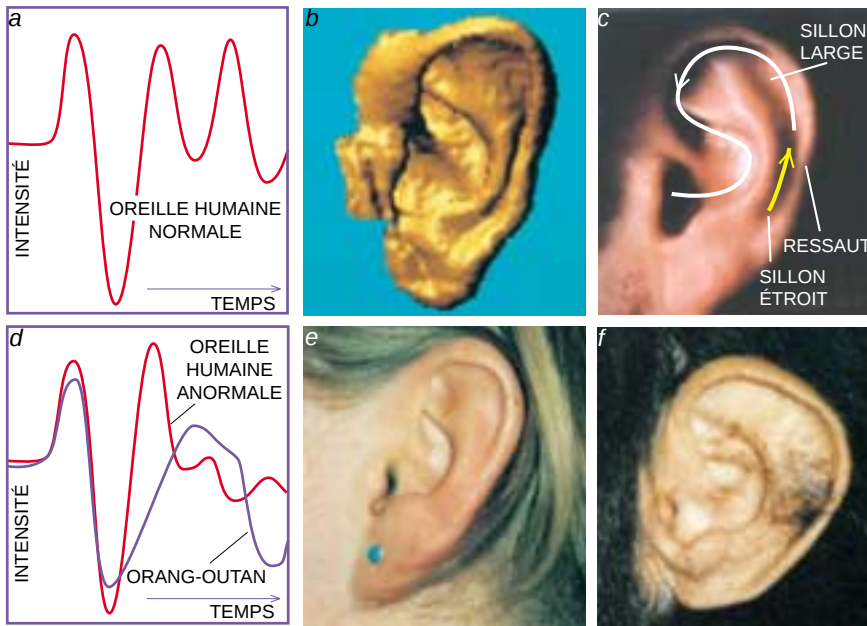




Chez l'homme, une brève impulsion sonore produit trois ondes, correspondant à trois pics sonores dans le conduit auditif (a). Pour comprendre l'origine de ces trois ondes, l'auteur a élaboré sur ordinateur un modèle tridimensionnel d'oreille (b). L'analyse de la propagation du son dans cette oreille a révélé que le deuxième pic sonore provient de la réflexion de l'onde incidente sur un ressaut du bord externe de l'oreille et que le troisième pic est dû à une réflexion supplémentaire sur le fond d'un étroit sillon (c). Ces résultats sont confirmés par les enregistrements effectués sur des personnes dont les oreilles sont dépourvues du ressaut et du sillon étroit (e) et sur des oreilles de singes anthropoïdes (f). Dans ces deux cas, il n'apparaît que deux pics sonores dans le conduit auditif. Le décalage entre le premier et le deuxième pic chez le singe correspond à celui qui sépare le premier et le troisième pic chez l'homme (d).

aussi étudié les pavillons de onze orang-outans et chimpanzés et d'un gorille.

Chez les singes nous avons systématiquement enregistré le deuxième signal, mais jamais de troisième. En revanche, le deuxième pic est décalé par rapport à celui que l'on enregistre chez l'homme. Chez l'homme, le premier signal correspond à l'onde qui pénètre directement dans le conduit auditif. Le deuxième à l'onde réfléchiée par un ressaut présent sur le bord externe de l'oreille ; l'onde réfléchiée se propage dans le sillon large qui borde l'oreille (voir le cartouche c sur l'illustration). Quant au troisième signal, il correspond à l'onde réfléchiée sur le fond du sillon étroit situé sous le ressaut. Les personnes qui ne présentent pas de troisième signal n'ont pas de ressaut sur le bord de l'oreille, ni de sillon étroit.

Le ressaut raccourcit le décalage entre le premier signal et le deuxième (le décalage est plus court que chez les singes anthropoïdes) et il permet à un troisième signal d'être produit. Une audition affinée a-t-elle facilité le déchiffrement des informations ? L'amélioration des performances a-t-elle favorisé l'émergence du langage humain ? En bref, ce ressaut a-t-il été une innovation évolutive favorable pour le genre *Homo* ?

