

Les comètes

Dossier élaboré à partir d'un texte de Thierry LOMBRY publié sur LUXORION
<http://www.astrosurf.com/luxorion/sysol-cometes.htm>

Introduction

Quelle émotion devaient éprouver les observateurs de jadis lorsqu'ils apercevaient dans les lueurs rougeoyante et bleu nuit du Soleil couchant une épée un peu floue suspendue dans le ciel... Pas étonnant qu'ils aient assimilé ce phénomène à une malédiction. Mais aujourd'hui je ne peux que m'émerveiller devant cette beauté évanescence et ressentir une forte excitation en observant une comète traverser ainsi le ciel silencieusement, signant son passage de vapeurs et de poussières éphémères. Ne manquez pas d'observer ce spectacle...

A l'image de dame Nature, les comètes sont des entités complexes. Simple et pure vue de loin, elles révèlent aux regards charmés une constitution très complexe sujette aux sautes d'humeur de son cœur de pierre et de glace. A l'heure où sont écrites ces lignes bien des questions demeurent sans réponses concernant leurs origines, la constitution de leur noyau ou la dynamique qui préside à l'émission de matière. Comme dame Nature, les comètes sont secrètes et ne se laissent pas facilement apprivoiser. Mais la Science bardée d'instruments toujours plus indiscrets est bien décidée à dévoiler leurs secrets.

Historique abrégé

Déjà relatées sur les tables cunéiformes des Babyloniens, les comètes font partie de notre décor naturel depuis plus de 4000 ans. On trouve également leurs traces dans de vieilles annales chinoises remontant à 2 millénaires.

Dans l'Antiquité, les comètes étaient considérées comme des astres de mauvais présage issus des ténèbres. Cela remonte à une époque où les femmes en deuil devaient délier leurs cheveux pour manifester leur chagrin. En s'approchant du Soleil, les comètes ressemblant à une chevelure au vent, elles symbolisaient le deuil ou annonçaient les malheurs à venir, guerre, épidémie, famine et leurs lots de souffrances.

Peu avant l'ère chrétienne Aristote, dans ses études "Météorologiques", avait déjà suggéré que les comètes étaient des corps différents des nuages, appartenant "*à la première partie du monde, celle constituée d'une exhalaison sèche et chaude située en-dessous des sphères circulaires*". Les comètes étaient des "*exhalaisons [...] emportées autour de la Terre par la translation et le mouvement circulaire*[...]. Son interprétation de sa chevelure était cependant moins précise, faisant intervenir "*un principe igné, [...] mais sans que ce principe soit en quantité suffisante pour assurer une combustion rapide et complète, ni si faible qu'il s'éteigne rapidement*".

Il faudra attendre 1578 et les études de l'astronome danois Tycho Brahé pour qu'émerge une idée révolutionnaire. Fêré de mathématiques et habile observateur, Tycho observa une comète et estima sa distance à plus de ... 230 rayons terrestres. Pour la première fois en Occident un savant osa dire que le monde supra-lunaire des Anciens n'était pas immuable et éternel. Deux mille ans de Métaphysique étaient en train de s'écrouler sous les faits de l'observation, un arbitre sévère devant lequel peu de chercheurs gardent la tête haute.

Tycho confirmait les observations de Sénèque qui plaçait les comètes auprès des "étoiles errantes", dans l'orbe des planètes. Alors que Copernic venait de placer le Soleil au centre des orbes, la Terre et la Lune tournant autour de lui, Tycho voulait prouver à son tour que le ciel s'étendait dans toutes les directions...

Mais c'est à l'astronome anglais Edmund Halley, au début du XVIII^e siècle que nous devons la vision quasi moderne des comètes. Contemporain de Newton avec lequel il discuta de la gravitation à maintes reprises, Halley démontra que les comètes suivaient une orbite elliptique dont le Soleil occupait l'un des foyers. Il découvrit par ailleurs dans ses archives qu'une comète brillante ayant la même orbite était déjà passée en 1531 et en 1607. Certain de sa théorie il prédit son retour pour 1759. Mais il ne vécut pas assez longtemps pour l'observer. C'était la célèbre comète de Halley... Grâce à ses travaux nous savons aujourd'hui que la comète de Halley fut observée sans interruption depuis l'an 466 avant notre ère et sera probablement encore visible durant quelques centaines de milliers d'années.

