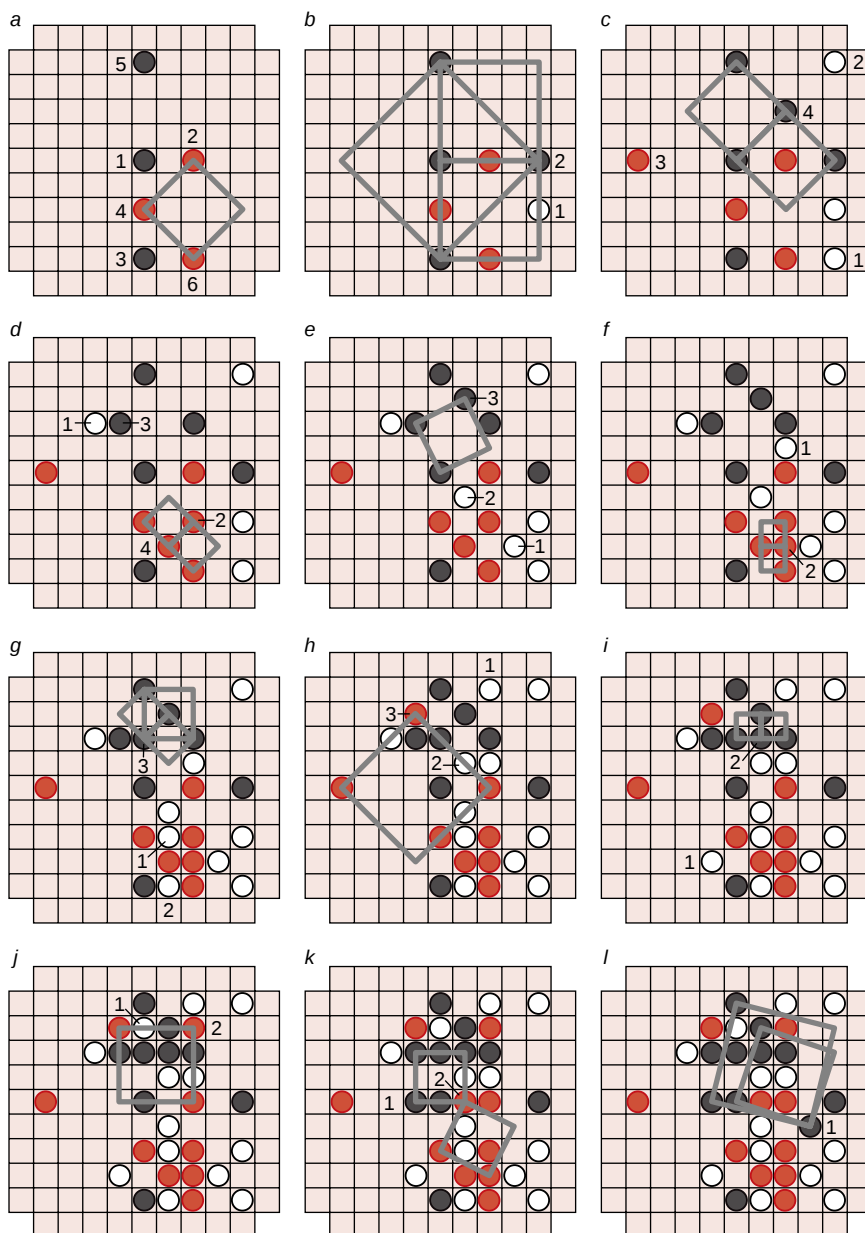


et six *quazars*. Une fois tous les *quads* posés, pour jouer son tour, il faut déplacer un de ses *quads* sur une case libre de son choix. À tout instant, on peut jouer ses *quazars*, mais une fois joués, ils ne peuvent être déplacés. Dans les *Polyquads*, chaque joueur a des *quads* de deux couleurs (voire plus), et il joue un *quad* de chaque couleur à chaque tour. Il ne crie : «Quad!» que lorsqu'il a formé un carré avec quatre *quads* d'une même couleur.

Dans le jeu des *Quads* rapides, chaque joueur reçoit six *quads* et six *quazars*. À chaque tour, il peut soit placer un nouveau *quad*, soit en déplacer un déjà posé. Les *quazars* sont joués, comme d'habitude, avant les *quads*. Les *Quads* croisés requièrent, comme au bridge, quatre joueurs formant deux équipes de deux. Les joueurs d'une même équipe s'assoient face à face autour de la grille ; une équipe a des *quads* noirs, l'autre des rouges. On tourne dans le sens des aiguilles d'une montre, et il est interdit de parler. Vous devez comprendre quelle est la stratégie de votre partenaire avant que vos adversaires ne l'aient fait. Cependant, vous pouvez lui envoyer des signaux, par exemple en agitant vos bras, en frappant la table de votre tête ou en sautant sur votre chaise. Si des lecteurs ont l'idée d'autres versions amusantes de ce jeu, qu'ils me les communiquent ; elles seront publiées dans «Réaction».

