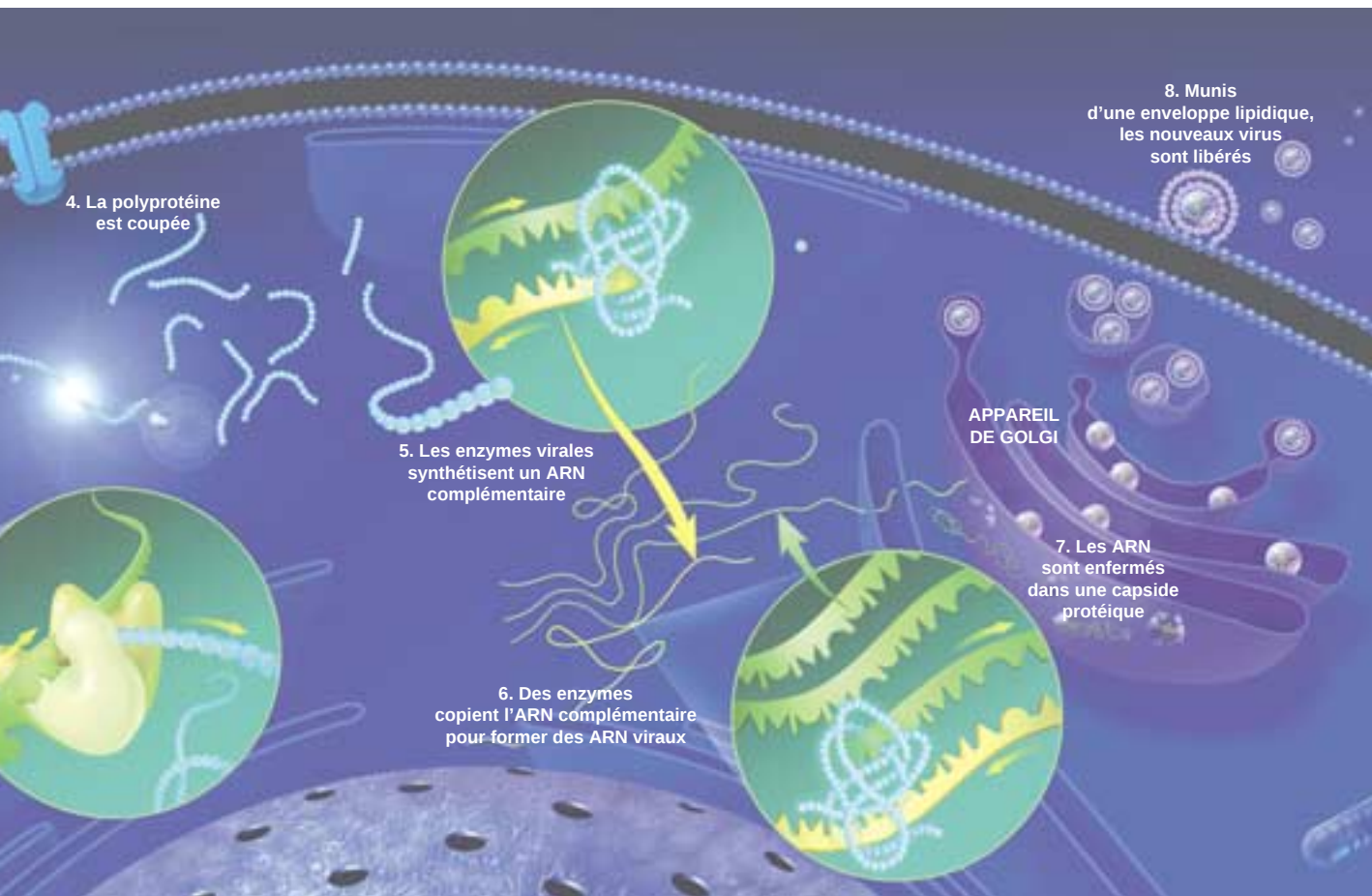




Keith Kasrot, d'après Charles M. Rice, Washington University School of Medicine

élucidée par cristallographie aux rayons X ; cette analyse permet la conception rationnelle d'inhibiteurs de ces enzymes. Plusieurs sociétés, notamment *Schering-Plough*, *Agouron Pharmaceuticals*, *Eli Lilly* et *Vertex Pharmaceuticals*, mettent aujourd'hui au point des inhibiteurs de la protéase et de l'hélicase de l'hépatite C. Les essais cliniques commenceront sans doute dans quelques années. La polymérase, dont on a très récemment identifié la structure tridimensionnelle, est également une cible possible.

