

Alain PÉNICAUD

# LES CRISTAUX, FENÊTRES SUR L'INVISIBLE



**L'ESPRIT DES  
SCIENCES**

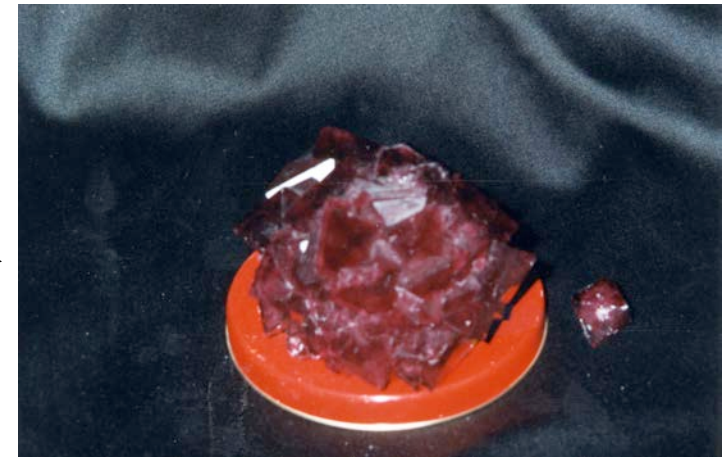
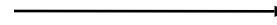
ellipses



Bien connu des  
bordelais



Cubique mais  
ce n'est pas  
de la fluorine



Cristaux et photos:  
Lucile Gerbaut



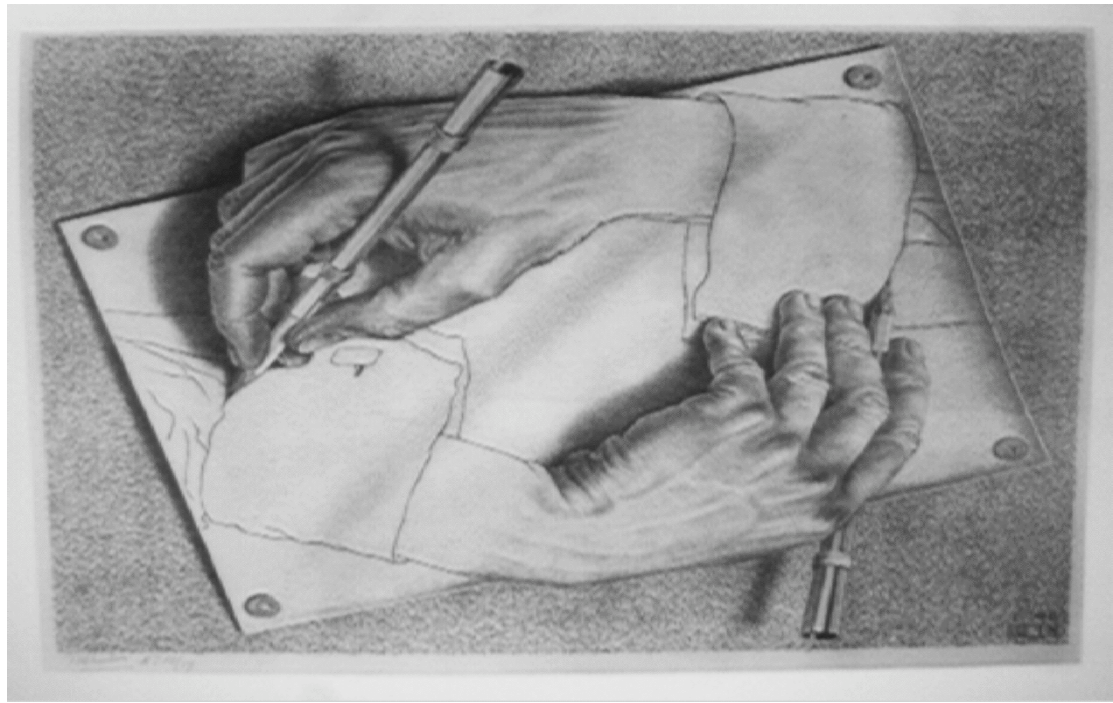
Superposition de  
deux cultures

Quadratique, ce n'est donc  
pas du quartz. Doubleur de  
fréquence ↓



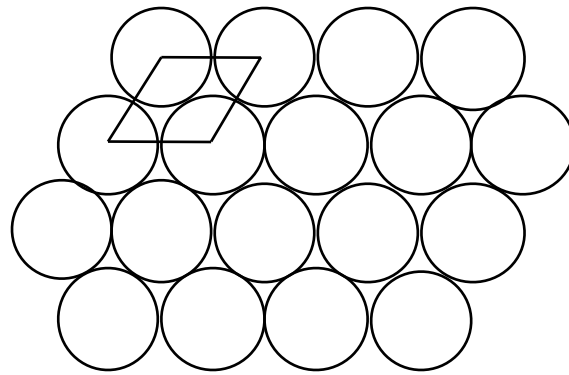
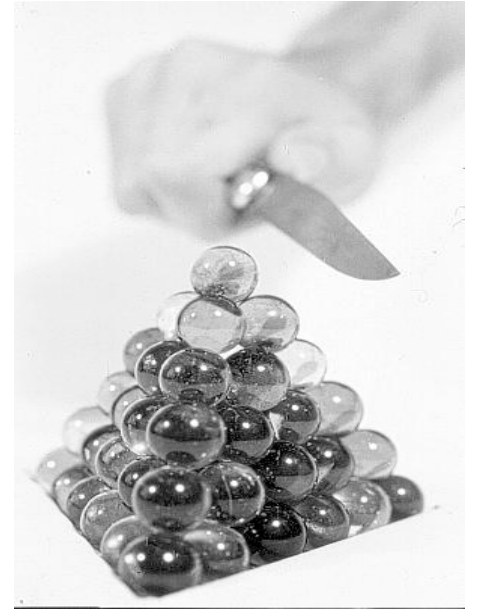
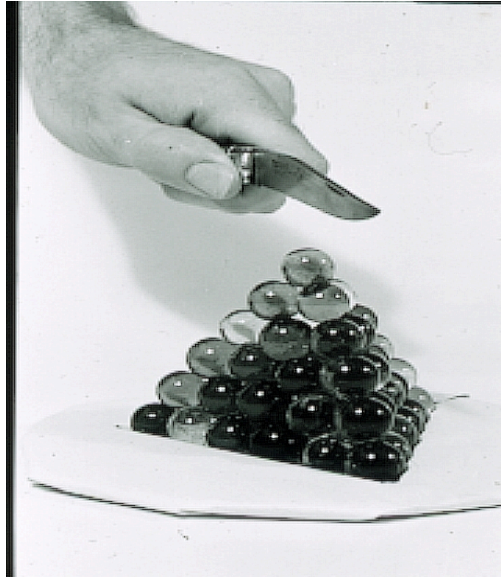
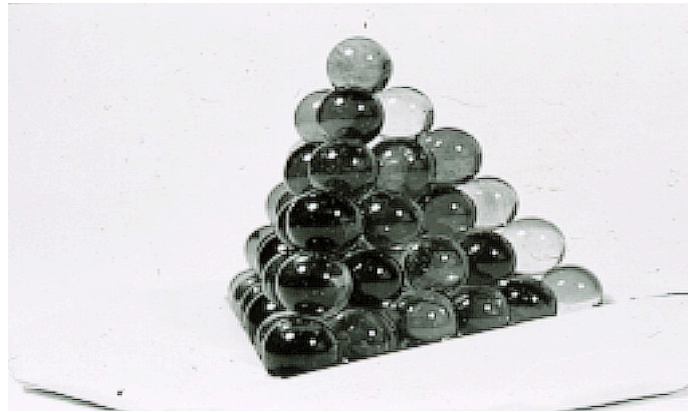
Un zeste de  
chrome dans le  
quadratique lui  
donne du piquant





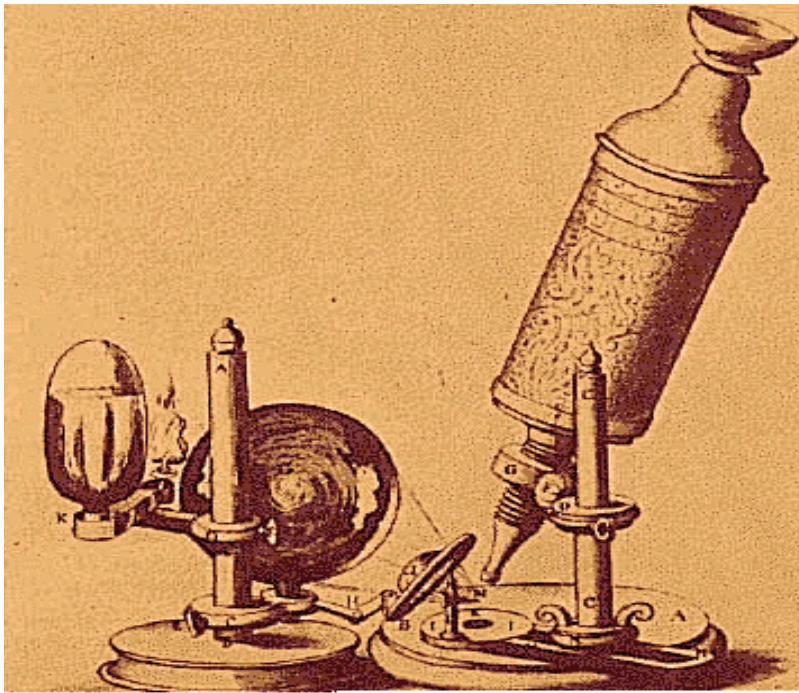
Bien avant qu 'il y eut des hommes sur ce globe, tous les cristaux poussèrent dans la croûte terrestre. Puis vint un jour où, pour la toute première fois, un être humain aperçut l 'un de ces scintillants fragments de régularité, ou bien peut-être le heurta t-il avec sa hache de pierre; le cristal se cassa et tomba à ses pieds; il le ramassa alors et le contempla, reposant au creux de ses main. Et il s 'émerveilla.

