

Plus tard, lorsque les cellules de *Rhizobium* entreront en contact avec les poils des racines, les bactéries stimuleront ceux-ci pour produire des canaux, nommés filaments infectieux. Les sucres complexes qui couvrent les cellules de *Rhizobium* permettront alors aux bactéries de s'introduire dans ces canaux et de coloniser les racines. Il ne serait pas surprenant de découvrir que les nodosités réagissent à leur tour en produisant des signaux qui commandent la transformation des bactéries envahisseuses en bactéroïdes capables de fixer l'azote atmosphérique. Ainsi, l'échange des signaux s'effectue dans les deux sens. Les bactéries et leur hôte se stimulent mutuellement pour franchir les étapes successives d'un mécanisme qui règle le développement des deux organismes.

Des signaux dangereux

Les échanges de signaux entre les bactéries et les organismes supérieurs n'aboutissent pas toujours à un bénéfice mutuel. Tout comme les bactéries symbiotiques, celles qui provoquent des maladies transmettent des signaux qui commandent aux cellules de leur hôte de modifier leur comportement. Cependant, les signaux émis par les bactéries pathogènes suscitent des réactions qui nuisent à l'organisme infecté, ce qui affaiblit ses défenses et permet aux pathogènes de proliférer. *Yersinia pestis*, la bactérie de la peste bubonique, a ainsi décimé une grande partie de la population européenne au XIV^e et au XV^e siècle, grâce à une tactique subtile.

Yersinia pestis, qui provoque encore aujourd'hui des épidémies localisées, infecte les tissus lymphoïdes de l'homme et sape l'activité des cellules immunitaires nommées lymphocytes. Elle vainc le système immunitaire parce qu'elle échappe tout d'abord aux macrophages, qui sont des cellules de voirie de l'organisme : les macrophages absorbent et détruisent les bactéries pathogènes et contribuent également à la stimulation d'autres parties du système immunitaire. *Yersinia pestis* échappe à leurs assauts en produisant des protéines qui pénètrent dans les macrophages et les désarment : certaines de ces protéines endommagent directement les macrophages, et d'autres, telles que YopH, préviennent les attaques en interférant avec le réseau de communications entre les macrophages.

Comme les colonies de bactéries que nous avons déjà évoquées, les organismes supérieurs multicellulaires disposent de systèmes de signalisation internes, qui permettent aux cellules de communiquer. Les molécules de signal variées, telles les hormones, se fixent sur des récepteurs présents à la surface de certaines cellules cibles. Ces récepteurs transmettent le signal provenant de l'extérieur à des molécules à l'intérieur de la cellule, où il est relayé jusqu'au noyau. Dans le noyau, le signal modifie alors l'expression des gènes, ce qui entraîne une modification des activités de la cellule. La transduction du signal est le transfert de l'information de l'extérieur à l'intérieur des cellules.

Un composant fondamental de nombreuses voies de transduction, notamment dans les macrophages, est le greffage de groupes phosphate à des molécules spécifiques de la chaîne de communication : cette réaction de «phosphorisation», due à des enzymes, active généralement des protéines qui participent à la transduction. À l'Université Purdue, Jack Dixon découvrit que la protéine YopH appartient à une classe d'enzymes qui enlève les groupes phosphate ; la protéine désorganise vraisemblablement la voie de transduction du signal dans les macrophages et empêche ces cellules de réagir à l'infection par *Yersinia pestis*.

De surcroît, certaines espèces de *Yersinia* détournent les systèmes de transduction du signal d'autres types de cellules pour leurs propres besoins. Par exemple, certaines souches de *Yersinia* doivent traverser les cellules intestinales pour coloniser les ganglions lymphatiques de l'intestin de leur hôte. Ces bactéries activent souvent des systèmes de transduction du signal, qui les véhiculent jusque dans les cellules intestinales.

Les bactéries activent ces voies en produisant une protéine nommée invasine, qui possède la propriété de se fixer à un récepteur de la cellule hôte. L'invasine permettrait donc à ces souches de *Yersinia* de traverser les couches de cellules de leur hôte pour atteindre des tissus plus profonds. À l'Université Tufts, Ralph Isberg a montré que l'invasine est bien responsable du déclenchement de ce comportement d'admission : normalement, les cellules de la bactérie *Escherichia coli* ne sont pas invasives, mais lorsqu'on leur donne la capacité de produire l'inva-

DES CAILLOUX DANS LES CHOSSES SÛRES

DIDIER NORDON

Des cailloux dans les choses sûres



Didier Nordon épingle les scientifiques et les politiques qui extraient de la science plus qu'elle ne dit. Nul doute que chacun reconnaîtra dans ces piques... le défaut de son condisciple.

