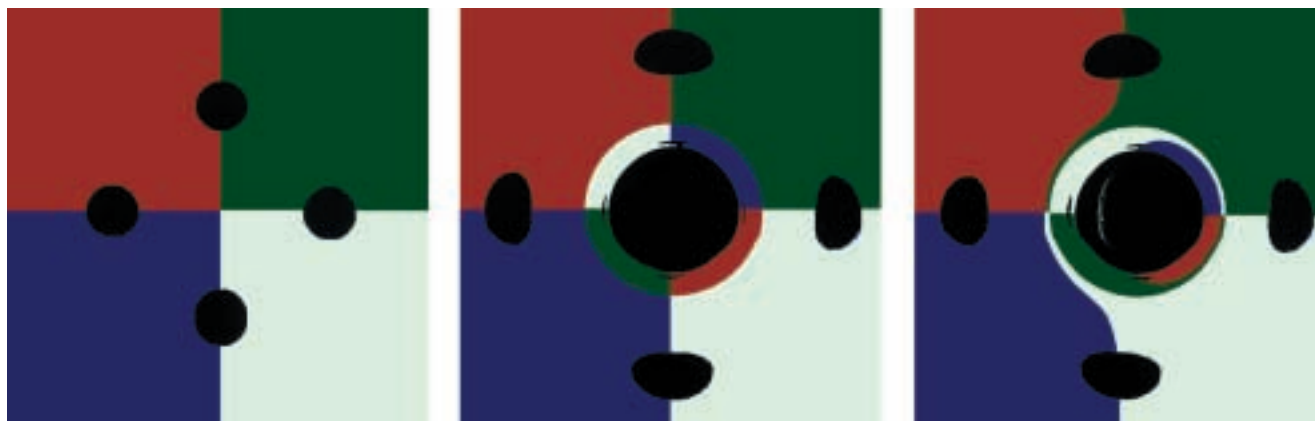


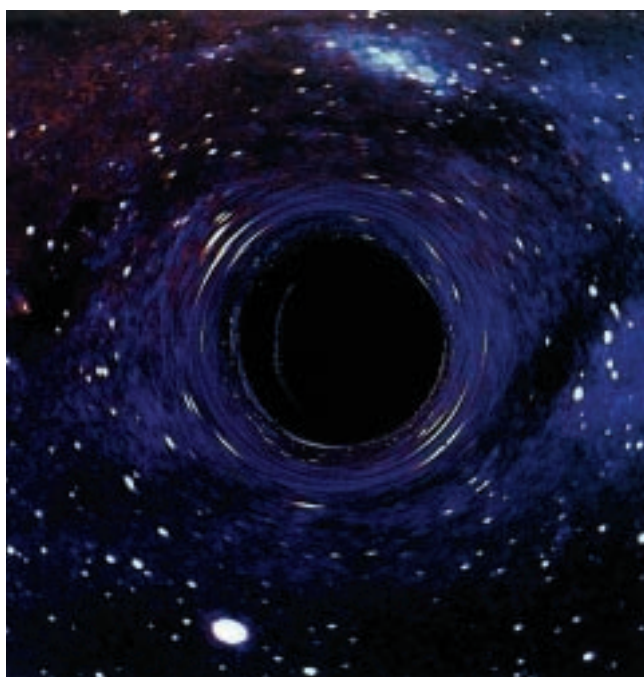


11. UN TROU NOIR agit comme une lentille gravitationnelle. Pour simuler son effet sur un arrière-plan, on divise celui-ci en quatre zones colorées différemment. Les quatre points noirs servent de repères (à gauche). Un trou noir qui se trouverait entre cette surface et l'ob-

servateur déformerait fortement l'image de la surface. La première simulation (au centre) résulte de la présence d'un trou noir statique (géométrie de Schwarzschild), la seconde (à droite), est le résultat d'un trou noir en rotation (géométrie de Kerr).



12. PHOTOGRAPHIE DU NUAGE D'ANDROMÈDE, galaxie voisine de notre Voie lactée (à gauche). Un trou noir qui se trouverait dans l'axe de visée de l'observateur agirait comme une lentille gravita-



tionnelle, et les images presque ponctuelles des étoiles se déformeraient pour ressembler à des taches circulaires ou «anneaux d'Einstein» (à droite, simulation en géométrie de Kerr).

lumineux, et les galaxies massives sont aussi des lentilles gravitationnelles. La répartition des étoiles et des nuages de gaz des galaxies fait que l'on obtient généralement plusieurs images partielles et plus ou moins intenses de la source de lumière située à l'arrière-plan. En 1979, Dennis Walsh, de l'Université de Manchester, et ses collègues Robert Carswell et Ray Weyman remarquèrent que deux quasars angulairement très proches présentaient des spectres presque identiques. Les chercheurs n'avaient pas découvert de jumeaux cosmiques, mais la première lentille

gravitationnelle : si le quasar paraît double, c'est que sa lumière est déviée par une galaxie interposée entre lui et la Terre. Nous connaissons aujourd'hui de nombreux exemples de len-

tilles gravitationnelles. La comparaison de ces observations et des simulations sur ordinateur confirment que les simulations sont conformes à la réalité.

