gravitationnelle* ». En généralisant cette idée, *Newton* formula, en 1687, sa **théorie de la gravitation universelle** qui s'énonce ainsi :

1. Tout corps exerce sur tout autre une force d'attraction gravitationnelle.
2. Cette force varie comme l'inverse du carré de la distance entre les corps.
3. Tout corps subit une accélération proportionnelle à la force à laquelle il est soumis et inversement proportionnelle à sa masse.

Ainsi chaque planète subit l'attraction du soleil. Elle subit aussi celle des autres planètes, mais, à distance comparable, ces forces sont négligeables comparées à l'attraction solaire parce que la masse du soleil est bien plus grande que celle des planètes.

* *

*

La théorie de Newton permet de calculer le mouvement suivi par une planète dès lors qu'on connaît à un certain instant sa position et sa vitesse, en grandeur et en direction .

Un calcul assez simple montre que l'attraction gravitationnelle doit nécessairement varier comme l'inverse du carré de la distance entre les corps pour que le

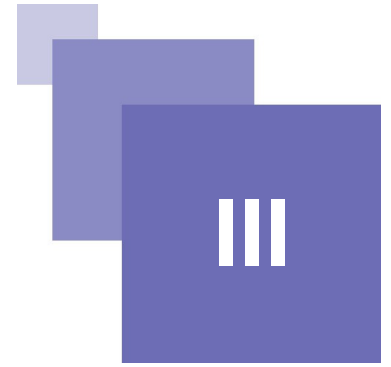
mouvement d'une planète autour du soleil satisfasse à la troisième loi de *Kepler*. *Newton* a montré que le caractère elliptique des orbites planétaires résulte naturellement de sa théorie.

Un progrès décisif a été réalisé par *Edmund Halley* (1656-1742), un disciple de *Newton*.

Halley a entrepris de calculer selon les principes posés par *Newton* le mouvement d'une comète qu'il a observée en 1682. Son travail, publié en 1705, établit que la comète devait réapparaître tous les 77 ans. Sur cette base il a pu affirmer que les comètes de 1456, 1531, 1607, 1682 n'étaient que des apparitions successives d'un seul et même astre. Il prédit la date de la prochaine apparition : 1758. Hélas, *Halley* était décédé quand la comète se présenta à son rendez vous, le 25 Décembre 1758.

Cette prédiction correcte marqua le triomphe de la théorie de *Newton*.

La nature physique des comètes



Le dégazage	20
L'origine des queues des comètes	20
Le noyau	21
Érosion du noyau et diminution de la masse	21

Les comètes étant reconnues comme des astres du système solaire à part entière, il a fallu s'interroger sur les raisons de leur morphologie si particulière...

Lorsqu'une comète commence à apparaître, ce n'est qu'un astre faiblement brillant qui se présente comme un point lumineux nouveau sur un fond d'étoiles familières. La coma et les queues ne se développent que plus tard. Il a fallu attendre 1950 pour que *Fred Whipple* avance l'explication correcte de ce phénomène : une comète possède un « *noyau* » qui est une grosse boule de neige sale, agglomérat de glaces, de poussières et de roches de tailles diverses. Ce noyau peut rester indétectable sur une grande partie de son orbite parce qu'il est petit et n'est pas par lui même lumineux. Dans cet état, une comète serait une sorte d'astéroïde neigeux.

Nous allons voir comment la comète entre en activité et prend l'apparence qu'elle présente sur la photo ci-dessous.



Image 1 Comète de Hale Bopp

A. Le dégazage

Lorsque le noyau s'approche du soleil et entre dans une zone approximativement délimitée par l'orbite de Jupiter, sa surface commence à être assez chauffée par le soleil pour que les glaces de surface passent de l'état solide à l'état gazeux : le noyau « dégaze » et la comète devient « active ».

Des vapeurs constituées de molécules dont certaines peuvent être complexes se répandent dans le vide autour de la comète, entraînant avec elles des poussières et formant un milieu très peu dense. À 1 million de Km du noyau il n'y a qu'environ 10 molécules par cm^3 . Cette matière dégazée est exposée directement aux rayonnements solaires, l'ultra violet dissociant les grosses molécules pour former des molécules plus petites et des ions moléculaires électriquement chargés. Les poussières diffusent la lumière du soleil. Ceci a pour effet de rendre visible le voisinage du noyau (la coma) et la longue traîne, ou « *queue de poussières* », qu'elles forment derrière lui.

