

ISON (C/2012 S1)

J. Manfroid

*ISON vue le 10 avril par le télescope
spatial Hubble (© NASA/HST)*

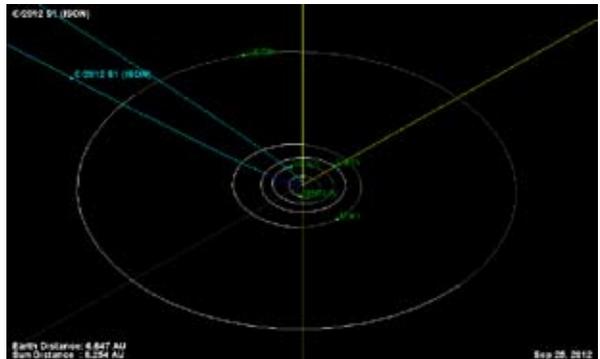
Comme un insecte éclosant pour quelques heures après des années de vie larvaire, la comète ISON (C/2012 S1) est sur le point de vivre son heure de gloire, et probablement ses derniers instants, après des millions de siècles passés dans les solitudes glacées du milieu interstellaire, à la périphérie du système solaire. Le hasard des perturbations gravifiques dans le nuage de Oort – cet immense réservoir de comètes – a conduit cette petite boule de glace sale à se diriger vers le Soleil, un voyage qui lui a demandé des millions d’années

Dès sa découverte très loin du Soleil, les prédictions les plus diverses ont couru sur l’apparence qu’aura la comète ISON près du périhélie, et pour de bonnes raisons. D’une part, c’est une habitude pour les comètes d’être imprévisibles, souvenons-nous de Kohoutek (C/1973 E1) ou d’Elenin (C/2010 X1). D’autre part, ISON passera si près du Soleil que l’on ne peut savoir avec exactitude ce qu’il lui arrivera. Résistera-t-elle à la chaleur? Se désintégrera-t-elle? Lâchera-t-elle d’énormes quantités de gaz et de poussières, alimentant une gigantesque queue, ou s’évanouira-t-elle discrètement?

ISON a été détectée à 6,7 Unités Astronomiques (UA), entre Jupiter et Saturne. À d’aussi grandes distances, seules des comètes imposantes peuvent être perçues. Sa magnitude était de 18,8. Souvenons-nous que la comète Hale-Bopp (C/1995 O1) avait été découverte encore plus loin, 7,2 UA, et que sa magnitude était alors de 10,5. Hale-Bopp est une très grosse comète avec un noyau de plus de 50 kilomètres, alors que l’on estime celui de ISON à tout au plus 2 kilomètres. Une simple comparaison indique qu’ISON restera assez faible tant qu’elle ne s’approchera pas plus du Soleil qu’Hale-Bopp ne l’avait fait (en 1997, à 0,914 UA).

La grosse différence avec Hale-Bopp, celle qui donne des espoirs aux astronomes, est qu’ISON frôlera le Soleil, à un million de kilomètres de sa surface. On parle de sungrazers (« frôleurs de comète ») pour ces objets.

Orbite d’ISON et configuration du Système solaire au moment de la découverte de la comète. (NASA/JPL)





La comète Kohoutek photographiée avec le grand télescope Schmidt du Mont Palomar le 12 janvier 1974, deux semaines après son passage au périhélie. La pose de 3 minutes sur une émulsion Kodak 103a-O a suffi à enregistrer cette comète remarquable. Elle a atteint la magnitude -3 au périhélie mais on espérait un show encore plus spectaculaire.

