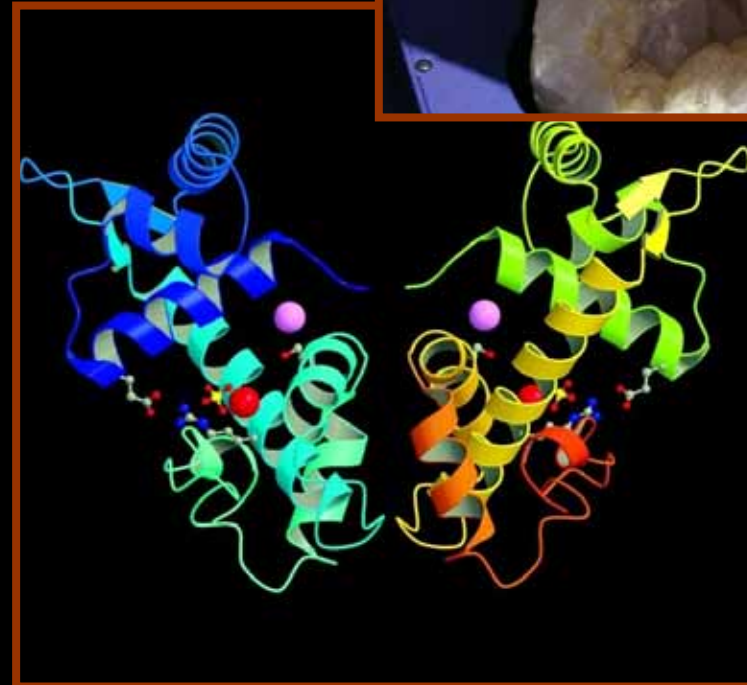
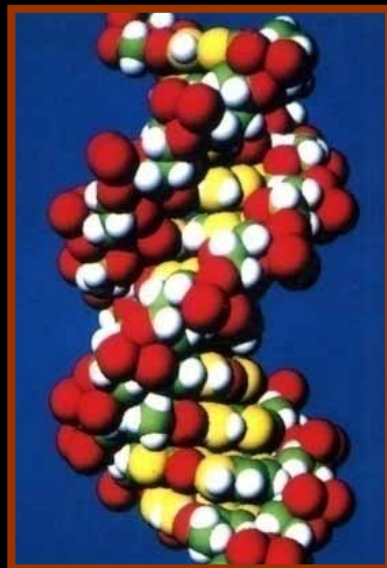
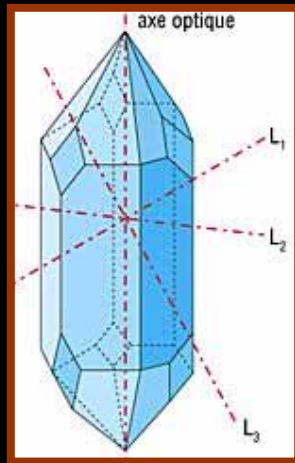


Un Voyage dans le Cristal et la Cristallographie

à l'occasion de « 100 ans de cristallographie »

et de

IYCr2014



Les 3 étapes de la Cristallographie et de son objet coeur : le Cristal

IYCr2014



le cristal, objet d'émerveillement, d'observation
de l'antiquité au moyen-âge

le cristal, objet de science

leur forme permet d'imaginer le cristal

la découverte des rayons X permet le voyage dans le cristal

le cristal, objet de recherches et d'applications

le cristal comme un outil de recherches

le cristal comme un sujet d'applications



le cristal, objet d'émerveillement *de l'antiquité au moyen-âge*

IYCr2014



Qu'est-ce qu'un cristal ?
Où sont ils ? sous quelles formes?

le cristal, objet d'émerveillement *de l'antiquité au moyen-âge*

IYCr2014



Qu'est-ce qu'un cristal ?
La couleur pour définir un cristal ?



le cristal, objet d'émerveillement, de symboles *de l'antiquité au moyen-âge*

IYCr2014



Les cristaux objets d'émerveillement et de symboles

A travers les âges, les êtres humains ont découvert et observé des "cailloux" dont les **formes** et les **couleurs** les ont intrigués et ils leur ont attribué des **symboliques** particulières.