M.C. Escher



Robert Hooke

1635-1703

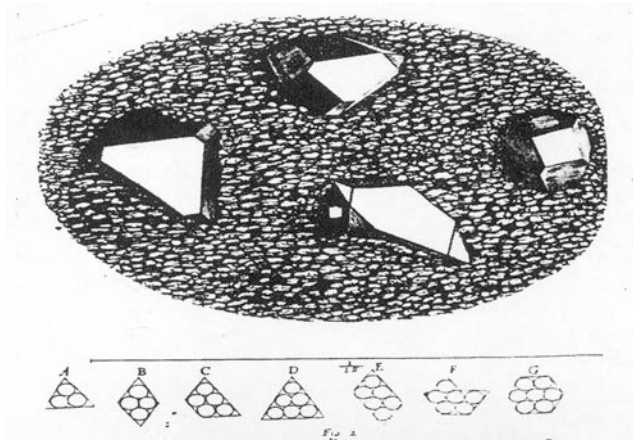


van Leeuwenhoek

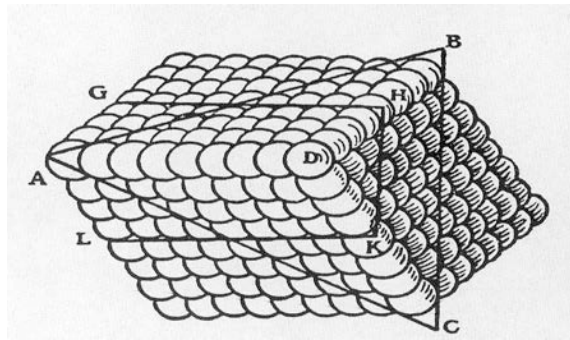
1632-1723

Examinons un cristal...l'égalité des côtés nous plaît ; celle des angles double le plaisir.

Edgar Allan Poe



Hooke, 1665



Il me semble que, en général, la régularité que l'on rencontre dans ces productions provient de l'arrangement de petites particules invisibles qui les composent.

Traité de la lumière, 1690



Christiaan Huygens

Nicolas Steno (1669)

Domenico Guglielmini, 1605-1710



Lomonosov



J. B. L. DE ROMÉ DE L'ISLE  
*de l'Académie Imperiale des Curieux de la Nature,  
des Académies Royales des Sciences de Berlin et de  
Stockholm; de celles des Sciences utiles de Mayence,  
honoraire de la Société d'émulation de Liège.*

*Né à GRAY le 26. Aoust 1736.*

*P. E élu ad vivum fecit. 1783.*

*A Paris chez l'Auteur rue du Faubourg Montmartre. N° 17.*

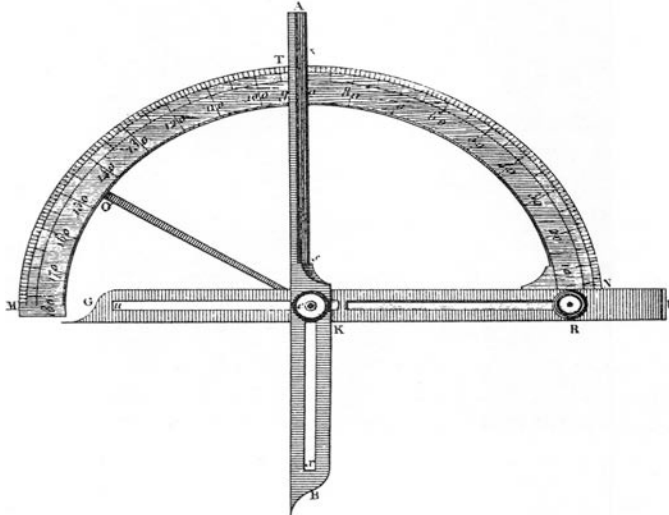
Jean Baptiste Romé de l'Isle

1772, 1783

goniomètre

Arnold Carangeot

1780



René-Just Haüy

1743-1822

- Loi de constance des angles
- Loi des troncutures rationnelles



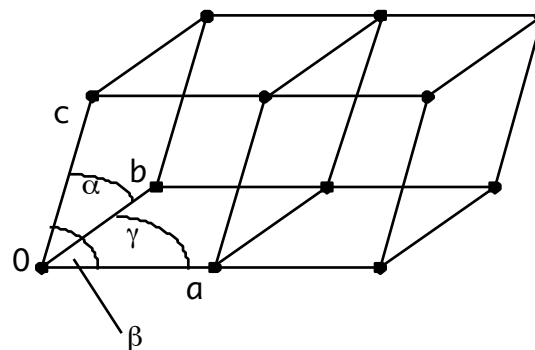
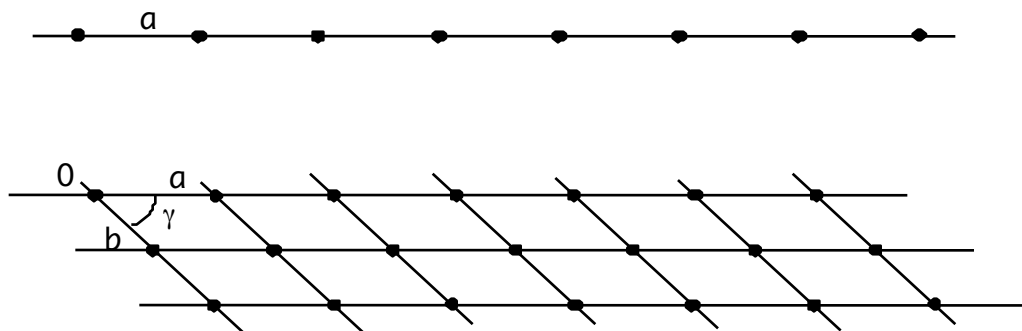
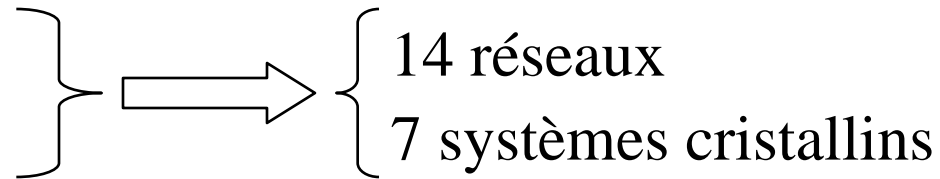
Tout cristal est formé par l'empilement tridimensionnel de « molécules intégrantes » qui « sont censées être les plus petits solides que l'on puisse extraire du minéral sans altérer sa nature »

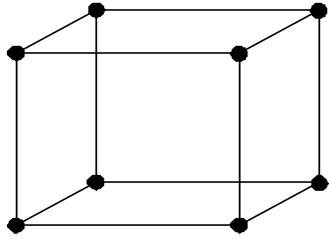


# Réseaux périodiques

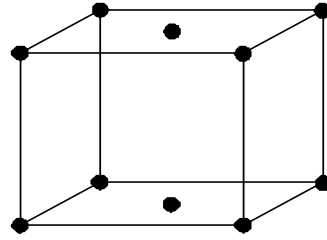
Frankenheim, 1842

Auguste Bravais

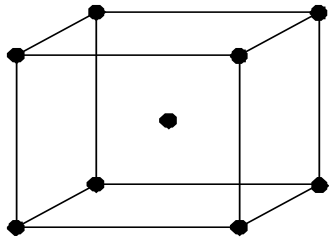




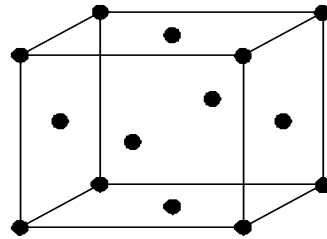
Primitiva (P)



Centrada en una cara (C)



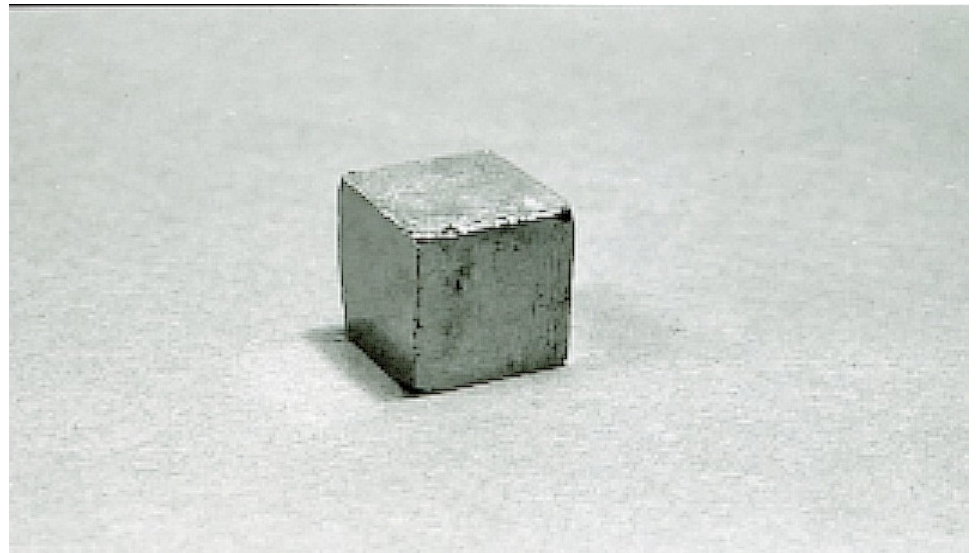
Centrada en el cuerpo (I)



