

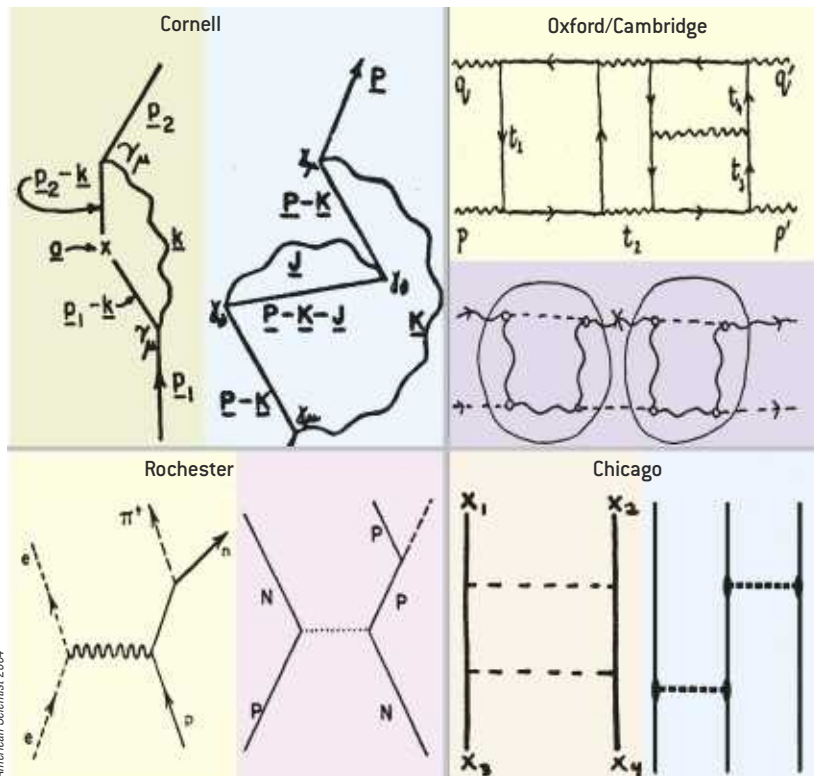
inattendues qui surgissaient des grands accélérateurs, les théoriciens faisaient appel aux diagrammes pour suivre quelle particule participait à quelle interaction, un système de gestion plus proche de la classification botanique que du calcul perturbatif. D'autres théoriciens les utilisaient pour distinguer les effets physiques en compétition : si un diagramme faisait intervenir deux vertex de force nucléaire ( $g^2$ ), mais seulement un vertex de force électromagnétique ( $e$ ), alors la contribution de ce processus physique serait plus importante qu'un diagramme avec deux facteurs  $e$  et un seul facteur  $g$  même si aucun des deux diagrammes ne pouvait être formellement évalué. Au début des années 1960, un groupe gravitant autour de Geoffrey Chew à Berkeley poussa les diagrammes un cran plus loin. Ils tirèrent les diagrammes du cadre que F. Dyson avait défini, pour les utiliser comme base d'une nouvelle théorie des particules nucléaires.

## Chacun son style de diagramme

Pendant les années 1950 et 1960, les physiciens ont malmené le cordon ombilical reliant les diagrammes aux règles d'utilisation de F. Dyson. Les physiciens ont bricolé les diagrammes, en ajoutant un nouveau type de ligne par-ci, en abandonnant une convention par-là, en adoptant d'autres conventions d'étiquetage, pour faire ressortir des propriétés qui leur semblaient pertinentes. Ces « pastiches » n'apparaissaient cependant pas aléatoirement, mais selon les besoins de tel ou tel groupe de physiciens. Des écoles se créaient lorsque des mentors et leurs étudiants aménageaient les diagrammes afin de mieux coller à leurs besoins en calcul. Les diagrammes dessinés par les étudiants en thèse à Cornell commencèrent à se ressembler, tout en ayant de moins en moins de similarité avec ceux des étudiants de Colombia, de Rochester ou de Chicago.

Les théoriciens adaptaient les diagrammes de Feynman à l'étude des particules en interaction forte, alors que les calculs perturbatifs y étaient impossibles. Un physicien compara cet empressement à utiliser les diagrammes de Feynman en physique nucléaire à « l'engouement pour la crâniométrie de Franz Gall à la mode au XIX<sup>e</sup> siècle ». Pendant le quart de siècle qui suivit l'introduction des diagrammes par Feynman, les physiciens ont griffonné avec frénésie des diagrammes, ce qui conduisit un autre prix Nobel, Philip Anderson, à se demander si lui et ses collègues n'avaient pas subi un lavage de cerveau de la part de Feynman. Pour des générations de théoriciens, formés depuis le début à aborder tout calcul à l'aide de cet outil de choix, les diagrammes de Feynman venaient avant toute chose.

