

A la découverte des comètes rasantes avec SOHO

Hervé Lamy
Institut d'Aéronomie Spatiale

Le 22 mars 2004, le satellite SOHO, fruit de la collaboration de la NASA et de l'Agence Spatiale Européenne, a découvert sa 750^{me} comète depuis son lancement en décembre 1995 (voir figure 1). Cette comète fait partie de la famille dite des comètes rasantes car leur périhélie (le point de leur orbite le plus proche du Soleil) n'est distant de la surface du Soleil (la photosphère) que de quelques centaines de milliers de kilomètres. Beaucoup de ces comètes ne survivent pas à ce passage rapproché soit parce que leur trajectoire se termine par un impact sur le Soleil, soit parce qu'elles s'évaporent dans la couronne solaire dont la température est de l'ordre du million de degrés. L'observation de ces comètes permet aux scientifiques d'étudier entre autres les processus de la fragmentation cométaire.

Cette 750^{me} comète a été découverte par l'astronome amateur allemand Sébastian Hönig. Et ce n'est pas un cas isolé car environ 75% des comètes rasantes sont découvertes par des amateurs à partir des images transmises par SOHO et distribuées gratuitement sur Internet. Et si vous-même, avec une simple connexion à Internet, vous rejoignez la communauté de ces chasseurs de comètes d'un genre un peu particulier?

Les observations de comètes rasantes depuis le sol

Les comètes rasantes étaient connues bien avant le lancement de SOHO. Historiquement, la première détection fiable d'une comète rasant le Soleil remonte au 2 février 1106. L'objet est décrit comme « l'apparition soudaine d'une étoile en plein jour ». Son identification en tant que comète (X/1106 C1) n'est possible qu'à partir du 7 février après le coucher du Soleil quand la comète dévoile une très longue queue sur plus de 60°. En 1668, une autre comète rasante (C/1668 E1) est découverte le soir du 3 mars en Afrique du Sud. Les

Chinois l'observent à de nombreuses reprises pendant 27 jours, ce qui permettra plus tard aux astronomes de calculer la première orbite fiable d'un tel objet.

Une des comètes rasantes les mieux étudiées est la grande comète de mars 1843 (C/1843 D1) qui est passée à moins de un million de kilomètres de la surface du Soleil. Elle est observée pour la première fois le 5 février dans l'hémisphère sud mais les détails sont très vagues vu le peu d'observateurs dans cette partie du globe à cette époque. Le 27 février, elle apparaît en plein jour à quelques degrés du bord du disque solaire. Son aspect est celui d'un nuage blanc allongé avec un noyau

brillant et une queue de longueur approximativement égale à 1°. Le 1^{er} mars, la comète devient très spectaculaire au crépuscule avec une queue d'environ 30° qui restera visible en début de soirée pendant deux semaines. Dans la seconde moitié du mois de mars, sa luminosité diminue rapidement mais les astronomes l'observent néanmoins jusqu'au 19 avril.

Une autre comète rasante brillante apparaît en 1880 (C/1880 C1). A cause de ses paramètres orbitaux très similaires, les astronomes songent au retour de la comète de 1843 mais très vite, les observations suggèrent une période bien plus