Johann Burchard

Maternité et tolérance

Une molécule qui permet au fœtus de ne pas être rejeté par la mère a été identifiée.

Les greffes sont rejetées quand l'hôte et le donneur ne partagent pas les mêmes «molécules du soi». Pourquoi un fœtus, qui n'a en commun avec sa mère que la moitié du patrimoine génétique, et qui n'a notamment pas les mêmes molécules du soi, est-il toléré par sa mère ? Cette question qui préoccupait les immunologistes depuis longtemps semble être élucidée : Edgardo Carosella, ses collègues du CEA et Jean Dausset, à l'hôpital Saint-Louis, ont isolé une molécule qui confère la tolérance immunologique.

Ces biologistes ont montré que les cellules du trophoblaste portent des molécules du soi spécifiques. Le trophoblaste est l'enveloppe de l'œuf fécondé qui se niche dans la paroi de l'utérus. Dès les tout premiers jours, les cellules de ce tissu expriment des antigènes HLA-G (ni la mère, ni le fœtus n'en expriment). Cet antigène du soi présente une différence essentielle avec les autres molécules HLA

exprimées tant par la mère que par le fœtus : il n'est quasiment pas polymorphe.

Les molécules du complexe majeur d'histocompatibilité sont caractérisées par leur polymorphisme, c'est-à-dire par leur diversité, laquelle résulte de la recombinaison des gènes codant les molécules HLA de la mère et du père. Le répertoire des molécules HLA d'une personne est sa carte d'identité biologique. Contrairement à ces molécules, la molécule HLA-G n'est quasiment pas polymorphe, c'est-à-dire que l'on ne trouve que deux formes de la protéine HLA-G.

Quel est son rôle ? Elle inhibe un des deux mécanismes du rejet tissulaire. Les acteurs de ces mécanismes sont d'une part les lymphocytes T cytotoxiques, d'autre part les cellules naturelles tueuses. Les lymphocytes T subissent une «éducation» dans le thymus, c'est-à-dire que les cellules reconnaissant les molécules du soi sont éliminées. Les lymphocytes T ne reconnaissent pas HLA-G comme étranger.

En revanche, la molécule HLA-G inhibe l'action des cellules naturelles tueuses. Normalement, ces cellules tueuses éliminent d'abord toutes les cellules qui ne portent pas les antigènes HLA (les HLA-A, B et C à l'exception du

HLA-G). Or, les cellules naturelles tueuses abondent dans l'endomètre maternel, au moment de la nidation de l'œuf, et pourtant elles n'attaquent pas les cellules du trophoblaste qui ne portent pas ces molécules.

L'équipe d'E. Carosella a montré que la molécule HLA-G interagit avec un récepteur porté par les cellules naturelles tueuses, nommé KIR. Afin de prouver que cette interaction inhibe effectivement les cellules naturelles tueuses, ces biologistes ont, d'une part, transfecté des cellules cibles des cellules naturelles tueuses avec le gène *HLA-G* : les cellules transfectées expriment *HLA-G*, ce qui inhibe l'activité des cellules tueuses. D'autre part, ils ont utilisé un anticorps spécifique de la molécule HLA-G qui musèle *HLA-G* : l'activité des cellules naturelles tueuses est restaurée. Enfin, ces expériences ont permis de démontrer le caractère universel de l'antigène HLA-G.

Ainsi, en rassemblant tous les éléments du puzzle, on peut proposer le schéma suivant pour expliquer la tolérance materno-fœtale : les cellules du trophoblaste expriment, dès que l'œuf s'implante, une molécule universelle, nommée HLA-G. Celle-ci interagit avec un récepteur des cellules naturelles

Criquets envahisseurs

Après le Sud-Ouest, l'Ouest de Madagascar sera bientôt envahi par les criquets migrateurs, qui pèseront sur les ressources alimentaires de l'île pendant plusieurs années. Selon Jean-François Duranton, du CIRAD-GERDAT-PRIFAS, la réduction de la lutte anti-acridienne depuis quelques années est responsable de l'augmentation progressive des densités de criquets depuis 1991. La dernière invasion généralisée s'est produite entre 1939 et 1957, des actions préventives ayant enrayer les invasions de 1961 et de 1981.



