

De l'uranium dans les étoiles

Pour la première fois, les astrophysiciens ont détecté de l'uranium dans les étoiles. Ils en déduisent l'âge de la Voie lactée.

Les étoiles fabriquent des éléments, soit à la fin de leur vie, au moment de leur explosion, ce qui donne naissance aux éléments lourds, soit au cours des étapes de fusion thermonucléaire qui ont lieu dans leurs entrailles (donnant les éléments dont le numéro atomique est inférieur à celui du fer). La concentration en éléments lourds dans les étoiles anciennes nous renseigne sur le temps qui s'est écoulé depuis l'explosion des étoiles qui ont créé ces éléments. Si l'on parvenait à évaluer cette concentration dans des étoiles contemporaines des débuts de notre Galaxie, on pourrait estimer l'âge de cette dernière. Grâce à la première détection de l'uranium dans une étoile ancienne, Roger Cayrel et ses collègues de l'Observatoire de Paris ont estimé l'âge de notre Galaxie à 12,5 milliards d'années.

Les étoiles les plus vieilles, formées au début de la Galaxie, n'ont été «polluées» que par les éléments lourds provenant de l'explosion des premières supernovae, explosion antérieure à la formation de la Voie lactée : elles contiennent peu d'éléments lourds (plus les étoiles sont récentes, plus elles ont de chances de contenir les éléments lourds produits au moment de l'explosion de supernovae plus

récentes). Ainsi, les astronomes ont d'abord recherché des étoiles contenant peu d'éléments lourds : ils ont découvert une étoile qui contient 800 fois moins d'éléments lourds, tel le fer, que le Soleil. Cette étoile contenait aussi des éléments lourds issus de la capture de neutrons, tels l'uranium, à une concentration élevée par rapport aux concentrations usuelles. C'est cette composition particulière qui a permis la première détection de la raie de l'uranium dans un spectre stellaire : dans toutes les autres étoiles, y compris dans le Soleil, quand on enregistre leur spectre d'émission, la raie spectrale de l'uranium – peu intense – est masquée par les intenses raies du fer. La concentration «anormalement» élevée en uranium de cette étoile en a facilité la découverte.

Quel est l'intérêt de cette détection ? L'uranium 238 est un élément radioactif dont la période de décroissance est égale à 4,47 milliards d'années. On détermine la concentration en un élément stable engendré par le même événement que l'uranium (sans doute l'explosion de la supernova qui a synthétisé tous les éléments lourds présents dans cette étoile massive). Connaissant la proportion de cet élément stable et de l'uranium, et la période de l'uranium, on peut en déduire le moment où a eu lieu l'explosion.

Jusqu'à aujourd'hui, le seul traceur radioactif qui avait été utilisé était le thorium 232 (sa raie spectrale est plus facile à observer). Toutefois, sa période de décroissance radioactive étant de 14 milliards d'années, l'incertitude sur la détermination de l'âge était de l'ordre de 4 à 5 milliards d'années, soit un tiers de l'âge de l'Univers. Avec l'uranium, qui décroît huit fois plus vite, la précision devrait être trois fois meilleure. La première estimation de l'âge de formation de cet uranium (quasiment l'âge de la Galaxie, qui contenait alors moins d'un millièème du nombre actuel d'étoiles), est de 12,5 milliards d'années, avec une incertitude de trois milliards d'années. Les astronomes espèrent réduire l'incertitude d'un facteur deux en évaluant avec plus de précision la quantité d'uranium présent aujourd'hui et celle qui a été produite à l'origine. La décroissance radioactive, grâce à laquelle on date déjà les objets organiques sur Terre (à l'aide du carbone 14 par exemple), deviendra alors un précieux «chronomètre» cosmique.



Grâce à la détection d'uranium dans l'ancienne étoile CS 31082-001, on a évalué l'âge de la Voie lactée à 12,5 milliards d'années.

BRÈVES

Linné et Laki

La gloire de certains savants éclipse celle de leurs compatriotes : qui se souvient de Laki (Uppsala 1707–Rashult 1778)? Contemporain de l'auguste Linné qui inventa la nomenclature binomiale, Laki avait suggéré une nomenclature à trois échelons, les deux premiers noms étant caractéristiques de l'hérédité de la plante ou de l'animal, et le troisième concernant l'imprégnation résultant du contexte social. Le débat sur les parts respectives de Linné et de Laki en science dure encore...