B. L'origine des queues des comètes

La queue de poussières est la plus visible (et parfois la seule visible) des deux queues. La poussée qu'exerce la lumière solaire sur les poussières les fait migrer dans la direction opposée au soleil, ce qui fait que cette queue s'écarte de l'orbite de la comète dans la direction antisolaire. De leur côté, les ions moléculaires sont brutalement entraînés dès leur formation à des vitesses de plusieurs centaines de kilomètres par seconde par le vent solaire. Cette vitesse est bien plus grande que la vitesse qu'acquièrent les poussières sous l'effet de la lumière du soleil. C'est

pourquoi les ions forment derrière la coma une seconde queue, de couleur bleutée, qui se dispose exactement selon la direction opposée au soleil.



Définition : Vent solaire

Le vent solaire est un rayonnement corpusculaire d'ions et d'électrons que le soleil émet en permanence et qui entraîne avec lui un champ magnétique qui capte au passage toute particule chargée qu'il rencontre.

C. Le noyau

L'existence du noyau des comètes est largement confirmée par leur observation directe lors de survols rapprochés par des sondes spatiales. La figure ci-dessous montre une photographie du noyau de la comète de *Halley*, dont les dimensions sont à peu près de 16 par 8 par 8 kilomètres.



Image 2 Photo composite de la comète de Halley photographiée lorsque la sonde était à une distance de 600 km environ de la comète. Le noyau est l'objet sombre. Les traces claires sont des jets de gaz qui s'échappent du côté du noyau éclairé par le soleil.

Lorsque le noyau cométaire s'éloigne du soleil, le dégazage finit par cesser et la comète redevient indétectable.

D. Érosion du noyau et diminution de la masse

La masse perdue par une comète pendant sa période d'activité dépend beaucoup

de la quantité de matière volatile que contient le noyau. Une comète perd en moyenne quelque 300 kg par seconde au plus fort de son activité, mais celle de *Halley* perd environ 30 tonnes par seconde et la comète *Hale Bopp* perdait environ 250 tonnes par seconde. Elle a subi une érosion de 10m de son noyau dont la taille a été estimée à environ 40 km. De nombreux épisodes successifs d'activité finissent par appauvrir le noyau en matériaux volatils jusqu'à ce que finalement la comète « meure », n'entrant plus jamais ou presque, en activité. Ainsi, il se peut que certains astéroïdes soient des comètes mortes.



Exemple : Chiron

C'est sans doute le cas du gros astéroïde Chiron qui orbite entre 13,7 et 8 Unité Astronomique (UA). En 1977 Chiron était un astéroïde sans activité. Mais au fur et à mesure qu'il s'est rapproché du soleil, sa brillance a augmenté plus que par le seul effet de son rapprochement à cause d'un faible dégazage de type cométaire. Chiron nous a ainsi révélé discrètement une parenté cachée avec les comètes.

* *
*

Cette évolution sur le long terme des comètes, et le fait que parfois elles se perdent en tombant dans le soleil ou sur une planète montrent qu'elles ne sont pas éternelles. Leur population doit par conséquent être renouvelée, ce qui pose le problème de la naissance des comètes.

L'origine des comètes

IV

Propriétés orbitales des comètes	23
L'évolution orbitale des comètes	24
L'exemple de Hale Bopp	24
Le nuage d'Oort	24
La ceinture de Kuiper	25

C'est l'étude des propriétés orbitales des comètes et de leur trajectoire va permettre d'identifier l'origine de ces astres un peu particuliers.

A. Propriétés orbitales des comètes

Les propriétés orbitales de quelques comètes sont montrées dans le tableau suivant. Le périhélie est le point où la comète approche le soleil au plus près. Sa distance au soleil est indiquée dans le tableau, en unités astronomiques (UA). L'UA est la distance moyenne entre le soleil et la terre. Elle est égale à 150 millions de km.

