

Résumé

Les noyaux cométaires présentent une complexité considérable à la fois à l'échelle locale et globale. Des dépressions circulaires, ou « pits », ont été observées sur toutes les comètes de la famille de Jupiter visitées par des sondes spatiales, ce qui a suscité un intérêt pour leur formation et leur évolution par l'activité thermique et l'érosion dans les conditions d'illumination actuelles. De plus, l'irrégularité globale de ces noyaux nous a conduit à examiner son impact potentiel sur leur activité globale et l'importance des données de forme pour ajuster précisément les courbes d'activité observées au sol.

Pour étudier ces questions, nous avons modélisé l'activité thermique, à la fois au niveau des structures topographiques locales, ou pits, et du noyau entier - en fonction de l'objectif de chaque étude - en tenant compte du modèle de forme complexe et des conditions d'illumination de la surface qui lui sont associées. Pour chaque facette du modèle de forme local ou global, nous calculons l'énergie solaire, y compris les effets d'ombre et de self-heating, que nous intégrons comme condition de surface d'un modèle d'évolution thermique. Ce modèle, à son tour, génère des résultats d'activité, tels que les taux de production de gaz ou de poussière et l'érosion locale.

Nous avons étudié les pits présents à la surface de 67P/C-G, 9P/Tempel 1, 81P/Wild 2 et 103P/Hartley 2, pour lesquels nous disposons de modèles de forme 3D à haute résolution. Nous avons exécuté les simulations pendant la période correspondant à la durée que chaque comète a passée sur son orbite actuelle au sein du Système Solaire interne (par exemple, 10 orbites pour 67P). Nous avons trouvé que l'érosion des pits, atteinte après toutes les révolutions orbitales, ne peut pas expliquer leur morphologie actuelle. Ceci est valable tant en termes de quantité de matière érodée qu'en termes de schéma d'évolution de la forme résultant d'un tel processus. Par conséquent, les pits ne sont probablement pas formés par l'érosion durant les orbites actuelles du Système Solaire.

Pour notre étude de l'activité globale, nous nous sommes concentrés sur les comètes 67P, 9P et 103P. Ces comètes disposent de modèles de forme 3D et de taux de production observés couvrant suffisamment la période du périhélie. En utilisant ces données, nous avons pu comparer les taux de production d'eau observés et simulés. Nos simulations ont incorporé à la fois des modèles de forme à basse résolution qui conservent la forme globale de la comète et des modèles sphériques avec des surfaces équivalentes. Nous avons également ajusté divers paramètres structurels et thermiques initiaux. Notre étude a conclu que la compréhension de l'activité séculaire des comètes nécessite de prendre en compte les hétérogénéités thermiques ou mécaniques tout autant que la forme, voire plus. Les observations au sol seules ne peuvent pas lever l'ambiguïté entre ces caractéristiques, justifiant ainsi une approximation sphérique pour une compréhension initiale de l'activité cométaire.

Abstract

Cometary nuclei exhibit considerable complexity on both local and global scales. Circular depressions, or 'pits,' have been observed on all Jupiter Family Comets visited by spacecraft, sparking interest in their formation and evolution via thermally-driven activity and erosion under current illumination conditions. Moreover, the global irregularity of these nuclei has led us to examine their potential impact on overall comet activity and the importance of shape data for precisely fitting ground-based activity curves.

To investigate these questions, we have modeled the thermally-driven activity, both on the level of local topographic features, or pits, and across the entire nucleus – depending on the focus of each study – taking into account the intricate shape model and the surface illumination conditions associated with it. For each facet of the local or global shape model, we compute the solar energy, including shadowing and self-heating effects, that we include as a surface condition of a thermal evolution model. This model, in turn, generates activity outputs, such as gas or dust production rates and local erosion.

We studied the pits present on the surface of 67P/C-G, 9P/Tempel 1, 81P/Wild 2 and 103P/Hartley 2, for which we have high resolution 3D shape models. We ran simulations over a time frame corresponding to the duration each comet has spent in its current inner Solar System orbit (e.g., 10 orbits for 67P). We found that erosion of pits achieved after all the orbital revolutions cannot adequately explain their current morphology. This holds true both in terms of the quantity of material eroded and the pattern of shape evolution resulting from such a process. Therefore, pits are unlikely to be formed as a result of erosion during the current Solar System orbits.

For our study of the global activity, our focus was on comets 67P, 9P, and 103P. These comets have 3D shape models and sufficient observed production rates covering the perihelion period. By using these data, we were able to compare observed and simulated water production rates. Our simulations incorporated both low-resolution shape models that maintain the overall comet shape and spherical models with equivalent surface areas. We also adjusted for various initial structural and thermal parameters. Our study found that understanding secular comet activity requires considering thermal or mechanical heterogeneities as much as shape or more. Ground-based observations alone cannot clear up the ambiguity among these characteristics, thereby justifying a spherical approximation for initial understanding of comet activity.