Fouilles corréziennes

Alertés par des traces de fermes espacées, des taches de houille sur la craie et des morceaux de marne qu'ils venaient de débusquer, des archéologues ont mis au jour un humérus taché, deux bassins assez gros et des bouts de tarse. Ces chercheurs, experts en populations parties de la Castille, ont réussi à dater le corps en observant la longueur de la natte et des traces de chevelus. Ils ont aussi daté quelques pétales après prospection de leurs germes. (11)

Grands frais génétiques

Des spécialistes de la Paz connaissant bien les pectines ont découvert un exceptionnel génome en examinant un gueux. Avec un art très particulier pour décoder, ils ont initié une méthode – coûteuse mais ils font appel aux dons – pour fabriquer des pilules pouvant déplier les gènes. En agissant génétiquement, sans freiner son évolution, sur le code d'une souris allongée dans une gaze spéciale, ils ont suivi en les reproduisant les pistes de la plupart des gènes, tout en évitant la croissance de fœtus qu'il est toujours pénible d'emballer. (9)

Fini, les bouillies de chiffres!

Las qu'on débîne leurs sites et traumatisés par l'abus des vendeurs en ligne qui ne rêvent que de ventes fastes, des ingénieurs matheux de Yahoo sont parvenus à de meilleures performances, d'abord en traitant mieux l'étain de leurs puces. Puis, ces spécialistes de Lannion experts en consoles ont réussi à directement enficher, sans avoir besoin de les caler, leurs fibres de choix dans des prises de pros. Ils consacrent ainsi des aires bien définies aux connexions simplement obtenues en pressant la touche au dessus de chaque fibre. (11)

BRÈVES

L'anatomie de l'humour

Vous avez souri aux brèves de la page précédente? Vous avez le sens de l'humour, une caractéristique de l'homme essentielle lors des interactions sociales. Le «sens de l'humour» a été en partie élucidé par des Britanniques et des Canadiens grâce à une méthode d'imagerie cérébrale (l'IRM fonctionnelle). Ils lisaient des plaisanteries à des personnes dont ils enregistraient l'activité cérébrale et qui devaient dire si elles trouvaient les blagues drôles ou non. Chaque fois que la réponse était affirmative, un centre cérébral spécifique était activé. Il est situé dans le cortex préfrontal ventro-médian, une région qui participe au traitement de la récompense. Se sent-on récompensé quand on a entendu ou dit une plaisanterie?

Pièces d'or dans un cimetière

Une jarre contenant 82 pièces d'or datant de la dynastie arabe des Omeyyades, fondée au VII^e siècle, a été retrouvée dans un cimetière du Nord de la Syrie, par une famille qui creusait une tombe pour un deses défunts. Les pièces mesurent entre 1,6 et 1,7 centimètre de diamètre, et portent l'inscription de la profession de foi musulmane: «Il n'y a de Dieu que Dieu», sur une face, et «Mohammad est son prophète» sur l'autre. Le trésor aurait appartenu à un contemporain de la dynastie des Ayyubides, fondée au XII^e siècle, car la jarre qui le contenait date de cette époque.

Plastiques à mémoire de forme

Certaines branches de lunettes se plient dans tous les sens sans casser. Elles sont composées de matériaux à mémoire de

forme, qui adoptent une forme à une température et une autre à une température différente. Ce sont le plus souvent des alliages métalliques, mais Andreas Lendlein, à Aix-la-Chapelle, a mis au point un plastique à mémoire de forme, qui contient deux polymères: le premier cristallise sous forme de ponts qui lient les longues chaînes du second. Quand la température augmente, les cristaux fondent, et la forme du plastique change. Ce plastique est biocompatible: on pourrait

fabriquer des mini-prothèses qui, à la température du corps, se déploieraient et prendraient la forme voulue.

Que mangent les vaches?

Les proportions des isotopes de l'azote indiquent si les bovins ont mangé des farines carnées ou des végétaux.

Comment savoir si le steak que vous vous apprêtez à dévorer provient d'une vache nourrie aux farines animales ou à l'herbe? Un test mis au point par Antonio Delgado, biochimiste au Conseil supérieur espagnol de la recherche scientifique, donne la réponse. Ce test peut être pratiqué sur de la viande, ou, si l'animal est toujours vivant, sur des poils, ou sur divers tissus contenant des protéines, tels la corne et le sang. On détermine, par spectrométrie de masse, les proportions d'azote 14 et d'azote 15 dans ces tissus.

