

# 2I/Borisov, une comète pas vraiment comme les autres

## 1 2I/Borisov: la plus primitive !

Le 30 Août 2019 Gennady Borisov découvre à l'Observatoire MARGO en Crimée la première comète d'origine extra solaire en train de traverser notre système planétaire. Ses caractéristiques orbitales nous indiquent clairement qu'il s'agit d'un objet n'appartenant pas à notre système. C'est le deuxième objet interstellaire qui nous rend visite après 1I/'Oumuamua l'astéroïde découvert par le télescope PANSTARR, mais le premier à montrer une activité cométaire.

Une équipe internationale menée par Stefano Bagnulo de l'Observatoire d'Armagh (Irlande du Nord) et incluant un membre du Laboratoire Lagrange a étudié 2I/Borisov à l'aide d'observations polarimétriques [1] publiées dans la revue Nature Communications (30 mars 2021).

De cette série d'observations il résulte que 2I/Borisov présente des différences notables avec la majorité des comètes de notre Système Solaire.

Néanmoins on observe une compatibilité de mesures au niveau la coma avec la comète Hale-Bopp, qui avec une période de 2500 ans est une comète à longue période. Pour mémoire on rappelle qu'une comète peut être considérée comme un objet constitué de roches protégeant diverses glaces qui se subliment à l'approche du Soleil créant une coma proche du noyau et une queue de gaz et de poussières dans son sillage. Les propriétés particulières d'Hale-Bopp sont interprétées comme étant dues à sa formation dans une région proche du milieu interstellaire, dans notre lointaine banlieue. Où que se soit formée 2I/Borisov, il est remarquable de noter que cet environnement peut donner naissance à des corps avec des propriétés semblables à ceux formés au confins de notre Système Solaire.

La similitude disparaît lorsqu'on compare l'étude de la polarisation dans la queue des deux comètes en fonction de la distance au noyau (le long de la courbe pointillée rouge sur la figure 1). 2I/Borisov présente un taux de polarisation stable ce qui correspond à une éjection de matériau homogène du noyau et donc à de très peu nombreuses, voire aucune, zone actives dans le noyau. La même étude montre de forte variation de la polarisation en fonction de la distance dans la queue d'Hale-Bopp ce qui signe la présence de nombreuses zones d'activité du noyau contribuant à la formation d'une coma.

Hale-Bopp n'aurait effectué que très peu de passages à son périhélie depuis sa formation. 2I/Borisov, étant donnée ses origines hors du Système Solaire, n'est donc jamais passée proche du Soleil et l'absence de zone d'activité sur le noyau implique qu'elle n'a approché aucune autre étoile. Cela en fait donc la comète **la plus primitive et donc un objet unique** jamais observé jusqu'à présent.

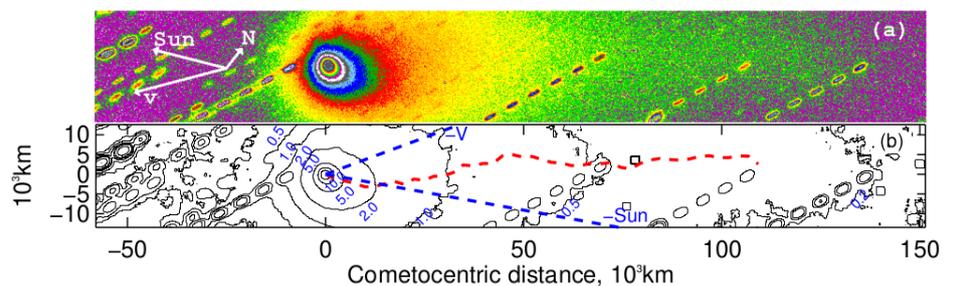


Figure 1: En haut : Image composite de 2I Borisov en fausses couleurs (les pointilles sont les traces des étoiles fixes dans le champ). En bas les isophotes de l'image. Les tirets bleus indiquent la direction de la vitesse de la comète (en haut) et la direction vers le Soleil (en bas). La courbe en tirets rouges trace les lieux de prise de mesure polarimétriques dans la queue. Extraite de Bagnulo et al. 2021 Nature Comm. [1]