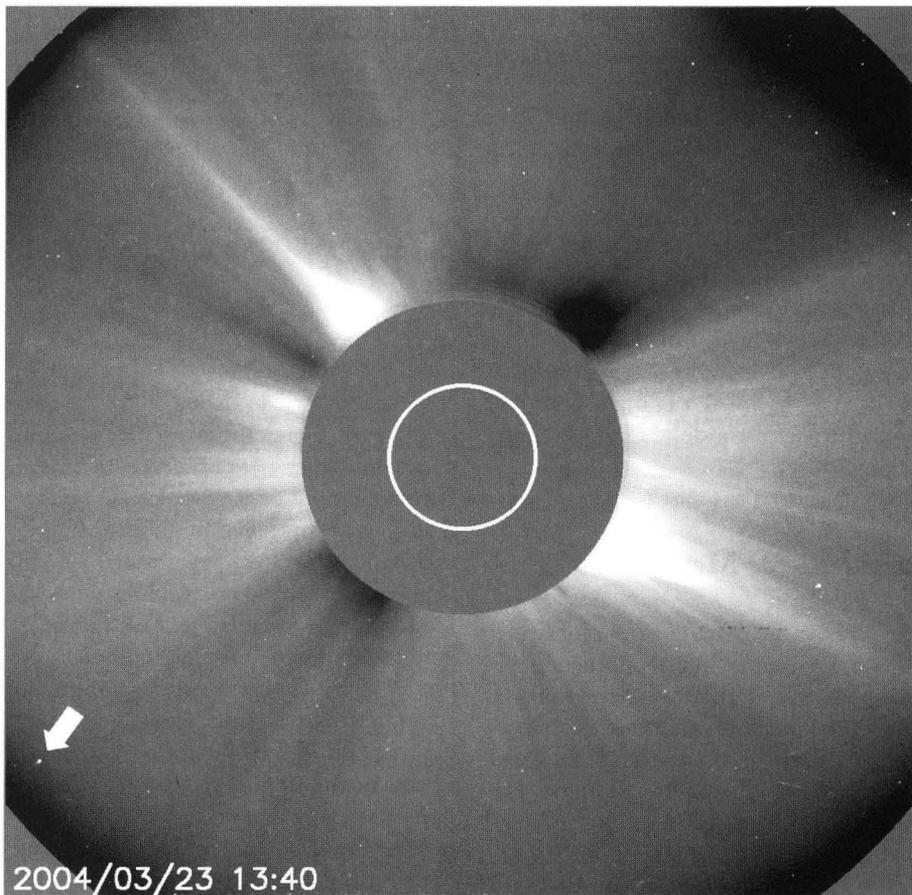


Figure 1 : un exemple d'image obtenue avec le coronographe C3 de LASCO à bord du satellite SOHO. Le Soleil, représenté schématiquement par le cercle blanc, est situé derrière le masque du coronographe. On aperçoit très clairement les structures de la couronne solaire. La flèche indique la position de la 750^{me} comète rasante observée par SOHO. (Crédits : SOHO/LASCO consortium. SOHO is a joint ESA/NASA mission of international cooperation)

élevée que 37 ans. Deux autres comètes rasantes sont visibles en 1882 : la première très brièvement durant l'éclipse de Soleil du 17 mai et la seconde pendant le mois de septembre (C/1882 R1). Cette seconde comète est remarquable en ce sens que son noyau s'est fragmenté en quatre morceaux. Cette série d'apparitions rapprochées de comètes rasantes se termine en janvier 1887 avec la comète brillante C/1887 B1 qui « frôle » le Soleil à environ 700 000 kilomètres.

En 1901, l'astronome allemand Carl Heinrich Kreutz (1854-1907) calcule les orbites des comètes rasantes connues à cette époque et constate qu'elles présentent des similitudes dans les paramètres de leurs éléments orbitaux. Il est le premier à suggérer une origine commune à ces comètes et arrive à la conclusion qu'elles doivent représenter les fragments d'une comète à longue période qui se brise lors de chacun de ses passages rapprochés avec le Soleil. En l'honneur de son travail, ces comètes rasantes portent désormais le nom de comètes de Kreutz².

Il faut attendre 1945 pour voir le retour d'une comète rasante, la comète du Toit (C/1945 X1), brièvement visible dans l'hémisphère sud. Par la suite, trois autres comètes de Kreutz seront encore observées depuis le sol : les comètes Pereyra (C/1963 R1), Ikeya-Seki (C/1965 S1) et White-Ortiz-Bolelli (C/1970 K1). La plus spectaculaire est sans conteste la comète Ikeya-Seki qui fut visible en plein jour le 21 octobre 1965. Il suffisait de masquer le Soleil à la main pour voir apparaître cet astre de magnitude apparente -10 !