Les deux isotopes de l'azote, dont l'un contient 7 neutrons et l'autre 8, sont stables et représentent respectivement 99,63 pour cent et 0,37 pour cent de l'azote présent sur Terre. Ils ont les mêmes propriétés chimiques, mais, à cause de leurs différences de structure et de masse (l'isotope 15, qui contient un neutron de plus, est plus lourd), les réactions chimiques auxquelles ils participent ne se produisent pas à la même vitesse, et les liaisons chimiques qu'ils forment avec d'autres atomes n'ont pas la même stabilité. Ces variations sont infimes, mais suffisent pour que l'un des deux isotopes soit préférentiellement assimilé ou éliminé par certains organismes vivants. Ce phénomène de «fractionnement isotopique» est limité dans les plantes, qui assimilent l'azote de l'environnement, contenu notamment dans les nitrates et dans l'ammoniaque issu des matières organiques en décomposition, en conservant les proportions «naturelles» des deux isotopes.

En revanche, chez les animaux, les proportions d'isotope 15 sont plus élevées que dans leurs aliments d'origine végétale: l'organisme excrète proportionnellement plus d'azote 14 que d'azote 15 sous forme d'urée. Cet enrichissement en azote 15 a lieu lors de la réaction de transamination (l'échange d'un groupement amine) entre certains acides aminés, qui joue un rôle important dans la dégradation de ces acides et dans la libération d'ammoniaque, précurseur de l'urée.

Ainsi, les protéines des bovins contiennent davantage d'azote 15 que l'herbe qu'ils mangent. L'enrichissement se poursuit au fil de la chaîne alimentaire: l'homme est plus «riche» en

Jean-Michel Thiriet



azote 15 que les bovins. Plus la chaîne alimentaire contient de carnivores, plus le dernier maillon est riche en azote 15: la source d'azote étant toujours plus riche en isotope 15, le mécanisme d'enrichissement se renforce à chaque étape. Ainsi, les protéines des bovins qui ont mangé des farines carnées contiennent davantage d'azote 15 que celles des bovins qui n'ont mangé que des produits d'origine végétale. Ce phénomène est utilisé en archéologie depuis une vingtaine d'années pour déterminer le régime alimentaire de populations humaines ou animales anciennes. On a ainsi découvert que certains hommes de Néandertal consommaient essentiellement de la viande d'herbivores.

Le test est simple: on utilise un spectromètre de masse «isotopique», qui ionise les molécules d'azote issues de la combustion des protéines analysées. Les ions formés passent dans un champ électro-magnétique qui les dévie plus ou moins en fonction de leur masse, de sorte que l'on distingue ceux qui contiennent de l'azote 14 et de l'azote 15. Toutefois, pour interpréter les résultats, on doit connaître l'environnement des animaux, car divers facteurs, tels que l'utilisation d'engrais ou l'altitude, influent sur les proportions isotopiques de l'azote dans la nature. D'après les signatures isotopiques de l'azote mesurées sur les tissus des bovins, on ne pourra conclure qu'ils ont été nourris avec des farines carnées que si l'on établit au préalable des tables de valeurs «normales», valables pour les bovins nourris exclusivement avec des produits végétaux, et cela, pour chaque zone d'élevage.

L'analyse isotopique pourrait servir à vérifier si les farines animales ont réellement cessé d'être utilisées, et à quel moment elles ont été supprimées. Reste à trouver qui paiera pour mettre en œuvre ce test susceptible de redonner aux consommateurs l'envie de manger, sans crainte, de la viande de bœuf, et de restaurer une confiance qu'ils ont, en partie, perdue.