144 pages - 65 F

Code 1897

**POUR LA
SCIENCE**
DIFFUSION BELIN

Bon de commande en p. 98

sine de *Yersinia*, elles peuvent pénétrer dans des cellules de mammifères.

Les signaux chimiques synthétisés par les bactéries font partie d'un groupe de substances nommées métabolites secondaires. À l'inverse des métabolites primaires tels les acides aminés et les vitamines, les métabolites secondaires ne sont pas indispensables à la survie et à la croissance des cellules bactériennes. Dans ce cas, pour quelles raisons les bactéries synthétisent-elles une telle variété de ces composés ?

Des signaux intéressants

Parmi ces métabolites secondaires, beaucoup sont des armes que les bactéries utilisent contre les micro-organismes avec lesquels elles sont en compétition : voici pourquoi certains d'entre eux sont des antibiotiques. Cependant, certains de ces métabolites secondaires sont normalement synthétisés à des concentrations bien trop faibles pour protéger efficacement ces bactéries, et nous pensons qu'ils sont souvent utilisés à des fins de communication. Les besoins de communication expliqueraient pourquoi les bactéries ont continué à fabriquer, à travers les âges, toute une gamme de composés sans nécessité apparente.

Un sous-ensemble de ces métabolites secondaires pourrait jouer un double rôle, en agissant de manière défensive à forte concentration et comme messenger aux faibles concentrations. À l'Institut Pasteur, Julian Davies et Charles Thompson ont ainsi découvert qu'à des doses trop faibles pour inhiber la croissance de bactéries cibles, certains antibiotiques libé-



H. Reichenbach, 1989, Allemagne

5. LA STRUCTURE DE CE CORPS FRUCTIFÈRE de la myxobactérie *Chondromyces crocatus* est plus complexe que celle de *Myxococcus xanthus*. *Chondromyces crocatus* commence sa différenciation comme *Myxococcus xanthus*, mais, au lieu de former des spores dans un monticule, elle produit une tige dont les branches portent une vingtaine de petits groupes de spores, à leur extrémité. Une telle structure résulte de communications complexes entre les cellules bactériennes.

rés par des cellules bactériennes stimulaient l'expression des gènes d'autres cellules bactériennes du même type. D'autres métabolites secondaires qui n'ont pas d'effet antibiotique connu seraient en fait des molécules messagers plutôt que des agents de guerre biochimique.

En espionnant les conversations des bactéries, nous devrions mieux comprendre la tactique de survie de ces créatures qui figurent parmi les plus simples sur terre. Nos indiscretions pourraient bien mener à la découverte de nouvelles substances utiles au genre humain.

Richard LOSICK est directeur du Département de biologie cellulaire et moléculaire de l'Université Harvard. Dale KAISER est professeur de biologie du développement à l'Université Stanford.

H. BARBIER-BRYGOS, U. BONAS, J. GIRAUDAT et M. SCHULTZE, *Communication cellulaire et transduction de signaux chez les végétaux supérieurs*, in *Médecine Science*, n° spécial, vol. 12, pp. 137-142, 1996.

J. WILLEY, R. SANTAMARINA, J. GUIJARRO, M. GEISTLICH et R. LOSICK, *Extracellular Complementation of a Developmental Mutation Implicates a Small Sporulation Protein in Aerial Mycelium Formation by*

S. coelicolor, in *Cell*, vol. 65, n° 4, pp. 641-650, 17 mai 1991.

M.J. McFALL-NGAI et E.G. RUBY, *Symbiont Recognition and Subsequent Morphogenesis as Early Events in an Animal-Bacterial Mutualism*, in *Science*, vol. 254, pp. 1491-1494, 6 décembre 1991.

D. KAISER et R. LOSICK, *How and Why Bacteria Talk to Each Other*, in *Cell*, vol. 73, n° 5, pp. 873-885, 4 juin 1993.

J.B. BLISKA, J.E. GALÁN et S. FALKOW, *Signal Transduction in the Mammalian Cell During Bacterial Attachment and Entry*, *ibid.*, pp. 903-920.

S.R. LONG et B.J. STASKAWICZ, *Prokaryotic Plant Parasites*, *ibid.*, pp. 921-935.