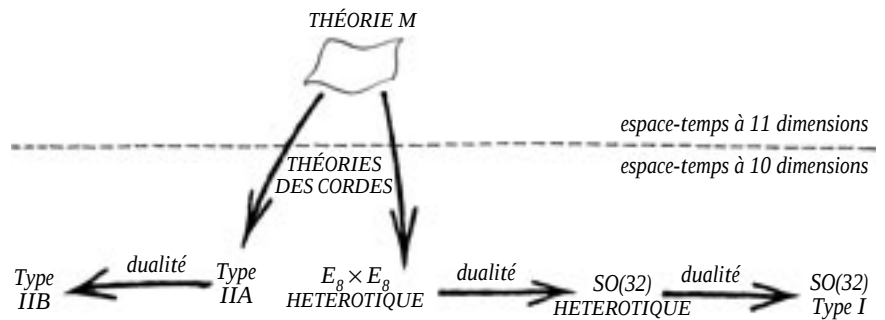




7. LA THÉORIE M, qui décrit un espace-temps à onze dimensions, engendre cinq théories des cordes à dix dimensions. Quand les dimensions excédentaires se referment en cercle, la théorie *M* engendre les supercordes de type IIA, qui sont reliées aux cordes de type IIB par une opération nommée dualité. Cependant, si les dimensions excédentaires se contractent en un segment, la théorie *M* devient la théorie des cordes hétérotiques $E_8 \times E_8$, physiquement plausible. Cette dernière est reliée aux théories des cordes $SO(32)$ par des dualités.

se transformer en un autre avec un nombre différent de trous, violant les lois de la topologie classique.

Si tous les espaces-temps sont ainsi reliés, la recherche de l'espace-temps où nous vivons devient un problème abordable. Les cordes peuvent se placer dans l'espace-temps d'énergie minimale, par exemple. Leurs ondulations engendreraient alors les particules élémentaires et les interactions que nous connaissons, c'est-à-dire le monde réel.

De onze à dix

Malgré ces succès, les physiciens n'ont encore que des fragments de la théorie *M*. Récemment Thomas Banks et Stephen Shenker, de l'Université Rutgers, Willy Fischler, de l'Université du Texas, et Leonard Susskind, de l'Université de Stanford, ont proposé une définition rigoureuse de la théorie *M*. Leur théorie «matricielle» est fondée sur un nombre infini de 0-branes (c'est-à-dire de particules). Les coordonnées, ou positions, de ces particules, au lieu d'être des nombres ordinaires, sont des matrices (des tableaux de nombres) qui ne commutent pas : le produit XY de deux matrices X et Y n'est pas égal au produit YX . Dans cette représentation, l'espace-temps est un concept flou où les

coordonnées ne sont plus des nombres usuels, mais des matrices.

Les physiciens soupçonnent depuis longtemps que l'unification de la relativité (la géométrie de l'espace-temps) et de la physique quantique conduira à un espace-temps mal défini, au moins jusqu'à ce qu'une nouvelle définition soit découverte. L'approche matricielle a beaucoup intéressé les théoriciens, mais elle ne semble pas parfaitement adaptée. Au cours des prochaines années, nous espérons découvrir ce qu'est réellement la théorie *M*.

E. Witten s'amuse parfois à imaginer comment la physique se développerait sur une autre planète, où l'on aurait découvert la relativité générale, la mécanique quantique et la supersymétrie dans un ordre différent de celui que nous avons connu. De même, on peut imaginer comment, sur une planète plus logique que la nôtre, onze dimensions d'espace-temps ont constitué le point de départ pour l'élaboration d'une théorie des cordes à dix dimensions. Les historiens de demain auront peut-être le sentiment que les physiciens du XX^e siècle ont été comme des enfants sur une plage : ils ont joué avec les fragments de supercordes les plus lisses ou les plus beaux, tandis que l'immense océan de la théorie *M* s'étendait, inexploré, à leurs pieds.

Michael DUFF est professeur de physique à l'Université du Texas.

Michael DUFF et Christine SUTTON, *The Membrane at the End of the Universe*, in *New Scientist*, vol. 118, n° 1619, pp. 67-71, 30 juin 1988.

Paul TOWNSEND, *Unity from Duality*, in *Physics World*, vol. 8, n° 9, pp. 1-6, septembre 1995.

Madhusree MUKERJEE, *Explaining Everything*, in *Scientific American*, vol. 274, n° 1, pp. 72-74, janvier 1996.

Edward WITTEN, *Reflections on the Fate of Spacetime*, in *Physics Today*, vol. 49, n° 4, pp. 24-30, avril 1996.

Edward WITTEN, *Duality, Spacetime and Quantum Mechanics*, in *Physics Today*, vol. 50, n° 5, pp. 28-33, mai 1997.

Le sang artificiel

MARY NUCCI • ABRAHAM ABUCHOWSKI

La menace d'une pénurie de sang et les craintes de contamination ont relancé les recherches de substituts du sang. Plusieurs produits sont prometteurs.

