

taille. Sa surface serait alors âgée d'à peine 30 millions d'années, un clin d'œil aux échelles géologiques. Évidemment, les grands cratères d'Europe se seraient progressivement aplatis si l'intérieur était chaud. Dans cette hypothèse, le satellite pourrait encore être actif aujourd'hui.

Ces suppositions demandaient à être confirmées, car les images de *Voyager* étaient trop imprécises ; on ne voyait pas les cratères plus petits. À certains endroits, on voyait un terrain moucheté, plein de taches sombres, de tertres et de fosses, mêlé aux plaines brillantes. Des cratères se cacheraient-ils dans ces régions curieuses, auquel cas la surface du satellite serait plus ancienne ? Du reste, comment un corps aussi petit serait-il encore actif ? Des corps de taille similaire, comme la Lune, ne sont que des sphères rocheuses inertes, depuis longtemps dépourvues de leur chaleur interne, d'origine radioactive. En toute logique, Europe devrait être maintenant froide et inerte.

Pourtant les astronomes ont découvert qu'une autre source de chaleur pouvait chauffer Europe : les effets de marées alimentent le volcanisme de Io, la voisine d'Europe. Des quatre grands satellites de Jupiter – Io,

Europe, Ganymède et Callisto –, les trois premières font partie d'une valse orbitale élégante nommée résonance de Laplace. Avec la régularité d'une horloge, chaque fois que Ganymède effectue une révolution autour de Jupiter (avec une période de 7,2 jours terrestres), Europe parcourt deux orbites (3,6 jours de période) et Io quatre orbites (1,8 jour de période). Sur leurs orbites allongées, au cours de chaque révolution orbitale, elles s'approchent, puis s'éloignent de leur planète parente. Ces forces de gravitation provoquent alors des marées hautes et basses sur chaque satellite, c'est-à-dire des déformations de ces corps, avec des frottements qui se dissipent en chaleur.

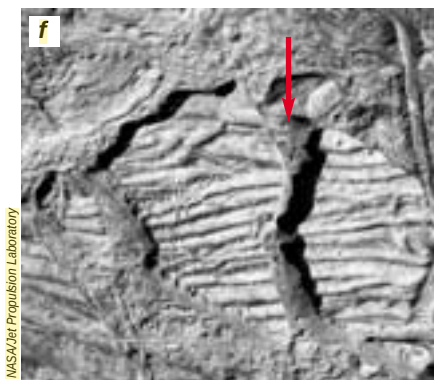
Des marées qui chauffent

Les effets de ces marées se ressentent surtout sur Io, plus proche de Jupiter. La température interne de Io, chauffée par cette dissipation, atteint le point de fusion de la roche, ce qui déclenche des éruptions volcaniques continues. Sur Europe, plus éloignée, le chauffage est moindre. Cependant, des calculs récents indiquent que son intérieur pourrait demeurer suffisamment

chaud pour fondre la glace à une profondeur de 10 à 30 kilomètres. Ainsi, sous la surface de glace, un océan couvrirait la planète.

Après les sondes *Voyager*, les astronomes ont dû attendre 20 ans avant une nouvelle exploration des satellites joviens. L'engin spatial *Galileo* s'est mis en orbite autour de Jupiter en décembre 1995. Depuis, sa trajectoire l'a conduit tous les quelques mois à proximité de l'un des satellites galiléens.

Même sans images, les informations récoltées sont primordiales. À chaque survol, les ingénieurs et les scientifiques ont enregistré le signal radio de l'astronef, afin de mesurer le champ gravitationnel d'Europe. Un satellite en rotation et déformé par effet de marée est légèrement aplati aux pôles, de sorte que le champ gravitationnel n'est pas symétrique. Cette irrégularité engendre de petits décalages de la fréquence du signal de *Galileo*, grâce auxquels les chercheurs ont calculé l'aplatissement du satellite et, par suite, la répartition de sa masse interne : à une vitesse de rotation et à masse égales, un satellite où la masse est plus concentrée est moins aplati qu'un satellite dont la masse est uniformément répartie.