le cristal, objet d'émerveillement, de symboles de l'antiquité au moyen-âge

IYCr2014

MARBODAEI GALLI CAENOMANENSIS DE

gemmarum lapidumq; pretiosorum formis, natu-
ris, atq; uiribus eruditū cū primis opusculū, sane q̃tile, cum
ad rei medicæ, tū scripturæ sacræ cognitionē: nūc primū nō
mō cētū ferme uersib. locupletatū pariter & accuratius emē-
datū, sed & scholijs q̃q; illustratū p Alardū AEmstelredamiū

¶ Cuius studio
additū sunt & præci-
puæ gemmæ lapi-
dūq; pretiosorū expli-
catiōes, ex uetustiss.
q̃busq; autorib; co-
actæ. Cū scholijs Pi-
etrij Villingen.

Εν μαργάριτον τι
μιον. Ἀποδόνει
ἅπαντα λαμβανει.
En margaritū no-
bile, Eme si cupis
discere.
Rationale. Exodi.
28. & 39. Leui. 8.

Doctrina

& Veritas

3 Smaragdus Leui	4 Carbūcul. Iuda	5 Saphirus Zabulon
2 Topazius Simeon	9 amethystus Aser	6 Iaspis Isachar
1 Sardius Ruben	10 chrysolitus Nephtalim	7 Lincurius Dan
12 Beryllus Beniamin	11 Onychinus Ioseph	8 Achates Gad

Coloniz. excudebat: Hero Alopecius Anno. 1539.



Cristal et symboles

- cristaux qui soignent
- symboles d'éternité,



le cristal, objet d'émerveillement, d'art *de l'antiquité au moyen-âge*

IYCr2014



Cristal, pierres précieuses et bijoux?



le cristal, objet d'émerveillement, de symboles *de l'antiquité au moyen-âge*



Cristaux géants de Naica



Histoire de diamants célèbres



La taille des pierres précieuses



Les mythes autour du Diamant

Une pierre « inaltérable »

© Diamant, enclume et marteau, Virtus expugnabilis BNF



Le nom diamant dérive du grec « *adamas* » (l'indomptable) qui désigne initialement toute matière très dure, comme la magnétite et le diamant.

Les mythes autour du Diamant

utilisée brute au Moyen-Âge car très difficile à tailler



Charles le Téméraire
1433 –1477
Duc de Bourgogne



Une pierre « inaltérable » et donc
symbole d'invincibilité, d'éternité et ... d'amour

Les mythes autour du Diamant

utilisée brute au Moyen-Âge car très difficile à tailler



Charles le Téméraire
1433 –1477
Duc de Bourgogne



© Jacopo Typhotius, BNF



Une pierre « inaltérable » et donc
symbole d'invincibilité, d'éternité et ... d'amour

D'où vient le Diamant ?

Une pierre « inaltérable »



Robert Boyle (1627–1691)

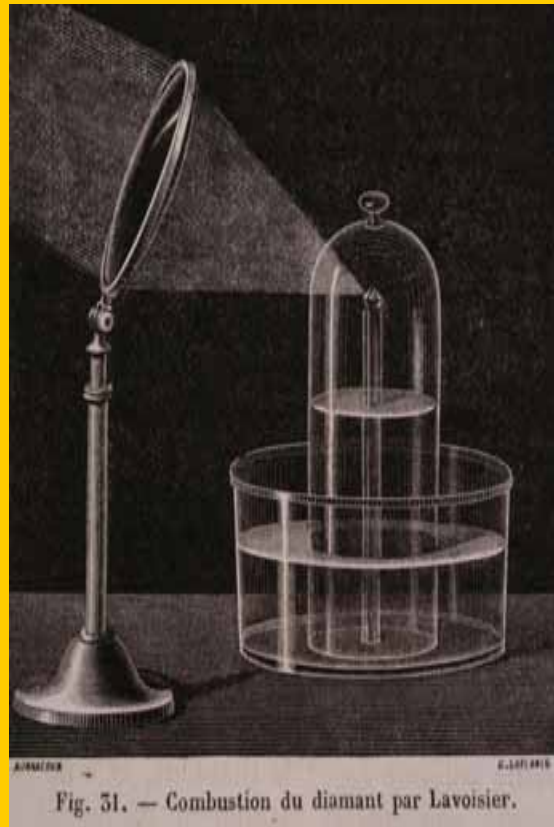


Diamants et Pierres Précieuses par L. Dieulafait



D'où vient le Diamant ?