En 1999, à Mayence, Ralf Bartenschlager et ses collègues ont étudié une molécule d'ARN qui comporte les régions codant les enzymes du virus ; cette structure qui se reproduit dans des lignées de cellules hépatiques cancéreuses sera sans doute utile pour tester des médicaments ciblés contre ces enzymes. Cependant, le virus ne développera-t-il pas une résistance vis-à-vis de ces différents agents thérapeutiques ?

On traiterait également les malades si l'on parvenait à bloquer l'activation des cellules hépatiques étoilées : on inhiberait ainsi la fibrose.

L'activation de ces cellules est commandée par des cytokines, des molécules qui agissent comme des signaux chimiques, que des cellules du foie nommées cellules de Kupffer libèrent quand elles sont stimulées par les lymphocytes. L'inhibition de ce mécanisme empêcherait la plupart des conséquences néfastes d'une infection par l'hépatite C.

Par ailleurs, la Société *Ribozyme Pharmaceuticals* met au point des ribozymes, c'est-à-dire de courts fragments d'ARN qui coupent des séquences particulières des petites zones terminales du génome viral. Cependant, on doit aujourd'hui administrer beaucoup de ribozymes pour qu'une quantité suffisante arrive dans les cellules infectées. C'est aussi le cas d'autres traitements novateurs, notamment la thérapie génique, destinée à rendre les cellules du foie résistantes à l'infection par l'administration d'un ARN « antisens », susceptible d'inhiber des gènes précis, ou par l'injection de protéines qui activent un mécanisme cellulaire d'autodestruction quand elles sont coupées par la protéase de l'hépatite C.

En France, le Plan de lutte contre l'hépatite C, prévu sur quatre ans, dispose d'un budget d'environ 90 millions de francs, répartis entre le renforcement de l'accès au dépistage, l'amélioration de la prise en charge, la réduction des risques de contamination, la recherche et la surveillance épidémiologique. Les autorités ont conscience de l'enjeu : l'amélioration des thérapies et la mise au point d'un vaccin en dépendent.

Adrian DI BISCEGLIE est professeur de médecine à l'École de médecine de l'Université de Saint Louis. Bruce BACON dirige le Département de gastro-entérologie et d'hépatologie de l'École de médecine de l'Université de Saint Louis.

Christian BRÉCHOT et Stanislas POL, *Hépatites virales*, ESTEM AUPELF-UREF, 1993.

Hépatites virales : dépistage, prévention, traitement, INSERM, 1997.

Jill-Patrice CASSUTO et Brigitte REBOULOT, *Les hépatites*, Odile Jacob, 1998.

Secrétariat d'État à la Santé et à l'Action sociale, *Les chiffres clés : SIDA et hépatite C*, Flammarion, 1999.

L'océan caché d'Europe

R. PAPPALARDO • J. HEAD • R. GREELEY

De nombreuses structures sur la fascinante surface d'Europe, le satellite glacé de Jupiter, laissent penser qu'un océan d'eau liquide se cache sous la surface. Comment en avoir la preuve ?

La vie est-elle apparue ailleurs que sur Terre dans le Système solaire ? Après trois décennies d'exploration des planètes et de leurs satellites naturels, les havres possibles de la vie restent peu nombreux. Le plus intrigant est sans doute Europe, un satellite de Jupiter couvert de glace.

Depuis sa découverte par Galilée en 1610 et jusqu'au milieu du XX^e siècle, Europe n'est qu'une tête d'épingle lumineuse, voisine de Jupiter, même dans les télescopes les plus puissants. Dans les années 1960, les études spectroscopiques montrent que le satellite, comme bien d'autres corps situés aux confins du Système solaire externe, est couvert de glace. À des températures superficielles de 110 kelvins (–163 °C) près de l'équateur et de 50 kelvins (–223 °C) aux pôles, cette glace doit être aussi dure que la roche. Toutefois, les astronomes n'ont alors aucun moyen de sonder plus profondément ce corps céleste et ils ne s'attendent d'ailleurs pas y trouver grand-chose.

Les images transmises par les sondes spatiales, depuis une vingtaine d'années, ont révélé une surface jeune et incroyablement déformée. Quelque part sous la croûte gelée, il y aurait un intérieur chaud et mobile. Est-ce de la glace ? Ou les entrailles d'Europe sont-elles suffisamment chaudes pour abriter un océan d'eau liquide ? Dans ce dernier cas, la vie serait-elle apparue au sein de ces abysses obscurs ?