Centrada en todas las caras (F)

Triclinique, monoclinique,  
Orthorhombique, quadratique,  
trigonal, hexagonal, cubique

Cristal de Pyrite, Zacatecas,  
Mexique





Auguste Bravais (1811-1863)

« Il s 'éteignit en 1863, sans que depuis longtemps aucune lueur, même passagère, eût éclairé la nuit où sommeillait cette intelligence autrefois si ,puissante. »

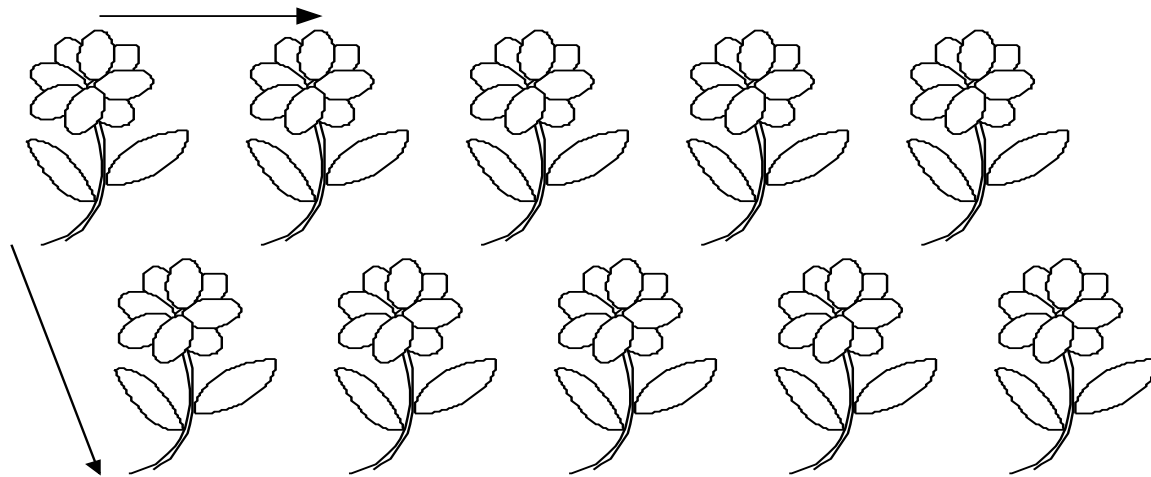
A. de Lapparent, Ecole Polytechnique, Livre du Centenaire, 1894.

# La Symétrie....

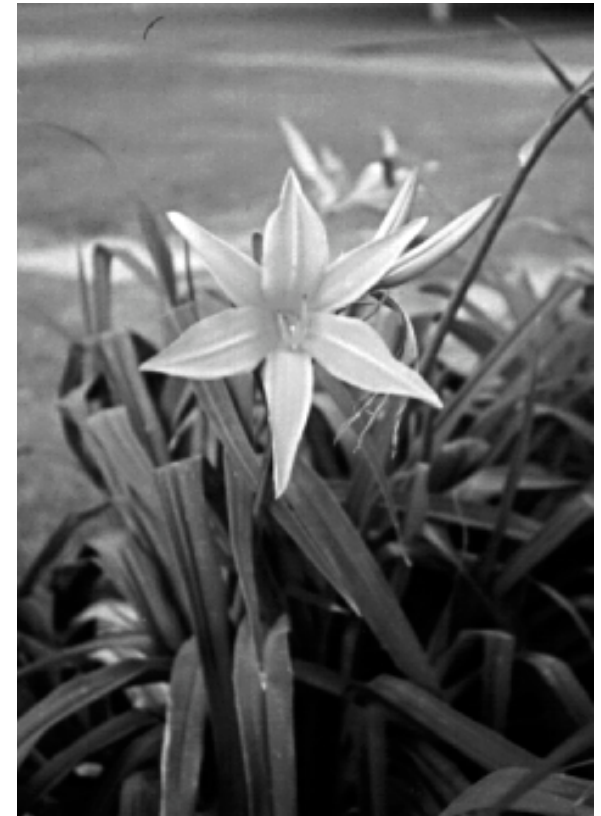
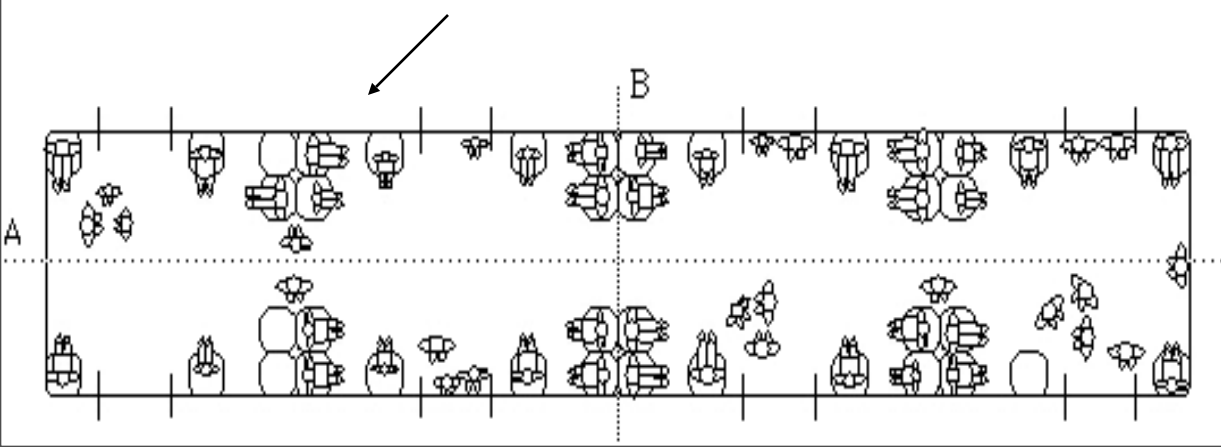
Rien ne serre autant le cœur comme la symétrie. C'est que la symétrie, c'est l'ennui, et l'ennui est le fond même du deuil

Victor Hugo, Les Misérables

## Symétrie de translation



## Symétrie ponctuelle



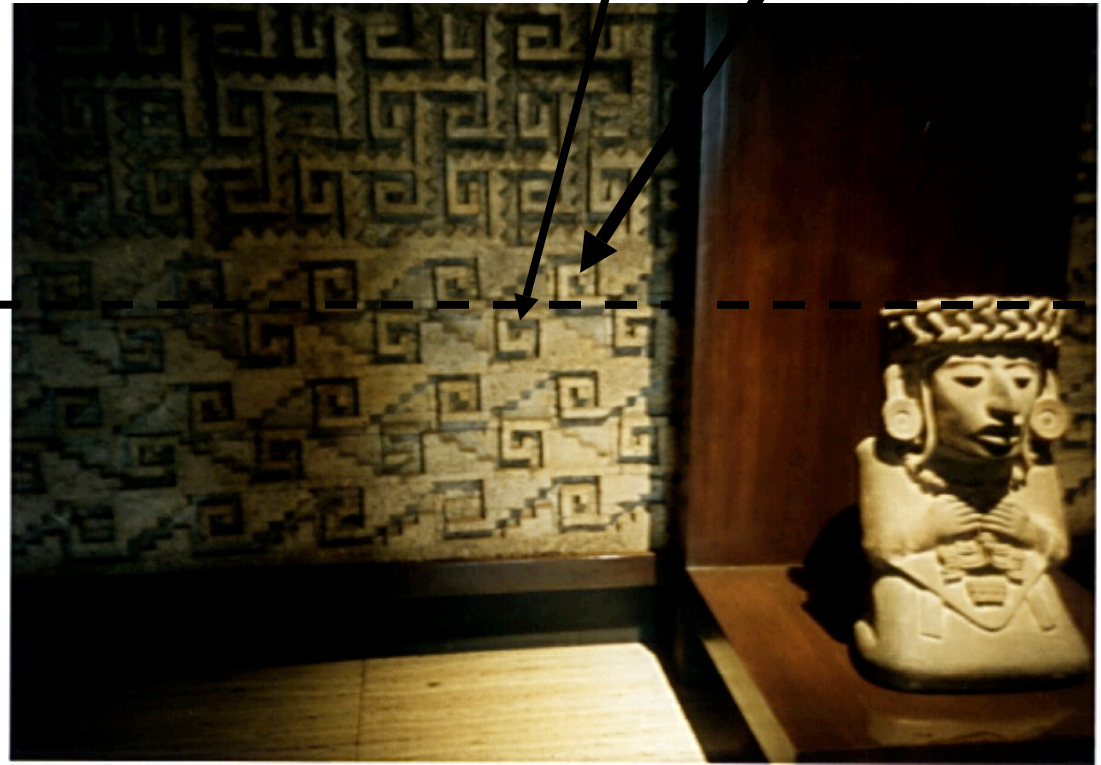
# Symétrie ponctuelle+ translation

Axe hélicoidal



Musée du Louvre

Plan de glissement



Museo nacional de antropologia, México,  
sala Olmeca

Palindrome : centre de symétrie dans un espace à une dimension

Craneur à pâmer, tu as rêvé cet idéal  
Reflét. Rude rage ! Une vue felée ne s'abattra  
Ici ! Ovale, ce miroir brisé de l'écart  
S'alliera pâle mot-**A**tome, là pareil. Las !  
Trace le désir, brio ! Rime cela ! Voici,  
Art, ta base née : le feu venu égaré, dur tel fer !  
Là edité, ce vers autre m'a paru en arc.