La théorie de Marsden

L'hypothèse de Kreutz n'est confirmée qu'en 1967 par l'astronome Brian Marsden. Ce dernier constate que les orbites des comètes rasantes du 19^{me} et du 20^{me} siècle peuvent être classées en deux groupes en fonction de leurs éléments orbitaux. Le groupe I comprend avec certitude les comètes C/1843 D1, C/1880 R1 et C/1963 R1 tandis que le groupe II est essentiellement constitué des comètes C/1882 R1, C/1945 X1 et C/1965 S1. Sur base des nombreuses observations d'Ikeya-Seki, Marsden calcule que le passage précédent de la

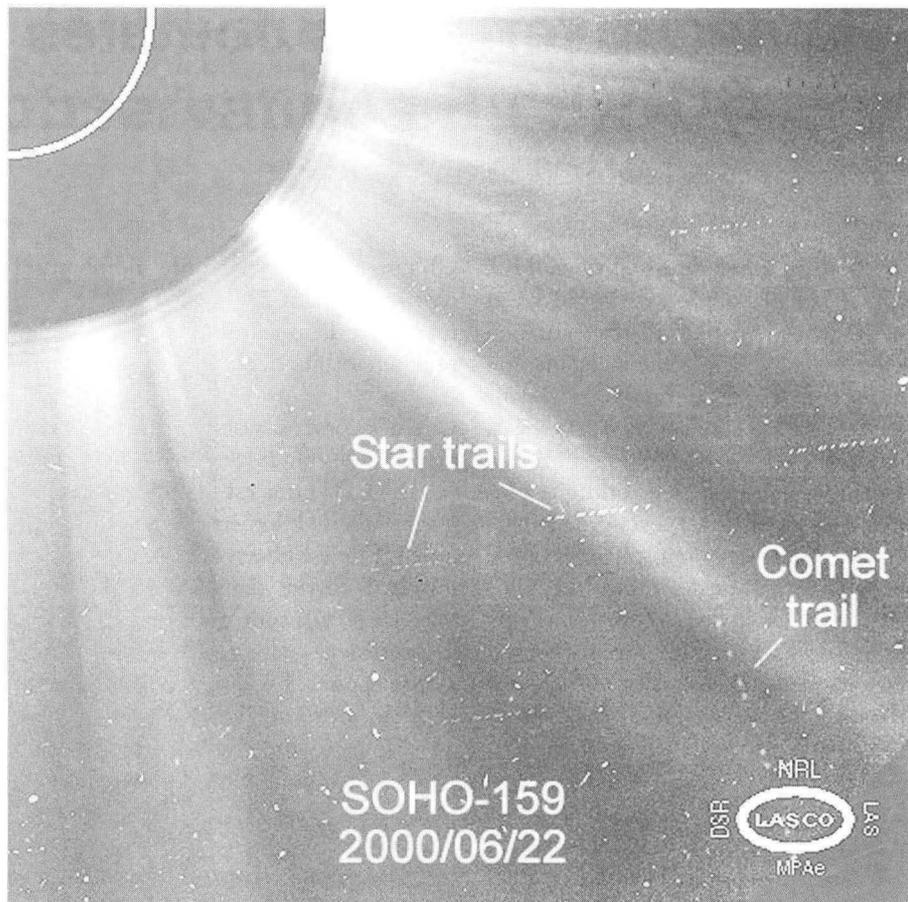


Figure 2 : Cette image composite est le résultat de la superposition de plusieurs images SOHO prises avec le coronographe C2 de LASCO. Alors que les étoiles se déplacent plus ou moins horizontalement dans le champ de la caméra, la trajectoire de la comète est très différente, ce qui permet de l'identifier aisément. (Crédits : Mike Mayer).

comète remonte au début du 12^{me} siècle, ce qui correspond approximativement au passage de la comète observée en 1106 ! Ultrieurement, des simulations informatiques complexes ont montré que la comète de 1106 est vraisemblablement l'ancêtre des trois comètes du groupe II. De façon plus spéculative, Marsden suggère également que les comètes du groupe I trouvent leur origine commune sous la forme d'une énorme comète observée en 372-371 avant J.-C. par les Grecs, notamment par Aristote. L'historien Ephorus rapporte avoir vu cette comète se séparer en deux morceaux mais ces observations pourraient être simplement la conséquence d'un phénomène météorologique car la comète était très basse sur l'horizon.