Hervé BOCHERENS, Université Paris 6, Laboratoire de biochimie isotopique

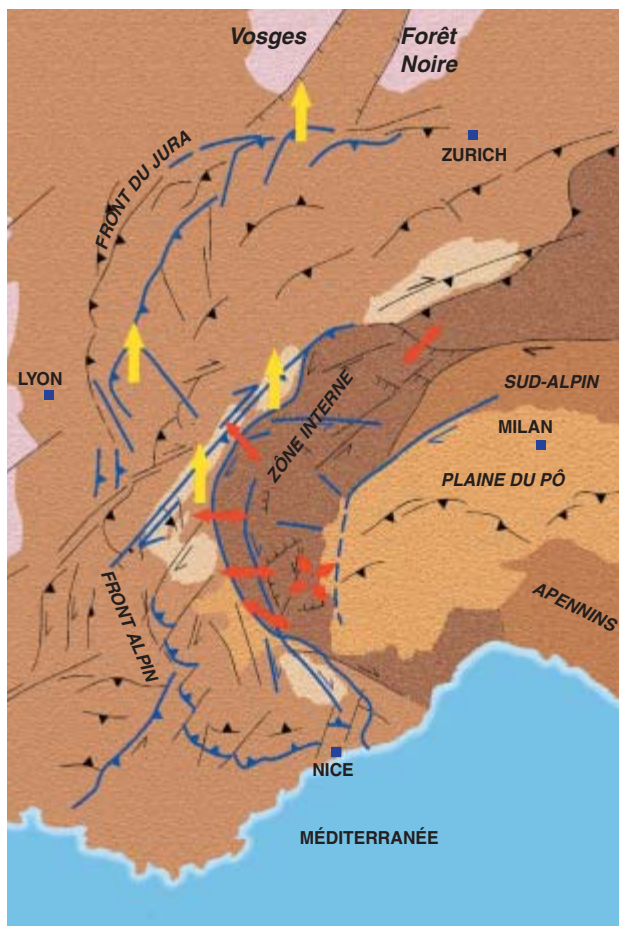
L'extension au cœur des Alpes

Les Alpes subissent simultanément des phénomènes de compression et d'extension dans des régions voisines.

Les Alpes sont toujours vivantes : la convergence de la plaque africaine vers la plaque européenne, à l'origine de leur formation, se poursuit encore aujourd'hui. Cette activité est généralement synonyme de risques naturels, tels des glissements de terrain ou des séismes. Pour les géologues, elle représente un champ de déformation en activité dont la caractérisation et l'interprétation devraient les aider à mieux comprendre l'évolution passée et future des continents. Ainsi, entre 1996 et 2000, dans le cadre du Programme national *Géo-France 3D – Alpes*, les analyses des géologues et des géophysiciens des Universités de Chambéry, Grenoble, Lyon, Marseille, Montpellier et de Nice, et du Bureau de recherches géologiques et minières, le BRGM, ont permis d'établir la carte de la déformation actuelle des Alpes. Nous avons ainsi observé que la zone située au cœur des Alpes est soumise à des processus d'extension, malgré la convergence de l'Afrique vers l'Europe.

Pour construire cette carte, nous avons regroupé les données obtenues par quatre méthodes complémentaires : la tectonique, c'est-à-dire l'étude des failles récentes et/ou actives, sur le terrain et par imagerie satellite ; la sismologie, qui analyse l'activité sismique et les mécanismes mis en œuvre aux foyers des séismes et qui relie ces foyers aux failles observées en surface ; la géochronologie, qui étudie les traces laissées par la fission de l'uranium dans certains minéraux qui sont des chronomètres naturels ; et enfin la géodésie, évaluation des mouvements horizontaux ou verticaux actuels des montagnes par observation satellite (grâce au réseau GPS), et par comparaison des mesures de nivellements effectuées sur quelques décennies.

La déformation horizontale des Alpes est plus lente (de l'ordre de trois millimètres par an en moyenne) que celle de chaînes de montagnes telles que l'Himalaya ou les Andes (jusqu'à quelques centimètres par an), et elle est surtout très hétérogène. Nous avons distingué trois domaines principaux, selon les déformations qu'ils subissent. D'abord, les zones externes des Alpes occidentales, dessinant un arc entre Zurich, Lyon et Nice, sont soumises à un régime compressif, ce qui se traduit par une série de chevauchements actifs et de grands décrochements (ou failles de coulissage). Aujourd'hui, de façon très spectaculaire, le Jura est soumis à un raccourcissement selon l'axe Nord-Ouest/Sud-Est de l'ordre de quatre à cinq millimètres par an, accompagné de mouvements verticaux, dits de surrection, de l'ordre de un millimètre par an : les roches déformées se plissent et se soulèvent.



Bien que la plaque africaine remonte vers l'Europe, la soumettant à un régime de compression, une zone (en marron foncé), au cœur des Alpes, résiste à la compression, subissant même des phénomènes d'extension (les flèches rouges). Les lignes bleues indiquent les principales structures actives : les chevauchements (les segments avec des triangles) et les failles (les segments avec des traits). Les demi-flèches montrent le sens du déplacement des blocs qui coulissent. Les flèches jaunes indiquent les zones qui subissent des mouvements de surélévation.