## 2 La polarimétrie: outil de ce résultat

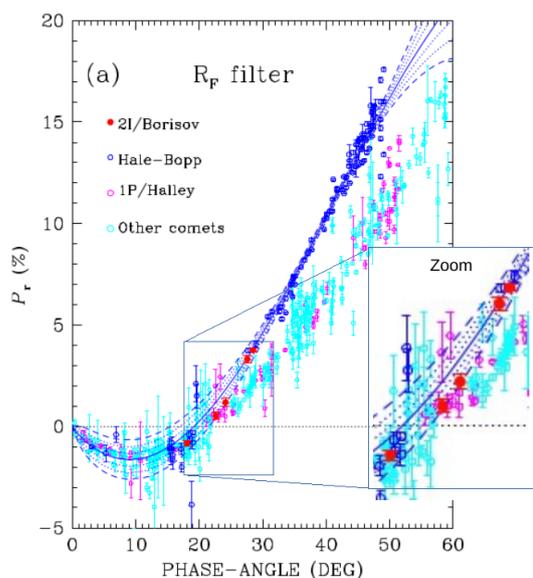
L'étude de la polarisation de la lumière réfléchiée par un corps nous renseigne sur la composition minéralogique: non seulement sur la nature chimique mais aussi sur la structure de ses constituants comme la taille des grains qui constituent sa surface.

Le champ électrique transporté par la lumière subit des modifications en intensité et en direction quand il est réfléchi par une surface. Ces modifications dépendent de la composition et constitution morphologique de surface ainsi de l'angle d'incidence de la lumière. Certaines directions de ré-émission par le corps réfléchissant sont privilégiées. A partir des mesures du flux lumineux avec un polarimètre on peut calculer le taux de polarisation linéaire  $P_r = \frac{I_{\perp} - I_{\parallel}}{I_{\text{tot}}}$  comme étant le rapport de la différence entre l'intensité diffusée perpendiculairement au plan Soleil-Objet-Terre (plan de diffusion)  $I_{\perp}$  et celle diffusée parallèlement à ce plan  $I_{\parallel}$  divisée par l'intensité lumineuse totale reçue  $I_{\text{tot}}$ .

On peut alors construire une courbe de polarisation en étudiant  $P_r$  en fonction de l'angle de phase  $\alpha$  qui est l'angle entre le Soleil et la Terre vu depuis l'objet étudié.

Les objets sans atmosphère (la Lune, les astéroïdes mais aussi les comètes) présentent des courbes de polarisation  $P_r(\alpha)$  très semblables. Elles se caractérisent par une branche négative pour des angles inférieurs à 20 degrés (le champ électrique diffusé est alors très majoritairement dans le plan de diffusion). Au delà des 20 degrés les courbes deviennent positives et culminent à un maximum autour de 100 degrés. Au delà de ce comportement général, des détails vont permettre de distinguer des différences entre les cibles. On s'intéresse particulièrement aux positions des extrema ou à la détermination de l'angle de phase  $\alpha_{\text{inv}}$  auquel se fait le passage de la branche négative vers la branche positive de la courbe  $P_r(\alpha)$  ou encore aux différentes pentes de la courbe en  $\alpha_{\text{inv}}$  en fonction de la longueur d'onde lorsqu'on fait une étude polarimétrique dans différents filtres.

La campagne d'observation menant à cette publication a été effectuée avec l'instrument FORS2 installé au foyer du VLT-ESO à Paranal, Chili en Décembre 2019, puis en Janvier, Février et Mars 2020 (la session de Mai prévue a été annulée en raison de la COVID-19) fournissant un angle de phase compris entre 18 et 25 degrés. Trois filtres ont été utilisés V (557nm), R(655 nm) et I (768 nm).



La figure 2. montre les résultats obtenus (point rouges) avec le filtre R comparés avec les courbes  $P_r(\alpha)$  de la majeure partie des comètes du Système Solaire en cyan et à deux autres comète particulières: C/1995O1 (Hale-Bopp) bleu foncé, et 1P/Halley en magenta. La ligne en trait continu (rep. en pointillés) représente le meilleur ajustement (resp. les incertitudes à 1, 2 et 3  $\sigma$ ) avec les données polarimétriques d'Hale-Bopp du modèle empirique communément utilisé :  $P_r(\alpha) = b(\sin \alpha)^{c_1}(\cos(\alpha/2))^{c_2} \sin(\alpha - \alpha_0)$  où  $b$ ,  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $\alpha_0$  sont les paramètres libres.

On note pour Hale-Bopp et 2I/Borisov la pente de la branche positive remarquablement plus raide que pour les autres comètes

Référence: [1] S. Bagnulo, A. Cellino, L. Kolokolova, R. Nežič, T. Santana-Ros G. Borisov, A. A. Christou, Ph. Bendjoya & M. Devogèle 2021 Nature Communication DOI 10.1038/s41467-021-22000-x <https://www.nature.com/articles/s41467-021-22000-x>

Figure 2: Extraite de Bagnulo et al. 2021 Nature Comm. [1]