Une pierre « inaltérable »



DESTRUCTION DU DIAMANT PAR LE FEU. 59

N ^o de l'expérience	NOM, PESANTIER, et nature des diamants.	PESANTIER des diamants, au pes.	DURÉE au feu.	OBSERVATIONS sur les expériences.	RÉSULTAT des expériences.
1	1 diamant.		7 heures au fourneau à vent.	Sans intermède dans une balle de porcelaine cuite, du diamètre intérieur d'une balle de pistolet.	Il n'est presque rien perdu de son poids, mais les bords étaient noirs, quoique l'adhérence de la balle fût idéale.
2	1 diamant.	$\frac{1}{2}$ grain.	Six fois 24 h.	Mêmes circonstances.	A disparu entièrement.
3	1 diamant.	1 grain.	Quatre fois 24 heures.	Sans intermède dans un creuset de porcelaine parfaitement louché.	A perdu $\frac{1}{5}$ de son poids.
4	Même diamant qu'en n ^o 3.	1 grain $\frac{1}{2}$.	Quatre fois 24 heures.	Sans intermède dans un petit creuset de porcelaine parfaitement louché.	Est sorti noir, comme corail, vermoulu et en grande partie détruit.
5	Diamant du Brésil.	$\frac{1}{2}$ et $\frac{1}{4}$.	11 heures au fourneau à vent.	Sans intermède.	A perdu $\frac{1}{5}$ de son poids.
6	Idem.	$\frac{1}{2}$.	8 jours.	Sans intermède dans une balle de porcelaine cuite.	A disparu entièrement.
7	2 diamants du Brésil.	1 once $\frac{1}{2}$.	8 jours.	Sans intermède dans une balle de porcelaine cuite, et assésée en dedans.	Ont disparu entièrement.
8	1 diamant.	1 grain et $\frac{1}{4}$.	15 heures du feu de porcelaine, et 7 heures du feu du fourneau à vent.	Dans une balle de porcelaine cuite de $\frac{1}{2}$ de pouce de diamètre intérieur remplie de poudre de corne de cerf calcinée.	A perdu $\frac{1}{5}$ et $\frac{1}{10}$ de son poids; il est sorti défilé et comme égrainé; la balle de porcelaine n'était pas parfaitement cuite, mais totalement détrempée.
9	Même diamant.	$\frac{1}{2}$ grain et $\frac{1}{4}$.	Sept fois 24 heures.	Dans une balle semblable, dont la cavité était remplie de petites balles de porcelaine cuite.	Les petites balles de porcelaine avaient été mises pour faire le plein; le diamant, après l'expérience, ne pesait plus qu'en huitième de grain.
10	Diamant plat.		Sept fois 24 heures.	Dans une balle de porcelaine cuite remplie de pierre à fusil en poudre.	Le diamant a disparu entièrement.

Mémoires de l'Académie des sciences (1772)