L'histoire de la diffusion des diagrammes de Feynman témoigne de la pédagogie nécessaire pour élaborer les outils de la recherche et enseigner aux utilisateurs leur mise en œuvre. Des contacts personnels et un mentor individuel sont restés le mode de diffusion prédominant des années après la publication des règles d'utilisation des diagrammes. Les travaux personnels que les postdoctorants donnaient à leurs étudiants n'exigeaient souvent pas beaucoup plus que le dessin des diagrammes de Feynman appropriés, sans même devoir traduire le diagramme en son expression mathématique. Ces étudiants appre-



American Scientist 2004

**5. Les mentors et les étudiants** ont utilisé de nouvelles manières de dessiner les diagrammes. Des « airs de famille » apparaissent sur ces paires. Dans chaque cas, le premier diagramme (à gauche ou en haut) provient d'un instructeur, alors que le second est exécuté par un élève.

naient que tout calcul devait être précédé par le tracé d'un diagramme de Feynman.

Entre-temps, des traditions locales émergèrent et firent apparaître des diagrammes ayant de moins en moins de points en commun avec les instructions originales de Dyson. Ses dérivations *ab initio* et ses règles strictes avaient guidé les étudiants de N. Kroll à Colombia, par exemple, mais étaient considérées comme superflues par les étudiants à Rochester et complètement ignorées par les élèves de G. Chew à Berkeley.

Il demeure donc impossible de séparer la pratique de la recherche de la façon dont les scientifiques ont été formés. Les diagrammes de Feynman ne se trouvent pas dans la nature ; de plus, les physiciens théoriciens ne naissent pas tels, ils sont le produit de leur formation. Pendant la décennie des années 1950, diagrammes et utilisateurs furent formés par un même procédé pédagogique, de postdoctorant à postdoctorant, de mentor à disciple.

**David Kaiser** enseigne à l'Institut de technologie du Massachusetts (MIT). Cet article est tiré d'un livre sur la diffusion des diagrammes de Feynman dans la physique d'après-guerre, à paraître chez Chicago University Press. Nous remercions la revue *American Scientist* de nous en avoir autorisé la publication.

F. DYSON, *The radiation theories of Tomonaga, Schwinger and Feynman*, in *Physical Review*, vol. 75, pp. 486-502, 1949.

R. FEYNMAN, *The theory of positrons*, in *Physical Review*, vol. 76, pp. 749-759, 1949.

R. FEYNMAN, *Space-time approach to quantum electrodynamics*, in *Physical Review*, 76 : 769-789, 1949.

Auteur & Bibliographie

# À l'aube de la pensée

*Quand Homo sapiens est-il devenu moderne ?*

*Au moment où il a acquis la capacité de penser symboliquement, répondent les préhistoriens. La découverte de petites coquilles percées suggère que cela remonterait à au moins 75 000 ans.*

Kate Wong

**L**e Cap, Afrique du Sud. Christopher Henshilwood, de l'Université de Bergen, en Norvège, pose dans ma main un petit morceau de carton bleu qu'il vient de sortir d'un sac en plastique. Dessus, 19 coquillages pas plus grands qu'un grain de blé forment trois lignes horizontales. À première vue, il s'agit des restes d'une poignée de mollusques sans intérêt. Mais pour l'œil expert, c'est peut-être l'un des plus grands trésors de l'humanité. Les petits coquillages ont été découverts dans la grotte de Blombos, dans la partie Est du littoral Sud-africain. Tous de la même taille, ils sont percés d'un trou sur le côté opposé à leur orifice. D'après Ch. Henshilwood, il s'agirait de perles ouvragées il y a 75 000 ans par des représentants de notre espèce. Autrement dit, les coquillages de Blombos seraient les plus anciens bijoux jamais fabriqués par l'homme, et une preuve que nos ancêtres ont commencé à se comporter semblablement à nous à une époque bien plus reculée qu'on ne le pensait auparavant.

## Un Big Bang comportemental

Comme l'attestent des fossiles découverts en Éthiopie, près du village de Herto, en 2003, l'homme anatomiquement moderne, *Homo sapiens*, est apparu en Afrique il y a au moins 160 000 ans. Tout dernièrement, une nouvelle datation de restes humains, découverts il y a plusieurs décennies sur un autre site éthiopien, à Omo Kibish, indique que l'homme moderne, toujours sur le plan anatomique, pourrait même être apparu il y a 195 000 ans.