2. CET EXEMPLE DE JEU montre tous les carrés potentiels lorsqu'ils apparaissent dans la partie. Les nombres indiquent l'ordre dans lequel les pièces ont été jouées. Après dix coups, les rouges ont épuisé leurs *quazars*, et les noirs gagnent en jouant un coup bicarré.



Réaction

Le numéro 218 de *Pour la Science* (décembre 1995) a engendré nombre de lettres éclaircissant l'historique de la suite de «Morse-Hedlund» non-3 : 0110100110010110...

Jeffrey Shallit, de l'Université de Waterloo, écrit : «De nos jours, cette suite est attribuée au mathématicien norvégien Axel Thue, qui traita du problème des répétitions dans une suite d'articles à partir de 1906. Il prouva même qu'elle est sans chevauchement, une propriété encore plus forte. Son application aux échecs fut, remarquée pour la première fois, dans un résumé de Morse dans le *Bulletin de la société américaine de mathématiques*, vol. 44, n° 9, 1938, p. 632. Pour avoir une vision plaisante de cette application du travail de Morse, voir *A mathematician gives an hour to chess*, par D. MacMurray, dans le numéro 10 d'octobre 1938 de la *Chess Review*.»

Jean Brette, du Palais de la découverte, nous signale une référence plus ancienne «cette suite avait déjà été rencontrée

implicitement en 1851 par le mathématicien français E. Prouhet (*Compte rendus de l'académie des sciences*, vol. 33, n° 8, 25 août 1851, p. 225) dans l'étude d'un résultat intéressant : on peut séparer les entiers compris entre 1 et 2^m en deux classes A et B comportant le même nombre d'éléments de façon que la somme des puissances k ième des éléments de A soit égale à celle des puissances k ième des éléments de B, pour tout k inférieur à m . Pour cela on construit la suite de Morse M_m de longueur 2^m . L'ensemble A contient alors tous les entiers j tels que le j ième terme de M_m soit égal à 0 et B contient les autres. Par exemple, pour $m = 3$, la suite M_3 est 01101001, $A_3 = \{1, 4, 6, 7\}$, $B_3 = \{2, 3, 5, 8\}$ et on vérifie bien que $1 + 4 + 6 + 7 = 2 + 3 + 5 + 8 = 18$ et que $1 + 16 + 36 + 49 = 4 + 9 + 25 + 64 = 102$. Dans son article, Prouhet généralise ce résultat aux entiers compris entre 1 et n^m qu'il sépare en n classes vérifiant les mêmes égalités».

Des pois sans poids

SHAWN CARLSON

Faites germer des graines en pesanteur réduite.

Des phénomènes aussi remarquables qu'insoupçonnés ont lieu lorsque vous inclinez une plante : des hormones nommées auxines se rassemblent dans la partie inférieure des racines et de la tige. Elles stimulent la croissance et la division des cellules de la tige, de sorte que le bas de la tige croît plus vite que le haut et provoque son redressement. Dans les cellules des racines, au contraire, les auxines retardent la croissance cellulaire : les cellules pauvres en auxines, proches du haut des racines, se développent beaucoup plus vite que les cellules riches en auxines du bas des racines, ce qui dévie ces

dernières vers le bas. Ainsi les plantes couchées s'alignent sans cesse avec la force de pesanteur.