Jusqu'au début du XX^e siècle, les comètes restèrent des manifestations célestes très redoutées. En 1910, les astronomes prédirent que la Terre devait passer dans la queue de la comète de Halley. Le fait que celle-ci contenait du cyanogène (C₂N₂), les journalistes s'empressèrent d'annoncer la fin du monde : le contact du cyanogène avec l'atmosphère terrestre devait enflammer la Terre. Des cas de suicide ont malheureusement été constatés, mais lorsque le jour venu Halley traversa le ciel dans tout son éclat, aucun des malheurs annoncés ne se produisit.

Aujourd'hui, les comètes sont devenues des objets pacifiques, sujets de recherches approfondies dans le but de connaître leur origine et leur constitution, mais aussi pour confirmer les modèles mécaniques qui président aux perturbations orbitales des planètes.

Pourquoi donc un tel intérêt pour les comètes ? A cela, les astronomes nous répondent que ces objets ont sans doute été créés tout au début de la formation du système solaire et de ce fait, n'ayant pas subi de modifications internes, ils sont restés intacts, contenant dans leur sein des éléments constitutifs de la nébuleuse protosolaire et peut-être des grains de poussière interstellaires. D'un autre côté des études indiqueraient que les comètes ont peut-être contribué à la formation des océans et des composés volatils que l'on retrouve sur Terre, modifiant l'écosystème primitif. Par ailleurs, les composés organiques qu'elles contiennent ont également pu jouer un rôle déterminant dans l'apparition de la vie. C'est pour toutes ces raisons que les astronomes cherchent à dévoiler leurs origines et connaître leur composition.

En 1986 la fameuse comète de Halley fut approchée par trois sondes spatiales dont Giotto qui la photographia à moins de 600 km de distance. Ainsi que nous allons le découvrir, les données que l'on préleva in situ ont permis de résoudre bien des énigmes.

Anatomie

L'image de la "boule de glace sale" avancée par F. Whipple en 1950 est aujourd'hui classique et à peu de choses près confirmée par les missions spatiales vers Halley en 1986. Une comète est un corps solide composé principalement de poussières et de glaces en mouvement autour du Soleil sur une trajectoire elliptique, parabolique ou hyperbolique. Mais nous verrons un peu plus loin que ce modèle n'est pas suffisant. Les observations réalisées depuis le milieu du siècle dernier, tant depuis le sol qu'à bord des satellites nous ont fait progressivement découvrir que ces comètes contenaient tout un monde de molécules organiques.

Le noyau

Ainsi que l'ont montré avec assez bien de réalisme les films "Deep Impact" et "Armageddon" sortis en 1998, une comète se compose d'un noyau, un petit corps solide de quelque centaines de mètres à plusieurs dizaines de km dans sa plus grande dimension et très lourd, de l'ordre de 100 milliards de tonnes.

Le noyau le plus grand est probablement détenu par la comète Hale-Bopp avec une longueur maximale de 40 km. La comète périodique Lexell de 1770 détient la masse la plus élevée avec 6×10^{14} tonnes (600 mille milliards de tonnes), l'équivalent du millionième de la masse de la Terre.

Le noyau peut être animé d'un mouvement de rotation. Lors du passage de la comète de Halley en 1986, on découvrit ainsi que son noyau tournait sur lui-même avec une période de 53 heures. Comme son nom l'indique le noyau est la région la plus dense de la comète. Sa densité approche 10^{-6} atmosphères, ce qui ne représente que 2 gr/cm^3 . Le noyau de Halley présentait une densité dix fois inférieure à celle de l'eau. Cette structure a rarement été photographiée bien que dessinée par tous les observateurs.