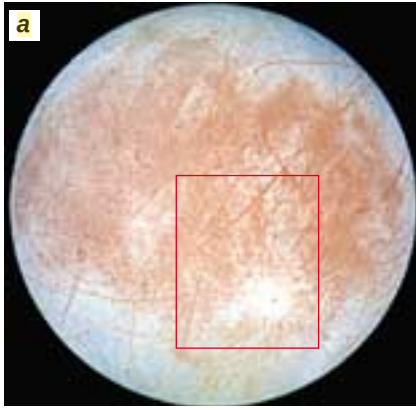


NASA/Jet Propulsion Laboratory

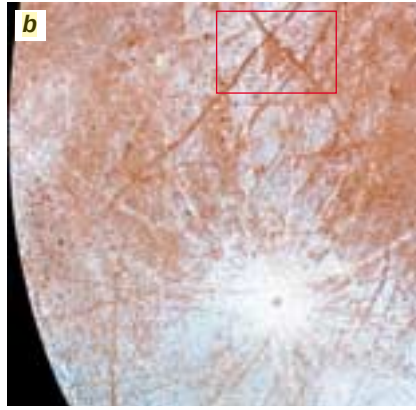
1 KILOMÈTRE

2. DES BLOCS DE GLACE GÉANTS de la taille d'une petite ville apparaissent progressivement sur cette série d'images de *Galileo*. Un colossal X formé de deux rides (a, b, c) marque l'endroit, alors que les images font un zoom avant sur une tache sombre nommée «Chaos de Conamara» (d, e) et ensuite sur des blocs individuels de type iceberg (f). De la glace plus chaude que celle de surface, une bouillie glacée ou de l'eau, ont jadis comblé la «mer» où les blocs sont maintenant immobiles. Une vue d'artiste (à droite), donne un point de vue à quelques centaines de mètres au-dessus de la surface (flèche dans l'image supérieure).





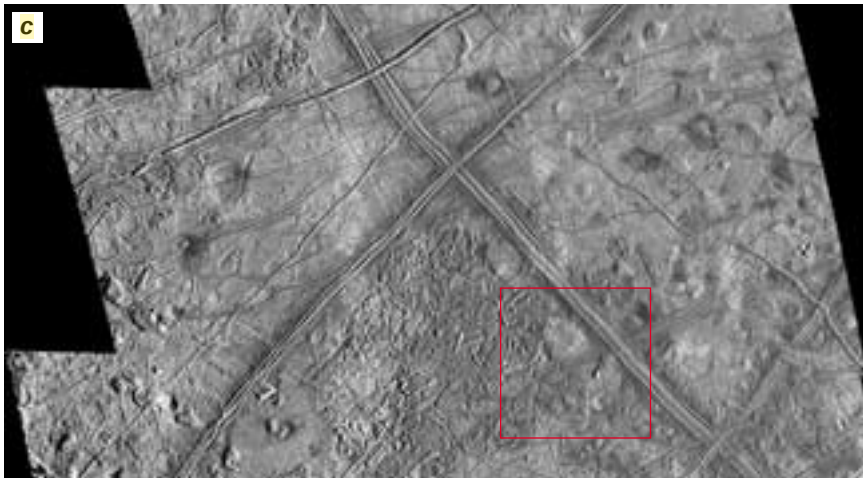
EUROPE



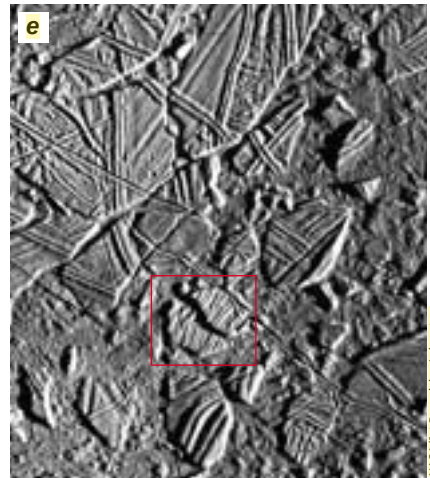
100 KILOMÈTRES



10 KILOMÈTRES



20 KILOMÈTRES



5 KILOMÈTRES

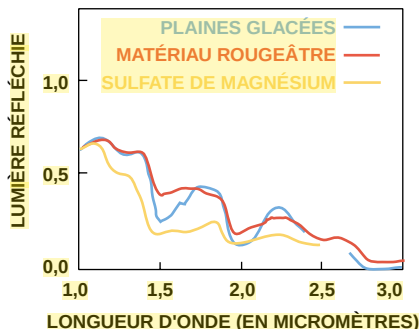
NASA/Jet Propulsion Laboratory



Alfred T. Kananiyan



NASA/Jet Propulsion Laboratory



S. Donelson, d'après T.B. McCord, University of Hawaii

3. UNE TACHE ROUGEÂTRE indique l'endroit où un liquide salin s'est répandu sur la surface d'Europe (à gauche). Des mesures spectrales (à droite) ont montré que les plaines brillantes environnantes (courbe bleue) se composent principalement d'eau gelée. Le matériau rougeâtre (courbe rouge) a un spectre lumineux qui semble être celui du sulfate de magnésium (courbe jaune).

Tapisseries et soutènement hydraulique

Avec une densité moyenne de 3,04 grammes par centimètre cube, Europe est certainement un corps rocheux. Les données gravimétriques indiquent que la roche s'intercale entre un noyau central de fer et une croûte externe d'eau ou de glace. L'épaisseur de cette croûte est comprise entre 80 et 170 kilomètres, selon les densités possibles pour le noyau de fer et pour le manteau rocheux, avec 100 kilomètres comme valeur la plus probable. Si une partie notable de cette croûte est liquide, son volume est supérieur à celui de tous les océans terrestres. Toutefois les données gravimétriques sont insuffisantes pour savoir si l'eau est liquide ou solide. L'examen des photographies en dit-il plus ?