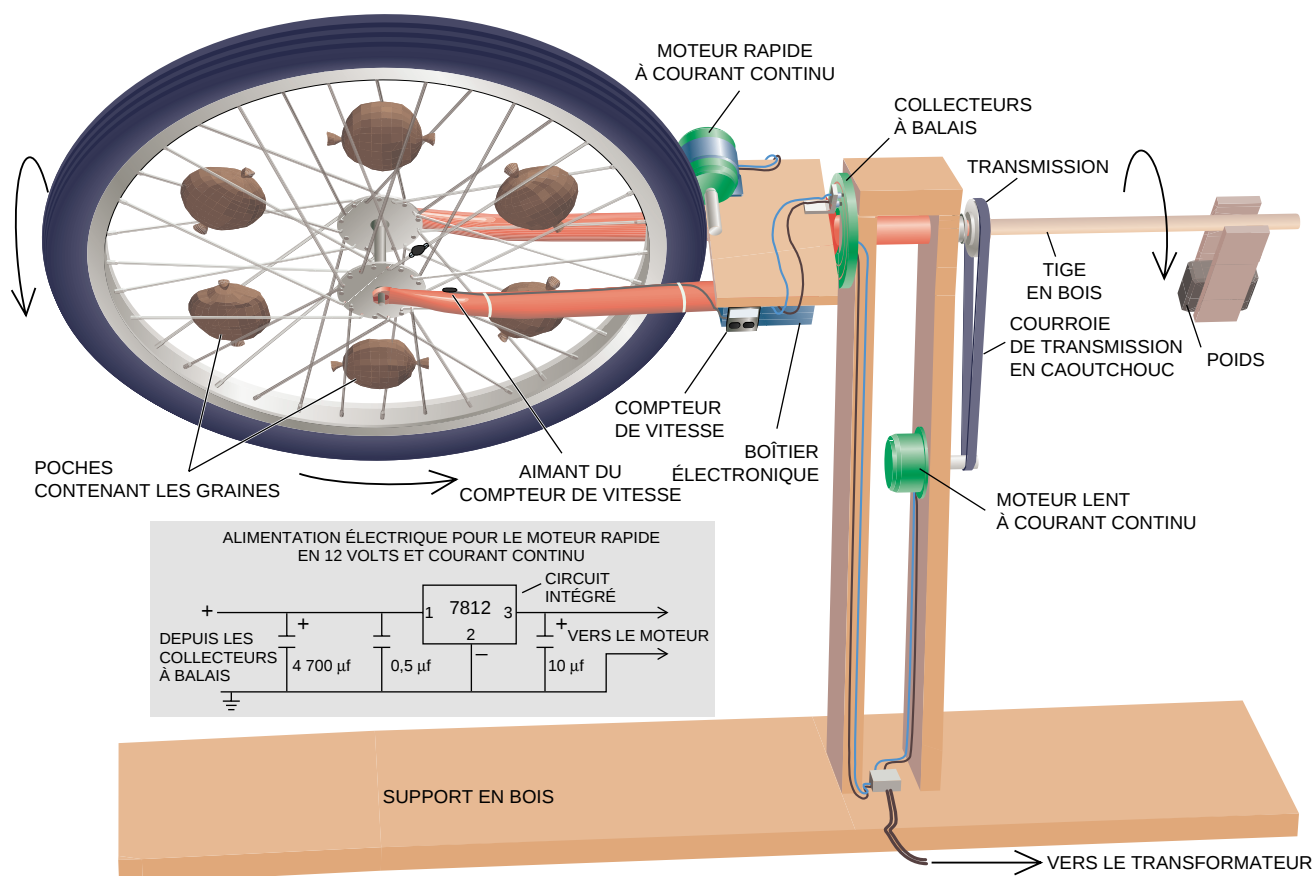
Les botanistes nomment géotropisme cette réaction des plantes à la pesanteur. Au début du XIX^e siècle, ils explorèrent le géotropisme en cultivant des plantes sur des roues en rotation, les exposant ainsi à des forces centrifuges ajoutées à la gravité ; les plantes poussent alors dans la direction opposée à la force résultante qui leur est appliquée, comme l'a montré le Palais de la Découverte.

Les botanistes ont d'abord observé que les plantes réagissent lentement à

la gravité : la plupart des plantes doivent être courbées pendant plus d'une minute avant que les auxines commencent à se répartir. Puis, au début du siècle, ils utilisèrent un appareil nommé clinostat, afin d'étudier les réactions des végétaux dans un environnement où la gravité est presque nulle. Les clinostats restent utilisés aujourd'hui : en faisant tourner lentement la plante aussi bien verticalement qu'horizontalement, le clinostat empêche celle-ci de s'orienter sur la gravité terrestre. La plante pousse alors comme s'il n'y avait pas de gravité du tout. Les clinostats ont fasciné des générations de scientifiques amateurs.

Curieusement, les biologistes professionnels ont prêté peu d'attention à ce qui est peut-être le plus intéressant domaine de recherche : le comportement entre 0 et 1 *g* (où *g* représente l'accélération communiquée à toute masse par la force de pesanteur terrestre, soit environ 9,8 mètres par seconde au carré). C'est une bonne nouvelle pour les amateurs, car un peu d'application peut leur valoir des découvertes originales.

Je vous propose d'utiliser une roue de bicyclette comme plate-forme rotative du dispositif. En choisissant bien la



UNE ROUE DE BICYCLETTE qui tourne transversalement et autour de son moyeu permet à des graines, contenues dans des poches fixées aux rayons, de germer comme à bord d'un vaisseau spatial.

En construisant l'alimentation électrique du moteur rapide, assurez-vous que le condensateur de 4 700 microfarads est situé à plus de cinq centimètres du circuit intégré de type 7812.

vitesse de rotation de la roue et en plaçant les graines à différentes distances de son moyeu, vous ferez germer des graines dans des conditions de pesanture variées. Observez les accélérations à partir desquelles les plantes commencent à réagir à la gravité et découvrez comment des plantes pousseraient sur Mars (dont la gravité est égale à 0,4 g environ).