L'analyse des clichés composites de Halley a révélé que son noyau était irrégulier, mesurant $16 \times 7.5 \times 8$ km et était accidenté, probablement couvert de dépressions et de cratères de quelques centaines de mètres à un kilomètre de diamètre. Son albédo très faible (0.04) le rend plus noir que du charbon. Son noyau est organisé en clathrate, un réseau de glaces mixtes dont les cavités emprisonnent des gaz. Étant donné la densité de Halley, les scientifiques estiment que 84% de son noyau est constitué de glace d'eau mélangée à du formaldéhyde et du dioxyde de carbone. Il contient également de l'azote et du monoxyde de carbone mais en faibles quantités.

La croûte est constituée de matériaux non volatils, composés de silicates et d'éléments riches en carbone, les CHON, acronyme de Carbon-Hydrogen-Oxygen-Nitrogen (Azote). Les couches superficielles du noyau sont des clathrates vidées de leurs matériaux volatils. Elles forment un manteau réfractaire que le rayonnement solaire pénètre plus difficilement.

Sur Halley la production d'eau à l'approche du Soleil fut de l'ordre de 8×10^{30} molécules par seconde. La vapeur éjectée du noyau atteignait 125°C pour retomber à -73°C à l'intérieur du noyau. Les jets de gaz émanaient de plusieurs points de sa surface, mais 90% de celle-ci était totalement inactive.

Ainsi que l'a bien montré le film "Deep Impact", seule la face tournée vers le Soleil émettait ces gaz; les régions où apparaissent ces jets se désactivent en effet en passant dans l'obscurité. Les comètes perdent donc leurs matériaux uniquement par ces jets.

Si Halley devait perdre autant d'eau de façon continue, on estime que la comète ne pourrait pas survivre plus de 3 siècles. Étant donné qu'elle ne développe cette activité que durant quelques semaines par siècle, avec une masse estimée à 3×10^{11} tonnes, sa durée de vie se compte en centaines de milliers d'années.

Pour expliquer la teinte sombre du noyau et les jets de vapeurs, le modèle de "la boule de glace sale" n'est pas satisfaisant. Les scientifiques sont d'avis pour assimiler le noyau à un agglomérat de particules d'eau glacée, de polymères organiques, de poussière de silicates et de carbone agglomérés au moment de la formation du système solaire. Ces "grains" peuvent être juxtaposés ou imbriqués les uns dans les autres, tout dépend de leur forme et de leur évolution natale. Quand le noyau se réchauffe en s'approchant du Soleil, l'eau et les matériaux volatils s'évaporent,

laissant des structures organiques et des poussières entourées d'alvéoles (clathrate). Ces structures peuvent avoir plusieurs centimètres d'épaisseur et sont poreuses, probablement peu conductrices de la chaleur. Absorbant très bien la lumière, ces structures peuvent produire une élévation de la température à la surface du noyau et, agissant comme un isolant, laisser l'intérieur du noyau nettement plus froid. Mais si cette théorie explique en partie les mesures spectrales et la répartition des ions cométaires, elle ne dit rien de la structure interne du noyau.

Il est difficile en effet de connaître sa structure. A partir de l'analyse des gaz libérés par la coma, les astrophysiciens pensent qu'au moins deux mécanismes interviennent. D'une part des gaz sont relâchés en surface et s'évaporent. Mais une autre fraction provient de l'intérieur du noyau et serait relâchée lors des changements structurels des glaces à mesure que la température évolue. Près du Soleil les deux mécanismes opèrent tandis qu'après le passage au périhélie le second mécanisme devrait être plus actif.

C'est en observant la façon dont les comètes se fragmentent que l'on infère le peu que l'on sait sur la structure du noyau. David Jewitt nous rappelle que trois théories sont actuellement considérées :

- **Le noyau monolithique** : c'est l'idée la plus simple que l'on puisse se faire du noyau qui serait un objet de composition interne uniforme. Il est entouré d'une croûte réfractaire composée de débris exposés par sublimation des glaces. Ce noyau serait assez solide mais ce modèle n'explique pas dans ce cas pour quelles raisons certaines comètes se brisent à la moindre tension.