Nom comète	Période (année)	Excentricité	Périhélie (en UA)
<i>Halley</i>	76	0,967	0,586
<i>Encke</i>	3,3	0,848	0,34
<i>Ikeya Seki</i>	880	0,991	0,0078
<i>Hale Bopp</i>	4200	0,9951	0,9141

Tableau 1 Périodicité, excentricité et périhélie des comètes

Plus la période d'une comète est longue, plus elle vient de loin. En effet, la troisième loi de *Kepler* permet de calculer le grand axe de son orbite connaissant sa période.

Dans le cas de la comète de *Halley*, on trouve que son aphélie (sa position la plus éloignée du soleil) se situe à une distance du soleil de 35,3 UA. Pour comparaison, la planète Pluton, la plus lointaine du système solaire, orbite à environ 40 UA du soleil. L'aphélie de la comète *Hale Bopp* se situait, avant son passage dans le système solaire interne en 1997, à environ 540 UA du soleil. La deuxième loi de

Kepler indique qu'elle passe la plupart de son temps à orbiter à cette distance considérable du soleil.

B. L'évolution orbitale des comètes



Remarque

La théorie de *Halley* ne prédit cependant pas parfaitement le mouvement des comètes, parce qu'au cours de leur voyage celles-ci ne subissent pas seulement l'attraction gravitationnelle du soleil.

1. **Le dégazage que subit leur noyau étant systématiquement dirigé vers le soleil, il provoque une sorte d'effet fusée qui influe sur le mouvement de la comète.**

Ainsi par exemple la période de la comète de *Halley* n'est pas fixe. A l'époque de *Halley* elle valait environ 77 ans. Aujourd'hui elle s'est raccourcie à 76 ans.

2. **Par ailleurs, la trajectoire très excentrique des comètes les amène à croiser l'orbite des planètes du système solaire, notamment des planètes géantes.**

Il n'est pas rare qu'une comète passe ainsi très près d'une planète. Il se peut même qu'elle entre en collision avec elle, comme ce fut le cas de la comète *Shoemaker Levy 9* qui s'est écrasée sur Jupiter en Juillet 1994. Lorsque la comète ne fait que passer très près d'une planète sans être détruite par celle-ci par les forces de marées, elle se trouve déviée. En effet, pendant le temps de la rencontre proche, l'attraction gravitationnelle qu'exerce sur elle la planète est aussi forte que celle qu'exerce le soleil. La rencontre passée, la gravitation solaire redevient la seule force dominante, mais la comète a alors épousé une nouvelle orbite bien différente de celle qu'elle suivait auparavant.

C. L'exemple de Hale Bopp

Sur le très long terme, l'orbite des comètes évolue principalement à cause des rencontres rapprochées avec des planètes, comme Jupiter, Saturne ou Neptune.



Exemple

Par exemple la comète *Hale Bopp* a été détournée de sa trajectoire initiale par Jupiter lors de sa dernière visite dans le système solaire interne. Sa période, qui était de 4200 ans auparavant est passée à 2300 ans après la rencontre et son aphélie, qui se situait à 540 UA n'est plus maintenant qu'à 360 UA. Ceci montre que *Hale Bopp* est en cours de capture par le système solaire interne.

D. Le nuage d'Oort

Si la théorie de la mécanique céleste, raffinée par la prise en compte des perturbations planétaires, permet de prévoir le devenir d'une comète, elle permet aussi de retrouver son passé en faisant marcher les calculs à l'envers de façon à « remonter le temps ».

Ce travail a été fait pour la première fois par l'astronome hollandais *Jan Oort*.