Kohoutek, comme ISON, venait de la ceinture de Oort. ISON passera beaucoup plus près du Soleil, et pourrait donc subir encore plus son influence destructrice. (© Schmidt Palomar)

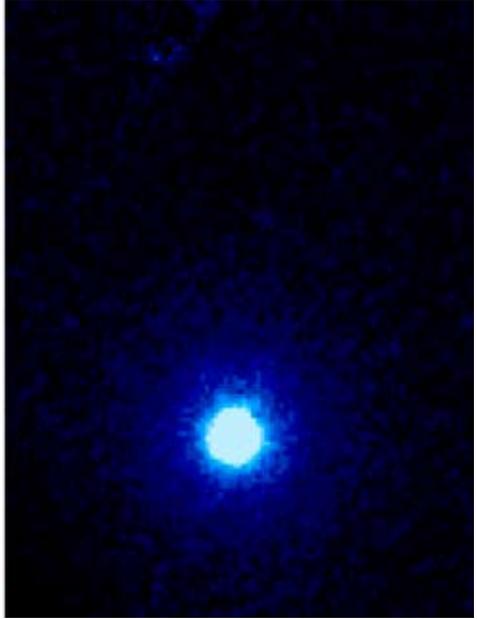
Le 1^{er} octobre, la comète passe près de Mars, à 0,07 UA, c'est-à-dire beaucoup plus près qu'elle ne passera de la Terre. Elle ne sera pas encore très brillante, mais sa proximité en fera une cible intéressante pour les télescopes en fonction autour de la Planète Rouge, en particulier pour la caméra HiRISE équipant le MRO (Mars Reconnaissance Orbiter) avec un miroir de 50 cm. À ce moment, la comète aura franchi la « ligne de givre » du Système so-

laire, c'est-à-dire l'endroit où l'eau renfermée sous forme de glace commence à se vaporiser.

La notion de ligne du givre, ou de la glace, dans le Système solaire concerne habituellement l'époque de sa formation, et désigne l'endroit de la nébuleuse protoplanétaire où cohabitent les phases solide et gazeuse des composés hydrogénés (eau, mais aussi, méthane, ammoniac,...). Pour comprendre les étapes que franchissent les comètes en parcourant leur orbite il est bien sûr plus utile de parler du temps présent, et plutôt que de se limiter aux composés de l'hydrogène on distingue plus spécifiquement les limites correspondant à d'autres molécules – limites qui peuvent être très différentes.

La ligne de givre pour l'eau représente une étape importante pour la comète puisque l'eau constitue la plus grande partie de ses réserves en éléments volatils et qu'elle est responsable de la majorité de son activité près du Soleil.

Parmi les autres éléments volatils, les plus importants sont l'oxyde et le dioxyde de carbone. Ils ont l'avantage, par rapport à l'eau de se vaporiser à de bien plus basses tempéra-



ISON vue par le télescope spatial infrarouge Spitzer le 13 juin alors que la comète était encore à 500 millions de km du Soleil. L'image de gauche, prise à la longueur d'onde de 3,6 microns montre essentiellement le nuage de poussière attiré par la pression du rayonnement solaire. L'image de droite est

obtenue à 4,5 microns, une longueur d'onde où émet le dioxyde de carbone. On a soustrait la contribution des poussières et il ne reste donc que la contribution de l'atmosphère de CO₂. On estime que la comète libérait mille tonnes de ce gaz par jour. (NASA/JPL-Caltech/JHUAPL/UCF)

tures et d'assurer l'activité du noyau très loin du Soleil. La ligne de givre correspondant à CO se situe à environ 40 UA, celle du CO₂ à 10 UA. Ce sont ces molécules qui assureraient l'activité d'ISON lors de sa découverte.

Le télescope spatial Spitzer peut opérer dans des longueurs d'onde émises par CO et CO₂ et les images obtenues en avril montrent effectivement une distribution symétrique des ces gaz dans la coma, probablement surtout du CO₂, avec en plus, bien entendu, les poussières. Vers la même époque, le télescope spatial Hubble avait montré que le noyau était très petit, et qu'il n'y avait pas de variation notable que l'on pourrait attribuer à une rotation.

L'examen de la radiance du centre de la comète, c'est-à-dire de la distribution de l'éclat en chaque point de la coma, montre que celle-

ci est poussiéreuse. Elle contient beaucoup de particules très fines, et c'est une indication de l'activité du noyau.