- **Le noyau multiple** : il serait constitué par l'accrétion de corps indépendants capturés au cours de l'évolution de la comète. Ces roches seraient des planétésimaux issus du disque protoplanétaire. Certains suggèrent que ces sous-éléments sont originaires de différents endroits de la nébuleuse protosolaire et présenteraient donc des compositions variées. Assemblés sans pour autant être fermement attachés les uns aux autres, cette structure serait assez fragile. Ce noyau multiple est également recouvert d'un manteau réfractaire.

- **Le noyau différencié** : à l'image de la Terre dont le noyau s'est différencié en un cœur de fer et un manteau de roche, certains pensent que le noyau des comètes peut être partiellement différencié. Mais ce processus requiert des températures internes très élevées qu'un petit objet comme une comète n'est pas en mesure de générer. Pour les plus massives d'entre elles, la chaleur dégagée par la radioactivité du potassium, du thorium ou de l'uranium pourrait assurer une lente migration des glaces les plus volatiles (CO, N₂) vers la zone entourant le cœur du noyau. Pour les comètes les plus petites, l'aluminium-22 pourrait apporter cette chaleur.

Il est probable que les comètes incorporent les trois modèles présentés ici. Les plus petites comètes peuvent par exemple avoir un noyau monolithique alors que les plus grandes seraient constituées de roches agglomérées. Le matériau cométaire étant un faible conducteur de la chaleur il est possible que les plus grands noyaux soient complètement vidés de la plupart de leurs glaces volatiles. Reste à confirmer ces théories in situ. La découverte d'un fragment de clathrate constituerait la pierre de Rosette des cométologues.

La coma interne

La vie d'une comète est tributaire du vent solaire. Ce "vent" est constituée de protons et d'électrons issus de la couronne solaire, portés à haute température et guidés par le champ magnétique du Soleil. Ce "vent" souffle à près de 500 km/s et percute les comètes dont la vitesse orbitale atteint environ 25 km/s. Il se forme alors une onde de choc à l'image du sillage que laisse derrière lui un navire en mouvement qui donnera la forme générale à la comète.

Le noyau s'entoure d'une zone diffuse, **la coma**. Elle apparaît en deçà de 3 UA, lorsque la température atteint -78°C , seuil à partir duquel la glace d'ammoniaque se sublime dans le vide. C'est parce que la coma se compose d'environ 80% d'eau qu'elle dégage énormément de vapeur. L'analyse de l'hydrogène libérée par la coma de Hale-Bopp, combinée avec d'autres observations indique que son noyau produit quelque 7 à 8 tonnes d'eau par seconde !

La coma interne se divise en deux composantes :

- La coma gazeuse
- La coma de poussières.

La coma gazeuse est une atmosphère constituée de molécules libérées par le noyau par le rayonnement solaire et la sublimation des glaces. Exposée directement au rayonnement solaire intense (UV, protons rapides, etc) la plupart de ces molécules sont dissociées dans les 24 heures qui suivent leur libération.

Les mesures réalisées par la sonde Giotto sur Halley ont révélé que cette coma interne contenait également des molécules organiques neutres enrichies en carbone, hydrogène et oxygène (CO , CO_2 , HCN , H_2CO) éjectés par le noyau à plusieurs centaines de mètres par seconde. Le composant volatil dominant reste l'eau, suivi par le CO et le CO_2 tandis que la plupart des autres éléments ne dépassent pas 1%. Bien que le rapport $\text{CO}/\text{H}_2\text{O}$ atteigne 20 à 30% dans Hale-Bopp leur abondance varie notablement entre comètes pour atteindre des valeurs parfois 5 fois plus faibles.

Remarque utile pour les amateurs de spectroscopie, la plupart des molécules que l'on observe dans la coma sont les molécules filles résultant de cette dissociation, car elles présentent de fortes raies spectrales en lumière blanche. Ce sont elles en effet qui donne sa couleur à la coma. Par contre l'étude des molécules parentes est une technique récente qui concerne l'astronomie submillimétrique (radio).