Norbert QUIEN, Rainer WEHRSE et Christoph KINDL travaillent à la simulation sur ordinateur de trous noirs, à l'Université de Sarrebruck, en Allemagne.

Banesh HOFFMANN, *Histoire d'une grande idée, la relativité*, collection Regards sur la Science, éditions Pour la Science, 1985.

J.D. FOLEY, A. van DAM, S.K. FEINER et J.F. HUGHES, *Computers Graphics*, Addison Wesley, 1990.

J.-P. LUMINET, *Les trous noirs*, éditions du Seuil, 1992.

J. FRANK, A. KING et D. RAINE, *Accretion Power*, Cambridge University Press, 1992.

Vésicules et trafic intracellulaire

JAMES ROTHMAN • LELIO ORCI

Une collaboration transatlantique découvre la machinerie qui assure la formation des vésicules, ces conteneurs minuscules et indispensables qui stockent des protéines, puis les transportent là où elles sont nécessaires dans la cellule.

Toutes les cellules à noyau, qu'elles appartiennent aux colonies de levures, aux plantes ou à l'organisme humain, ont une organisation interne qui ressemble à celle d'une ville bien gérée. Dans les deux cas, le fonctionnement général résulte d'une coordination entre des services spécialisés. Dans les cellules, ces «services» sont délimités par des membranes et se nomment les organites.

Une visite rapide des services les plus importants d'une «cité» cellulaire commence à la membrane externe. Cet organite s'apparente aux murs d'enceinte percés de quelques portes qui entouraient autrefois les villes : la membrane contrôle l'apport de nourriture et d'autres matériaux, ainsi que l'excrétion de substances fabriquées dans la cellule. À l'intérieur des cellules, un autre service crucial joue le rôle d'une grande usine : c'est ici, dans le réticulum endoplasmique, que sont produites de nombreuses protéines, les principales molécules actives des cellules. Après leur synthèse, ces protéines sont transportées vers un autre service, l'appareil de Golgi, où elles sont modifiées (souvent par l'addition de sucres), puis expédiées vers d'autres destinations, à l'intérieur ou à l'extérieur de la cellule. Dans la cité cellulaire, l'appareil de Golgi est un centre de tri.

Les cellules comportent également leurs centres de recyclage, les lysosomes, qui cassent les protéines trop vieilles, ainsi que d'autres molécules, afin de récupérer leurs constituants.

Les lysosomes détruisent et recyclent également des substances externes, qui ont été captées par la cellule.

Les cellules disposent bien sûr d'un système de transport afin d'acheminer les protéines entre les différents services. Ce système est comparable aux zones de fret des aéroports : toutes les marchandises ayant une même destination sont rassemblées dans un même conteneur, une vésicule de transport, qui ne s'ouvre qu'à destination. Les cellules produisent plusieurs sortes de vésicules de transport, chacune étant spécialisée dans une voie d'expédition intracellulaire ou un type de cargaison ; elles produisent également des vésicules de transport qui stockent des substances indispensables à la communication intercellulaire (des neuromédiateurs ou des hormones, l'insuline par exemple) ; la cargaison est déversée à l'extérieur des cellules quand parvient un signal spécifique.

À l'évidence, les vésicules de transport sont indispensables au bon fonctionnement des cellules et des individus. Pendant des années, néanmoins, on a ignoré comment elles naissaient. Récemment, avec nos collègues, nous avons réussi à préciser plusieurs aspects moléculaires de leur formation. Outre leur intérêt intrinsèque, ces résultats pourraient avoir des applications médicales : les cellules tumorales, par exemple, ne peuvent se multiplier que si leurs vésicules de transport fonctionnent correctement ; en conséquence, toute substance inhibant leur

formation devrait augmenter l'effet des médicaments anticancéreux.

Notre aventure illustre bien la stratégie de la biologie cellulaire actuelle : elle se fonde sur la microscopie (qui a révélé l'existence de vésicules de transport) et elle doit la finesse de son analyse à la biochimie (qui a détaillé de nombreuses réactions moléculaires intervenant dans la formation des vésicules). Elle éclaire également le fonctionnement de la recherche scientifique. Ceux qui connaissent mal la science considèrent souvent les découvertes comme le résultat de processus impersonnels, purement intellectuels, où la logique trouve limpidement la solution des problèmes. Ils ignorent ainsi le rôle que jouent les erreurs, les coups de chance inattendus et l'acharnement opiniâtre. Et les publications scientifiques ne montrent jamais le plaisir de «la chasse» ! Une grande part du nôtre est d'avoir travaillé en étroite collaboration, malgré l'océan Atlantique qui nous séparait et ne nous permettait que des entrevues annuelles.

Qui êtes-vous donc ?

Avant le début de notre collaboration, vers le milieu des années 1980, l'examen au microscope de coupes de cellules entières avait déjà identifié quelques étapes de base du transport des protéines par des vésicules. Grâce aux travaux effectués dans les années 1960 par George Palade (prix Nobel de physiologie et de médecine en 1974), les biologistes savaient que ces