Stéphane Susana



Evariste Galois

1811-1832

Groupe: ensemble + loi (\*)

- Pour tout couple d'éléments **a** et **b** du groupe, le composé **a\*b** est aussi un élément du groupe.
- Le groupe doit comporter un élément neutre **e**, tel que **a\*e = e\*a = a**.
- Tout élément du groupe doit avoir son inverse (que nous noterons **a<sup>-1</sup>**), tel que **a \* a<sup>-1</sup> = a<sup>-1</sup> \* a = e**.
- La loi **\*** doit être associative, c'est-à-dire satisfaire à la condition : **(a\*b)\*c = a\*(b\*c)**.

Exemple: S+n (Oulipo)





Que peut-il y avoir de plus semblable, de plus égal en tous points à ma main ou à mon oreille que leurs images dans un miroir ? Et pourtant je ne puis substituer à son modèle la main telle qu'elle est vue dans le miroir ; car si c'était une main droite, l'autre dans le miroir est une main gauche, et l'image de l'oreille droite est une oreille gauche qui ne peut davantage tenir la place de l'autre.

Emmanuel Kant,  
 “Critique de la raison pure”



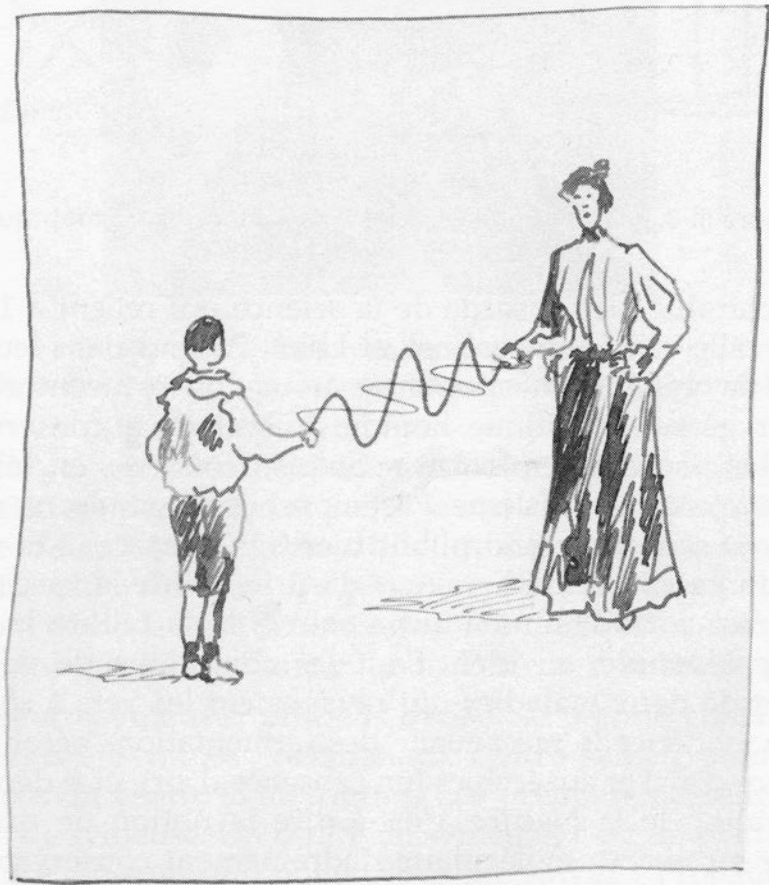
C'est lui qui découvrit le vaccin pour moutons.  
 Serait-ce pour cela qu'on le surnomme de Htes  
 Au pays des Quarantaine ? Y a-t-il un rapport ?  
 Un homme qui fait tant pour la santé des bêtes ?

chiralité

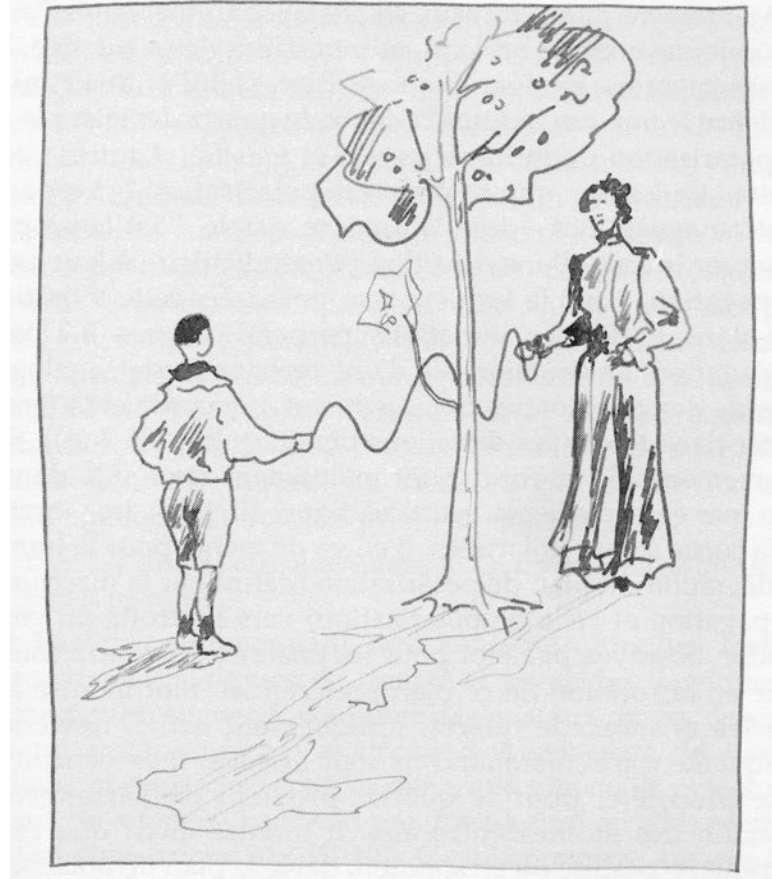
fermentation

sériciculture

vaccination



Vibration non polarisée



Vibration polarisée

J.B. Biot: polarisation due au quartz cristallin  
ac. tartrique: polarisation droite  
(cristaux et solutions)

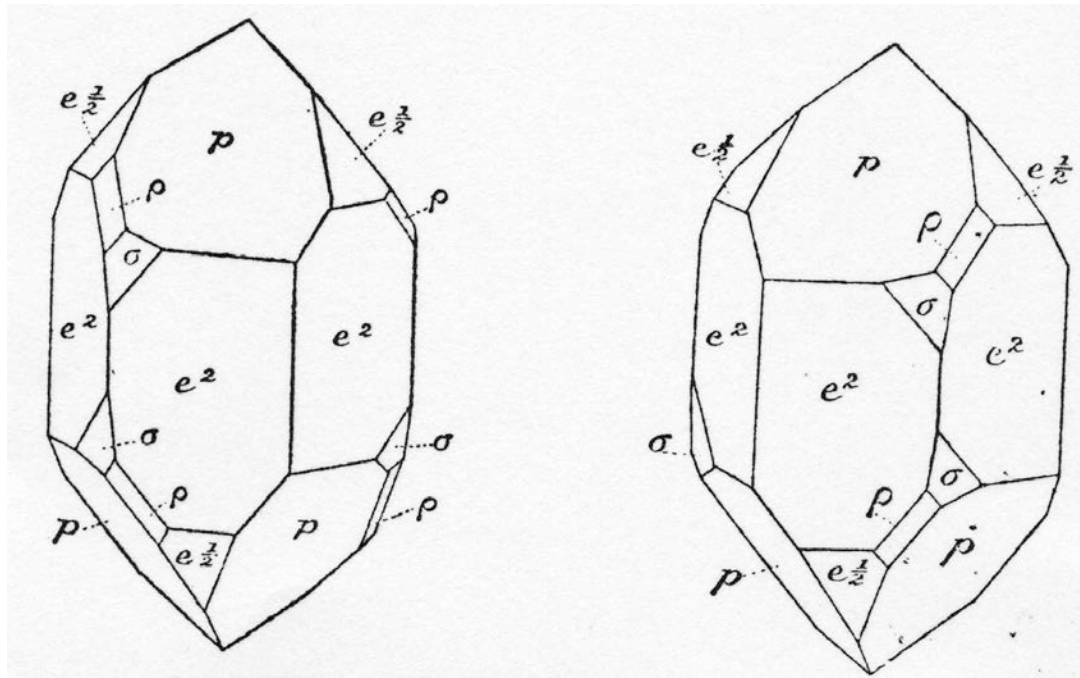
J. Herschel: cristaux de quartz levogyres et dextrogyres

Mitscherlich: ac. Paratartrique (racémique) inactif

Auguste Laurent

Dans les champs de l'observation, le hasard ne favorise que les esprits préparés.