Cette matière se déplace dans la coma à une vitesse voisine de celle du son dans un gaz, soit environ 1 km/s lorsque la comète est proche de la Terre. Connaissant cette vitesse et la durée de vie des molécules avant photodissociation, on peut estimer qu'en 24 heures les molécules se déplacent d'environ 50000 km. C'est le rayon moyen de la coma gazeuse.

La région la plus proche du noyau, sur quelques dizaines de milliers de km, est imperméable au vent solaire. Dans les derniers milliers de kilomètres qui précèdent la zone de contact avec le noyau, la température et la densité des électrons subissent de grands changements. Le champ magnétique accuse là son maximum.

Lorsqu'il y a équilibre entre la pression de radiation extérieure et le gaz ionisé de la coma, nous sommes sur la surface de contact. Ici le champ magnétique est nul. Cette limite se situe à quelques centaines, voire quelques milliers de kilomètres de la surface du noyau.

La coma de poussières est constituée de grains de poussières arrachés du noyau par les gaz en sublimation. A quelques dizaines de rayons du noyau, la poussière est libérée du champ gravitationnel cométaire et gravite librement autour du Soleil. La vitesse de ces particules varient en fonction de leur taille, les plus légères se déplaçant pratiquement à la vitesse des gaz. Les plus lourdes restent piégées dans la coma ou retombent à la surface du noyau et s'accumulent sur sa croûte.

Ces grains ont toutes les tailles mais la plupart de ceux qui forment la coma visible dans un instrument d'observation ont un diamètre d'environ 1 micron (0.001 mm). Près du périhélie des grains, ou plutôt des fragments de plusieurs dizaines de centimètres de diamètre peuvent être

éjectés avec les gaz. Comme nous le verront un peu plus loin, ce sont ces grains de poussières qui forment la queue de Type II et constituent le principal ingrédient du milieu interplanétaire, alimentant la lumière zodiacale et le flux incessant des "étoiles filantes" que sont les météores.

La coma externe

La coma externe, de forme elliptique ou parabolique représente en quelque sorte l'atmosphère de la comète, sa coma étendue jusqu'au milieu interplanétaire délimitée par l'onde de choc. Cette enveloppe présente un diamètre angulaire qui peut atteindre 2°40' pour la comète Lexell de 1770. Cela représente un diamètre physique de près de 2 millions de kilomètres. Au périhélie la coma de la comète de Halley s'étendait sur 35 millions de km.

Cette enveloppe est en général de taille réduite mais une dimension de 100000 km est courante. C'est sa densité extrêmement basse qui permet de laisser scintiller les étoiles qu'elle vient à occulter. Quelquefois elle présente une région centrale plus dense centrée sur le noyau. Il peut également apparaître de faux noyaux, d'un aspect stellaire à faible grossissement.

Autour du noyau, mais également en tout lieu de l'enveloppe, nous pouvons observer des condensations en forme d'arc. Elles proviennent de la sublimation de la glace du noyau qui, dans son mouvement de rotation, crée des halos concentriques qui se propagent avec les gaz. De tels arcs persistent quelques semaines. Citons les comètes Bennett (1970 II), Donati (1858 VI) et Coggia (1874 III) qui présentaient de telles structures, assez rares. Face au Soleil, le noyau solide peut projeter une ombre qui apparaîtra comme une fine ligne sombre dans l'axe de la chevelure de la comète.

Lors du passage de Halley au périhélie, la sonde spatiale Giotto a noté que la coma libérait plus de gaz que de poussières dans rapport de 6:1. Par comparaison, la comète de Encke éjecta 400 grammes de poussières par seconde, tandis qu'en 1986 Halley éjecta quelque 3.1 tonnes de matière chaque seconde. Au cours de son passage Halley perdit 300 millions de tonnes de matière et environ 5 mètres de son épaisseur. Cela n'entama pratiquement pas la masse du noyau qui est estimé à 300 milliards de tonnes. Au bout d'un temps estimé à plus de 250000 ans, la comète de Halley se désintégrera.