Marsden fait remonter l'histoire bien plus tôt encore et suggère une origine

commune aux deux groupes de comètes rasantes : il y a 10000 à 20000 ans, une comète gigantesque d'environ 120 kilomètres de diamètre et d'une période d'environ 1000 ans pénètre dans notre système solaire. Lors de ses passages rapprochés près du Soleil, elle se fragmente à de multiples reprises et donne naissance à de plus petites comètes qui elles-mêmes sont à l'origine des comètes rasantes décrites auparavant. Une excellente comparaison pour illustrer le phénomène est le comportement de la comète Shoemaker-Levy qui a subi le même sort en passant au voisinage de Jupiter. Des simulations numériques récentes montrent qu'actuellement la comète initiale s'est probablement brisée en 20000 morceaux, la plupart d'entre eux ayant un diamètre inférieur à 50 mètres.

Les caractéristiques des comètes de Kreutz

Sur base des données obtenues au sol depuis deux siècles (pour lesquelles l'observation se faisait à partir des deux hémisphères), 3 à 4 comètes rasantes sont visibles à l'œil nu chaque siècle. Comme elles font partie des comètes les plus brillantes (leur noyau est très actif à cause de leur proximité du Soleil), il serait très surprenant que d'anciens écrits ne relatent pas d'autres apparitions. Certains scientifiques se sont alors mués en historiens afin de découvrir des témoignages de l'observation d'autres comètes rasantes. Nous n'allons pas décrire ici leurs résultats mais plutôt détailler les propriétés de ces comètes rasantes.

La première caractéristique des comètes de Kreutz a déjà été mentionnée : elles peuvent devenir extrêmement brillantes à l'approche du périhélie. Plusieurs d'entre elles ont en effet été observées de jour comme par exemple la comète Ikeya-Seki. Une seconde caractéristique est leur apparition soudaine car la vitesse orbitale de ces objets à l'approche du périhélie est de l'ordre de 600 kilomètres par seconde. En raison de cette approche rapide, les comètes rasantes apparaissent soudainement près du Soleil car leur noyau devient subitement très actif. A cause de l'orientation de leurs orbites, inclinées de 35-40° par rapport au plan de l'écliptique, les comètes de Kreutz sont plus facilement visibles en hiver et au printemps. Elles sont au contraire presque impossible à observer en été parce qu'elles restent angulairement très proches du Soleil. Elles sont également plus faciles à observer depuis l'hémisphère sud. Mentionnons également la présence d'une queue très impressionnante (car l'intense rayonnement solaire rend le noyau cométaire très actif), une courte période de visibilité (vu la vitesse élevée de la comète, elle s'éloigne très rapidement du Soleil et redevient vite invisible à l'œil nu), une possible fragmentation (comme ce fut le cas pour les comètes C/1882 R1 et C/1965 S1) et un mouvement apparent sur le ciel très caractéristique. Bien sûr, le facteur décisif pour vérifier si une comète fait partie du groupe de Kreutz est bien évidemment le calcul d'une orbite à partir des observations. Malheureusement, en pra-



Figure 3 : Ce graphique présente mois par mois les trajectoires des comètes découvertes sur les images de LASCO C2. On constate aisément qu'elles apparaissent majoritairement dans des régions bien précises en fonction de la date. Cela provient du fait que la grande majorité des comètes (85 % !) font partie de la famille de Kreutz (en noir sur le graphique). Elles partagent donc des paramètres orbitaux communs et apparaissent en des régions proches. Les comètes en traits discontinus correspondent respectivement à des comètes sporadiques et à des membres de la famille de Kreutz avec rotation du champ du LASCO. (Crédits Michael Oates)

tique, le manque de précision dans les positions enregistrées et le petit arc d'orbite visible rendent ce calcul très difficile voire impossible.

L'ère de l'observation par satellite

Au début des années 80, on ne connaissait donc avec certitude qu'une poignée

de comètes rasantes. Depuis lors, un nombre beaucoup plus important de ces objets ont été découverts depuis l'espace par les satellites Solwind (1979-1984), Solar Maximum Mission (1984-1989) et surtout SOHO (de 1996 jusqu'à nos jours). Ces objets sont cependant beaucoup plus petits et moins brillants que ceux détectés depuis le sol. De plus, la majorité de ces comètes ne sont pas observées après leur passage au périhélie, indiquant qu'elles ne survivent pas à ce

passage rapproché avec notre astre du jour.