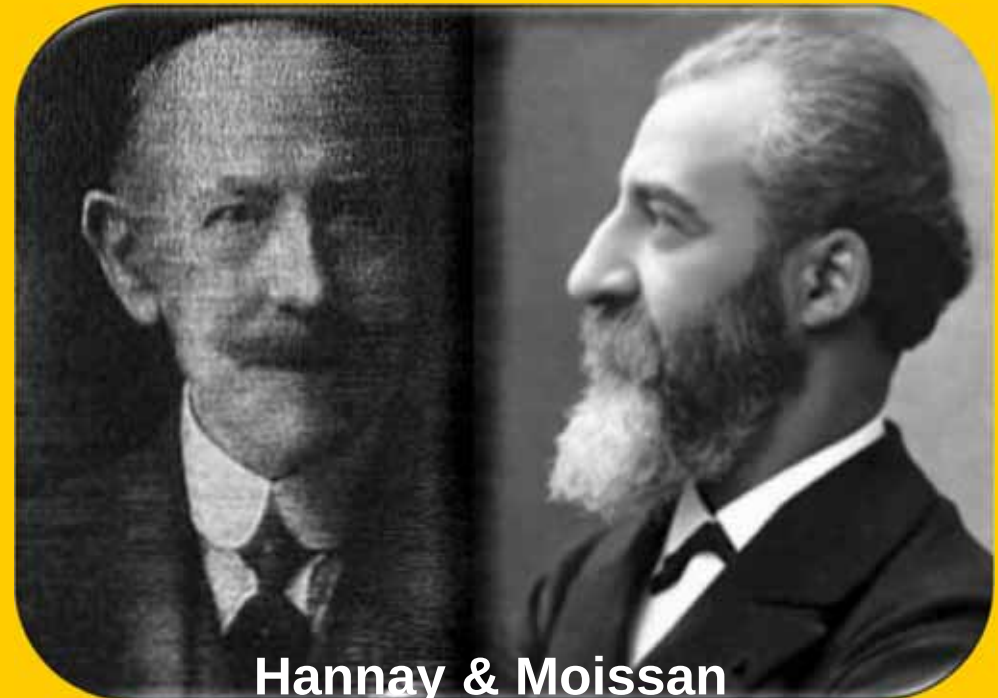
Non, qui brûle.... comme le rapporte Lavoisier en 1772 dans le mémoire « sur la destruction du diamant par le feu »



Toutes ces expériences et celle de Smithson Tennant, en 1797, montrent que le **charbon** et le **diamant** sont faits de la même matière: le carbone

Les scientifiques observent aussi que pour un même volume le diamant a un poids plus lourd que le charbon....

.... et ils soumettent des hautes température & hautes pression sur le **charbon** pour faire du **diamant** ?