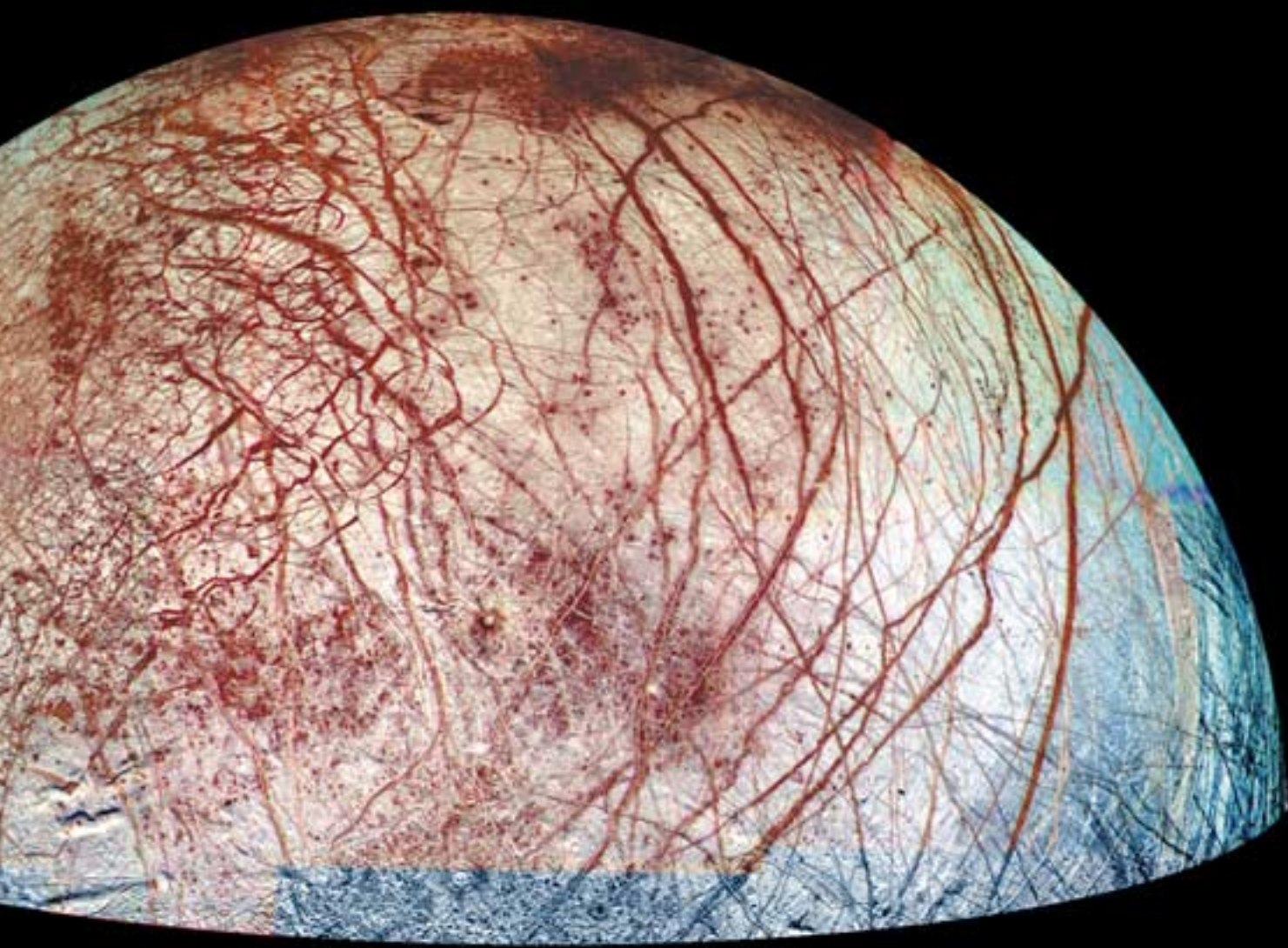
Les planétologues explorent ces questions depuis les survols de Jupiter et de ses satellites par les sondes

Voyager, en 1979 (voir *Les satellites galiléens de Jupiter*, par Laurence Soderblom, *Pour la Science*, mars 1980). En route pour Uranus et Neptune, ces sondes ne s'approchèrent pas beaucoup des satellites joviens, mais les images qu'ils envoyèrent étaient fascinantes. Europe ressemblait à une balle de corde, ses plaines brillantes traversées de bandes et de stries. Les planétologues ont remarqué que les faces opposées de certaines bandes sombres se correspondent parfaitement. D'une manière ou d'une autre, la surface gelée brillante a été violemment arrachée, exposant des matériaux sombres suffisamment fluides pour s'infiltrer dans les ouvertures : ces formations ressemblent aux craquelures pleines de liquide entre des plaques flottantes de banquise terrestre.