Dans les Alpes du Sud et en Provence, la compression se produit selon des axes Nord/Sud et Nord-Ouest/Sud-Est. La zone Sud-Alpine et la plaine du Pô subissent aussi une compression, d'axe Nord/Sud. Enfin, entre ces deux domaines en compression, les zones internes des Alpes occidentales, situées dans l'axe de la chaîne, sont soumises à un régime d'extension : les limites de la région ont tendance à s'étendre de façon radiale, bien qu'elles soient entourées de zones de compression. En revanche, dans le Queyras, l'extension se produit dans toutes les directions.

On observe bien cette tectonique dans la région de Briançon où la principale limite entre les Alpes internes et externes, après avoir progressé en chevauchement pendant plusieurs dizaines de millions d'années, évolue, aujourd'hui, en extension. Toujours dans la région de Briançon, le couloir de failles de la haute Durance est une

zone de fractures et de décrochements. À l'échelle régionale, les mécanismes, aux foyers des séismes, révèlent que cette extension se produit aussi en profondeur : les zones internes des Alpes subissent un régime tectonique d'extension généralisé.

La découverte d'une telle extension, localisée entre deux domaines en compression, pose bien sûr une question géodynamique, puisque cette extension se produit en même temps que la convergence de l'Afrique vers l'Europe se poursuit. Les travaux géochronologiques menés récemment montrent que l'activité du réseau de failles de la haute Durance aurait commencé il y a une dizaine de millions d'années, tout comme la réactivation extensive de la limite des Alpes internes et externes. Cette réactivation perdure aujourd'hui.

Il est fort probable que cette extension soit contrôlée par la géométrie de la chaîne de montagnes et par les déplacements du manteau sous les Alpes. Ce phénomène d'extension entre des zones de compression ouvre de nouvelles voies de recherche sur la déformation des continents.

Jean-Marc LARDEAUX et
Stéphane SCHWARTZ,
Université Lyon I

Un mammouth du troisième type

Les 325 ossements et molaires de mammouth retrouvés à Romain-la-Roche, dans le Doubs, cumulent les caractéristiques des deux espèces de mammouths connues : le mammouth des steppes, de 5,5 mètre de hauteur, qui vécut entre 850 000 et 300 000 ans avant notre ère et le mammouth à toison laineuse, plus petit, qui vécut entre 100 000 et 10 000 ans avant notre ère. Selon Patrick Paupe, responsable du site, l'étude de la géométrie des molaires, qui représente souvent l'«emprunte digitale» d'une espèce, la taille des fémurs, et l'âge des os (entre 150 000 et 18 000 ans avant notre ère), indiquent que le mammouth du Doubs fait le lien dans l'évolution, entre les deux espèces connues.

Mini-char d'assaut

Ce robot autonome est l'un des plus petits du monde : il tient sur une pièce de monnaie. Deux moteurs alimentés

par trois piles de montre font tourner les roues sur cheville et avancer le robot à 50 centimètres par minute. Il est équipé d'une caméra, d'un microphone et d'un capteur chimique. Les roboticiens des laboratoires *Sandia*, qui l'ont mis au point, envisagent des applications de détection dans des zones dangereuses.



Le bacille de la lèpre

La lèpre touche encore de nombreux pays, tels le Brésil, la Guinée, l'Inde, Madagascar... Chaque année, en France, 25 nouveaux cas surviennent, 700 000 dans le monde. Près de deux millions de personnes, souvent exclues par la société, souffrent des infirmités consécutives à la maladie. L'équipe de Stewart Cole, à l'Institut Pasteur, en collaboration avec une équipe britannique, a réalisé le séquençage complet du bacille. Le génome la mycobactérie de la lèpre et celui de la tuberculose sont très proches. Leur comparaison a révélé quelques gènes spécifiques du micro-organisme de la lèpre, sans doute des pistes pour la mise au point de tests de dépistage précoce (dès le début du traitement, les malades cessent d'être contagieux) et de traitements moins lourds que celui dont on dispose aujourd'hui, qui nécessite l'administration d'une combinaison d'antibiotiques, parfois pendant un an.

Certaines brèves d'avril se terminent par une parenthèse ; ce n'est pas une faute de frappe, mais le nombre d'énigmes que vous aurez résolues (voir www.pourlascience.com).

Gaz de grains

Les gaz de billes ressemblent étrangement aux gaz moléculaires.