Il a remonté, en tenant compte des perturbations occasionnées par des rencontres proches avec des planètes, le mouvement passé d'une vingtaine de comètes dont la trajectoire actuelle est bien connue. Il a trouvé que dans un passé lointain les orbites de ces comètes s'étendaient entre 40 000 et 100 000 UA, à des distances beaucoup plus grandes que les dimensions de leurs orbites actuelles, mais néanmoins plus petites que la distance de l'étoile la plus proche du soleil. Ceci, et le fait que les plans des orbites de ces comètes sont très différents de l'écliptique, l'a amené à supposer qu'il existe à des distances proches de 50 000 UA un nuage plus ou moins sphérique de comètes qui serait le réservoir des comètes à longues périodes. Dans ce « *nuage d'Oort* », les comètes auraient des orbites peu elliptiques, mais parfois, par le jeu d'interactions gravitationnelles entre elles ou en réponse à d'autres perturbations, certaines passeraient sur une orbite très plongeante qui les amènerait dans le système solaire interne. L'existence de ce réservoir de comètes à longues périodes est à ce jour encore une spéculation, car il est très difficile de le détecter. Cependant, puisque les comètes meurent en perdant leurs éléments volatils ou lors de collisions avec des planètes ou avec le soleil, il est légitime de penser qu'un réservoir de comètes fraîches doit nécessairement exister. (Compléments dans l'extrait ci-dessous)

E. La ceinture de Kuiper

L'origine des comètes de la famille de Jupiter, de période proche de 5 ou 6 ans, ne se situe cependant pas dans le nuage de Oort car tous les plans orbitaux de ces comètes sont proches de l'écliptique.

L'analyse de leur trajectoire passée situe cependant leur origine dans des régions lointaines de ce plan, au delà de l'orbite de Neptune et de Pluton, dans ce qu'on appelle aujourd'hui la ceinture de *Kuiper*. Dans la dernière décennie on a découvert dans cette ceinture de *Kuiper*, grâce à leur émission infra rouge, plusieurs astres d'une taille supérieure à 1000km, les astéroïdes transneptuniens, dont certains orbitent bien au delà de Neptune et même de Pluton.



Exemple

C'est le cas de Sedna, un astre dont le diamètre est entre 1200 et 1800km, et dont l'aphélie se situe à 935 UA ou d'Éris (antérieurement Xéna), plus grand que Pluton, d'un diamètre de 2400km, dont l'aphélie est à 96 UA.

* *
*

Il est maintenant certain que ces régions très éloignées du système solaire abritent non seulement des comètes, mais aussi des astres d'une taille comparable à celle de Pluton.

Un grand nombre de ces astres nous est sans doute encore inconnu. Il se peut que Pluton lui même en fasse partie et ne soit pas la dernière planète du système solaire mais plutôt le premier des astéroïdes transneptuniens.

L'exploration des comètes



V

Il a été fait à plusieurs reprises allusion au fait que les astronomes de notre époque ont entrepris l'exploration spatiale des comètes. Ci-après, sont résumées, sans exhaustivité, quelques missions importantes de ce programme d'exploration.

A. Les programmes spatiaux

Cryospheric Sciences Program (ICE)

Lancée le 12 août 1978. Mission de la NASA.

- Traversée de la queue de la comète Giacobini-Zinner
- Traversée de la queue de la comète de *Halley*

Giotto

Lancée le 2 Juillet 1985 Mission de l'Agence spatiale européenne (ESA)

- Survol de la comète de *Halley* à 600km de distance le 14 Mars 1986
- Survol de la comète *Grigg-Skjellerup* à 200km de distance le 10 Juillet 1992

Galileo

Lancée le 18 Octobre 1989 par l'Agence spatiale européenne (ESA). Mission vers Jupiter

- A fourni des images de la collision de Juillet 1994 entre les fragments de la comète *Shoemaker-Levy 9* (SL9) et Jupiter. Ces fragments sont issus de la destruction de SL9 par les forces de marée de Jupiter.

Rosetta

Lancée le 2 Mars 2004. Mission de l'Agence spatiale européenne (ESA)

- Survol à 800km de l'astéroïde *Steins* le 5 Septembre 2008
- Rendez vous avec la comète *Churyumov- Gerasimenko* en août 2014.
- Mise en orbite autour de la comète pour 18 mois.
- Dépôt sur le sol de celle ci en Novembre 2014 d'un atterrisseur muni de moyens de diagnostic de la surface de la comète.

Deep Impact

Lancée le 12 Janvier 2005. Mission de la NASA

- A largué le 4 Juillet 2005 un impacteur de 372kg qui a percuté la comète *Tempel 1*.
- L'analyse des éjecta par les instruments placés à 500km sur le vaisseau spatial confirme le caractère hétérogène de la composition du noyau.