Hannay & Moissan



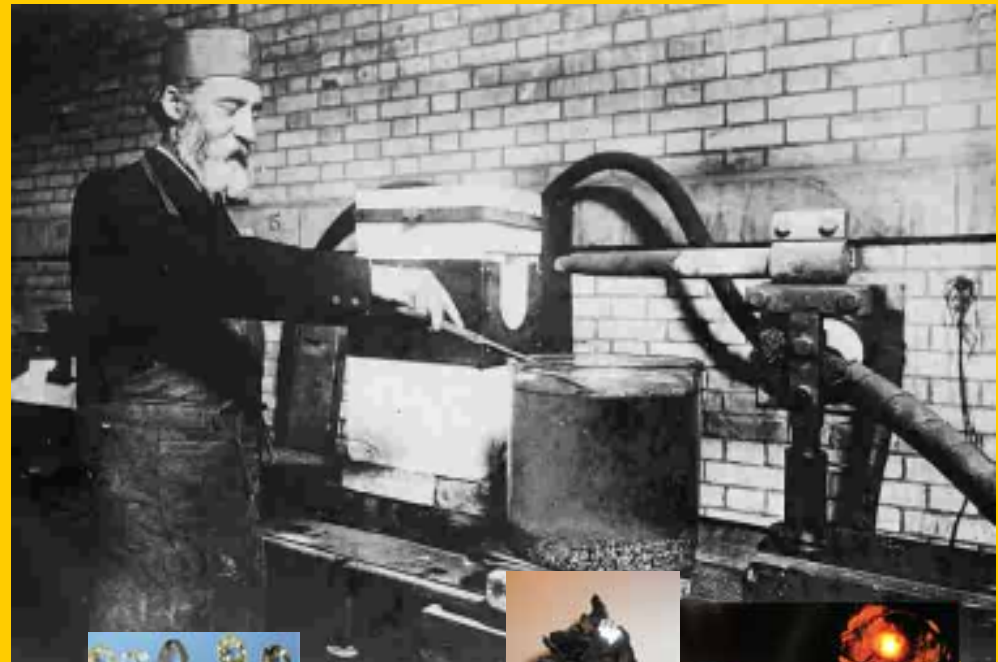
Savoir d'où vient le Diamant naturel

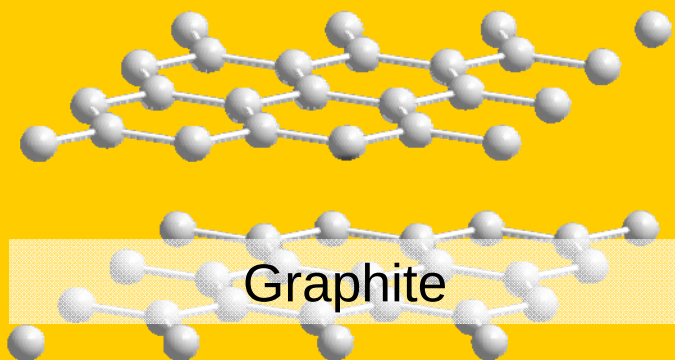
... pour mieux le faire



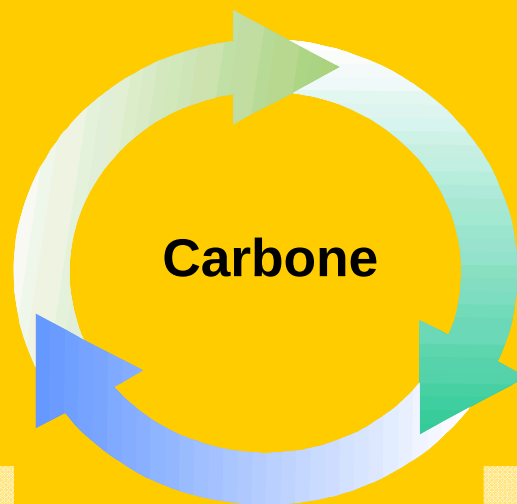
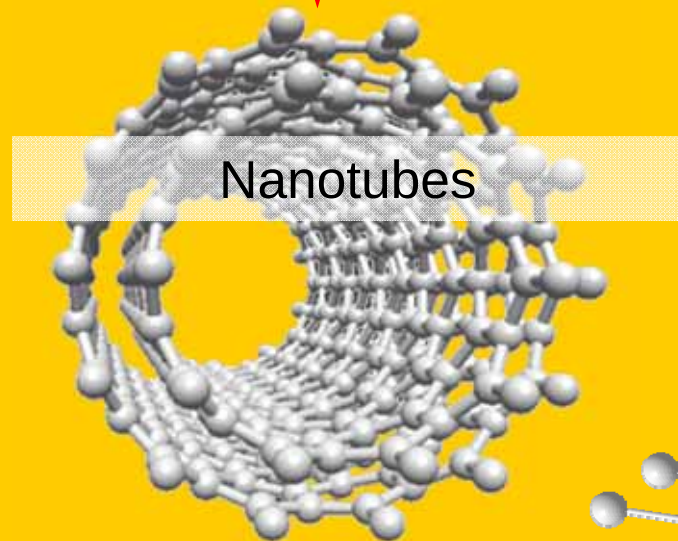
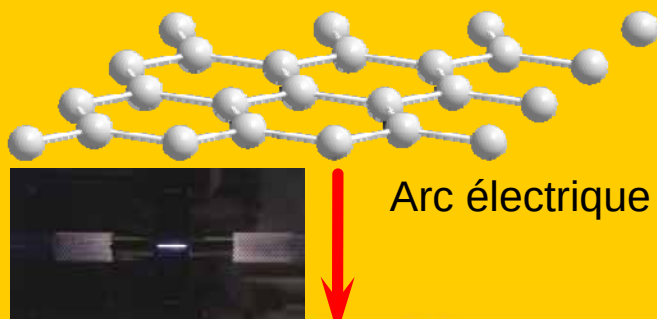
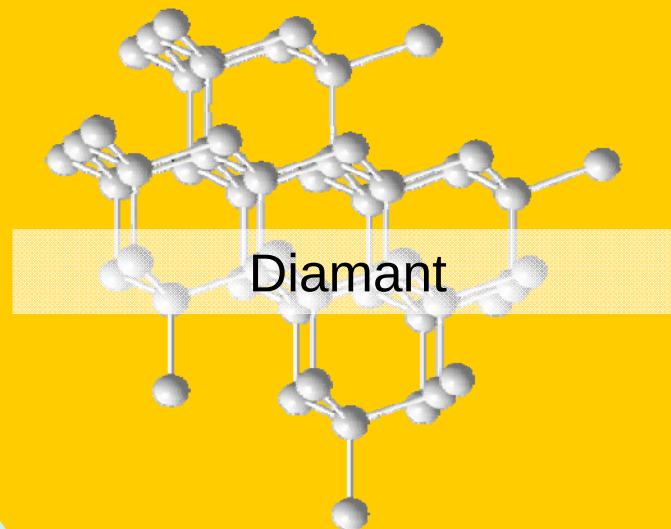
.... et ils soumettent
des hautes température
& hautes pression sur le
charbon pour faire du
diamant ?

