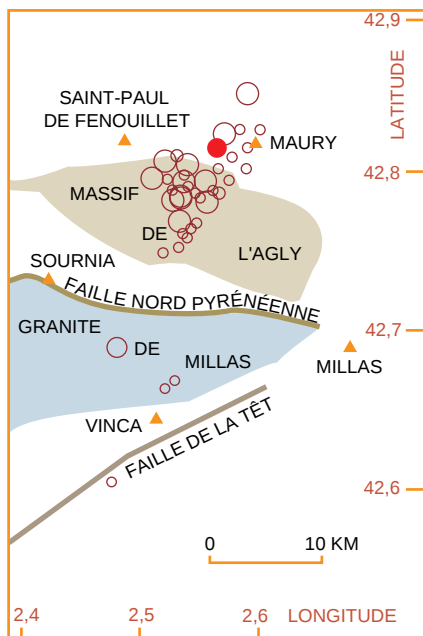




2. Foyers du séisme et ses répliques.

considérations géologiques qui permettent le choix. Dans le cas de Saint-Paul de Fenouillet, le plan de faille est quasi-vertical, orienté Est-Ouest, et le mouvement sur le plan est un glissement latéral : le massif de l'Agly a tendance à être éjecté vers l'Est par rapport aux structures qui sont immédiatement au Nord (voir la figure 1). Ici, il n'y a pas d'ambiguïté sur le plan de faille, car le contexte géologique est particulièrement bien connu. La région est d'ailleurs un lieu de prédilection pour les excursions géologiques !

Grâce à la localisation assez précise du foyer (à un kilomètre près) et à une très bonne organisation de la sismologie française, dotée de réseaux sismologiques portables et habituée aux interventions rapides, il a été possible d'installer, dès le soir du séisme, des stations temporaires (25 environ) entourant l'épicentre du choc principal, pour l'enregistrement des répliques. C'est en effet dans les heures ou les jours qui suivent immédiatement un séisme que les répliques sont les plus nombreuses et les plus fortes. Dans le premier mois suivant le choc principal, environ 400 répliques ont été enregistrées par les équipes françaises et catalanes.

L'intérêt des répliques est multiple. Elles permettent notamment d'estimer comment les contraintes achèvent de se relâcher dans la région du séisme : les répliques correspondent généralement à des réajustements locaux sur une partie de la faille, ou en bout de faille, ou sur des failles voisines. Leur cartographie révèle parfois des failles inconnues.

À Saint-Paul, les répliques les plus fortes ne sont pas situées sur le même

plan de faille que le séisme principal. Elles s'alignent vers le Sud suivant un axe Nord-Sud jusqu'à la bordure Nord du massif de l'Agly et correspondent vraisemblablement au rejeu de grandes failles verticales d'orientation Est-Ouest, bien identifiées dans ce massif. Le mouvement de glissement latéral, lié au choc principal sur la faille la plus au Nord, serait donc suivi d'une série de mouvements latéraux des autres failles de l'Agly.

Plus au Sud encore, lorsqu'on franchit la faille Nord pyrénéenne et que l'on arrive dans le massif granitique du Millas, on trouve encore l'écho des séismes induits par le choc principal, mais ces séismes sont tous profonds (à environ 15 kilomètres de profondeur), et de magnitudes plus faibles. Ils ne sont plus sur des failles identifiées et correspondent vraisemblablement à un découplage entre croûte supérieure et croûte inférieure faites de matériaux différents. Une telle distribution des répliques n'est pas commune, seule une modélisation mécanique permettra de comprendre pourquoi tous ces séismes sont alignés les uns par rapport aux autres.

Peut-on craindre d'autres séismes dans le futur ? Répondre par la négative serait se voiler la face : la sismicité historique de la France, qui porte sur les cinq derniers siècles, nous apprend qu'il y a, sur le territoire national, environ quatre à cinq séismes de magnitude égale ou supérieure à cinq chaque siècle. Pour la région de Saint-Paul de Fenouillet, les archives renseignent sur l'occurrence de forts séismes, sans doute comparables au dernier séisme, en 1755 et 1838, et plus récemment en 1920 et 1922.

