

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.

Les galaxies fantômes

GREGORY BOTHUN

En dix ans, les astronomes ont découvert plus d'un millier de galaxies géantes à faible brillance de surface. Cette population modifie nos idées sur l'évolution des galaxies et la répartition de la masse dans l'Univers.

Notre vision de l'Univers évolue avec les télescopes. Dans les années 1920, l'astronome Edwin Hubble confirme que l'Univers s'étend bien au-delà de notre Galaxie. Les astronomes découvrent alors que l'Univers contient d'innombrables galaxies assez semblables à la nôtre, chacune comprenant des dizaines, voire des centaines de milliards d'étoiles. Ces galaxies sont regroupées dans des amas de quelques centaines de galaxies, lesquels peuvent être regroupés dans des superamas. Certains de ces superamas s'étendent sur des millions d'années-lumière, ce qui en fait les plus grandes structures connues de l'Univers.

Les astronomes distinguent alors trois types de galaxies : les galaxies elliptiques, les galaxies spirales et les galaxies irrégulières. Les galaxies elliptiques ont la forme d'un ballon de rugby, avec un centre plus brillant. Les galaxies spirales, telle la Voie lactée, sont plates, avec un bulbe central, duquel partent des bras spiraux peuplés d'étoiles plus jeunes et plus bleues que celles du bulbe. Enfin les galaxies irrégulières ont une masse relativement faible et n'ont pas de forme définie.

Hormis des perfectionnements mineurs, cette classification des galaxies a peu changé depuis son élaboration par Hubble, voilà 70 ans. Toutefois, des améliorations techniques ont permis de trouver de plus en plus d'objets de faible luminosité en dehors de la Galaxie. Ces dix dernières années, mes collègues et moi-même avons utilisé une méthode d'amplification du contraste photographique mise au point par l'astronome David Malin, de l'Observatoire anglo-australien. Associée à

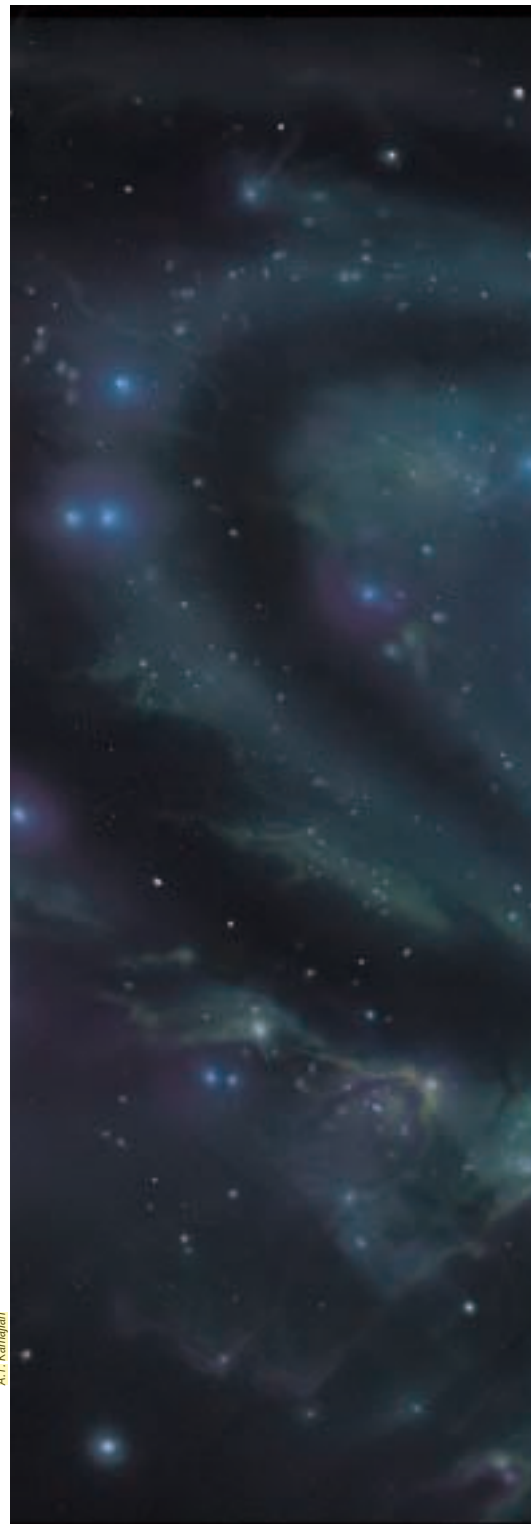
des caméras à transfert de charges (CCD) améliorées, ces techniques nous ont permis de découvrir une nouvelle population de galaxies.