Lancé fin 1995, le satellite SOHO (SOlar and Heliospheric Observatory) observe en permanence le Soleil et sa couronne depuis plus de huit ans. L'un de ses plus célèbres instruments, LASCO, est un ensemble de trois coronographes qui permettent de suivre et de comprendre l'évolution de l'activité coronale. Un coronographe réalise une éclipse de soleil artificielle en plaçant un masque qui occulte et rejette la lumière du disque solaire, ce qui permet l'observation de la couronne dont la luminosité est beaucoup plus faible. LASCO possède deux coronographes dénommés C2 et C3 : le champ du premier s'étend de 1,5 jusqu'à 6 rayons solaires de la surface tandis que le champ du second est beaucoup plus large et s'étend de 3,7 à 30 rayons solaires. La Figure 1 donne un exemple d'image obtenue avec LASCO C2.

Cerise sur le gâteau, LASCO s'est avéré être également un formidable instrument de découverte de comètes passant à proximité du Soleil. Il est important de noter que toutes les comètes rasantes détectées par SOHO n'appartiennent pas à la famille des comètes de Kreutz (c.-à-d. qu'elles ont des paramètres orbitaux différents). Parmi les 750 comètes découvertes par SOHO³, 85 % sont des comètes de Kreutz (66 % appartiennent au groupe I contre 19% au groupe II). D'autres familles de comètes rasantes ont été mises en évidence comme les familles de Meyer (environ 6%), de Marsden (3%) et de Kracht (2%). Ceci implique que le phénomène de fragmentation d'un corps massif lors d'un passage rapproché avec le Soleil est un événement assez courant dans le système solaire. Les comètes restantes (environ 4%) sont qualifiées de sporadiques car elles ne peuvent être rattachées à aucune famille de comètes rasantes.

De nouveaux chasseurs de comètes

Comme déjà mentionné dans l'introduction, plus de 75 % de ces comètes rasantes sont découvertes par des observateurs amateurs. Pour cela, ils utilisent les images prises par les deux coronographes

C2 et C3 de LASCO (à un rythme de 3 et 2 images par heure respectivement) et placées gratuitement sur Internet⁴.

Le nombre impressionnant de comètes rasantes découvertes avec SOHO pourrait conduire à imaginer que la découverte d'une telle comète est une tâche aisée qui ne demande que le téléchargement de quelques images. La réalité est évidemment toute autre ! La chasse aux comètes SOHO demande beaucoup de temps et de patience. Il faut passer de nombreuses heures devant son ordinateur pour récupérer les images récentes et les combiner pour tenter de découvrir la présence d'une faible comète. De plus, les premières tentatives s'avèrent souvent être de fausses détections ou correspondent à des objets déjà référencés par des chasseurs de comètes plus expérimentés. Les principales fausses détections correspondent soit à des étoiles, planètes ou astéroïdes, soit à des rayons cosmiques

mais on apprend rapidement à les repérer. En effet, dans le champ de LASCO, la majorité des objets se caractérisent par des trajectoires quasi horizontales. La plupart de ces objets sont des étoiles (environ 200 à 300 dans le champ du coronographe C3 et 10 à 30 dans le champ du coronographe C2). A cause de l'orbite de SOHO autour du Soleil, les étoiles vont toujours se déplacer de gauche à droite à une vitesse égale à quelques pixels par heure. De temps en temps, des planètes apparaissent aussi dans le champ LASCO. Leur mouvement est aussi quasi horizontal mais elles peuvent se déplacer vers la gauche ou vers la droite et leur vitesse est variable. En outre, les planètes sont facilement identifiables car elles saturent fréquemment le détecteur. Les rayons cosmiques sont quant à eux des particules de très haute énergie provenant de sources diverses (supernovae, éjections solaires, ...). Quand ils entrent en contact avec le détecteur, ils produisent générale-