Pour obtenir une accélération qui soit en moyenne égale à celle de la rotation, vous devrez simultanément faire tourner la roue autour de son axe et autour d'un axe horizontal. Pour réaliser l'ensemble du système, vous aurez besoin de pièces détachées de bicyclette, telles une fourche avant et sa colonne de direction, que vous vous procurerez pour rien si vous récupérez des pièces détachées d'occasion. Des pièces en bois supporteront le cadre et la roue. Faites un trou à une extrémité de deux lattes de sommier en pin de 2,5 centimètres d'épaisseur ; fixez les extrémités inférieures à une planche qui servira de support, de sorte que les deux lattes soient verticales (voir la figure) et passez la colonne de direction dans les trous. Pour le système de transmission, allez au rayon plomberie ou tuyauterie d'un magasin de bricolage pour acheter cinq centimètres d'un tuyau de plastique de gros diamètre. À l'intérieur de cet anneau, placez un bouchon de bois au centre duquel vous aurez percé un trou, puis collez le tout au bout de la colonne de direction, à la résine époxy.

Insérez ensuite une tige de bois à travers la transmission et la colonne de direction, et fixez-y un poids du type de ceux que les plongeurs s'attachent à la ceinture. Fixez une planche de bois de 8 x 18 centimètres à une extrémité de la tige et attachez temporairement le poids à cette planche avec une ficelle. Orientez la roue de sorte que la courbure de la fourche pointe vers le haut. Faites glisser la tige dans la colonne de direction et ajustez la position du poids à la fois horizontalement et verticalement, jusqu'à ce que la roue et le poids s'équilibrent. Collez alors la tige à la résine époxy et achevez la fixation définitive du poids.

Pour annuler les effets de la gravité, la roue doit faire un tour complet environ une fois par minute. À cette fin, je vous propose d'utiliser un moteur à rotation lente (0,28 tour par seconde) et de relier l'arbre du moteur à la transmission par une courroie en caoutchouc que vous trouverez chez un garagiste. Si votre moteur tourne à un régime très différent de 0,28 tour par seconde, jouez sur le diamètre de votre

L'accélération sur une roue

Une graine sur une roue en rotation subit une accélération centrifuge égale à $(2\pi f)^2 r$, où f est la fréquence de rotation et r la distance de la graine par rapport au moyeu. La formule permettant de déterminer à quelle fréquence on doit faire tourner la roue pour obtenir l'accélération a souhaitée est $f = 1/2\pi \sqrt{a/r}$, où a est l'accélération. Par exemple, pour produire une accélération de 9,8 mètres par seconde au carré (soit 1 g) au niveau de la jante d'une roue de 0,3 mètre de rayon, la roue doit tourner à 0,91 tour par seconde. La fréquence f_R à laquelle le moteur rapide fera tourner la roue est $f_m(r_m/R)$, où f_m est la fréquence de rotation du moteur (ici 192 tours par seconde), r_m le rayon de l'arbre du moteur (environ un millimètre) et R le rayon de la roue. Pour trouver l'accélération à n'importe quelle distance r du moyeu de la roue, utilisez la formule :

$$a = 7,72(v^2/R)(r/R)$$

où r et R sont exprimés en centimètres, et v est la vitesse lue sur l'indicateur de vitesse et exprimée en kilomètres par heure.

transmission ou ajoutez une transmission intermédiaire à votre arbre moteur pour obtenir le bon rapport.

À l'aide d'un second moteur, plus rapide, vous ferez tourner la roue de bicyclette autour de son axe pour imposer la gravité artificielle. J'ai moi-même utilisé un moteur fonctionnant au courant continu de 12 volts qui tournait à 192 tours par seconde. Assurez-vous que la bande de roulement est bien lisse et, pour calculer à quelle fréquence tourne la roue, consultez l'encadré ci-dessus.

Dans mon clinostat, le rayon de la roue était égal à 30 centimètres, et la vitesse du moteur à 192 tours par seconde : la roue tournait à 0,64 tour par seconde. Vous pouvez augmenter l'efficacité du moteur en augmentant le diamètre de son arbre : entourez ce dernier de quelques tours de ruban adhésif ou de sparadrap solide ; vous atteindrez ainsi facilement une fréquence de 1,5 tour par seconde. Un transformateur alimentera ce moteur par l'intermédiaire de deux collecteurs à balais, tels que ceux des moteurs électriques. Le circuit décrit sur la figure réglera le courant.

Enfin vous contrôlerez l'accélération centrifuge à l'aide d'un compteur de vitesse pour bicyclette ; trouvez-en un qui utilise un petit aimant placé sur un rayon. Monté près de l'axe de la roue, l'aimant mesurera la vitesse à 0,1 kilomètre à l'heure près.

La croissance en faible gravité a été si peu étudiée que vous obtiendrez des résultats originaux quelle que soit la plante que vous étudierez. J'ai moi-même étudié le maïs. Après avoir laissé les graines germer pendant plusieurs jours, j'ai mesuré la hauteur des germes et leur inclinaison moyenne, pour diverses accélérations. À l'accélération de 1 g, les plantes poussent très droites ;

à très faible accélération, elles commencent à se tordre. En faisant pousser des plantes à différentes distances du moyeu de la roue, vous verrez à partir de quelle accélération les effets de la gravité commencent à se faire sentir sur les plantes.