L'équipe d'imagerie de *Galileo* a découvert un monde à nul autre pareil. Sa surface forme un entrelacs compliqué de fractures, de rides, de bandes et de taches. Les fractures sont sans doute nées quand les forces de marées ont déformé la surface gelée jusqu'à ce qu'elle cède. Les rides, également très nombreuses, courent en surface par paires, séparées par une vallée étroite. Les planétologues envisagent une résurgence d'eau liquide ou de glace chaude le long des fractures. Un « magma » aqueux ou verglacé a pu forcer le passage sous de la glace rigide, proche de la surface, la gauchissant en une double ride. Une bouillie glacée a aussi pu jaillir en surface et se solidifier aussitôt en forme de ride. Par endroits, les rides parallèles sont nombreuses : on suppose que le mécanisme de formation de doubles rides s'est répété. Les plus larges sont en général flanquées de

raies sombres, rougeâtres, aux bords diffus : la bouffée de chaleur associée à la formation des rides a-t-elle tracé ces frontières assombries, par volcanisme de glace partiellement fondue ou par sublimation de la surface sale gelée ? Quel que soit le mécanisme exact de formation, les rides révèlent une histoire dynamique d'Europe. L'échauffement par effet de marées engendre des structures particulières, et explique certaines fissures et rides les plus récentes. Toutefois, les contraintes responsables des fissures semblent s'être aussi déplacées.

À partir des enchevêtrements de fractures et de rides apparemment aléatoires, les astronomes ont essayé de comprendre les mécanismes responsables de l'étirement et de la déformation d'Europe. L'échauffement par effet de marées engendre des structures particulières, et explique certaines fissures et rides les plus récentes. Toutefois, les contraintes responsables des fissures semblent s'être aussi déplacées.

Cette particularité s'explique si la surface d'Europe a tourné plus vite que son intérieur. La plupart des satellites naturels du Système solaire sont en rotation synchrone : sous l'action du couple des forces de marées, ils tournent sur eux-mêmes exactement une fois par révolution orbitale, montrant toujours la même face à leurs planètes parentes (c'est pour cette raison que nous voyons toujours la même face de la Lune). Si la surface gelée d'Europe était découplée – séparée mécaniquement – de son manteau rocheux, la gravité de Jupiter engendrerait une rotation de la surface d'Europe légèrement plus rapide que celle du noyau. Un océan sous la surface agirait comme un lubrifiant et permettrait à la couche de glace de tourner de manière asynchrone.

Rien ne permet d'affirmer que la rotation asynchrone d'Europe se poursuit aujourd'hui ou que la sur-

face enregistre un ancien motif d'alignements structuraux, aujourd'hui inactifs. Les planétologues ont comparé les positions de certaines structures dans les images de *Galileo* à leurs positions dans les images de *Voyager* et n'ont trouvé aucun changement mesurable sur cette période de 20 ans. Aujourd'hui, on sait seulement que la différence de vitesse de rotation entre la surface et l'intérieur, si elle existe, est inférieure à un tour tous les 10 000 ans.

La caméra de *Galileo* a aussi visé les bandes sombres en forme de coin, où les images imprécises de *Voyager* indiquaient que les bandes parsemées de rides étaient séparées. Des analyses récentes ont confirmé que les faces opposées de ces bandes se correspondent parfaitement. La matière sombre entre ces bandes est finement striée avec, en général, une rainure prononcée et un certain degré de symétrie (voir la figure 5). Ces bandes sont peut-être les équivalents gelés des dorsales océaniques terrestres, où les plaques tectoniques s'écartent et où du magma sort, formant de nouvelles roches. Si c'est le cas, la glace sous la surface a dû être mobile et chaude lors de la formation des structures. Sur Terre, la tectonique des plaques impose un bilan de matière nul : la matière qui s'épanche en surface est compensée par de la matière qui plonge dans les zones de subduction. Aucune zone de ce genre n'a encore été identifiée sur Europe.

L'apparition de bulles

Le mystérieux terrain moucheté fournit d'autres indices sur l'intérieur d'Europe. Les images que *Galileo* en a prises ont 10 à 100 fois plus de détails que celles de *Voyager*. Les images montrent un terrain criblé de structures circulaires et elliptiques que l'équipe d'imagerie a nommées *lenticulae*, mot latin qui signifie « taches de rousseur ». Beaucoup de ces structures sont des dômes, certaines sont des fosses, d'autres sont des taches sombres lisses ; d'autres encore ont une texture rugueuse et brouillée. Les sommets des dômes ressemblent à des parties de plaines ridées, plus anciennes, signe que les dômes ont dû se former lors du soulèvement de plaines.

La diversité des *lenticulae* s'explique si l'on suppose que la couche gelée