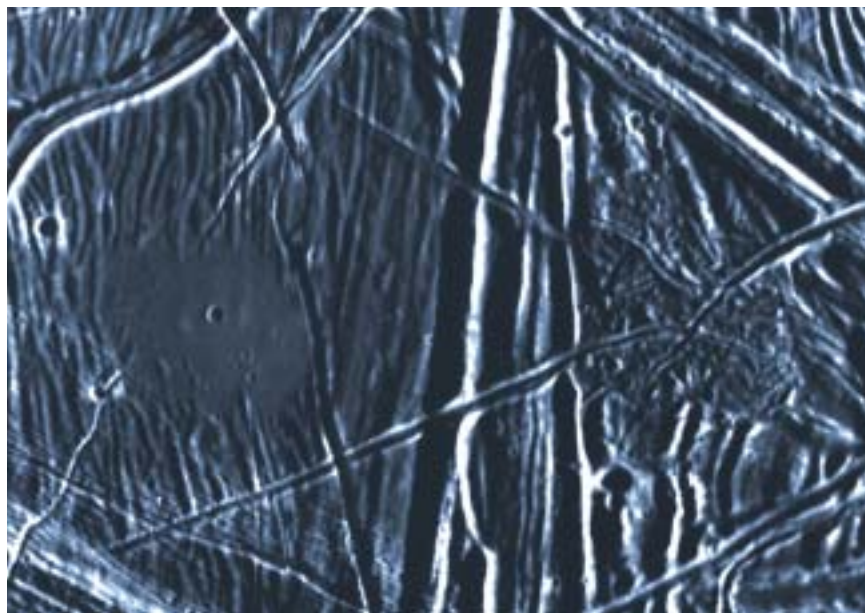


spectres infrarouges les signatures spectrales de la glace d'eau ; ils ont également un albédo élevé, c'est-à-dire que, comme la neige ou la glace, ils réfléchissent ou diffusent la plus grande partie du rayonnement visible qu'ils reçoivent. Il en est de même pour les petits satellites et les anneaux de Saturne. À plus grandes distances du Soleil, l'albédo des petits corps est inférieur. Les satellites d'Uranus, et les anneaux d'Uranus et de Neptune sont sans doute constitués d'un mélange de glace d'eau, de clathrates (des hydrates cristallins) et de silicates ; de plus, leur surface semble contaminée par un constituant carboné, dû sans doute au bombardement de la surface par le rayonnement ultraviolet solaire ou par des particules énergétiques.

Le cas d'Europe, l'un des satellites de Jupiter, est remarquable. Les images prises par les sondes *Voyager*, puis *Galileo*, ont mis en évidence non seulement une surface de glace, mais des jeux de fractures linéaires : elles résulteraient de la présence, sous la surface de glace, d'un élément visqueux, voire liquide. Du fait de la proximité de Jupiter, et de la présence des autres satellites galiléens (Io et Ganymède), Europe est soumise à de forts effets de marée, c'est-à-dire à des forces différentielles qui s'appliquent en différents points du globe. Ces «marées» engendrent une énergie interne importante, qui suffit peut-être à maintenir liquide une partie de l'eau d'Europe. Y a-t-il un océan sous la surface d'Europe? Si oui, la vie pourrait-elle s'y être développée sous une forme primitive? La question passionne aujourd'hui les exobiologistes, ce qui a conduit la NASA à inscrire l'exploration spatiale d'Europe parmi les priorités de la prochaine décennie.

Présente partout à l'intérieur du système solaire, l'eau se trouve aussi dans le système solaire extérieur (c'est-à-dire au delà de Neptune). Dans ces régions éloignées se trouve la ceinture de Oort, un vaste réservoir de comètes situé à quelque 40 000 unités astronomiques du Soleil. Exceptionnellement, le jeu des perturbations gravitationnelles liées aux étoiles voisines et au milieu interstellaire local modifie la trajectoire d'une de ces comètes pour la faire pénétrer dans le système solaire. Là, une autre perturbation gravitationnelle, liée cette fois à la présence des planètes géantes, peut



7. EUROPE EST UN SATELLITE DE JUPITER couvert d'une couche de glace dont les structures irrégulières rappellent celles de la banquise. Toute sa surface est striée de fractures linéaires récentes (moins de 10 millions d'années), qui semblent résulter des mouvements d'une couche liquide ou visqueuse présente en sous-sol. Cette image a été prise par la sonde *Galileo* le 20 décembre 1996. Elle montre une surface de 13 kilomètres sur 18. Sur la gauche, le sol apparaît moins rugueux que sur la droite. L'eau semble avoir jailli d'une fracture, puis avoir gelé, créant une surface d'aspect lisse.

modifier à nouveau l'orbite de la comète pour en faire une comète périodique. Certaines d'entre elles sont célèbres : c'est le cas de la comète de Halley, connue depuis l'Antiquité et observée depuis le sol et l'espace, lors de sa dernière apparition, en 1986. Deux nouvelles comètes, inattendues cette fois, sont apparues plus récemment, Hyakutake, en 1996, et Hale-Bopp, en 1997.

Les comètes : des boules de neige sale...

Les comètes sont des objets de très petites dimensions (moins de dix kilomètres), constituées essentiellement de glaces et de poussières, qui évoluent sur des orbites héliocentriques, c'est-à-dire dont l'un des foyers est le Soleil. Elles passent la plupart de leur existence à grande distance du Soleil. Lorsque leurs trajectoires les rapprochent du Soleil, leurs surfaces s'échauffent : les glaces subissent un dégazage, et les poussières dont elles sont constituées s'échappent. C'est ainsi que se forme la queue des comètes, la «coma».

Dès le début des années 1950, l'astronome américain Fred Whipple avait prédit que les comètes étaient surtout constituées de glace d'eau. Il fallut cependant attendre l'apparition de la

comète de Halley, en 1986, pour avoir la confirmation expérimentale du modèle de la «boule de neige sale» : la bande de fluorescence de l'eau fut détectée dans le domaine infrarouge du spectre de la comète (2,7 micromètres). Plus récemment, cette observation a été renouvelée sur plusieurs autres comètes, notamment sur la comète Hale-Bopp, grâce au satellite ISO.

L'observation de l'eau dans les comètes est importante, car elle fournit des informations sur les conditions de formation de ces corps d'origine lointaine. Rappelons que en fonction de la valeur du spin des atomes d'hydrogène, la molécule d'eau prend deux formes différentes, la forme ortho et la forme para, dont les caractéristiques spectrales sont légèrement différentes. Or, l'eau possède une proportion ortho/para précise à chaque température. Les astrophysiciens déduisent donc de la proportion ortho/para cométaire, la valeur d'une certaine «température de spin», qui serait une indication de la température qui régnait à l'époque de la formation de la comète, voire de celle des embryons de comète qui lui ont donné naissance. ISO a ainsi mesuré la «température de spin» de deux comètes : Hale-Bopp et Hartley 2.

De grandes dimensions, puisqu'elle était visible à l'œil durant le