Empreintes digitales... digitalisées

Les chercheurs du CEA ont mis au point un système de capteurs suffisamment petits pour enregistrer les variations de pression dues aux empreintes digitales. Un tel dispositif, où les empreintes sont numérisées, est utilisable comme moyen de reconnaissance de l'individu.

Vers à thé

La production des feuilles de thé de plusieurs plantations indiennes a augmenté de 35 à 240 pour cent grâce à un stimulateur de fertilité vivant : des vers de terre. Leurs déplacements favorisent l'aération et le drainage. En outre, les vers, nourris de divers résidus organiques enterrés, rejettent près des racines des éléments minéraux nutritifs et, peut-être, des hormones de croissance. Selon des biologistes de l'ORSTOM, les vers réduisent aussi la présence de certains parasites.

Recréer le vivant?

Les chimistes étudient les liposomes, structures sphériques définies par une double couche de molécules, analogue à la membrane des cellules vivantes. Gali Steinberg-Yfrach et ses collègues de l'Université de l'Arizona ont introduit, dans la membrane de liposomes, des molécules dont la partie centrale capte la lumière, ce qui provoque l'apparition de charges électriques opposées entre les deux extrémités. Cette séparation de charges provoque ensuite, grâce à d'autres molécules placées également dans la membrane, le pompage d'atomes d'hydrogène vers l'intérieur des liposomes ; c'est de l'énergie en réserve.

teuses présentes dans l'endomètre, ce qui les inhibe. La tolérance est ainsi établie pour toute la grossesse.

Ce schéma semble confirmé par le fait que dans les cas de prééclampsie (un rejet brusque du fœtus), le placenta ne présente pas de molécules HLA-G, tandis que les placentas normaux, analysés après une interruption volontaire de grossesse, en portent. Lors d'une infection par un herpèsvirus, entraînant un avortement spontané, on constate que les molécules HLA-G ne sont pas exprimées à la surface des cellules du trophoblaste.

Quelles sont les applications potentielles de cette découverte? On peut en

imaginer dans les domaines de la stérilité, de la cancérogenèse et des greffes. Ainsi, chez certaines femmes, l'œuf fécondé ne s'implante pas ; peut-être l'expression de la protéine HLA-G est-elle alors anormale. On pourra aussi étudier si les cellules tumorales, qui ne sont pas détruites par le système immunitaire, expriment la molécule de tolérance HLA-G. Enfin, cette molécule autorisera peut-être les xénogreffes : des animaux transgéniques, notamment des porcs, qui exprimeraient sur toutes leurs cellules la molécule HLA-G humaine, pourraient fournir les organes vitaux qui font tant défaut et qui seraient tolérés par l'homme.

Étranges collisions

De nouvelles particules déjouent-elles les prévisions des physiciens?

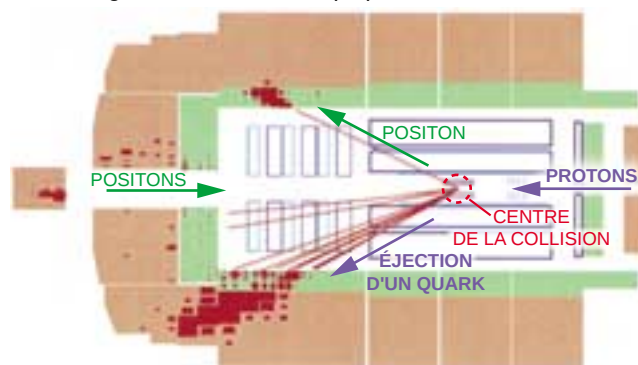
Depuis son élaboration il y a 25 ans, le «modèle standard» de la physique des particules a permis de décrire et de prédire statistiquement toutes les observations expérimentales dans ce domaine. Sera-t-il bientôt englobé dans une nouvelle théorie, plus fondamentale? En provoquant des collisions qui permettent d'atteindre un domaine d'énergie inexploré jusqu'à présent, les physiciens qui collaborent aux expériences H1 et ZEUS, auprès du collisionneur HÉRA à Hambourg, ont observé des événements inattendus, qui, s'il ne s'agit pas d'une fluctuation statistique, témoigneraient de l'existence de particules inconnues dans le modèle standard.

