

sans être en contradiction avec les contraintes expérimentales. Dans la première, les quarks et les positons seraient constitués de particules plus élémentaires, qui favoriseraient les interactions entre les positons et les quarks dans le domaine d'énergie exploré.

Dans la deuxième hypothèse, les collisions auraient créé des bosons leptokuarks, vecteurs d'une nouvelle interaction entre deux familles de particules que le modèle standard distingue fondamentalement, les leptons (électron, muon ou tau) et les quarks. Un électron se transformerait ainsi en quark, et réciproque-

ment! Si cette hypothèse est la bonne, les résultats de l'expérience *H1* laisseraient penser que la masse de ce leptokuark serait de 200 gigaélectronvolts.

Enfin, un autre cadre théorique est proposé : la supersymétrie, qui relie les fermions, constituants de la matière, aux bosons, qui transportent les interactions fondamentales. À chaque particule connue, cette théorie associe une sparticule. Les collisions très énergétiques d'héra auraient, pour la première fois, formé des sparticules.

Yves SIROIS, LNPHE - CNRS,
et E. PEREZ, DAPNIA/SPP - CEA

Fluctuations géantes dans les silos à grains

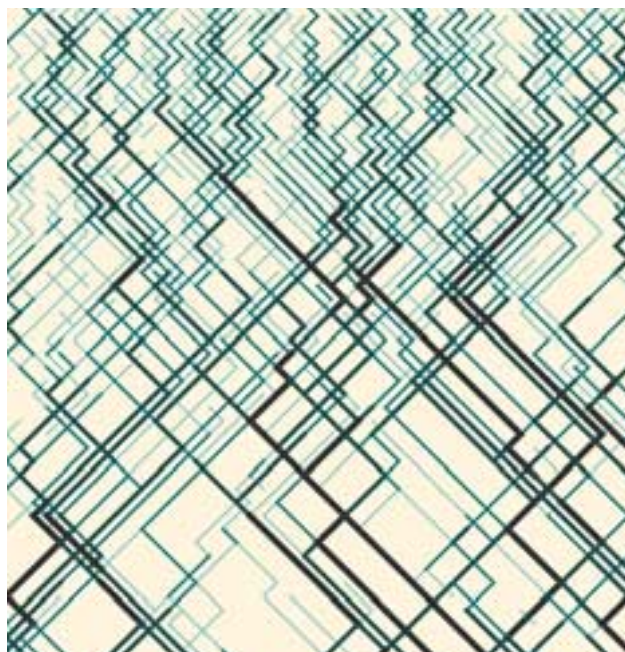
La formation de «voûtes» distribue le poids des grains

Démiurge, mi solide, mi liquide, la matière granulaire possède des propriétés étranges dont l'importance pratique est parfois considérable. L'étude de ces propriétés révèle encore des surprises : nous avons proposé un modèle qui explique comment, dans un silo à grains, des petites variations de température peuvent engendrer des fluctuations susceptibles de détruire le silo. La répartition des contraintes dans la matière granulaire a

ses spécificités. Imaginons un tas de sable obtenu en laissant s'écouler du sable d'un entonnoir. Sous le tas, plusieurs cellules, qui mesurent la pression locale, sont placées à différentes distances du centre. On observe alors un résultat étonnant : la pression n'est pas maximale au centre du tas, qui est pourtant le point surmonté par la plus grande masse de sable. Au contraire, elle y présente un minimum local, que l'on peut attribuer à un «effet de voûte» qui rejette une partie du poids des grains vers les côtés du tas.

Le mot voûte désigne une structuration de l'empilement des grains qui favorise la propagation des contraintes (en particulier du poids des grains) le long de «chemins» qui se dirigent vers l'extérieur du tas.

Ces chemins ou ces voûtes sont également responsables d'un autre résultat tout aussi surprenant. Prenons un silo et remplissons-le de grains. Une partie du poids de ces grains est «absorbé» par les parois du silo, si bien que le fond du silo ne supporte qu'une fraction du poids total des grains, un poids «apparent». Ce phénomène est bien connu depuis plus d'un siècle : le physicien H. Janssen a montré en 1895 que lorsque que l'on remplit un silo de grains, le poids apparent devient quasiment constant dès que la hauteur de grains est supérieure au diamètre du silo.



Dans les silos à grains, des «voûtes» portent une partie du poids des grains. La trajectoire de ces voûtes est modélisée ici pour un empilement de grains donné (plus les lignes sont épaisses, plus les forces qui passent par ces voûtes sont importantes). Le déplacement de quelques grains suffit à modifier les chemins.

En plus de cette saturation, on montre que le poids apparent est sujet à de grandes fluctuations : une perturbation minime, comme une variation de température de quelques dixièmes de degrés (entraînant une petite dilatation des grains), ou la porte du laboratoire qui claque un peu trop fort, peut entraîner une variation du poids apparent de plusieurs pour cent (en plus ou en moins). Bref, dans ces matériaux, de petites causes engendrent de grands effets.