Louis Pasteur



L'univers est un ensemble dissymétrique. Je suis porté à croire que la vie, telle qu'elle se manifeste à nous, doit être fonction de la dissymétrie de l'univers ou des conséquences qu'elle entraîne. L'univers est dissymétrique ; car on placerait devant une glace l'ensemble des corps qui composent le système solaire, se mouvant de leurs mouvements propres, que l'on aurait dans la glace une image non superposable à la réalité.

Louis Pasteur

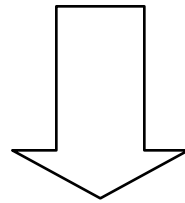
# Fin XIX<sup>e</sup> siècle: les 230 groupes spatiaux

E. Fedorov

W. Barlow

A. Schönflies

Réseaux de Bravais + symétrie ponctuelle



230 groupes d'espace

Schönflies à Fedorov:

Il m'est particulièrement agréable de ne pas demeurer isolé avec ma théorie... Avec plaisir, je vous en cède la priorité ; ceci n'est certainement pas d'une suprême importance pour moi.

## 1895: la découverte des rayons X



Wilhem Conrad Röntgen 1845-1923

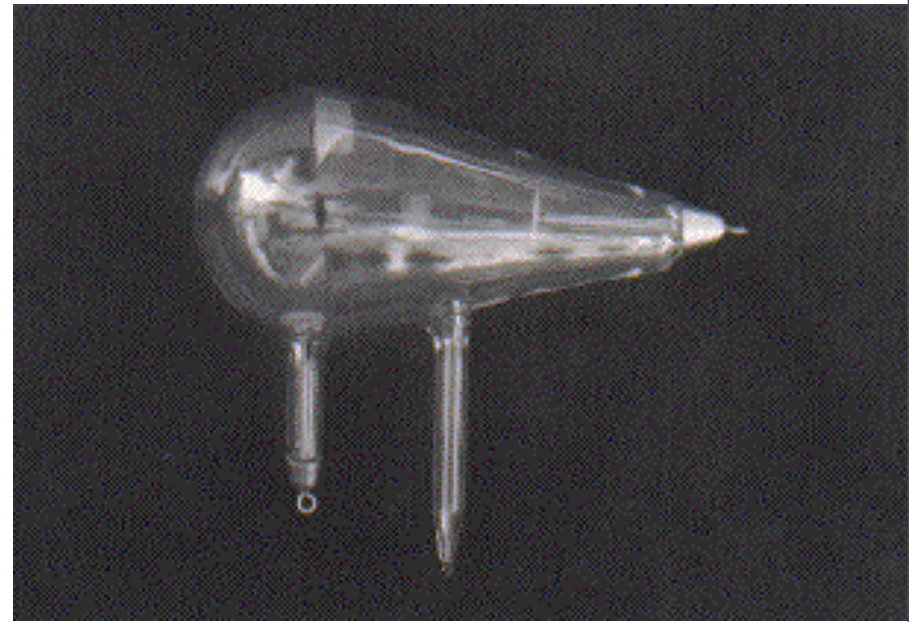
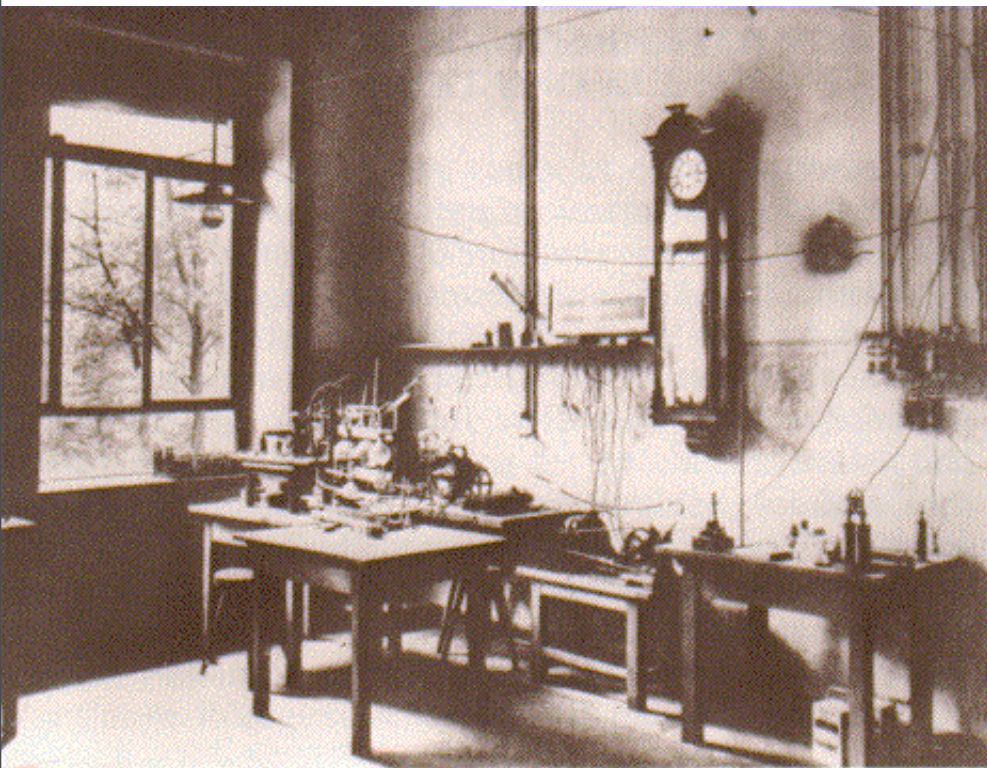
Rien n'est plus utile que la  
recherche inutile

Carlo Rubbia, 1993

La chance n 'existe pas. Ce que vous appelez chance, c 'est essentiellement l 'attention que certains accordent aux détails les plus intimes

Winston Churchill

Der 8 November 1895...





« Hand mit Ringen »

28 Dezember 1896:  
Neuen Art von Strahlen

Arrêtons-nous  
un instant...

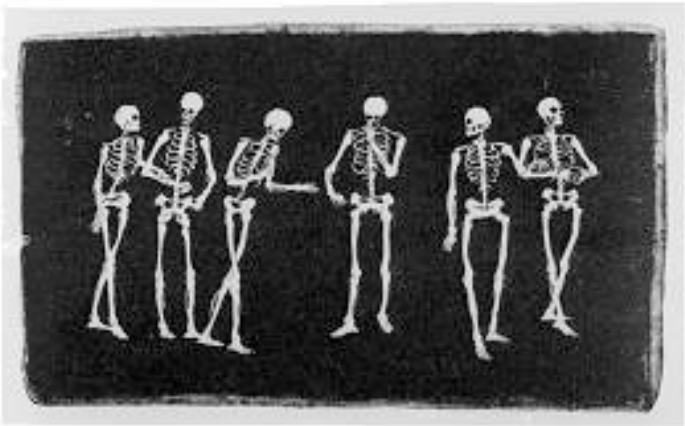
1901: Röntgen reçoit le  
premier prix Nobel



# Eine sensationelle Entdeckung.

In den gelehrten Fachkreisen Wiens macht gegenwärtig die Mittheilung von einer Entdeckung, welche Professor Röntgen in Würzburg gemacht haben soll, große Sensation. Wenn sich dieselbe be-