Le plus gros séisme pyrénéen connu s'est produit à 50 kilomètres au Sud de St Paul, en Catalogne espagnole, le 2 février 1428 et sa magnitude entre 6 et 7, était comparable à celle du récent séisme de Kobé. On a tort de l'oublier car les gros séismes se répètent souvent avec une récurrence, de l'ordre de quelques siècles, que l'on peut parfois estimer, et avec une localisation changeante que l'on cherche à prévoir. Le risque sismique dans la région reste faible mais réel, et il ne serait pas inutile que les villes de la partie orientale des Pyrénées en prennent conscience.

Il y a une dizaine d'années, des études ont été consacrées à ce séisme historique, mais elles ont conduit à des interprétations divergentes, que le séisme actuel pourra lever, affinant en même temps les prévisions sismiques.

A. SOURIAU et A. RIGO, CNRS-Observatoire Midi-Pyrénées, Toulouse  
C. OLIVERA, Servei Geològic de Catalunya, Barcelone  
M. MATTAUER, Université de Montpellier

## France Culture et Pour la Science

**vous invite  
au Palais  
de la Découverte  
à l'enregistrement  
de leur  
nouvelle émission**

**les  
Inattendus  
de la  
Science**

**Samedi 8 juin - 15h**  
*le transistor*  
avec Pierre Aigrain  
de l'Académie des Sciences

**Samedi 22 juin - 15h**  
*le zéro*  
avec Christian Houzel,  
mathématicien

**Invitations à demander  
au 36 68 10 99 (2,23F/mn)**



**Palais de la découverte**

**POUR LA  
SCIENCE**

# Cristaux de pentagones

*Des ordres impossibles apparaissent dans des empilements de pentagones et de polygones.*

L'étude des milieux granulaires, dont le tas de sable est l'archétype, progresse depuis une dizaine d'années : à l'aide d'expériences, de calculs théoriques et de simulations par ordinateur, on explore les empilements de ces milieux complexes. Pour en simplifier l'étude, on considère des empilements modèles, composés de particules de forme simple, par exemple sphérique, mais, même ainsi, des questions élémentaires restent ouvertes : on ignore, par exemple, quel est l'empilement de sphères dont la compacité est maximale. Aussi simplifie-t-on parfois davantage, en considérant des ensembles de disques à deux dimensions seulement.

De tels ensembles ne sont pas de très bons modèles de milieux granulaires réels, car les contacts entre disques sont quasi ponctuels, et la moindre sollicitation peut les détruire et amener des réarrangements locaux. En outre, les disques de même rayon permettent de réaliser simultanément la compacité locale maximale, et un ordre à longue distance, avec les centres aux nœuds d'un réseau triangulaire.

Afin d'éviter de telles particularités, nous avons choisi d'étudier des ensembles bidimensionnels de grains pentagonaux réguliers, tous de même taille. Dans un contact entre deux pentagones, peuvent intervenir soit un côté

de l'un et un sommet de l'autre, soit un côté de chaque pentagone, soit un sommet de chaque pentagone. Ce dernier type de contact n'a aucune stabilité, de sorte qu'il ne se produit qu'exceptionnellement dans un empilement désordonné. Les contacts côté-côté sont, au contraire, très stables. Enfin la symétrie d'ordre cinq des grains semblait devoir s'opposer à la création d'un ordre à longue distance, car les pentagones ne peuvent pas le plan. Pourtant l'expérience conduit à une structure cristalline qui présente une quasi-symétrie d'ordre six !

L'assemblée que nous utilisons est constituée de 2 200 pentagones de sty-rène de six millimètres de côté et de un millimètre d'épaisseur, déposés sur une table soufflante, alimentée par deux moteurs. Les fluctuations locales de la vitesse d'éjection de l'air provoquent un mouvement incessant des grains. La table étant horizontale, les pentagones se répartissent de façon homogène, sur toute la surface, formant initialement un empilement peu dense, de compacité voisine de 0,7.

Puis nous réduisons lentement le débit d'air : la table s'infléchit en son centre en raison de la diminution de la pression de l'air, et les particules s'accumulent lentement au centre. La compacité augmente, mais, en raison de la répulsion hydrodynamique due à l'évacuation de

l'air entre les particules, celles-ci restent éloignées les unes des autres, sans contact. Cette répulsion gomme l'influence de la forme des particules, qui se comportent alors comme des disques.

Quand nous réduisons davantage le débit d'air, des zones ordonnées d'ordre six apparaissent, séparées par des lignes de dislocation ou par des zones amorphes, sans ordre. À ce stade, seuls les centres des particules sont localement ordonnés.