Mettez cinq graines dans une petite poignée de terreau et placez-les dans un vieux bas de nylon (formez une petite poche en nouant de la ficelle de part et d'autre de la terre, puis en coupant les extrémités du bas qui dépassent). Ces petits paquets légers maintiennent les graines et sont faciles à arroser. Pour avoir une bonne statistique, préparez une trentaine de plantules pour chaque valeur d'accélération : placez six de ces poches à la même distance du moyeu. Disposez-les symétriquement sur les rayons de la roue, de sorte que cette dernière reste bien équilibrée. Vous pouvez placer autant de poches qu'il y a de place et les mettre à des distances différentes du moyeu afin de tester simultanément l'effet de plusieurs accélérations. Retirez les graines après qu'elles auront germé entre trois et six jours. Mesurez ensuite l'inclinaison, soit directement, soit après avoir replanté les graines dans des conditions normales pour voir comment elles se réadaptent.

Pour plus d'informations (en anglais) sur cette expérience, consultez le serveur de l'Association des scientifiques amateurs sur le réseau Internet, à l'adresse <http://www.thesphere.com/SAS/>, ou bien envoyez, à la revue Pour la Science, une enveloppe auto-adressée.

Shawn CARLSON est professeur de physique à l'Université de San Diego.

Du mouvement dans la roche

Non, ce n'est pas une bonne peinture moderne. C'est un petit échantillon de roche dont on a confectionné une lame très mince (trois centièmes de millimètre d'épaisseur) et que l'on regarde au microscope polarisant ; la lumière polarisée permet de visualiser la structure cristalline de la roche. L'échantillon a été prélevé dans les Pyrénées, à Lourdes. Il y a un peu plus de 50 millions d'années, elle a été comprimée dans la chaîne des Pyrénées en voie de formation, par suite de la collision entre les plaques Europe et Ibérie. L'Espagne se rapprochait alors de l'Europe en déformant toute l'écorce terrestre.

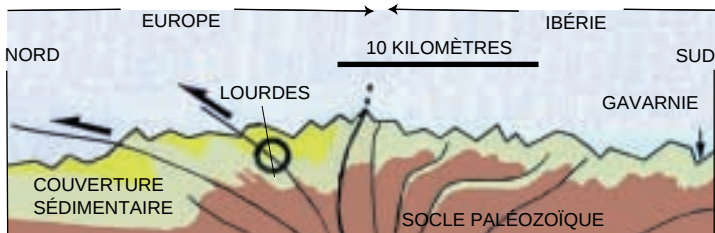
La roche s'est d'abord déposée sous forme de sédiment argileux dans une mer qui à cette époque recouvrait toute la région. Ensuite elle a été entraînée jusqu'à une profondeur d'environ dix kilomètres le long d'une grande faille (voir la figure 1). Sous les effets du réchauffement et des fortes pressions à cette profondeur, des cristaux métamorphiques de pyrite ont d'abord cristallisé dans la roche. La roche s'est ensuite très doucement déformée, pendant plusieurs millions d'années et elle a acquis un clivage ardoisier que l'on appelle «schistosité».

Les deux photographies nous livrent quelques secrets sur ces grands événements géologiques. On perçoit d'abord une incontestable impression de mouvement, évoquée par des fibres courbées et colorées qui se greffent sur les cristaux de pyrite ; chacune des fibres est un cristal de quartz ou de calcite très fin. La pyrite est un minéral très dur comparé à l'ardoise qui l'entoure et cela fait qu'au cours de l'étirement de la roche, celle-ci s'écarte des grains de pyrite en créant un vide qui se remplit de liquide. À grande profondeur, ces liquides cristallisent en fibres, qui s'allongent au fur et à mesure que l'ardoise est plus étirée, en constituant ce qu'on appelle des «ombres de pression».