La queue

C'est à l'approche du Soleil que les glaces se subliment dans le vide entraînant les poussières du noyau. La comète devient alors visible. Tandis que la vapeur très légère reste confinée dans la coma, les poussières sont entraînées par la pression de radiation solaire dans la direction opposée au Soleil, formant une queue caractéristique. Celle-ci s'étend en général sur 5 à 15° dans le ciel, mais elle peut-être beaucoup plus étendue. En l'an 837, Halley s'étendait sur 97° et la comète de 1861 atteignit 118° ! La queue s'étend en général sur 1 million de kilomètres mais en 1910 Halley présentait une queue de 80 millions de kilomètres. Imaginez-vous que cela représente plus de la moitié de la distance qui nous sépare du Soleil !

L'aspect d'une comète dans le ciel est avant tout lié à un effet de perspective et des positions relatives des différents corps. Si la comète semble se diriger vers la Terre, sa queue sera à peine visible et apparaîtra en éventail. A l'inverse, près du Soleil, si la comète forme un angle important avec la Terre, la queue se détachera dans le ciel dans toute sa splendeur, formant un sabre lumineux ou une belle épée un peu diffuse selon les conditions du moment.

Les comètes étant principalement constituées de glace d'eau, elles commencent à se sublimer vers 1.5 UA, lorsqu'elles franchissent l'orbite de Mars et que la température de leur surface remonte vers 0°C.

Les queues des comètes ne sont pas toutes identiques et se différencient principalement par leur constitution. L'astronome russe Fédor Brédikin a défini trois types de queues cométaires :

- **Le type I** : il s'agit de la queue ionique. Elle est bleutée (pic à 420 nm) et rectiligne, bien que parfois légèrement hors de l'axe de la comète. Elle est constituée de plasma. A l'approche du Soleil les gaz neutres sont excités par les photons UV et perdent leurs électrons, c'est le phénomène de fluorescence. Le gaz ainsi ionisé est électriquement chargé, (CO^+ par exemple) et devient sensible aux lignes de force du champ magnétique solaire transporté par le vent solaire.

La forme de la queue ionique s'explique par la formation d'une onde de choc. A l'intérieur de ce front l'écoulement du vent solaire est freiné par l'atmosphère de la comète et produit des turbulences qui prennent l'aspect de cordes, de noeuds et de filaments qui différencient la queue ionique de la queue de poussières. En dehors du front les ions associés à la comète sont entraînés par l'écoulement général, guidés par les lignes de force engendrées par le noyau en mouvement. Les ions s'échappent ainsi de la coma pratiquement dans la direction anti-solaire en formant une longue queue distincte.

Pourquoi cette queue ionique est-elle bleue ? C'est parce que l'ion CO^+ , le plus abondant, disperse plus la lumière bleue que la lumière rouge que cette queue nous apparaît bleue.

Cette queue ionique évolue dans le temps. Des hétérogénéités ont été observées, se déplaçant le long de la queue à des vitesses de 10 à 100 km/s. Leur présence est liée au champ magnétique du Soleil. Tournant sur lui-même, le Soleil engendre un champ magnétique qui se propage dans l'espace, non pas de façon rectiligne mais en formant des spirales.

Toutes les régions du système solaire baignent dans ce champ magnétique mais ne sont pas toutes polarisées dans une même direction; localement le vent solaire souffle dans une direction particulière. En traversant ces régions, la queue ionique des comètes subit une perturbation qui crée une discontinuité dans la queue. Telles des irrégularités, ces condensations s'éloignent petit-à-petit, jusqu'à disparaître au bout de quelques jours. En 1986 Halley présenta de telles structures. En deux semaines une nouvelle queue ionique se reforma mais elle ne retrouva pas sa splendeur antérieure.