* *
*

La présentation des comètes s'achève ici.

Nous proposons dans la séquence suivante quelques exercices ludiques de remémoration et d'évaluation de votre compréhension du présent cours.

Exercices

VI

Tester vos connaissances

29

Cette dernière séquence est constituée de petits exercices de remémoration. Ces exercices sont des auto entraînements sans évaluation.

Comment utiliser les boutons ?

1. Cliquez sur le clip de départ pour calculer votre score sur la question
2. Cliquez sur la clef pour voir la bonne réponse
3. Cliquez sur la gomme pour effacer et recommencer

NB : Ces exercices sont uniquement destinés à la démonstration Opale. Leur contenu scientifique et leur intérêt pédagogique ne sont pas l'objet. Cette partie, ainsi que l'animation de la section suivante, n'ont pas été rédigées par l'auteur de ce module : les informations qui y figurent ne lui sont pas imputables et leur valeur scientifique n'est pas garantie.

A. Tester vos connaissances

1. Exercice : Périhélie

[Solution n°1 p 37]

Qu'est-ce que le périhélie ?

- La position où la comète est la plus rapprochée du soleil
- La distance moyenne entre le soleil et la terre
- La position où la comète est la plus éloignée du soleil

2. Exercice : Lois de Kepler

[Solution n°2 p 37]

Quelles sont, parmi ces propositions, des lois énoncées par Kepler ?

Exercices

- Les planètes décrivent des ellipses dont le soleil occupe un foyer.
- Tout corps exerce sur tout autre une force d'attraction gravitationnelle.
- Le rayon qui joint le soleil à la planète balaie des aires égales en des temps égaux.
- Le carré du temps mis par une planète à parcourir son orbite est proportionnel au cube du grand axe de cette orbite.

3. Exercice : Ordre d'apparition

[Solution n°3 p 38]

Dans quel ordre chronologique sont apparues les comètes (première apparition référencée) ?

- West, Shoemaker Levy 9, Halley, Hale Bopp.
- Halley, Shoemaker Levy 9, Hale Bopp, West.
- Halley, West, Shoemaker Levy 9, Hale Bopp.
- Shoemaker Levy 9, West, Hale Bopp, Halley.

4. Exercice : De l'accélération

[Solution n°4 p 38]

Quels sont les termes qui manquent dans la phrase suivante (l'ordre des termes importe) ?

« Tout corps subit une accélération proportionnelle à la - ? - à laquelle il est soumis et inversement proportionnelle à sa - ? - »

- gravité, masse.
- force, gravité.
- masse, force.
- force, masse.

5. Exercice : Glace et gaz

[Solution n°5 p 38]

Comment appelle-t-on la phase où, sous l'effet de la chaleur solaire, les glaces de surface de la comète passent de l'état solide à l'état gazeux ?

- La vaporisation.
- Le dégazage.
- Le nuage d'Oort.
- L'expulsion de Kuiper.

6. Exercice : Reconnaissance

[Solution n°6 p 39]

Quelles comètes sont représentées ci-dessous ?

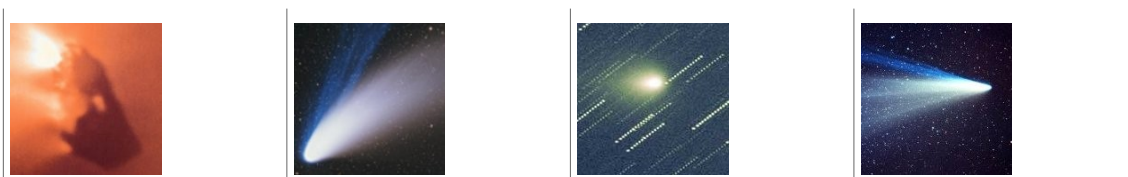


Tableau 2 Comètes

- Halley
- McNaught
- Hale-Bopp
- West
- Shoemaker-Levy 9
- Swift-Tuttle
- Giacobini-Zinner
- Tempel

Bibliographie - Webographie

VII

Bibliographie

- **Les Comètes**, J.Crovisier et T.Encrenaz, CNRS Editions, Belin 1995.
- **Les Comètes**, A. Brahic, Presses Universitaires de France, 1993.
- **Les molécules des Comètes**, D. Bockelée-Morvan et J.Crovisier, La Recherche, volume 271, pages 1272-1278, 1994.