La question de savoir à quelle époque l'homme est devenu moderne sur le plan cognitif est bien plus difficile. Durant les 20 dernières années, l'idée prédominante était que l'humanité avait connu une révolution comportementale il y a environ 40 000 ans – une hypothèse fondée sur l'étude des vestiges culturels laissés par *Homo sapiens* en Europe au cours de la dernière période glaciaire. De fait, avant 40 000 ans (Paléolithique moyen), il semble que les *Homo sapiens* européens fabriquaient des outils de pierre relativement archaïques, selon des techniques déjà utilisées des dizaines de milliers

d'années auparavant. Mais au Paléolithique supérieur (entre 40 000 et 10 000 ans), en un clin d'œil à l'échelle géologique, de la vallée du Rhône à la Russie, nos ancêtres se sont mis à fabriquer des armes perfectionnées, à échanger des biens sur de longues distances et ils nous ont laissé des vestiges d'une riche production artistique : autrement dit, ils avaient acquis des comportements qualifiés de modernes par les préhistoriens. Le Paléolithique supérieur, semble-t-il, coïncide avec l'ultime grand saut en avant accompli par notre espèce.

Nous ignorons s'il s'agit d'une coïncidence, mais c'est aussi durant cette transition entre le Paléolithique moyen et le Paléolithique supérieur que l'homme moderne a fini de coloniser l'Europe, un territoire jusqu'alors peuplé de Néandertaliens. La plupart des sites de fouilles n'ayant pas laissé de fossiles humains, l'identité des premiers hommes qui ont réalisé des industries caractéristiques du Paléolithique supérieur n'est pas établie avec certitude. Il est néanmoins communément admis qu'il s'agissait d'*Homo sapiens*. Certains chercheurs ont avancé que c'est la confrontation entre les deux espèces cousines qui aurait conduit l'« envahisseur » à exprimer une habileté créative jusqu'alors latente.

D'autres spécialistes pensent que l'explosion culturelle, flagrante en Europe il y a 40 000 ans, serait la conséquence d'une transition plus ancienne qui se serait opérée en Afrique. L'un d'eux, Richard Klein, de l'Université de Stanford, estime que cette transition africaine, qui délimite ce que les spécialistes nomment *Middle Stone Age* (l'âge de pierre moyen), et *Later Stone Age* (l'âge de pierre tardif), aurait eu lieu 50 000 à 10 000 ans auparavant. Ces deux périodes sont les équivalents, sur le grand continent, du Paléolithique moyen et du Paléolithique supérieur en Europe. D'après le préhistorien américain, la transition africaine ne résulterait pas de la rencontre entre deux humanités (à cette époque, *Homo sapiens* est seul en Afrique), mais serait la conséquence d'une mutation génétique survenue il y a environ 50 000 ans, qui aurait bouleversé notre fonctionnement cérébral et libéré nos capacités d'innovation.

Comme preuve de ce scénario, R. Klein invoque un site du centre du Kenya : Enkapune Ya Muto, la « grotte du crépuscule ». Des lames en obsidienne, des petits racloirs et,

# symbolique

surtout, des petites perles en forme de disque, taillées dans des coquilles d'œufs d'autruches, y ont été retrouvés par l'équipe de Stanley Ambrose, de l'Université de l'Illinois, dans des niveaux datés de 43 000 ans. Des chasseurs-cueilleurs du Botswana, les Khoi-San, s'offrent encore aujourd'hui des perles semblables en cadeau. Selon S. Ambrose, les petites perles de Enkapune Ya Muto avaient la même fonction : entretenir des relations de bon voisinage entre différents groupes en prévision des temps difficiles. Pour R. Klein, une capacité inscrite génétiquement à communiquer *via* des symboles, ajoutée à des facultés cognitives aidant à concevoir de meilleures armes et à utiliser efficacement les ressources, sont les traits qui ont permis à notre espèce, quelque 150 000 ans après son apparition, de quitter son continent d'origine pour partir à la conquête du monde.

## Des vestiges éloquents

Ces dernières années, toutefois, quelques préhistoriens ont troqué la théorie du Big Bang culturel contre un scénario fondamentalement différent. Pour eux, il n'y a pas de décalage entre l'évolution de l'anatomie des *Homo sapiens* et celle de leurs capacités cognitives. Ainsi, les comportements humains modernes auraient émergé progressivement et lentement. Et pour certains préhistoriens, tel Francesco d'Errico, à l'Université de Bordeaux, la modernité cognitive ne serait pas l'apanage de l'homme moderne : elle a pu se développer en parallèle chez d'autres espèces humaines, chez les Néandertaliens notamment.

L'idée que la créativité sans pareil de l'espèce humaine a des racines anciennes n'est pas nouvelle. Ainsi, trois lances

**1. Ces petites coquilles percées**, considérées par leurs découvreurs comme des objets de parure, prouveraient qu'*Homo sapiens*, il y a 75 000 ans, était doué d'une pensée symbolique. Cette dernière ne serait donc pas apparue il y a 40 000 ans, en Europe, au cours d'une prétendue « révolution symbolique ». Certains anthropologues avancent que la capacité de penser symboliquement aurait plutôt évolué graduellement, en différents endroits et à des époques différentes, et pas uniquement chez l'homme anatomiquement moderne.



F. d'Errico et M. Vanhaeren