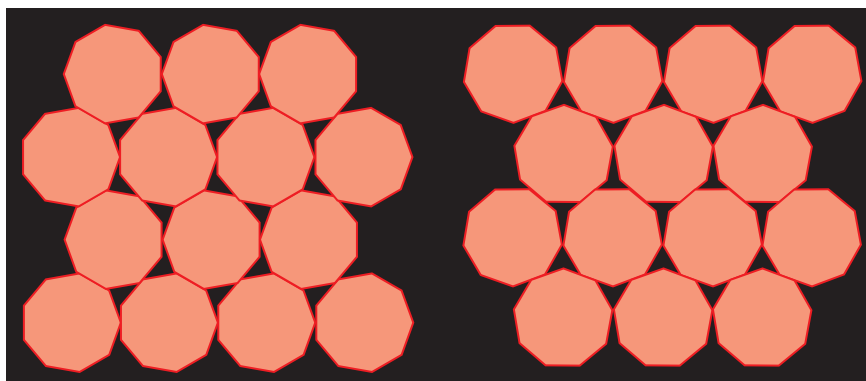
## L'APPARITION DES ZONES CRISTALLINES

Enfin, quand nous réduisons encore le débit d'air, un ordre d'orientation, favorisé par l'agitation modérée des particules se superpose à l'ordre de position des centres, et des zones cristallines croissent par nucléation à l'intérieur des zones ordonnées de symétrie hexagonale. Dans les zones cristallines, les pentagones s'orientent selon une direction, mais ils se disposent selon la direction opposée sur la ligne adjacente. Chaque pentagone présente deux voisinages côté-sommet selon la direction d'alignement, et quatre voisinages côté-côté dans les lignes voisines.

Avec des polygones réguliers de même taille et dont le nombre de côté est supérieur ou égal à cinq, les mathématiciens savent construire toute une famille de structures cristallines caractérisées par une orientation alternée des grains, sur les lignes consécutives. Ces structures sont nommées empilements en double réseau. Pour des polygones à nombre pair de côté, la structure la plus compacte est la plus compacte possible. Il en est probablement de même pour les pentagones, dont l'arrangement est alors celui du cristal que nous avons obtenu dans nos expériences, et aussi pour les heptagones.

Par simulation du problème sur ordinateur, à l'aide de méthodes de «recuit simulé», où l'on réduit progressivement l'énergie du système, comme nous l'avons fait dans nos expériences, nous avons obtenu les mêmes structures compactes. En revanche, avec des ennagones (neuf côtés), nous avons obtenu un mélange de deux structures : la première, de compacité égale à 0,8975, est similaire à celle que l'on obtient avec les pentagones ; dans la seconde, un peu plus dense (compacité égale à 0,8986), quatre contacts côté-côté et deux contacts sommet-sommet sont établis pour chaque grain.

Y. LIMON DUPARCEUR  
et J.-P. TROADEC,  
Université de Rennes I  
A. GERVOIS, CEA Saclay



Deux cristaux d'ennagones (polygones à neuf côtés) obtenus par simulation numérique. Celui de droite est un peu plus compact que celui de gauche.

# Lézards intransitifs

*Trois groupes de mâles alternent dans une population de lézards.*

**E**n Californie, une petite créature est bloquée dans un cycle sans fin, sa victoire annonçant sa défaite imminente, et sa défaite lui donnant un avant-goût du triomphe. Cette créature est le lézard *Uta stansburiana*, étudié par B. Sinervo et C. Lively : les mâles de cette espèce sont de trois types distincts qui participent à une sorte de jeux de la pierre, du puits, des ciseaux et de la feuille.

Dans ce jeu, deux personnes ont à choisir entre les quatre articles : la feuille vainc la pierre, qu'elle enveloppe ; la pierre casse les ciseaux ; mais les ciseaux coupent la feuille. Dans la nature, c'est l'accouplement qui fait l'objet du « jeu » : les mâles à gorge orange vainquent les mâles à gorge bleue, les mâles à gorge bleue vainquent les mâles à bandes jaunes, et les mâles à bandes jaunes vainquent les mâles à gorge orange. Ces relations « intransitives » engendrent un cycle de six ans, où les trois types de mâles sont successivement les plus abondants.