Cette queue contient des ions "cométaires", c'est-à-dire un spectre d'éléments que l'on retrouve régulièrement dans les comètes : H_2O^+ , CO^+ , CO_2^+ , OH^+ , N^+ et beaucoup plus près du noyau des ions H_2^+ , O^+ , S^+ . Plusieurs de ces molécules ionisées présentent également des charges négatives mais elles sont rapidement neutralisées par le rayonnement solaire. Après le passage au périhélie et la sublimation des couches extérieures glacées du noyau, des particules organiques neutres sont dispersées, telles les molécules OH, HCN, CH_3CN , NH_2 , NH, C_2 , C_3 , CO, CN, CH et des métaux MnI, FeI, Si. Leur durée de vie avant dissociation n'est que de quelques heures sous 1 UA.

On a évalué pour Halley que le parcours d'une molécule d'eau avant dissociation était d'environ 39000 km. Sous l'effet du rayonnement ultraviolet solaire les chaînes moléculaires se cassent et des atomes ou des molécules plus simples subsistent quelques jours : H, C, O, N, OH.

Trois célèbres comètes présentaient une queue ionique très étendue : Ikeya (1963 I), Halley en 1910 et en 1986 ainsi que Humason (1962 VII) dont le noyau libéra très peu de poussières.

- **Le type II** : il s'agit de la queue cométaire typique que nous connaissons tous, une seconde queue épaisse, bien visible sur Halley en 1986 et Hale-Bopp en 1997. Composée de poussières jusqu'à un centième de millimètre de diamètre, elle diffuse la lumière solaire. Elle apparaît blanche ou jaune-orangée parce que les grains de poussières réfléchissent un peu plus les grandes que les courtes longueurs d'ondes de la lumière.

Chacun de ces grains de poussière orbite individuellement autour du Soleil mais tous sont entraînés par le flux général du gaz en expansion issu de la coma qui s'échappe du noyau. Sous l'effet de la pression de radiation du Soleil, ces grains subissent un peu moins l'attraction solaire que le noyau si bien qu'à mesure que la comète évolue autour du Soleil sa queue s'incurve, s'épaissit, s'enroule et se torsade, se distinguant de la queue ionique bleutée qui reste rectiligne. Les plus grosses particules qui atteignirent la sonde spatiale Giotto qui traversa la queue de Halley pesaient 44 mg.

Après le passage du périhélie, la matière sublimée provient des régions plus profondes du noyau. On y trouve en abondance des ions C^+ et CO^+ ainsi que des silicates et des composés organiques. Ces particules peuvent être très fines. Sur Halley certaines poussières ne dépassaient pas 10^{-14} mg.

Parmi les comètes les plus connues, Mrkos (1957 V), Seki-Lines (1962 III), West (1975 VI) et Swift-Tuttle (1992) présentaient une belle queue de poussières. En 1996 la comète Hyakutake qui passa à 15 millions de kilomètres de la Terre présenta une queue de poussières de 20 millions de kilomètres qui s'étendait sur plus de 70° dans le ciel !

Tant la queue ionique que celle de poussières peuvent exceptionnellement atteindre 100 millions de kilomètres, presque une Unité Astronomique !

- **Le type III** : il s'agit de queues anormales ou des anti-queues qui apparaissent parfois dans la direction du Soleil. Elles résultent de conditions particulières de projections géométriques. Lorsque les trajectoires des grains sont très déviées, elles peuvent s'incurver au point de faire demi-tour, apparaissant "en avant" du noyau. Leur longueur peut atteindre 60 millions de kilomètres. L'anti-queue est composée de grains de poussières relativement gros (plus de 10 microns) qui sont émis longtemps avant le passage au périhélie. Peu affectés par la pression de radiation du Soleil, ils ne se séparent que lentement du noyau. L'anti-queue est très brillante lorsque la Terre se situe exactement dans le plan de l'orbite de la comète. Elle est toujours plus faible que la queue principale et peut apparaître courbée ou hérissée, floue et offrant un panache étendu.

Les comètes de Arend-Roland (1957), Kohoutek (1973) et West (1976 VI) présentaient ces anti-queues.