Les expériences H1 et ZEUS envoient l'un contre l'autre des faisceaux de protons et de positons (des anti-électrons). Un positon peut interagir avec un quark (les quarks sont des particules constitutives du proton), dans une collision inélastique. Au cours de cette interaction, un boson, qui transporte la force électrofaible, est émis par le positon et pénètre, telle une sonde, dans le proton : sa résolution spatiale est d'autant plus fine que le carré de son énergie-impulsion, noté

Q^2 , est grand. Le positon est ensuite diffusé, et le quark est expulsé du proton. Le modèle standard permet de calculer la probabilité de tels événements, ainsi que de prédire les distributions statistiques des variables caractéristiques (énergie, angle...) des particules diffusées.

Les expériences H1 et ZEUS ont observé 24 collisions pour lesquelles Q^2 était supérieur à 15 000 gigaelectronvolts au carré, alors que le modèle standard n'en prévoit que 13,4 en moyenne pour la même durée d'expérience. En outre, pour sept de ces collisions observées par l'expérience H1, ou le positon est fortement rétrodiffusé, l'énergie disponible pour créer de la masse au cours de la collision a une valeur quasi identique, proche de 200 gigaelectronvolts : selon le modèle standard, on ne devrait observer que 0,95 collision possédant toutes ces caractéristiques.

Entre mars et novembre 1997, le nombre de collisions observées sera doublé, et leur analyse devrait permettre de savoir si l'effet observé est dû ou non à une fluctuation statistique. Trois hypothèses expliqueraient les observations,



Dans le collisionneur HÉRA, un faisceau de proton (venant de droite) rencontre un faisceau de positons (venant de gauche). Les physiciens ont observé un nombre anormalement grand de collisions à haute énergie où un positon est rétrodiffusé : de nouvelles particules interviendraient-elles lors de ces collisions?

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 leptiquarks, 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 leptiquark 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

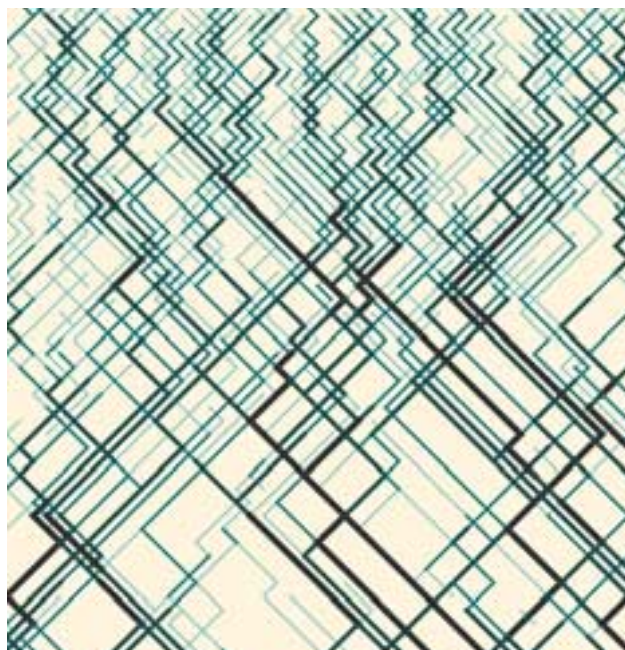
La formation de «voûtes» distribue le poids des grains

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 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