Par leur forme et par leur nombre d'étoiles, ces galaxies ressemblent aux galaxies spirales. Toutefois, elles sont beaucoup plus grandes et contiennent donc beaucoup moins d'étoiles par unité de volume. Dans une galaxie spirale ordinaire, les bras spiraux sont des pouponnières d'étoiles, peuplées de jeunes étoiles émettant une lumière plutôt bleue. En revanche, dans ces galaxies diffuses, les bras spiraux contiennent beaucoup plus de gaz et ont une structure moins enroulée. Apparemment, le gaz de ces galaxies à «faible brillance de surface» met plus longtemps à se transformer en étoiles : ces galaxies évoluent quatre à cinq fois plus lentement que les galaxies spirales classiques, et l'Univers n'est pas assez vieux pour que ces galaxies aient fini d'évoluer.

Notre travail de ces dix dernières années montre que ces galaxies seraient aussi nombreuses que l'ensemble de toutes les autres galaxies. Autrement dit, la moitié des galaxies de l'Univers avaient été oubliées.

L'abondance de ces galaxies, pour être extraordinaire, n'est cependant pas suffisante pour résoudre l'une des grandes énigmes de la cosmologie : celle de la masse manquante. Depuis longtemps, les astronomes savent que la masse de matière visible de l'Univers ne suffit pas à rendre compte du mouvement à grande échelle des galaxies dans les amas et dans les superamas. Aussi plus de 90 pour cent de la masse de l'Univers serait-elle de

1. CETTE GALAXIE À FAIBLE BRILLANCE DE SURFACE, Malin-1, est beaucoup plus grande qu'une galaxie spirale ordinaire telle la Voie lactée, que l'on a dessinée dans le coin supérieur à la même échelle.



A.T. Kamalian

la matière noire, c'est-à-dire non lumineuse et inobservable, sauf par ses effets gravitationnels.

Bien que les galaxies à faible brillance de surface ne soient pas assez nombreuses et massives pour constituer à elles seules la matière noire tant recherchée par les cosmologistes, elles pourraient résoudre une autre énigme, qui concerne la masse baryonique des galaxies. Les baryons sont les constituants de la matière ordinaire, principalement des protons et des neutrons. Leur fusion produit l'énergie des

étoiles et, donc, des galaxies. Cependant la quantité d'hélium de l'Univers, telle qu'on la déduit des observations spectroscopiques, indique qu'il devrait y avoir bien plus de baryons que l'on n'en voit dans les populations connues de galaxies. Les baryons manquants se trouvent-ils dans l'espace intergalactique ou dans une population de galaxies inconnues ou difficiles à détecter, telles les galaxies à faible brillance de surface? Une meilleure connaissance de ces dernières résoudrait peut-être ce problème, mais aussi changerait

nos idées sur la formation et l'évolution des galaxies.

Un astronome réhabilité

Le problème des galaxies diffuses, qui agite l'astronome moderne, n'est pourtant pas d'aujourd'hui : il est né il y a 20 ans, lorsque l'astronome Michael Disney, aujourd'hui à l'Université de Cardiff, constata que les catalogues de galaxies découvertes par les télescopes optiques ne recensaient que les galaxies faciles à détecter, c'est-à-dire