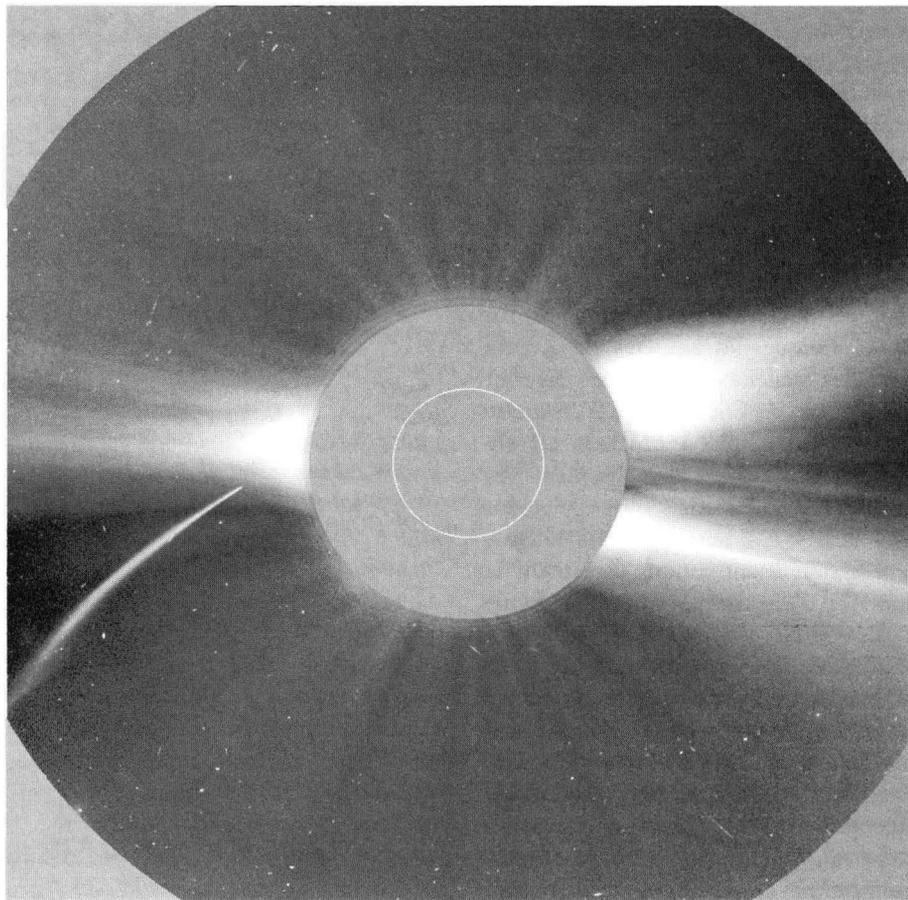


Figure 4 : Image de la couronne solaire obtenue avec le coronographe C2 de LASCO le 23 décembre 1996 à 04 :44 TU. On y voit la comète SOHO-6 (C/1996 Y1) qui est l'une des plus spectaculaires observées par SOHO. La plupart des comètes découvertes par SOHO ne développent pas de queues aussi grandes et sont infiniment plus difficiles à repérer. (Crédits : SOHO/LASCO consortium. SOHO is a joint ESA/NASA mission of international cooperation)

ment des images brillantes qui peuvent être ponctuelles ou allongées et qui peuvent ressembler vaguement à une queue de comètes. Cependant, leur position sur le détecteur est aléatoire. C'est pourquoi l'utilisation de plusieurs images SOHO consécutives permet d'éviter de les confondre avec de vraies comètes car ils apparaissent seulement sur une image mais sont absents des images ultérieures.

Avec ces précautions bien en tête, si vous êtes décidé à vous lancer dans l'aventure, l'équipement nécessaire pour devenir un bon chasseur de comètes SOHO est très simple. Tout d'abord, il vous faudra un ordinateur avec un disque dur permettant d'accumuler plusieurs images de SOHO (chaque image a une taille de l'ordre du MByte), une connexion Internet la plus rapide possible (ce qui permet de télécharger les images à plus haute résolution sur lesquelles les comètes sont plus facilement visibles) et un écran le plus large possible. A notre époque, ceci représente un matériel informatique relativement standard. Le dernier outil nécessaire est un bon éditeur d'images qui permet de les superposer et de faire des boucles avec celles-ci.

Une fois les images téléchargées, il y a deux manières de les utiliser. La plus populaire consiste à créer une image « gif animée » à partir d'au moins quatre

images SOHO et de chercher visuellement après des objets qui pourraient s'apparenter à des comètes. L'autre méthode utilise un plus grand nombre d'images que l'on « superpose » de telle sorte que le mouvement des étoiles est représenté par des points très proches les uns des autres et localisés sur une droite plus ou moins horizontale. Les comètes, par contre, se trouveront sur une droite beaucoup plus inclinée. Un exemple d'image utilisant cette technique est donné à la Figure 2. D'une façon générale, tout autre traitement d'image (comme une augmentation du contraste ou une augmentation de la brillance) est déconseillé car il ajoute du bruit dans les données avec le risque de voir apparaître des images fantômes susceptibles d'être confondues avec de faibles comètes.