Webographie

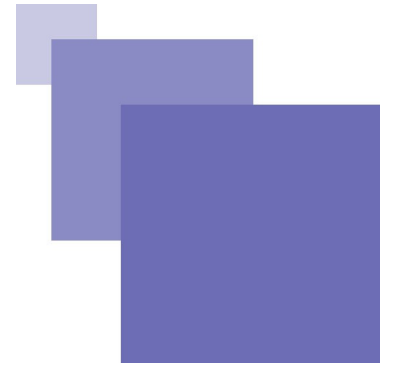
- *Les comètes sur Wikipédia*².
- *Noyau cométaire*³.
- *Modèle interactif Comète*⁴.

2 - <http://fr.wikipedia.org/wiki/Com%C3%A8te>

3 - http://fr.wikipedia.org/wiki/Noyau_com%C3%A9taire

4 - http://www.windows2universe.org/comets/comet_model_interactive.html

Conclusion



Vous avez maintenant un aperçu de l'histoire et de la nature des comètes ainsi qu'une compréhension large des grandes questions d'astrophysique posées par leur observation.

Solution des exercices

> Solution n°1 (exercice p. 29)

- La position où la comète est la plus rapprochée du soleil
- La distance moyenne entre le soleil et la terre
- La position où la comète est la plus éloignée du soleil

La distance moyenne entre le soleil et la terre est l'étalon qui définit l'unité astronomique (UA). Pour rappel 1 UA = 150 millions de km.

La distance moyenne entre le soleil et la terre est absolument sans rapport avec le périhélie de la comète, hors le fait que ce périhélie est exprimé en UA - ce qui n'a rien de bien exceptionnel.

Le périhélie est bien le point de l'orbite d'un corps céleste (planète, comète, etc.) qui est le plus rapproché du soleil.

Le position où un corps céleste est le plus éloigné du soleil s'appelle l'aphélie - l'aphélie est donc l'antonyme du périhélie.

> Solution n°2 (exercice p. 29)

- Les planètes décrivent des ellipses dont le soleil occupe un foyer.
- Tout corps exerce sur tout autre une force d'attraction gravitationnelle.
- Le rayon qui joint le soleil à la planète balaie des aires égales en des temps égaux.
- Le carré du temps mis par une planète à parcourir son orbite est proportionnel au cube du grand axe de cette orbite.

Les trois lois de *Kepler* figurent ici. Seule la réponse 2 est erronée. C'est à *Newton* que revient la théorie de la force gravitationnelle, et non à *Kepler*.

> Solution n°3 (exercice p. 30)

West, Shoemaker Levy 9, Halley, Hale Bopp.

Halley, Shoemaker Levy 9, Hale Bopp, West.

Halley, West, Shoemaker Levy 9, Hale Bopp.

Shoemaker Levy 9, West, Hale Bopp, Halley.

> **Solution n°4** (exercice p. 30)

gravité, masse.

force, gravité.

masse, force.

force, masse.

Il s'agit de la troisième loi de *Newton* définissant la façon dont s'exerce l'attraction gravitationnelle.

> **Solution n°5** (exercice p. 30)

La vaporisation.

Le dégazage.

Le nuage d'Oort.

L'expulsion de Kuiper.

On dit que la comète dégaze quand elle entre en activité. C'est à ce moment que les queues de la comète deviennent visibles.

> **Solution n°6** (exercice p. 31)

<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Halley</i>
<input type="checkbox"/>	<i>McNaught</i>
<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Hale-Bopp</i>
<input checked="" type="checkbox"/>	West
<input type="checkbox"/>	<i>Shoemaker-Levy 9</i>
<input type="checkbox"/>	<i>Swift-Tuttle</i>
<input checked="" type="checkbox"/>	Giacobini-Zinner
<input type="checkbox"/>	<i>Tempel</i>

Il est certes difficile de distinguer une comète d'une autre. Ces photographies sont néanmoins familières et lisibles pour les spécialistes et les amateurs.