À l'aide d'un modèle simplifié de formation de voûte dans un milieu désordonné, nous avons trouvé l'origine de ces fluctuations. Quelques chemins privilégiés portent une fraction importante du poids total des grains. Or ces chemins passent par les contacts entre les grains, qui se créent et disparaissent aux grés des perturbations extérieures. La trajectoire de ces voûtes, et par suite le poids apparent fluctuent fortement : il suffit qu'une de ces voûtes, qui s'appuyait sur la paroi, change de direction et aboutisse après perturbation sur le fond du silo, pour que l'on enregistre une forte hausse du poids apparent. Réciproquement, une voûte qui change de direction et aboutit sur la paroi peut éventrer le silo.

Dans le modèle de formation des voûtes que nous avons proposé, nous trouvons que, sous l'influence de faibles perturbations, les petites fluctuations du poids apparent (0,01 ou 0,1 pour cent) sont aussi probables que les grosses (jusqu'à 10 pour cent). On comprend également que si l'on mesure une même quantité (comme le poids apparent) sur différents silos apparemment identiques, la dispersion relative de ces mesures est très grande (10 à 20 pour cent) car d'un silo à l'autre, le réseau des chemins de contrainte est complètement différent.

Les matériaux granulaires sont des systèmes désordonnés qui possèdent un grand nombre de configurations d'équilibre ; de petites perturbations suffisent pour faire passer le système d'une configuration d'équilibre à une autre. En cela, ces matériaux se rapprochent d'autres systèmes désordonnés que les physiciens ont étudié ces dernières années, (comme les «verres de spin» — matériaux magnétiques désordonnés — par exemple). Une phénoménologie nouvelle les caractérise, où les fluctuations jouent un rôle primordial et où les expériences sont plus difficiles : les résultats deviennent intrinsèquement non reproductibles et doivent être décrits de façon statistique. Cette situation de «chaos» en physique des matériaux est analogue à celle qui prévaut dans tous les systèmes «sensibles aux conditions initiales».

J.-Ph. BOUCHAUD et Ph. CLAUDIN,
Physique de l'état condensée, Saclay

Douteux témoignages

Le travail synthétique des neurones induit de faux souvenirs.

Vous souvenez-vous des circonstances de votre premier amour ? Peut-être pas : les psychologues ont montré que les souvenirs anciens sont altérés. Les conséquences judiciaires des faux témoignages de bonne foi ont suscité de nombreuses études du «syndrome des faux souvenirs».

Ainsi, Henry Roediger et Kathleen McDermott, de l'Université de Washington, ont demandé à des volontaires de se souvenir de mots lus dans des listes prédéfinies. Les psychologues ont observé que les personnes testées se souvenaient (pendant un mois ou un jour) de mots... qui n'avaient jamais été prononcés.

Nous vous proposons une version simplifiée de ce test. Demandez à vos victimes de participer à un test d'apprentissage de cinq minutes, sans leur dévoiler votre but. Choisissez alors trois listes de mots parmi celles inscrites ci-dessous et lisez les mots des listes d'une seule traite, d'une voix neutre, en vous arrêtant quelques secondes entre chaque mot. Ne lisez pas les mots à droite.

Lorsque vous aurez lu les 45 mots, demandez à vos sujets d'écrire, dans n'importe quel ordre, tous les mots dont ils se souviennent. Allouez-leur quatre minutes de réflexion et précisez qu'il ne s'agit pas de deviner les mots mais de s'en souvenir. Ramassez les copies et notez combien de mots non prononcés apparaissent dans les réponses.

Dans une étude de ce type portant sur 40 personnes, les psychologues ont

trouvé que chaque volontaire se rappelait correctement moins de 40 pour cent des mots lus. En moyenne, chaque participant prétendait avoir entendu 57 pour cent des mots non prononcés associés à la liste entendue.

K. McDermott et H. Roediger ont recommencé l'expérience en omettant les mots dont leurs cobayes s'étaient souvenus la première fois. Cette seconde chance n'a pas amélioré les résultats, au contraire : les sujets ont inclus encore plus de mots non prononcés.

D'autres psychologues ont fait lire les mots successivement par un homme et par une femme. Les sujets devaient alors répondre à un questionnaire à choix multiples où se trouvaient, rangés aléatoirement, la moitié des mots lus, les mots non prononcés ainsi que d'autres termes sans aucun rapport. Pour chaque mot, les questions étaient les mêmes : avez-vous entendu ce mot et si oui, par un homme, par une femme ou ne sauriez-vous le dire ? Les résultats furent alarmants : non seulement les personnes interrogées prétendaient souvent avoir entendu un mot non prononcé, mais de plus, ils se rappelaient qui l'avait prétendument prononcé. Plus la liste était longue, plus les sujets se souvenaient des mots cibles non prononcés qui résumaient le thème de la liste.

Comment expliquer ces résultats ? Il est probable que lorsque nous entendons les mots «repos», «somnolence» et «sieste», les neurones de notre cerveau ajoutent automatiquement le mot «sommeil» dans la mémoire. Bien que des mots prononcés sur un ton neutre dans un test de cinq minutes ne possèdent pas la charge affective et temporelle des «faux souvenirs», les psychologues suggèrent que ces résultats s'appliquent à toutes sortes de situations, et expliquent maints faux témoignages.