Die Presse, Wien, 5 Januar 1896

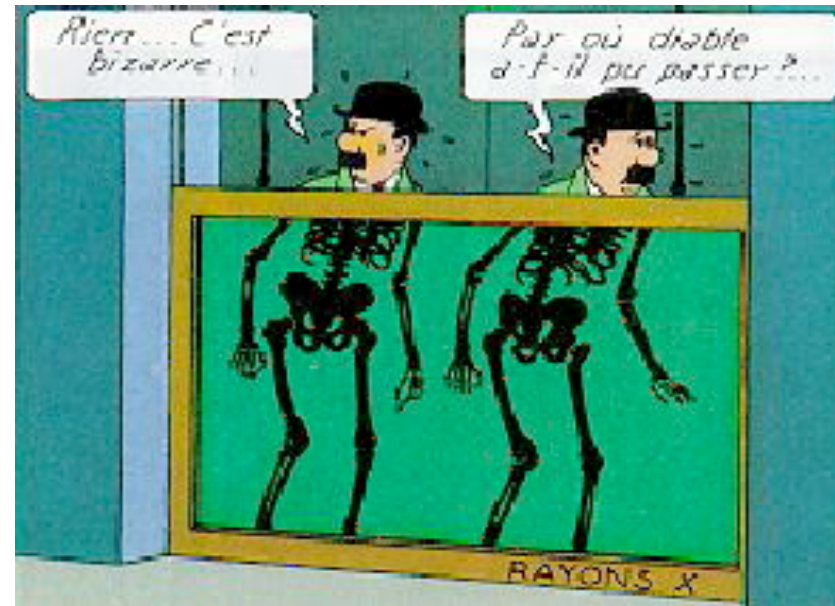


Life, 6 Avril 1896

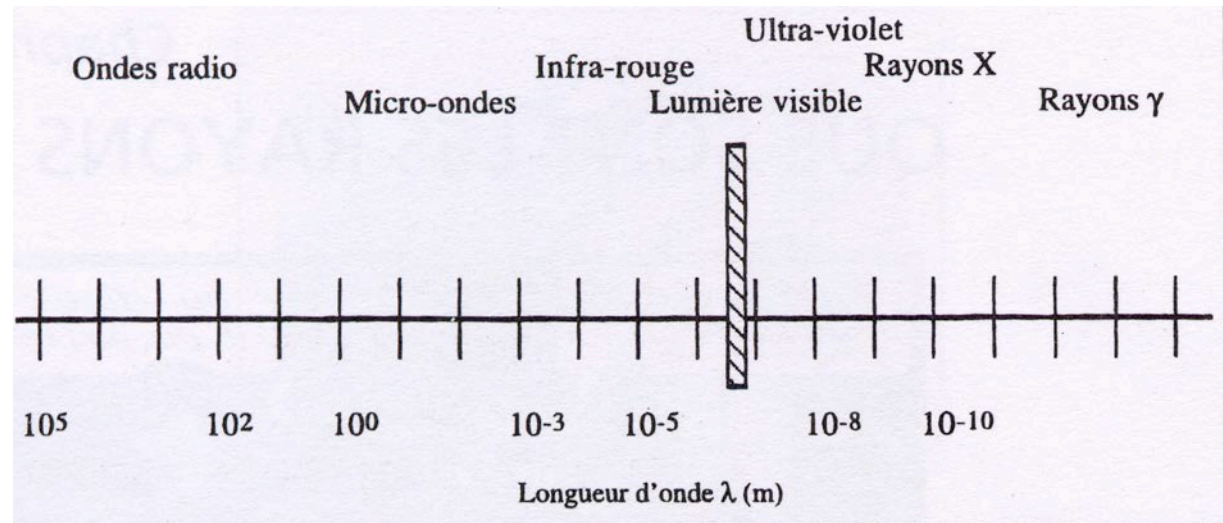
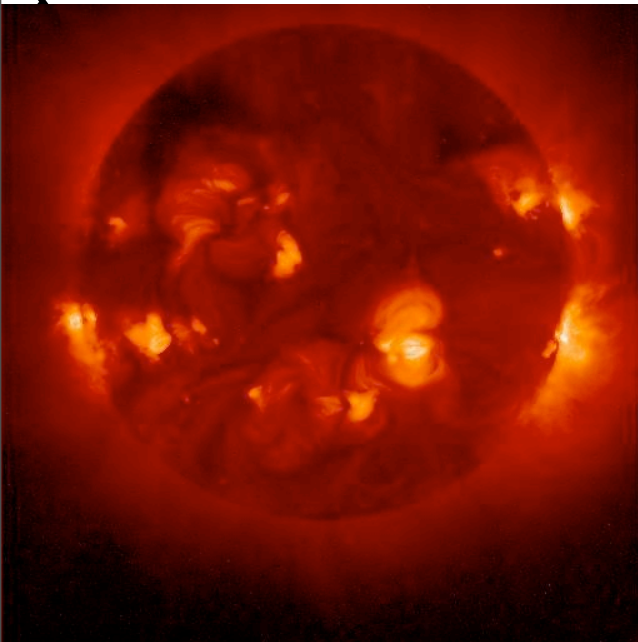


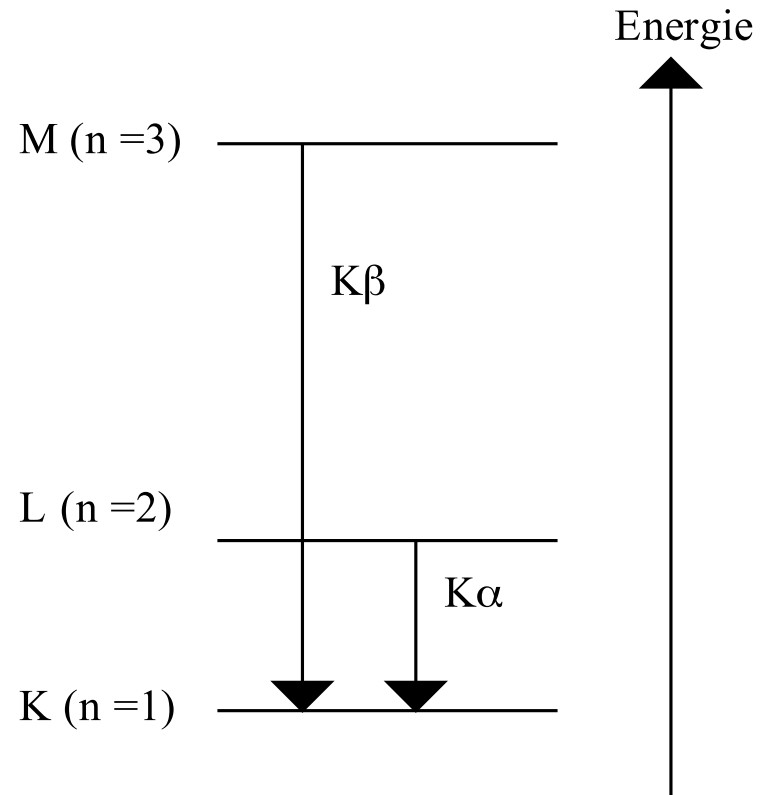
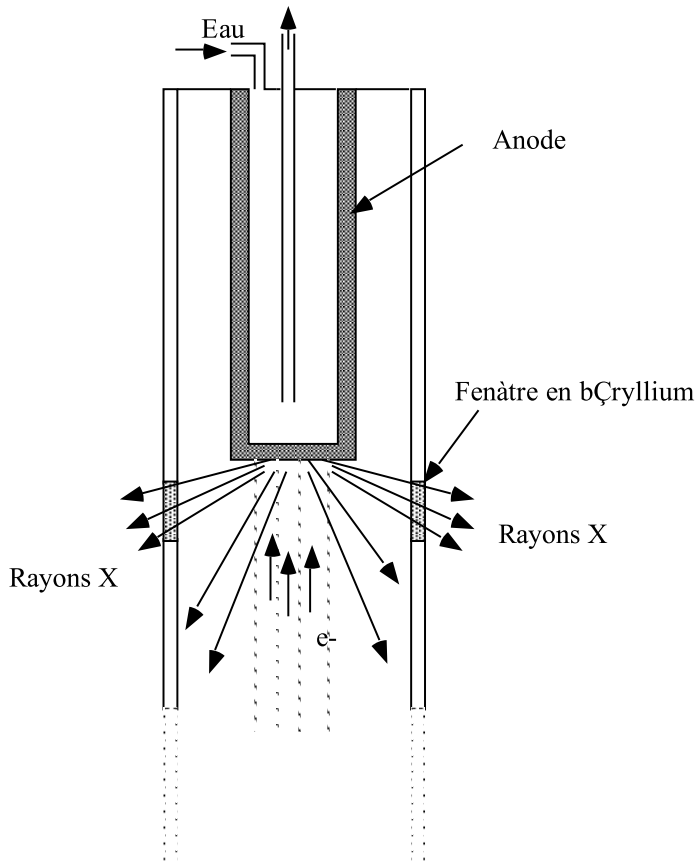
Timbres du centenaire: 1995

# Les rayons X, vus par Hergé...



Si nos yeux étaient sensibles aux rayons X





Bombarder un matériau avec des électrons de très haute énergie pour produire des rayons X revient à jouer du piano en faisant tomber des pierres sur le clavier

Munich, 1912

La pièce: **La découverte de la diffraction des rayons X par les cristaux**

La scène: **Munich** et une station de ski des alpes

les acteurs:

- Sommerfeld,
- **Max von Laue**
- **W. Friedrich**, « deuxième assistant »
- **Paul Ewald**, étudiant
- Paul Debye
  
- Wilhelm Röntgen
- **Paul Knipping**, étudiant de Röntgen
  
- P. von Groth

Source: 50 years of X-ray diffraction, P.Ewald, 1963

# Prologue

Rayons X polarisables (Barkla)

$\lambda$  de l'ordre de  $0.6 \text{ \AA}$  (W. Wien)

Ondes? (diffraction par une grille)

Particules ! (ionisation de l'air) (W. H. Bragg)

## Scène 1: Le salon de l'appartement de Max von Laue

P. E: quid des ppts optiques d'un réseau d'atomes ?

MvL: quelle est la distance supposée entre atomes?

PE: un millième de la longueur d'onde visible

MvL: Et si on irradiait un cristal avec des rayons X ?

PE: ...

## Scène 2: Une station de skis dans les Alpes

Laue, Sommerfeld, Wien

## Scène 3: Le café Lutz

Laue, Friedrich, Knipping, etc...