La comète est d'une sagesse que l'on tend à reconnaître à celles qui s'aventurent pour la première fois dans le Système solaire interne et qui n'ont jamais rôti près du Soleil. Ce genre de comportement ressemble à celui de la comète Kohoutek, en 1973, comète qui avait été dite « du siècle » avant d'être un flop médiatique retentissant. On prévoyait une magnitude périhélique de -10 (le 28 décembre 1973), elle ne fut que de -3. Au début de janvier elle était visible à l'œil nu avec une magnitude de 0, mais elle était très proche du Soleil. Son éclat décroit très vite et à la fin de janvier elle n'était plus que de 7^e magnitude. Si les amateurs avaient été déçus après les atten-

tes irréalistes, scientifiquement, l'intérêt de la comète a été considérable. Le même sort serait-il réservé à ISON? Une campagne d'observations exceptionnelle a été mise sur pied et, à moins d'une disparition précoce de l'astre, de nombreux résultats seront engrangés.

La plus grande incertitude concerne la capacité du noyau à résister au passage à 1,1 million de kilomètres du Soleil. Sa petite taille est un handicap certain puisque des perturbations de surface peuvent se propager au cœur même de l'objet alors qu'elles n'affecteraient que l'enveloppe externe d'une grosse comète.

D'autre part les effets de marée à l'intérieur du noyau peuvent suffire à le détruire. La différence entre l'attraction du Soleil sur les faces opposées du noyau tend à étirer celui-ci et à le briser. La zone critique en deçà de laquelle cet effet se manifeste s'appelle la limite de Roche. Pour une comète elle se situe à environ 0,017 UA du centre du Soleil. Certains astronomes proposent de réserver le terme de sungrazers aux comètes qui s'aventurent dans ce domaine. Avec 0,012 UA de distance périhélique, ISON est bien un sungrazer et donc un kamikaze potentiel.

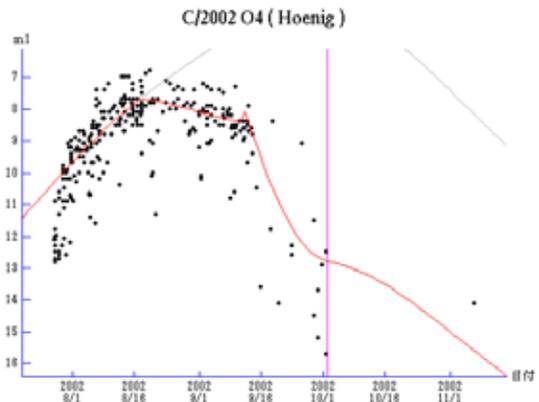
Il ne suffit pas d'être à l'intérieur de la limite de Roche pour se désintégrer. Il faut aussi que les forces aient le temps d'agir et que la cohésion interne de l'astre ne suffise pas à contrecarrer l'effet de marée. Un astéroïde constitué d'un assemblage très lâche de pierres sera plus facilement désagrégé qu'un gros bloc rigide. Les comètes sont entre les deux, des tas de poussières et de cailloux cimentés par des glaces. Chacune représente un cas particulier selon sa constitution exacte, et la facilité avec laquelle les glaces se vaporisent, réduisent la cohésion de l'ensemble, ou provoquent des éruptions capables de le fragmenter.

Les exemples malheureux de comètes disparaissant ne manquent pas. On a comparé l'assoupissement d'ISON en mars et avril à celui de la comète Hönig

(C/2002 O4) qui, après une stagnation de près de deux mois s'était tout bonnement désintégrée. Mais Hönig n'était pas comparable à ISON, son orbite ne la conduisait pas tout près du Soleil. Plus appropriée peut-être serait la comparaison avec la récente Lovejoy (C/2011 W3), probablement plus petite qu'ISON et qui a survécu brièvement à son passage dans la couronne solaire en produisant un joli spectacle. Une comète qui reste loin du Soleil peut donc s'évanouir tranquillement alors qu'une autre, beaucoup plus téméraire, résiste assez honorablement. Cette situation résume bien l'embarras des astronomes.

