

secondes environ, au terme de laquelle il subit une désintégration alpha et donne l'élément 112, avec 171 neutrons. Ce dernier se désintègre par fission spontanée en trois minutes.

Par ces expériences, nous avons confirmé l'existence de l'îlot de stabilité et nous commençons à apprécier ses effets. La période de notre isotope de l'élément 114 à 175 neutrons est plus de 1 000 fois supérieure à la période de son isotope à 171 neutrons, qui est produit au cours de la chaîne de désintégrations de l'élément 118, et qui a été découvert au printemps 1999, au Laboratoire Lawrence Livermore, à Berkeley. Notre isotope de l'élément 112 à 173 neutrons est un million de fois plus stable que son isotope à 165 neutrons, découvert à Darmstadt en 1996. Ces périodes relativement longues de nos produits de synthèse par fusion facilitent leur étude, ce qui pourrait modifier notre vision des propriétés fondamentales de la matière.

Entre juin et octobre 1999, nous avons aussi obtenu l'isotope de l'élément 114 à 174 neutrons (nous avons réussi à synthétiser deux atomes). L'observation de la désintégration de cet isotope laisse penser que les éléments superlourds pourraient être encore plus stables que ne le prévoit la théorie. L'étude des limites de la stabilité nucléaire est promise à un grand avenir. En conjuguant leurs efforts, les chercheurs parviendront peut-être même à résoudre, pour l'élément 114, le problème considéré comme le plus délicat du processus de synthèse d'un nouvel élément : lui trouver un nom qui convienne à tous ceux qui ont contribué à sa découverte.

Iouri OGANESSIAN et Vladimir UTYONKOV sont chercheurs au Laboratoire Flerov des réactions nucléaires à l'Institut de recherche nucléaire de Dubna. KENTON Moody travaille au département de chimie analytique et nucléaire du Laboratoire Lawrence Livermore.

Glenn T. SEABORG et Walter LOVELAND, *Search for the Missing Elements*, in *New Scientist*, vol. 131, n° 1784, p. 29, août 1991.

Transuranium Elements : A Half Century, sous la direction de Lester R. Morss et J. Fuger, American Chemical Society, 1992.

Peter ARMBRUSTER et Fritz Peter HESSBERGER, *La création de nouveaux éléments*, in *Pour la Science*, novembre 1998.

SOS génome : réparation et évolution

TAMARA (FRANÇOIS TADDEI • IVAN MATIC • MIROSLAV RADMAN)

La vie repose sur un équilibre fragile entre stabilité et modification des gènes : conservatisme et mutations excessives nuisent. Des systèmes de mutations activés «à la demande» semblent être la clé de la réussite adaptative des bactéries, qui disposent d'une boîte à outils moléculaires sans cesse plus perfectionnée.

L'évolution, la stratégie première de la vie, est fruit de deux mécanismes indépendants, la mutagenèse, qui produit les mutations sources de variabilité, et la sélection naturelle des individus les mieux adaptés. La théorie néo-darwinienne stipule qu'au sein d'une population il existe une variabilité génétique et que sont sélectionnés les gènes qui ont la plus grande valeur adaptative, c'est-à-dire qui optimisent les chances d'un individu d'avoir une descendance nombreuse.

Avant Darwin, le grand évolutionniste était Lamarck. Selon les propositions de ce dernier, reformulées en termes modernes, la mutagenèse serait dirigée par la pression de sélection de façon à ne créer que des mutations «utiles», concept rejeté par la quasi-totalité des évolutionnistes d'aujourd'hui. Toutefois, en 1988, John Cairns et ses collègues de l'Université Harvard ont ébranlé cette conviction par des expériences qui semblaient montrer que la bactérie *Escherichia coli* était capable de «diriger» les mutations adaptatives qui permettaient sa croissance.

Cette hypothèse lamarckienne, selon laquelle les bactéries seraient capables de transmettre à leur descendance des caractères utiles acquis sous l'effet d'une pression de sélection, a agité la communauté des généticiens. Depuis, l'hypothèse a été invalidée : on a montré que ce que l'on pensait être un événement lamarckien macroscopique n'était en fait que la somme de plusieurs effets darwiniens microscopiques. Quoi qu'il en soit, cette controverse a eu le mérite

incontestable de stimuler les recherches dans le domaine de l'évolution des mécanismes adaptatifs.

Que savons-nous des interactions de l'environnement et de la mutagenèse ? D'une part, les bactéries disposent de nombreux mécanismes de prévention et de réparation des erreurs produites lors de leur reproduction, lorsque l'ADN est recopié par la machinerie cellulaire, et, d'autre part, la plupart des erreurs qui se produisent dans un génome sont neutres ou délétères. On a donc longtemps pensé que le taux de mutation était nécessairement minimal, car tout mécanisme qui engendre des mutations semblait avoir un coût trop élevé face au bénéfice que confèrent les rares mutations favorables. Toutefois, ce taux n'est pas nul, parce que les systèmes qui assurent l'intégrité du génome ont un «coût biologique».

Or, cette assertion d'un taux nécessairement minimal est aujourd'hui rejete

tée : on a montré que un pour cent des bactéries ont naturellement des taux de mutation élevés et que la fréquence des bactéries mutatrices est ainsi 100 fois supérieure à ce qu'elle serait si les bactéries étaient parfaitement adaptées. On a récemment observé qu'un taux de mutation élevé semble favoriser l'évolution, l'adaptation et, par conséquent, la survie des populations de bactéries soumises à un stress ou à une carence (par exemple, à un manque de nutriments). Au début des années 1970, l'un d'entre nous (Miroslav Radman) a montré que les bactéries «décident» de muter, c'est-à-dire qu'un mécanisme génétiquement contrôlé est déclenché quand elles sont soumises à un stress endommageant l'ADN, par exemple les rayonnements.

Nous montrerons, ici, que la mutagenèse n'est plus le mal nécessaire qu'il faut à tout prix minimiser, nous décrirons la boîte à outils des bactéries qui

1. LA BACTÉRIE MUTATRICE, PREMIÈRE DE CORDÉE : dans ce paysage adaptatif, le degré d'adaptabilité des bactéries a été schématisé. Dans la nature, les bactéries naturellement mutatrices (*en rouge*) sont plus abondantes que si toutes les mutations produites étaient délétères. Une bactérie non mutatrice sauvage (*en bleu*) dans un environnement favorable évolue peu : ses systèmes de réparation de l'ADN sont efficaces, et son génome est scrupuleusement recopié. Au contraire, chez les bactéries mutatrices, les mutations s'accumulent rapidement. Parfois apparaît un mutant favorable, qui est mieux adapté aux conditions environnantes et qui prolifère : il réussit à gravir les différents obstacles (la terre, les cailloux, les parois rocheuses), parce qu'il acquiert de nouvelles fonctions qui l'aident à survivre. Au contraire, très peu de bactéries non mutatrices réussissent l'ascension. La bactérie mutatrice la mieux adaptée, la «première de cordée», parvient la première au col le plus élevé. Péniblement, une bactérie non mutatrice y parvient également. Lorsque les conditions sont stabilisées, la bactérie mutatrice continue à accumuler les mutations qui finissent par être fatales : beaucoup d'entre elles meurent. La bactérie non mutatrice mal adaptée aux conditions difficiles de l'ascension retrouve des conditions stables et elle redevient prédominante. Parfois s'échappe une mutatrice encore mieux adaptée : elle s'attaque à une paroi encore plus difficile.