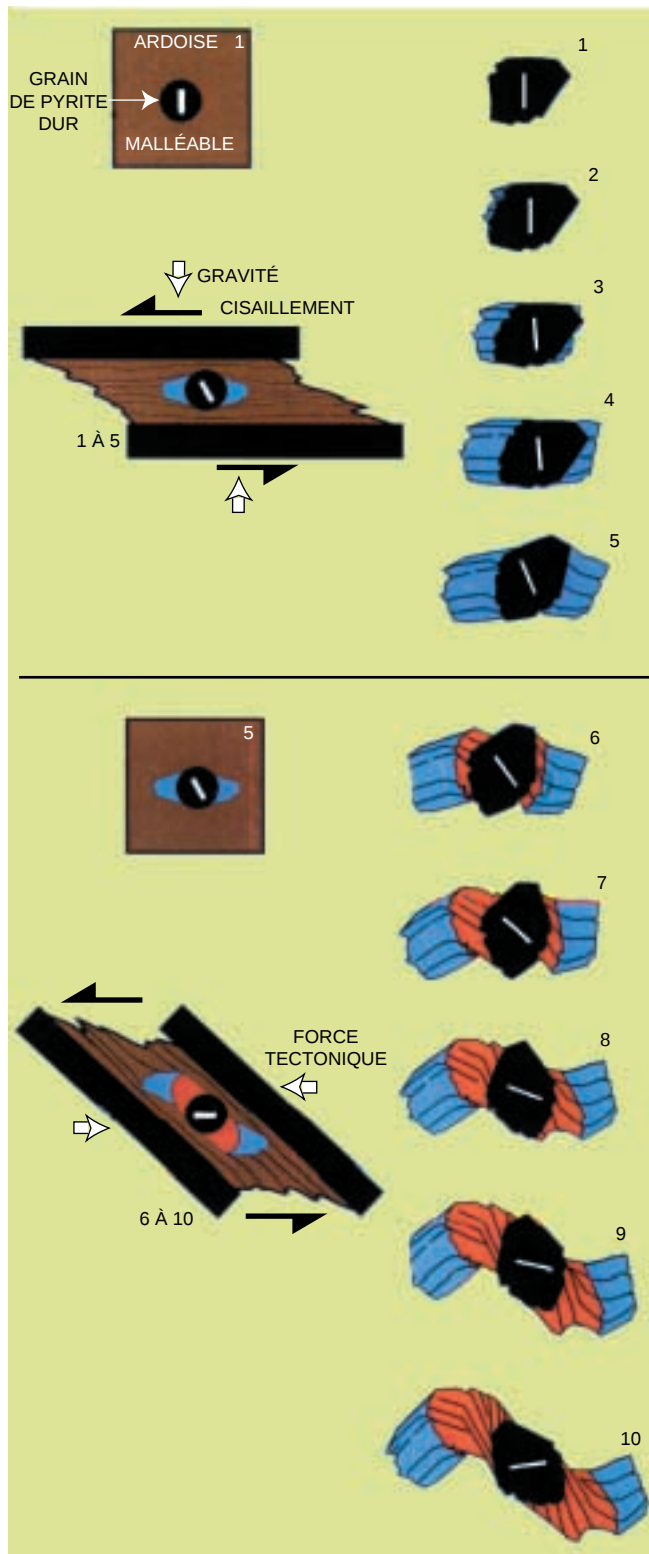
Ces fibres sont donc le résultat d'une déformation géologique lente et le géologue les utilise pour reconstituer l'histoire des mouvements. Sur la figure de gauche, on voit comment notre échantillon enregistre deux épisodes de déformation successifs, avec des directions de fibres spécifiques. On devine une première phase de cisaillement avec une importante influence de la gravité, due au poids des roches supérieures. Il s'est produit ensuite une augmentation des forces tectoniques (horizontales) associée à l'affrontement entre l'Ibérie et la France. Dans un jeu d'équilibre, les forces tectoniques et gravitaires ont ensemble fait tourner les pyrites lorsque les Pyrénées s'avançaient sur son avant-pays.

Pour qui sait bien regarder, cette petite roche de Lourdes livre des messages colorés sur la formation de la chaîne des Pyrénées il y a quelques dizaines de millions d'années. Une aubaine, miraculeuse...