Quand les mâles les plus nombreux sont les mâles à gorge bleue, qui possèdent des harems composés de seulement trois femelles et défendent de petits territoires, même un petit nombre de mâles à gorge orange, agressifs, peuvent s'imposer. Ces lézards sont «ultra-dominants», car ils ont des concentrations élevées en testostérone, des harems contenant jusqu'à sept femelles et de grands territoires. Aussi, à la génération suivante, les lézards à gorge orange dominent la population.

Mais alors, quelques lézards à bandes jaunes peuvent s'introduire dans les camps des mâles à gorge orange, en se faisant passer pour des femelles et en copulant avec les vraies femelles sans se faire remarquer. À la génération suivante, les lézards à bandes jaunes deviennent ainsi les plus nombreux, ce qui laisse réapparaître les mâles à gorge bleue, qui reconnaissent les lézards orange travestis et les vainquent : les lézards bleus connaissent bien leurs voisins parce qu'ils ne se préoccupent que de leur petit territoire ; au contraire, les lézards orange ont trop à embrasser pour bien étreindre. □

**Le grand succès de l'édition médico-scientifique de langue française**

**m/s**  
médecine science

**Les mécanismes cérébraux  
de la lecture :**  
**un modèle en neurologie cognitive**  
Alfred Merab, Fabrice Ratiéhon

**Neurobiologie des syndromes  
autistiques de l'enfant**  
Gilbert Lelord, Jean-Pierre Muhl, Dominique  
Savigne, Josiane Heraud

**Les facteurs génétiques dans l'étiologie de la maladie d'Alzheimer**  
Dominique Campion, Alexis Brice, Didier Hannequin, Thierry Frebourg, Maria Martinez, Yves Agid, Françoise Clavel-Laprousse

**Pathogénie cellulaire et moléculaire  
du cancer du col**  
Jacques Morissongo

**Les polyamines présentent-elles actuellement un intérêt pour le traitement du cancer ?**

**Gènes impliqués dans la dissémination  
mélastatique et la réponse à la  
chimiothérapie du neuroblastome**  
Jocelyne Bénaud, Olivier Hartmann, Marie-Josée Terrier-  
Lafont, Jean Lemerle, Guy Roux

**Les mécanismes de réparation de l'ADN : des cibles potentielles en pharmacologie du cancer**  
Mehray Alioui-Jamali, Senkar Mitra

## HYPOTHÈSE

**Les maladies à prions :  
l'hypothèse de la "protéine  
seule" et ses conséquences  
dynamiques**  
Michel Laurent

## MINI-SYNTHÈSES

**Histoires d'aquaporines :**  
des canaux qui font couler  
beaucoup d'eau

**beaucoup d'eau**  
Eveline Benoit, Pierre-François Méry,  
F. Tournet, Fabien Tell

**Dysmorphie et gènes du développement**  
Dariusz Lacombe

**Réparation, cancer et sénescence : le gène du syndrome de Werner**  
Rajal Kahn

**Mécanismes moléculaires  
du fonctionnement  
et de la remise à l'heure  
de l'horloge biologique**  
Jean-Louis Couderc

## NOUVELLES BRÈVES

## ÉDITORIAL

Daniel W. Medsger

**HISTOIRE DE LA MÉDECINE  
ET DES SCIENCES**

**L'invention de la médecine de la douleur**  
Isabelle Benzonger

## Sommaire juin-juillet 1996



■ **Lactamochol** (Cory) trial

## BULLETIN D'ABONNEMENT ANNUEL

**10 numéros**

- ☐ je souhaite recevoir le numéro de juin 1996 au prix de 120 FF
- ☐ je souhaite m'abonner à **in's** au tarif indiqué ci-dessous
- |                                       |                                       |                                     |
|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Particuliers | <input type="checkbox"/> Institutions | <input type="checkbox"/> Etudiants* |
| 500 FF                                | 1 200 FF                              | 295 FF                              |

Norm :

Adresse complète :

## Palement

- ☐ par chèque à l'ordre de **John Libbey Eurotext**  
☐ par carte bancaire :  
☐ Visa ☐ Eurocard/Mastercard ☐ American Express

Carte N° : | | | | | | | | | |

Date d'expiration :     /    /     Signature : \_\_\_\_\_



\* Photocollage R<sup>2</sup>/V<sup>2</sup>  
de la carte d'identité exposée