Mais de telles comparaisons sont-elles pertinentes? Si l'on regarde de près, ISON est une comète à part. Contrairement à la plupart des nombreux autres sungrazers, elle fait sa première apparition dans le Système solaire interne, en provenance du nuage de Oort, ce vaste réservoir situé aux confins du Système solaire et où végètent d'innombrables astres glacés, vestiges de la formation de celui-ci.

Courbe de lumière de la comète Hönig. Après une montée d'éclat fracassante, l'astre s'est désintégré vers le périhélie et ce, malgré une distance au Soleil grande, 0,8 UA. La courbe grise montre une prédiction à partir des données de début août 2012. (© aerith.net)



La majorité des sungrazers appartiennent à une même famille, le groupe de Kreutz, et sont des débris d'une grosse comète qui a subi toute une chaîne de fragmentation. On a même pu élaborer une espèce d'arbre généalogique retraçant ces événements. La plus connue des comètes du groupe de Kreutz est sans doute Ikeya-Seki (C/1965 S1), mais il comprend aussi d'autres célébrités, comme la récente Lovejoy et les grandes comètes australes de 1880 et 1887.

La comète Lovejoy est passée au périhélie le 16 décembre 2011, à une distance de 0,0055 UA typique pour le sous-groupe I de Kreutz. L'onde de chaleur s'est propagée rapidement dans le petit noyau de quelques centaines de mètres et l'a totalement désintégré en quelques jours. L'intense sursaut d'activité a suffi à engendrer une queue qui est restée visible plusieurs mois après le périhélie. Ikeya-Seki, quant à elle, s'était déjà brisée en trois morceaux avant le périhélie. Peu après une queue impressionnante trônait dans le ciel.

D'autres groupes, moins peuplés existent (Marsden, Meyer, Kracht et Kracht 2), et tous sont relatifs à des comètes périodiques. En fait, parmi les comètes bien cataloguées, on ne connaît pas de véritables sungrazers en provenance directe du nuage de Oort. Le cas qui s'en rapproche le plus est Seki-Lines (C/1962 C1) avec une distance périhélique de 0,0314 UA. Peut-être y a-t-il eu aussi la Grande Comète Australe (C/1865 B1), mais sa distance

périhélique, donnée comme 0,0258 UA, est incertaine. Ces deux comètes n'ont donc pas franchi la limite de Roche.

La Grande Comète de 1680 (C/1680 VI) – la « comète de Newton » – a une orbite assez semblable à celle d'ISON, et s'est même approchée plus près qu'elle du Soleil (0,0062 UA). Il est cependant à peu près certain que cette grande comète n'en était pas à son premier passage.

La comète Ikeya-Seki observée le 29 octobre 1965 depuis l'observatoire de Lick.





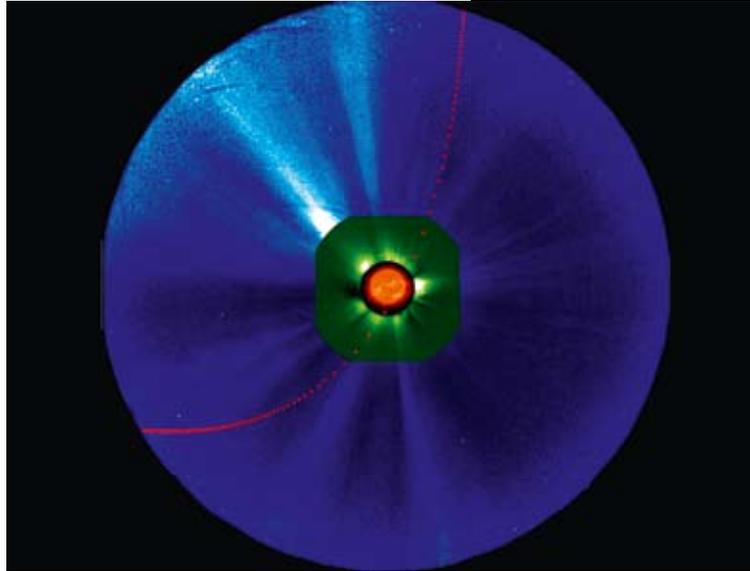
La Grande Comète de 1680 au-dessus de Rotterdam. On y voit l'utilisation d'arbalétrilles pour mesurer les angles (cf article de Yaël Nazé dans Le Ciel de septembre, p. 299). Peinture par Lieve Verschuer.