Domingo AERDEN

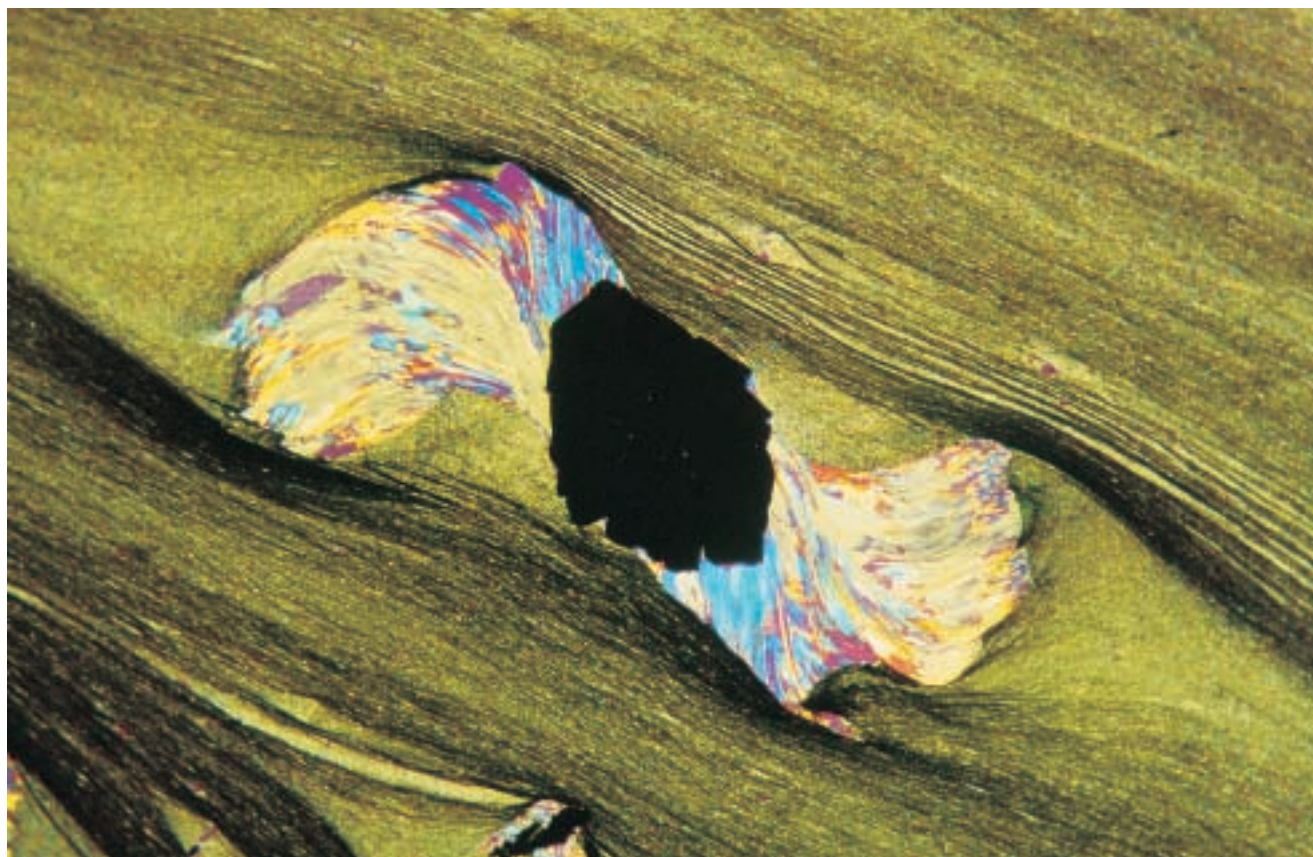


1. Coupe verticale à travers la chaîne des Pyrénées. L'échantillon (cercle noir) est proche d'une faille chevauchante.





2. Lame mince d'une ardoise contenant des grains de pyrite entourés de cristallisations fibreuses (de quartz et calcite) qui soulignent l'étiement de la roche.



3. Agrandissement d'un grain de pyrite avec ses queues de cristallisation.

Histoire

L'art juif

Gabrielle Sed-Rajna, avec la collaboration de Ziva Amishai-Maisels, Dominique Jarrassé, Rudolf Klein et Ronny Reich. Éditions Citadelles et Mazenod, Paris, 1995.

Le *Décalogue* (les «dix commandements» bibliques), qui figurent au chapitre XX de l'*Exode* et au chapitre V du *Deutéronome* – en termes identiques –, comporte notamment les interdictions suivantes :

«Je suis Yahvé, ton Dieu, qui t'ai fait sortir du pays d'Égypte, de la maison de servitude.

«Tu n'auras pas d'autres dieux devant moi.

«Tu ne te feras aucune image sculptée, rien qui ressemble à ce qui est dans les cieux, là-haut, ou sur la terre, ici-bas, ou dans les eaux, au-dessous de la terre.

«Tu ne te prosterner pas devant ces dieux [littéralement : «devant eux»] et tu ne les serviras pas, car moi Yahvé, ton Dieu, je suis un Dieu jaloux...» (*Exode*, XX, 2-5, traduction de B. Courroyer dans la *Bible de Jérusalem*, éditions du Cerf.)

Ces interdits expliquent l'absence en particulier, dans l'art juif, de la statuaire – sauf récemment. Mais il arrive que l'on donne une bien plus grande extension à ce commandement. C'est ainsi que, rendant visite, lors de l'une de nos missions archéologiques annuelles à Jérusalem, au professeur Nahman Avigad, de l'Université hébraïque de Jérusalem, dans son bureau situé au milieu de ses fouilles sur la colline occidentale de la vieille ville de Jérusalem, nous y avons assisté à une discussion édifiante. De jeunes élèves rabbins contestaient que N. Avigad ait pu découvrir sur cette colline voisine de celle du Temple, dans les ruines de ce quartier détruit au cours de la Première Guerre (ou Révolte) juive (66-70 de notre ère), une *menorah* (chandelier à sept branches) représentée sur un fragment de plâtre. À cette contestation, N. Avigad répondit, avec un fin sourire, que ce chandelier était gravé – donc se trouvait en creux et non pas en relief – dans ce fragment de plâtre ! En revanche, les mosaïques qui, à l'époque byzantine, recouvraient le sol de synagogues de la Galilée – où avait résidé le Patriarche, chef de la communauté des juifs – représentaient,

notamment, des animaux et même des personnages (bibliques ou mythologiques).