Les comètes rasantes apparaissent dans des régions bien spécifiques en fonction du mois d'observation. La figure 3 reprend l'ensemble des trajectoires de ces comètes dans le champ du coronographe C2. Notons que pendant certains mois, très peu de comètes apparaissent dans le champ de C2. Dès lors, il semble plus utile de chercher dans le champ de C3 pendant ces périodes de l'année.

Si vous pensez avoir détecté une comète, il faut d'abord analyser calmement cette découverte. L'objet doit être visible sur

quatre images consécutives au minimum et avoir une orbite fiable : il ne doit pas se déplacer trop rapidement ni subir de saut ou des accélérations/décélérations étranges. Si votre objet rencontre tous ces critères, il faut alors vérifier s'il ne s'agit pas d'un objet connu dont la présence était attendue⁵ ou si l'objet n'a pas déjà été détecté récemment par une autre personne⁶. Une fois ces vérifications effectuées, vous pouvez envoyer votre rapport qui doit inclure les données suivantes : coronographe utilisé (C2 ou C3), date d'observation, résolution des images, origine de vos coordonnées, coordonnées (en pixels) indiquant la position de l'objet sur chacune des images et bien entendu votre nom⁷. Il ne vous reste plus qu'à attendre la confirmation. Vous pouvez utiliser ce temps de façon constructive en téléchargeant les images suivantes et en signalant si l'objet est toujours visible ou non. La confirmation sera postée sur la page des rapports récents.

Le lecteur dispose désormais d'un aperçu global sur les propriétés des comètes rasantes ainsi que la manière de les repérer sur les images SOHO. Peut-être deviendrez-vous le 37^{me} découvreur de comètes SOHO prochainement? Une façon à la fois sympathique et confortable de passer à la postérité.

¹ Depuis le 1^{er} janvier 1995, suite aux recommandations de l'Union Astronomique Internationale, une nouvelle nomenclature des comètes est utilisée. Cette nomenclature s'inspire de celle utilisée pour les astéroïdes. Lorsqu'une nouvelle comète est observée, elle reçoit comme référence annuelle le numéro de l'année en cours, suivi d'une lettre majuscule correspondant à la quinzaine du mois en cours. Chaque lettre successive de l'alphabet correspond chronologiquement à un demi-mois, ainsi la lettre A correspond à la première quinzaine de janvier, la lettre B à la deuxième quinzaine de janvier et ainsi de suite. Cette lettre est suivie d'un chiffre qui indique le numéro d'ordre de la découverte des comètes dans chaque quinzaine. Ainsi la troisième comète découverte durant la deuxième quinzaine de janvier 1995 aurait pour référence 1995 B3. Cette

référence est précédée des caractères P/ ou C/ selon que la comète est périodique (de période inférieure à 200 ans) ou non périodique. On utilise la désignation X/ pour les comètes pour lesquelles une orbite n'a pu être déterminée.

² Précisons que toutes les comètes rasantes n'appartiennent pas à la famille de Kreutz.

³ Au moment de la rédaction de cet article, le chiffre de 775 a été dépassé.

⁴ Les images SOHO obtenues avec l'instrument LASCO peuvent être téléchargées aux deux adresses suivantes :

-<http://sohowww.nascom.nasa.gov/data/realtime/realtime-c2-1024.html>

- <http://sohowww.nascom.nasa.gov/data/realtime/realtime-c3-1024.html>

⁵ Le passage des objets connus dans les champs de LASCO C2/C3 sont disponibles à l'adresse suivante : <http://ares.nrl.navy.mil/sungrazer/transits.html>

⁶ Pour cela, il est indispensable de vérifier les découvertes récentes à l'adresse <http://ares.nrl.navy.mil/sungrazer/recent.html>

⁷ Pour signaler une possible découverte de comète rasante, utilisez la page <http://ares.nrl.navy.mil/sungrazer/cometform.html>