Lisez trois listes parmi les suivantes. Ensuite, vérifiez si vos cobayes se souviennent... **...des mots cibles non prononcés.**

lit, repos, éveillé, fatigué, rêve, veille, assoupi, couverture, somnolence, paisible, ronflement, sieste, repos, paix, bâillement
 infirmière, malade, avocat, médecine, santé, hôpital, dentiste, médecin, souffrant, patient, cabinet, stéthoscope, chirurgien, clinique, cure
 fil, punaise, chas, couture, aiguisé, point, aiguillon, dé à coudre, épine, écharde, douleur, piqure, seringue, vêtement, tricoter
 chaud, neige, tiède, hiver, glace, humide, frisquet, transi, chaleur, temps, gel, air, frisson, Arctique, givre
 pomme, légume, orange, kiwi, citron, mûr, poire, banane, cerise, panier, jus, fraise, salade, bol, cocktail
 colline, vallée, escalade, sommet, cime, coteau, plaine, pic, glacier, chèvre, vélo, ascension, faîte, pente, ski

sommeil

docteur

aiguille

froid

fruit

montagne

Photographie en trois dimensions

La fabrication rapide de maquettes polychromes.

Les concepteurs de produits nouveaux, ingénieurs ou architectes, créent aujourd'hui des objets virtuels à l'aide d'ordinateurs. Grâce aux méthodes de fabrication rapide de prototypes, dont la plus répandue est la stéréophotolithographie, ils transforment leurs idées en maquettes solides qu'ils peuvent manipuler et observer sous tous les angles. Ces maquettes étaient jusqu'à présent monochromes. Nous avons mis au point plusieurs méthodes de fabrication rapide de maquettes polychromes, afin de les rendre plus fonctionnelles : par exemple, les différentes parties d'un objet ou d'un bâtiment sont plus faciles à distinguer.

La stéréophotolithographie permet de fabriquer des prototypes en polymères organiques par couches successives. Un faisceau laser ultraviolet, focalisé à la surface d'un réacteur qui contient un monomère liquide, déclenche la polymérisation en ce point : un petit volume de polymère solide se forme, insoluble dans le monomère liquide. Le faisceau laser est déplacé à l'aide de miroirs pilotés par un ordinateur dont la mémoire contient la description de l'objet à fabriquer sous forme de tranches d'épaisseur constante. Lorsque la construction d'une couche est achevée, l'objet est enfoncé dans le bac : il se recouvre d'une couche de monomère liquide, d'épaisseur légèrement inférieure à l'épaisseur de polymérisation pour que les couches adhèrent entre elles, et la couche suivante est polymérisée.

Le premier procédé polychrome que nous avons élaboré utilise plusieurs bacs, qui contiennent chacun le monomère teinté dans l'une des couleurs souhaitées : l'objet en cours de fabrication est suc-

cessivement plongé dans chaque bac, et chaque tranche est fabriquée couleur par couleur. Chaque colorant absorbe différemment le rayonnement ultraviolet. On obtient la même épaisseur de polymère pour toutes les couleurs en ajustant la concentration en colorant, l'épaisseur des couches, et le temps d'irradiation. Un compromis doit être trouvé entre le respect des teintes souhaitées et le temps total nécessaire à la fabrication de l'objet : les changements de bac et les rinçages intermédiaires indispensables l'allongent déjà beaucoup.

Un second procédé est plus rapide, mais il ne permet de fabriquer que des prototypes bicolores, avec des dégradés. Il ne nécessite qu'une seule source laser et qu'un seul bac de résine. Une poudre minérale (dioxyde de titane, séléniure de cadmium ou séléniure de zinc, etc.) et un colorant organique qui s'adsorbe facilement sur ces grains sont ajoutés au monomère. Après la polymérisation d'une tranche, on sort l'objet de la cuve et on irradie plus longtemps les zones qui devront rester colorées. Celles-ci deviennent grisâtres et opaques : la polymérisation y est plus complète et une plus grande partie de l'oxygène dissous dans la résine est consommée.

Lorsque l'objet est achevé, on l'expose à une source de lumière blanche, à une température de 60 à 70 °C. Les zones normalement irradiées, qui étaient colorées, deviennent blanches : le colorant est dégradé par une réaction photochimique facilitée par la présence d'oxygène. On maintient ensuite l'objet à l'abri de la lumière pendant plusieurs heures, toujours à la même température. Les parties fortement polymérisées retrouvent la couleur initiale du colorant, qui se désorbe de la surface des grains minéraux où il s'était fixé. On «révèle» ainsi une «photographie en trois dimensions».

N. PÉTILLON, J. Y. JÉZÉQUEL
et J. C. ANDRÉ, URA 328 et GdR 1080
CNRS



On fabrique des prototypes par tranches successives en polymérisant de petits volumes de monomère liquide à l'aide d'un laser ultraviolet. En déplaçant l'objet entre plusieurs bacs contenant le monomère teinté en différentes couleurs, on obtient des prototypes polychromes.