### Entracte

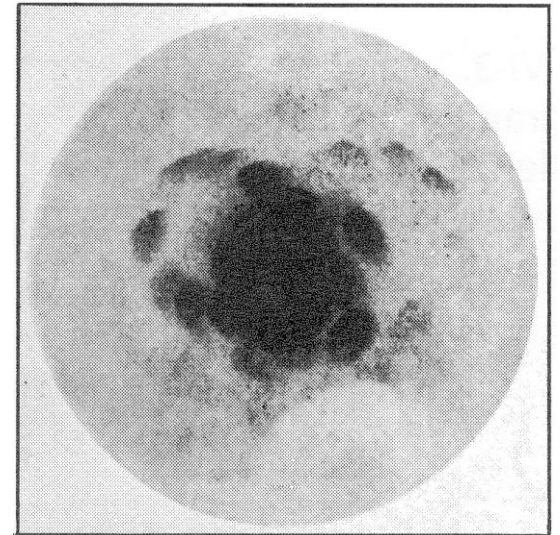
**Expérience** dans un institut de physique **théorique**

Knipping vient de l'institut de Röntgen

Café Lutz

**Scène 4: le labo de Friedrich**

Friedrich, Knipping



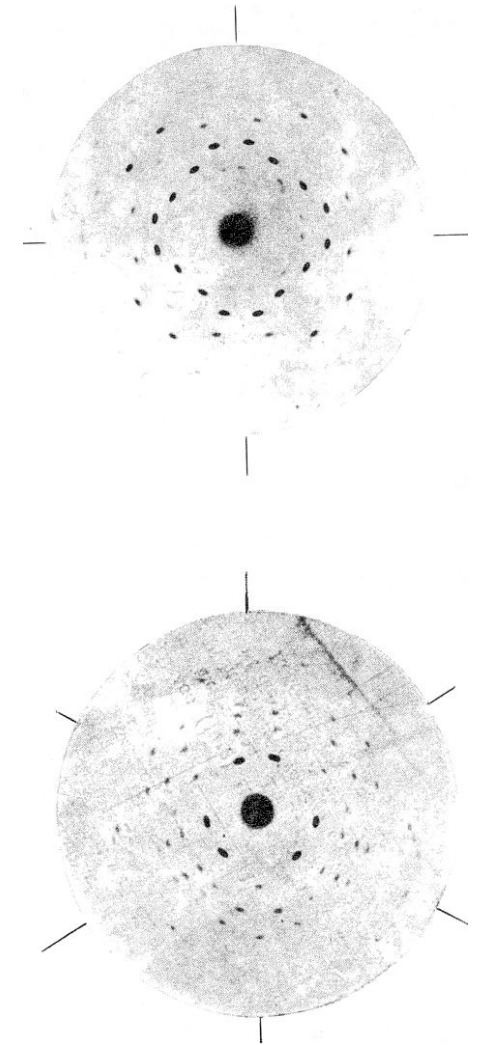
## Scène 5: Siegfriedstraße

Laue

### Le rideau tombe...

- Les rayons X sont des ondes, comme la lumière
- Les cristaux sont bien des réseaux tridimensionnels

Max von Laue reçut le prix Nobel 1914, en 1920



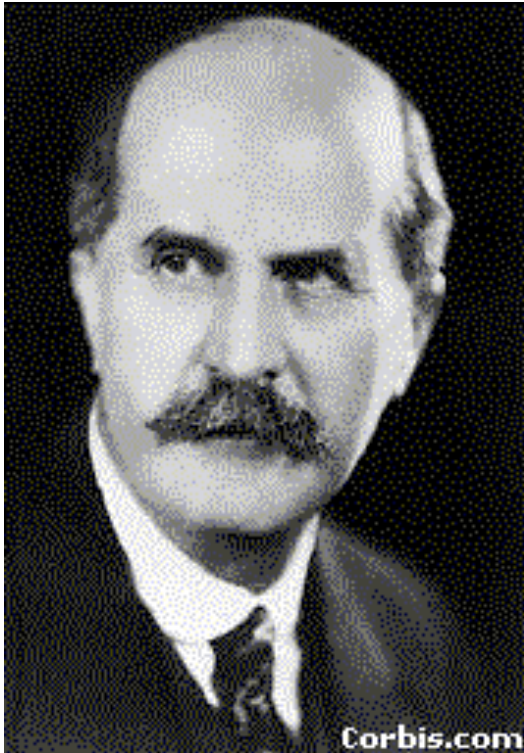
Dès qu 'on a pensé quelque  
chose, chercher en quel sens le  
contraire est vrai

Simone Weil, la pesanteur et la grâce

Parle sans t 'émouvoir.

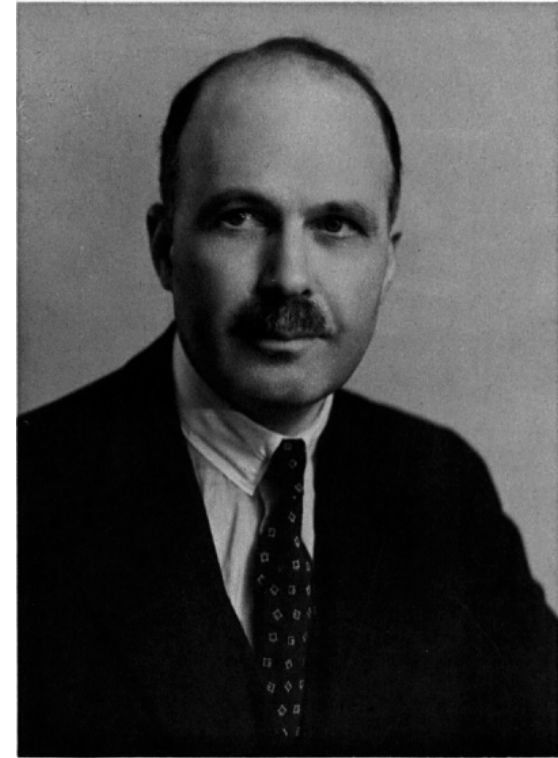
Je suis jeune, il est vrai ; mais aux âmes bien nées  
La valeur n 'attend pas le nombre des années

Corneille, Le Cid



Sir William Henry Bragg

1862-1942

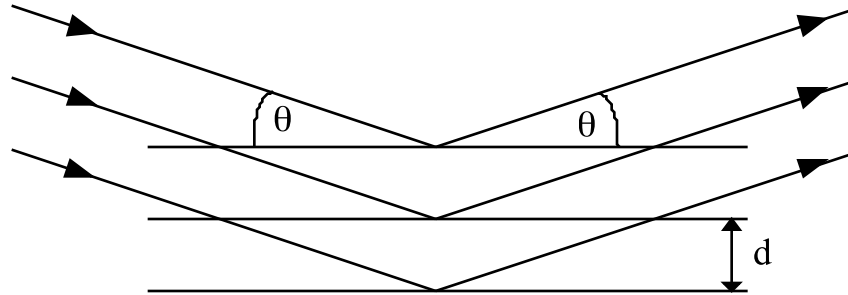


Sir William Lawrence Bragg

1890-1971

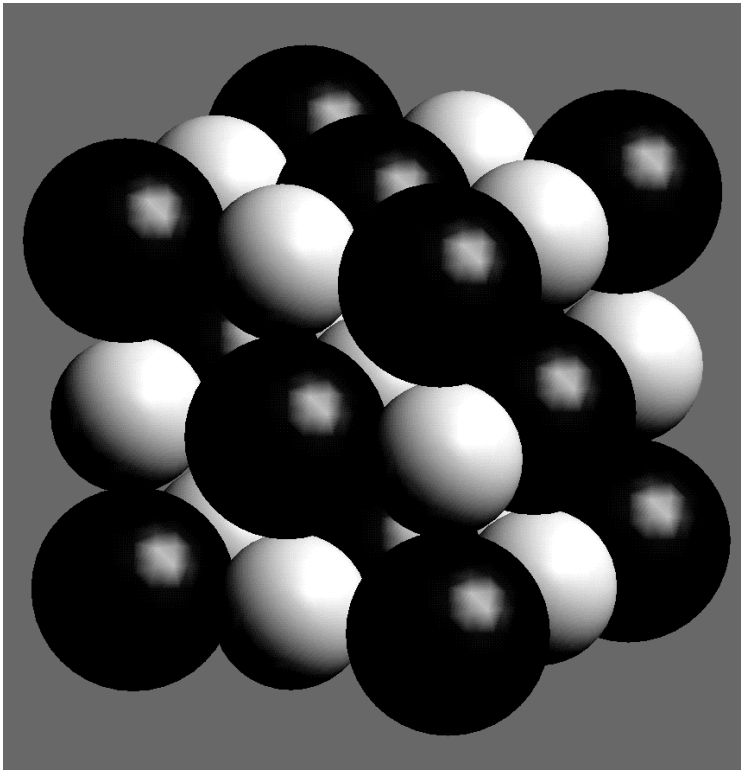


## La loi de Bragg (fiston)



$$\lambda = 2d \sin \theta$$

Un miroir qui trierait les couleurs...



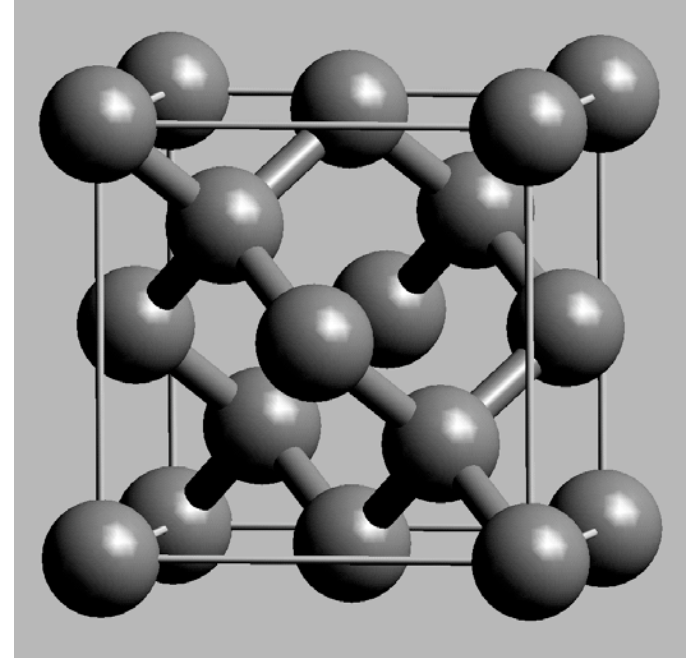
NaCl

C 'était comme découvrir un terrain alluvial aurifère avec des pépites par terre, attendant d 'être ramassées.

William Henry Bragg

Le sel : Bis, revers, atomes opposés  
Oppose mot, as, réversible sel !