Il n'y a pas de différence entre un tas de sable et l'air que l'on respire... ou presque! Depuis la fin du XIX^e siècle, on sait comment se comportent les molécules d'un gaz : comme des billes! Dans leur théorie cinétique des gaz, Maxwell et Boltzmann ont montré que – pour l'essentiel – tout se passe comme si les molécules de gaz étaient des sphères. Quelle différence y a-t-il entre un gaz constitué de molécules et un milieu granulaire contenant des particules? La taille des constituants, puisque les molécules gazeuses ont un diamètre de l'ordre de quelques nanomètres, tandis que les constituants d'un milieu granulaire ont des tailles supérieures à 10 micromètres. C'est du moins l'hypothèse que nous avons faite pour tenter de préciser le comportement de ces milieux, fréquents dans la nature, sous la forme de dunes de sable, de tas de grains dans un silo ou de poudres dans l'industrie.

Le comportement de ces milieux granulaires mi solides, mi fluides, est complexe, et les physiciens ont des difficultés à mettre au point des modèles physiques pour les décrire. C'est pourquoi ils procèdent à l'inverse : ils recherchent les circonstances où un modèle physique connu s'applique. C'est ce que nous avons fait en utilisant la théorie cinétique des gaz.

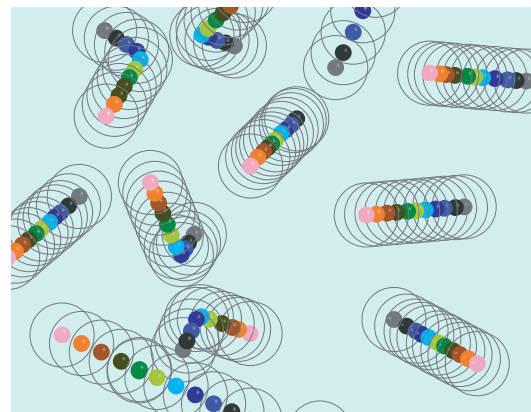
Selon le principal résultat de la théorie de Maxwell-Boltzmann, la distribution des vitesses (le nombre de molécules ayant la même vitesse) des molécules en mouvement dans un gaz ne dépend que de la température du milieu, ou encore de l'agitation thermique. Pour rechercher si ce résultat est applicable aux milieux granulaires, il nous fallait définir l'équivalent de la température d'un «gaz» de grains macroscopiques, une grandeur qui décrit l'agitation des grains. Dans un milieu granulaire, l'énergie qui agit les grains ne peut venir que de l'extérieur, puisqu'il n'y a pas d'agitation thermique en raison de la taille macroscopique des grains. Les physiciens ont défini la «température granulaire» par l'énergie cinétique moyenne des grains.

Afin de tester si une loi analogue à la loi de Maxwell-Boltzmann s'applique aux gaz de grains, nous avons réalisé l'expérience suivante : plusieurs cen-

taines de petites billes d'acier de 1,5 millimètre de diamètre, sont placées dans une petite boîte parallélépipédique faite de plastique transparent ; la hauteur et la largeur de cette boîte sont assez grandes (plusieurs dizaines de fois le diamètre d'une bille), mais son épaisseur excède à peine le diamètre des billes (une seule couche de billes sur l'épaisseur de la boîte). Quand cette cuve est mise en vibration, les grains se déplacent seulement dans un plan vertical, et les chocs sur les parois latérales sont relativement rares. Si l'agitation cesse, les billes se tassent sur le fond de la boîte en quelques secondes. Si l'on veut obtenir un «gaz de billes», c'est-à-dire un état d'agitation stationnaire, on doit maintenir la boîte en vibrations en lui conférant des accélérations notables. De cette façon, de l'énergie est fournie en permanence au système, qui la dissipe lors des collisions inélastiques entre billes. Nous avons observé ce type de régime stationnaire à l'aide d'une caméra rapide, qui enregistre 2 000 images par seconde.

Ensuite, nous avons traité par ordinateur les innombrables données obtenues. Ainsi, nous avons reconstitué les vitesses successives de chaque bille (de l'ordre de un mètre par seconde) d'après des photographies successives des différentes positions, puis nous les avons ordonnées par classes de vitesses. Ces quelque 100 000 mesures ont livré la loi de distribution des vitesses des billes dans un gaz de billes. Nous avons répété l'expérience et les calculs pour différentes accélérations, diverses densités de grains et plusieurs formes de boîte.

Tous ces résultats montrent que, comme pour un gaz, la fonction de distribution des vitesses d'un gaz de billes ne dépend que de la température granulaire. La loi de distribution des vitesses que nous avons établie ne diffère de la loi de Maxwell-Boltzmann que



Trajectoires de quelques billes, observées dans la cuve soumise à des vibrations. Les disques de couleur représentent les positions successives des centres des billes.