Quant à Kohoutek (C/1973 E1), son périhélie de 0,142 AU n'en faisait pas un sungrazer. Pour Elenin (C/2010 X1), c'était encore plus net avec 0,482 UA au périhélie.

On peut donc conclure qu'au cours des derniers siècles, aucune comète n'a présenté les mêmes caractéristiques qu'ISON. Et s'il s'agit d'un objet unique, comment établir des pronostics fiables ?

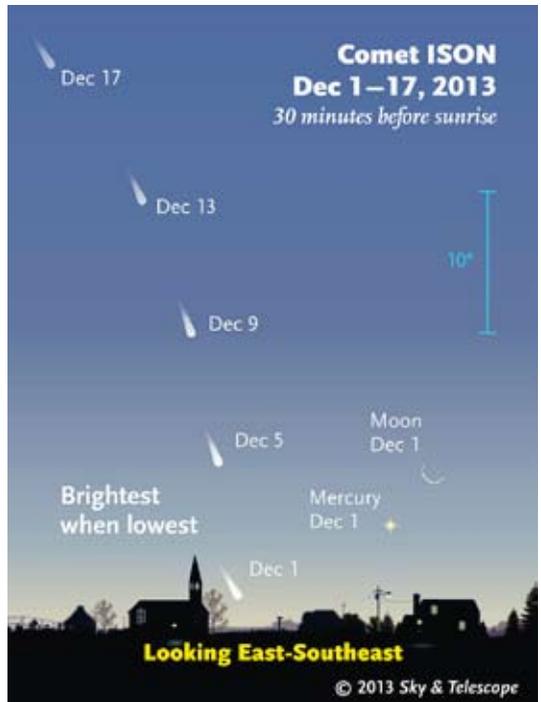
ISON pourrait s'évanouir à tout moment, avant même le périhélie, le 28 novembre. Si elle résiste jusque-là son évolution actuelle suggère qu'elle n'atteindra pas les magnitudes extrêmes évoquées initialement, peut-être entre -2 et -6. Elle sera alors très près du Soleil ce qui rendra son observation délicate. Dans le champ des télescopes solaires elle saturera probablement les capteurs, comme l'avait fait Lovejoy avant elle. Avant le périhélie, elle n'atteindra la visibilité à l'œil nu au mieux qu'à la mi-novembre, et elle se perdra vite

Tracé heure par heure de la trajectoire qu'aurait la comète ISON dans le champ des divers instruments de l'observatoire solaire STEREO (Solar Terrestrial Relations Observatory) du 26 au 29 novembre. (NASA/STEREO/Goddard Space Flight Center)



dans les lueurs de l'aube tout en gagnant quelques magnitudes. Sa queue ne devrait pas être très développée à ce moment. Par contre, après le périhélie, on peut s'attendre à un joli spectacle dans la deuxième semaine de décembre, avec le développement d'une queue impressionnante grâce aux éjections massives de gaz et de poussières à proximité du Soleil. La comète n'aura peut-être plus de tête mais, peu importe, si toute la matière se retrouve dans la queue pour illuminer le ciel matinal.

ISON pendant les premières semaines de décembre (@ Sky and Telescope)



Courbes de lumière

Une appréciation grossière de l'évolution des magnitudes cométaires le long de leur orbite peut s'obtenir à partir de lois empiriques.