Tenter de résumer un ouvrage tel que *L'Art juif* est une tâche délicate. Nous allons donc, plus modestement, citer ce qui en est dit sur la jaquette de celui-ci, présentation à laquelle l'auteur est rarement tout à fait étranger :

«Cent ans de fouilles archéologiques, jalonnées de découvertes inattendues, cinquante ans de recherches foisonnantes ont mis au jour des œuvres d'une telle qualité qu'il n'est plus possible de les considérer comme de simples reflets des grands courants artistiques ou comme des produits de circonstance d'un artisanat populaire. Du berceau de la religion juive, au cœur du Moyen-Orient [il serait plus exact de dire : «du Proche-Orient», celui-ci comprenant tous les pays asiatiques de langues sémitiques, le «Moyen-Orient» commençant donc avec l'actuel Iran], jusqu'à Marc Chagall, l'un des plus grands noms de l'art du XX^e siècle, un parcours exceptionnellement riche et divers est proposé au lecteur. Les sites archéologiques révèlent des édifices, mosaïques et fresques, comme à l'emplacement même du Temple de Jérusalem ou sur les rives de l'Euphrate, à Doura-Europos, où les peintures de la synagogue offrent les premiers jalons de la longue histoire de l'imagerie biblique, qui demeura le thème majeur de l'art européen pendant plus d'un millénaire.

«Dans l'Europe médiévale, l'enluminure, refuge de toutes les aspirations esthétiques, devint le domaine de prédilection des artistes qui perpétuèrent ainsi, du X^e au XV^e siècle, les traditions anciennes communes. Aux XVI^e et XVII^e siècles, les objets rituels (*ketoubah* [contrat de mariage], lampes de *hanoukah* [fête des lumières]...) connurent à leur tour une véritable floraison. La pérennité des formes et l'insistant rappel des symboles assuraient la spécificité d'une production que les courants artistiques locaux ne cessaient de diversifier.

«Si les synagogues, à Venise, Cavaillon, Londres, Amsterdam, Prague, Budapest ou bien encore Vienne, témoignent d'une permanence des préoccupations religieuses, l'art juif subit la laïcisation apportée par le siècle des Lumières : l'art moderne et contemporain, résolument séculier et subjectif, exprime, tout au plus, les relations personnelles que l'artiste entretient avec sa tradition. S'épanouissent alors les talents de Pissarro, Soutine, Pascin, Man Ray et Rothko...

«Présent dans la civilisation européenne à travers ses concepts, ses méthodes et grâce à la pensée qui a inspiré les œuvres, l'art juif révèle au-

delà de la culture juive des aspects fondamentaux de l'art européen.»

Et l'auteur précise dans son ouvrage, en page 9 : «Rendre accessibles les productions artistiques d'une civilisation de trois mille ans a nécessité de nombreuses compétences. Aussi sommes-nous heureux d'avoir obtenu le concours d'éminents collègues dont les connaissances complètent les nôtres : de Dominique Jarrassé, professeur à l'Université de Clermont-Ferrand, pour l'architecture des synagogues médiévales et modernes, de Ziva Amishai-Maisels, professeur à l'Université hébraïque de Jérusalem, pour la peinture moderne et contemporaine. Qu'ils soient vivement remerciés d'avoir accepté cette collaboration. Dans la partie consacrée aux sites, cet ouvrage est particulièrement riche en informations, dont certaines sont peu connues, voire inédites : Ronny Reich, archéologue attaché au Département des antiquités du Musée d'Israël et enseignant à l'Institut d'archéologie de l'Université hébraïque, a bien voulu se charger de fournir les données les plus récentes sur les synagogues antiques d'Israël. Rudolf Klein, professeur d'architecture actuellement en poste à Budapest, a mis à notre disposition les documents réunis au cours de ses voyages sur les synagogues d'Europe centrale et de l'Est qui, jusqu'à ces dernières années, restaient d'un abord difficile. Nombre de ces synagogues sont publiées ici pour la première fois. Les conseils de Nicolas-Jean Sed ont permis d'apporter à ce livre de nombreuses améliorations.»

Au milieu des louanges que mérite un tel livre, nous glisserons trois légères critiques archéologico-historiques.

D'une part, en l'an 70 de notre ère, à la fin de la Première Guerre (ou Révolte) juive, ce n'est pas le «Second Temple» de Jérusalem qui fut détruit, mais le «Troisième» ; en effet, le premier fut construit par Salomon, le deuxième au retour de l'exil à Babylone et le troisième par Hérode le Grand. Telle est la réalité archéologique et historique, même si, d'un point de vue théologique, il existe une indéniable continuité entre l'époque du deuxième Temple et celle du troisième.

D'autre part, en ce qui concerne l'orientation des synagogues de Massada et de l'Hérodiad (ou Hérodiadion), évoquée dans les pages de cet ouvrage qu'il consacre aux «Synagogues antiques», R. Reich prétend que celle de Massada a son bâtiment «orienté vers Jérusalem» et que, s'agissant de celle de l'Hérodiadion, l'orientation de cette synagogue n'a pas de signification, puisqu'elle était installée dans un local existant». En fait, ces synagogues, qui