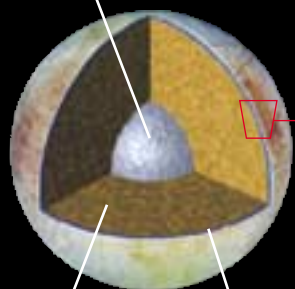
À la surprise générale, les sondes Voyager ont trouvé peu de grands cratères d'impact sur Europe. Or, la surface d'une planète accumule lentement les cratères, à mesure que les débris de comètes et d'astéroïdes la percutent. L'absence de cratères visibles indique donc que des événements volcaniques ou tectoniques ont façonné sa surface dans un passé relativement récent. Compte tenu du nombre de comètes croisant l'orbite de Jupiter, Eugene Shoemaker a estimé qu'un cratère de diamètre supérieur à dix kilomètres devait se former en moyenne tous les 1,5 million d'années. À partir des quelques cratères connus sur Europe, les astronomes estiment qu'Europe aurait sur sa surface 45 cratères de cette

1. EUROPE apparaît comme une coquille d'œuf fracturée. Une matière rougeâtre a suinté dans les crevasses ouvertes par les forces de marées dues à Jupiter. La rareté des cratères indique que la surface est géologiquement jeune. Les couleurs de cette photographie prise par la sonde Galileo sont réelles, mais accentuées. D'autres instruments de la sonde ont découvert que l'intérieur d'Europe est principalement rocheux, avec une couche externe d'eau (liquide ou solide) d'environ 100 kilomètres d'épaisseur (en bas à droite). L'essentiel de cette eau doit être liquide ou semi-liquide pour expliquer les formations superficielles, tels les tertres circulaires soulevés par des bulles ascendantes de glace relativement chaude (extrême droite), qui perforeront de temps en temps la surface.





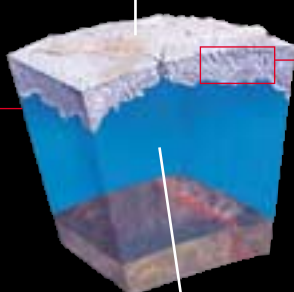
CŒUR DE FER



MANTEAU
ROCHEUX

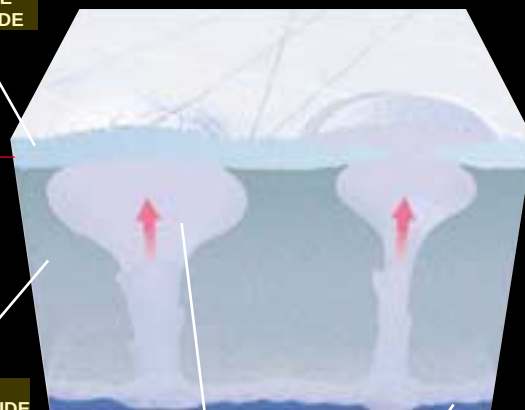
CROÛTE
DE H₂O

CROÛTE
DE GLACE



OCÉAN

CROÛTE
DE SURFACE
FROIDE
ET RIGIDE



GLACE
PLUS CHAUDE
SITUÉE SOUS
LA SURFACE

BULLE
DE GLACE
CHAUDE

OCÉAN

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.

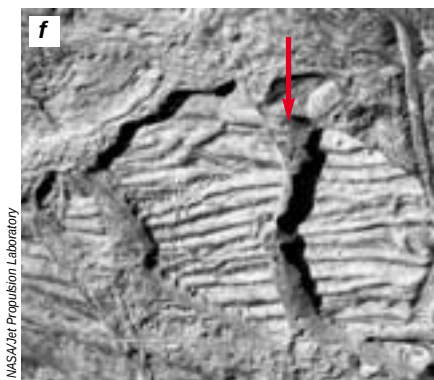
Des marées qui chauffent

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.



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).