L'éclat apparent E (l'irradiance) de la tête de la comète est inversement proportionnel au carré de la distance d entre la comète et l'observateur. L'illumination que la comète reçoit du Soleil est elle-même inversement proportionnelle au carré de la distance entre la comète et le Soleil r , mais ce n'est pas le seul effet du Soleil. La comète ne se contente pas de réfléchir et diffuser la lumière solaire. En s'échauffant, son activité s'amplifie, les éléments volatils se vaporisent, s'échappent en entraînant des poussières qui épaississent la coma. On peut représenter cet effet par une puissance i de la distance au Soleil, i étant nul s'il n'y a pas de modification de l'activité, et pouvant atteindre 4, 5, voire plus à certaines occasions. Si i est négatif, cela veut dire que l'activité de la comète diminue, et qu'elle se comporte comme un astéroïde dont les dimensions rétréciraient. Souvent, dans les prédictions initiales, on prend $i=2$, soit une dépendance semblable à celle de l'illumination. L'éclat apparent

de la comète est donc inversement proportionnel à $d^2 r^{2+i}$.

Les astronomes travaillent souvent en terme de magnitude soit, à une constante près,

$$m = -2,5 \log(E)$$

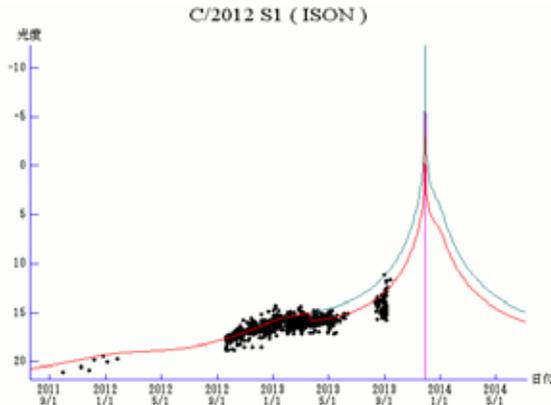
$$m = M + 5 \log d + (5 + 2,5 i) \log r$$

Le premier terme, M , est la magnitude que donnerait la formule si la comète était à une unité astronomique à la fois du Soleil et de la Terre, une situation hypothétique, jamais réalisée, mais qui permet de comparer les comètes entre elles. C'est la même idée qui a conduit à définir les magnitudes absolues des étoiles : on regarde l'éclat qu'elles auraient à la distance standard de 10 parsecs.

La magnitude de la comète ISON suivait initialement, approximativement cette loi, avec $M=5,5$ et $i=2$. Une meilleure représentation semble, au moins provisoirement, $M=8,2$ et $i=0,8$

La grande comète Hale-Bopp, un an avant le périhélie, pouvait être décrite d'une façon similaire par $M=-2$ et $i=2$. Un meilleur modèle a été obtenu avec $M=0,64$ et $i=1,18$.

Magnitudes observées de la comète ISON jusqu'au début septembre 2013. La courbe montre l'évolution initialement espérée (voir dessin suivant). On constate un net relâchement à partir de février.
(© aerith.net)



L'examen des figures, ou des formules, montre qu'il existe a priori 7 à 8 magnitudes de différence pour l'« éclat intrinsèque » M de ces comètes, soit un facteur mille, mais on voit aussi qu'avec un r de 0,012 au périhélie le terme $10 \log r$ apporte un avantage de 19 magnitudes pour ISON, ce qui faisait bien plus que compenser le handicap de 7,5. Malheureusement, ce sera très bref et, alors que Hale-Bopp est restée visible à l'œil nu plusieurs mois, ISON le sera tout au plus quelques jours.

Modélisation approximative des courbes de lumière des comètes ISON et Hale-Bopp. L'échelle horizontale donne la date en jours par rapport au périhélie. En vert, le modèle « traditionnel », avec $i=2$; en bleu un modèle un peu plus réaliste qui, dans le cas d'ISON, conduit à une magnitude périhélique nettement moins favorable.

La figure du bas compare les deux comètes près du périhélie. On voit combien sera bref l'instant de gloire d'ISON (courbe en trait plein).