Au milieu des années 1980, le public s'effraya quand les médecins découvrirent que le virus de l'immunodéficience humaine (VIH), responsable du SIDA, avait été transmis lors des transfusions ; avant que les services sanitaires n'aient instauré des dépistages systématiques et trouvé des méthodes de décontamination, de nombreuses personnes transfusées avaient été infectées. Les craintes n'ont pas disparu : alors que le risque de contamination par le VIH au cours d'une transfusion est aujourd'hui de seulement un sur 600 000, le public redoute encore la transfusion.

D'autre part, les banques de sang ont des difficultés croissantes d'approvisionnement. Dans le monde industrialisé, une transfusion a lieu toutes les secondes environ, et cette fréquence augmente, parce que la population vieillit : au total, les besoins mondiaux en sang semblent croître chaque année de 7,5 millions de litres. Or le nombre des donneurs de sang diminue : en France, entre deux et huit pour cent de la population donne son sang.

Pour pallier les insuffisances, les biochimistes cherchent des substituts du sang. Depuis les années 1950 et, surtout, depuis les années 1980, ils ont exploré des solutions variées et obtenu des résultats importants : bien qu'aucune solution ne soit parfaitement satisfaisante, plusieurs produits sont testés ou déjà commercialisés.

Les chaînes de la vie

La mise au point de sang artificiel est difficile, parce que le sang est composé de cellules variées, dispersées dans le plasma, solution de divers sels et molécules (par exemple, des protéines et des vitamines). Les cellules sont de trois types : les globules rouges (ou héma-

ties), les globules blancs (ou leucocytes) et les plaquettes constituent environ 45 pour cent du volume du sang ; un millimètre cube de sang humain contient entre 4 et 6,2 millions de globules rouges, entre 4 000 et 10 000 globules blancs, et entre 150 000 et 450 000 plaquettes.

Ces cellules et les diverses molécules dissoutes ont une myriade de fonctions : le sang apporte des substances nutritives ou des hormones aux cellules ; il évacue leurs déchets ; il défend l'organisme contre les infections ; sa coagulation referme les blessures. Surtout, il convoie l'oxygène capté lors de la respiration et le dioxyde de carbone rejeté par le métabolisme. L'hémoglobine est la protéine qui fixe l'oxygène et le dioxyde de carbone ; chaque globule rouge en contient 250 millions de molécules.

L'hémoglobine assure cette fonction de fixation de l'oxygène et du dioxyde de carbone chez presque tous les vertébrés. La molécule diffère légèrement selon les espèces, mais elle est toujours composée de quatre chaînes. Chez l'homme, elle est composée de deux chaînes alpha identiques et de deux chaînes bêta identiques, longues chacune de 140 acides aminés environ. Chaque chaîne alpha est fortement associée à une chaîne bêta, et les deux «dimères» formés sont associés par une liaison faible.

Chacune des quatre chaînes contient un groupe chimique nommé groupe hème, au centre duquel se trouve un atome de fer. L'oxygène se lie à ces atomes de fer : chaque molécule d'hémoglobine fixe ainsi jusqu'à

quatre molécules d'oxygène. Plus la molécule d'hémoglobine a fixé de molécules d'oxygène, plus elle en fixe facilement d'autres, dans la limite des quatre molécules : la fixation d'une molécule d'oxygène déforme l'hémoglobine et facilite l'accès à de nouvelles molécules d'oxygène. Puis, lorsque l'hémoglobine libère l'oxygène dans les diverses parties de l'organisme, les globules rouges captent du dioxyde de carbone et le conduisent jusqu'aux poumons, où il est libéré.

L'hémoglobine fixe également d'autres gaz : la protéine transporte notamment le monoxyde d'azote, qui participe au maintien de la pression sanguine et à bien d'autres fonctions physiologiques (voir *Les fonctions biologiques du monoxyde d'azote*, S. Snyder et D. Bredt, *Pour la Science*, juillet 1992).

Compatibilités vitales

Les hémorragies menacent l'organisme. Quand un individu perd moins de 30 à 40 pour cent de son sang, l'organisme compense les pertes en accélérant la production de globules rouges, en raréfiant le sang dans les organes qui ne sont pas vitaux et en récupérant du liquide dans l'organisme afin de rétablir un volume de sang suffisant. Toutefois le décès survient quand les pertes de sang sont excessives.

Comment l'éviter ? Pendant longtemps, les médecins ont cherché soit à redonner du sang à ceux qui en avaient trop perdu, soit à remplacer le sang perdu par des liquides variés : bière, urine, opium, résines de plantes,

1. UNE TRANSFUSION s'impose dès qu'une personne a perdu plus de 40 pour cent de son sang environ. En France, une transfusion est effectuée toutes les dix secondes environ, et 3,15 millions d'unités de sang sont consommées chaque année (une unité correspond environ à 500 millilitres). Comme la population vieillit, les besoins augmentent ; vers 2030, les pays industrialisés auront besoin de quatre millions d'unités de plus qu'aujourd'hui.