Stéphane Susana



diamant

There appear to be no molecules represented by NaCl...La chimie n'est pas un jeu d'échec ni de la géométrie, quelque soit la physique des rayons X

H.E. Armstrong, Letter to nature, 1927, 120, 478

Un jour de 1915, sur le front belge....





La structure de l'acide  
désoxyribonucléique  
(ADN)

Watson, Wilkins et Crick

« Il n'a pas échappé à notre attention que l'appariement spécifique que nous avons postulé suggère immédiatement un mécanisme de recopiage possible pour le matériel génétique. »

Et pourtant, j 'existe dans l 'espoir que ces mémoires...puissent se frayer un chemin vers la conscience d 'une humanité à quelque dimension, et puissent réveiller une race de rebelles qui refuseront d 'être confinés dans une dimensionnalité limitée.

The square dans Flatland, par Edwin A. Abbott

Ah ! La science ne va pas assez vite pour nous !

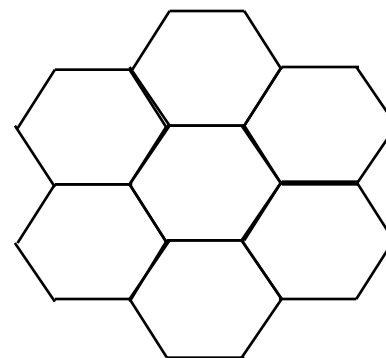
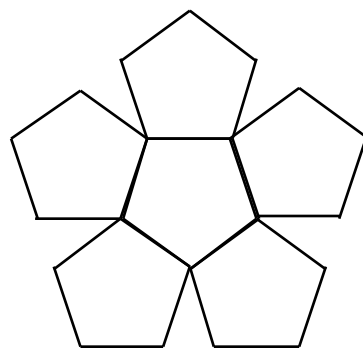
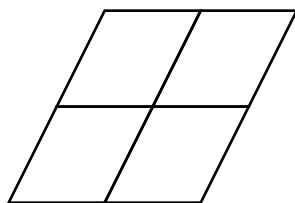
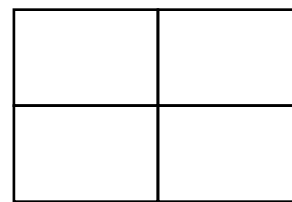
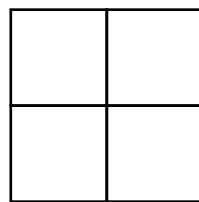
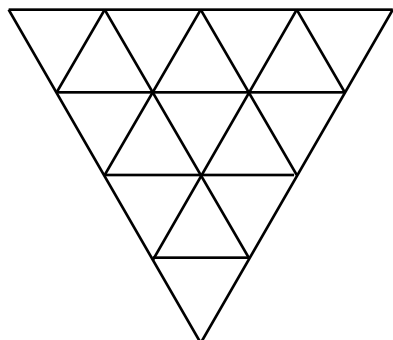
Arthur Rimbaud

Les cow-boys ont une manière de ligoter un bouvillon ou un mustang sauvage qui immobilise la brute de telle manière qu'elle ne puisse ni bouger ni penser. C' est ce qu' Euclide fit à la géométrie.

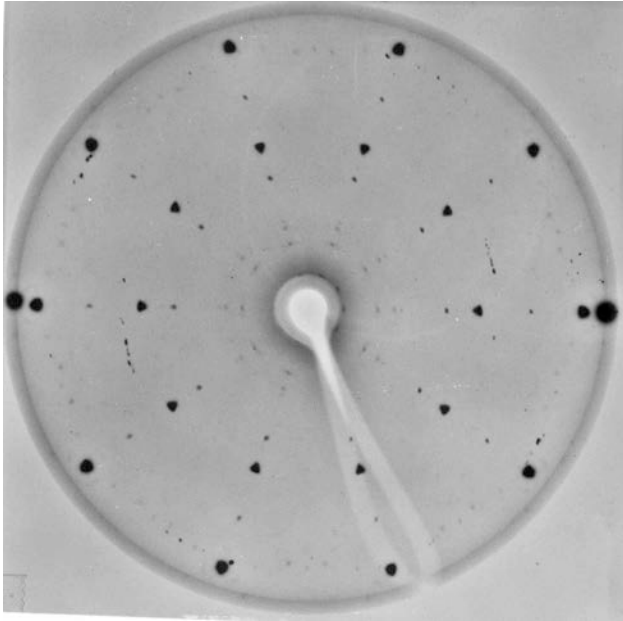
Bell,

cité par Alan MacKay, cristallographe « non-conformiste »

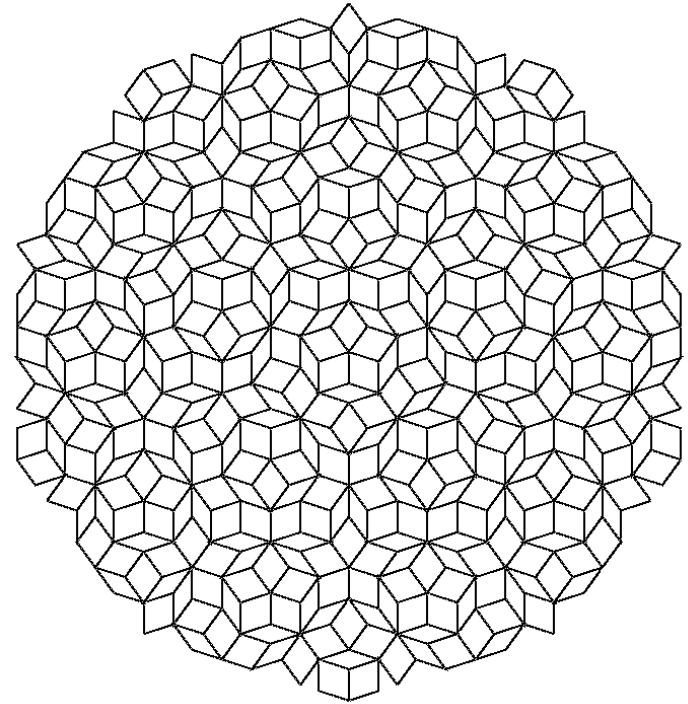
La symétrie d 'ordre 5 (et supérieure à 6) est interdite en cristallographie



Et pourtant...



Shechtman et coll., 1984



Pavage de Penrose (1970 's)

1982: Mackay simule la diffraction d'un pavage de Penrose et obtient un digramme de diffraction discret

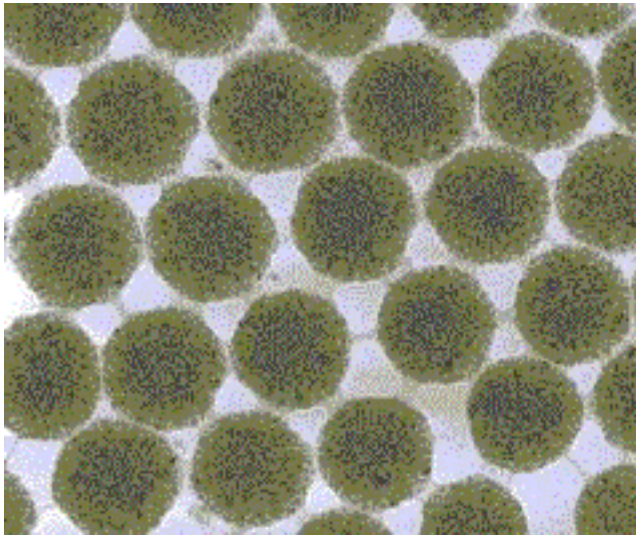
Nombre d'or:  $\phi = (1+\sqrt{5})/2$

cf The divine proportion (Huntley, 1970)

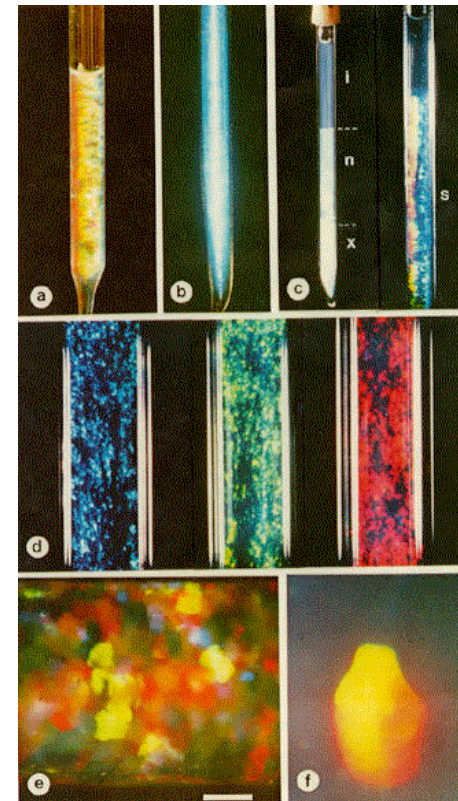
Nouvelle définition d 'un cristal par  
l 'International Union of Crystallography :

« Tout solide possédant un diagramme de diffraction discret »

Que des solides ?



Émulsion de ferrofluide



Cristaux de virus de la mosaïque du tabac



*Demandez à un crapaud ce que c'est que la beauté : il vous répondra que c'est sa crapaude avec deux gros yeux ronds sortant de sa petite tête. Interrogez le diable il vous dira que le beau est une paire de cornes, quatre griffes et une queue.*

Voltaire, Dictionnaire philosophique

Euclide seul vit la beauté pure...(Edna St-Vincent Millay)