Le succès pour obtenir du diamant ne fut qu'en
1953 par Allmana Avenska Elektriska Aktiebolaget
et en 1955 by General Electric Company :
Il faut de très hautes pressions & températures

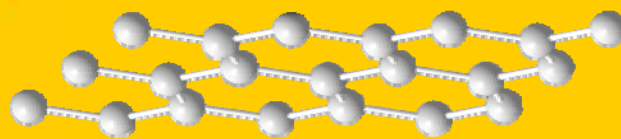
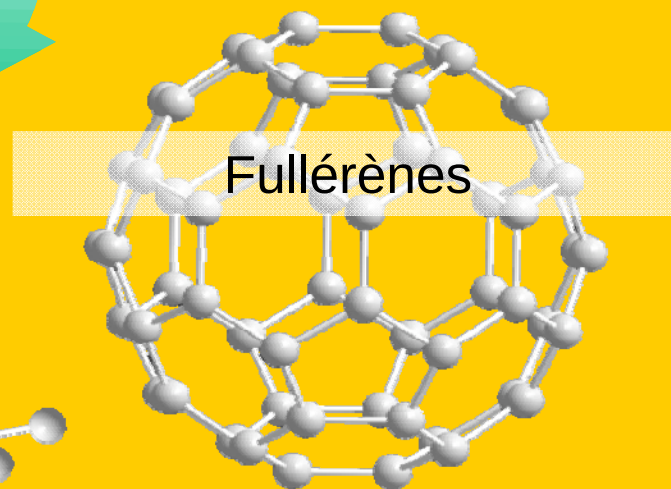




Haute Pression
Haute Température



Haute Pression



Graphène



le cristal et le « cristal »

IYCr2014



Cristal ou verre ?



le cristal, objet de science

leur forme permet d'imaginer le cristal

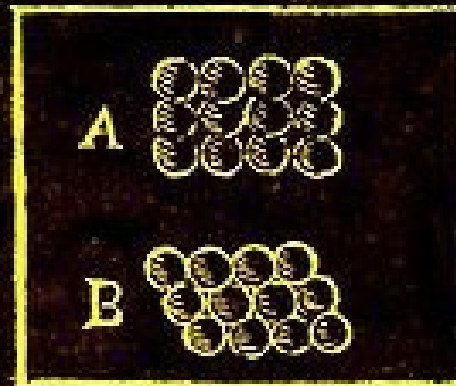
IYCr2014



Les premiers « savants » cristallographes

A partir du XVIème siècle et du siècle des lumières
l'**observation scientifique** des cristaux permet de **déduire**
les premières lois d'organisation des cristaux.

*Nam si ad structuram solidorum
grediaris, ordinesq, ordinibus sup*



uno supra se, & ab uno infra se:



le cristal, objet de science

leur forme permet d'imaginer le cristal

IYCr2014



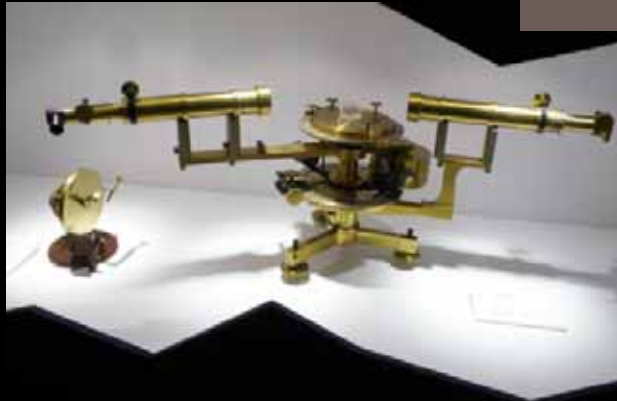
Les premiers « savants » cristallographes

A partir du XVIème siècle et du siècle des lumières
l'**observation scientifique** des cristaux permet de **déduire**
les premières lois d'organisation des cristaux.

le cristal, objet de science

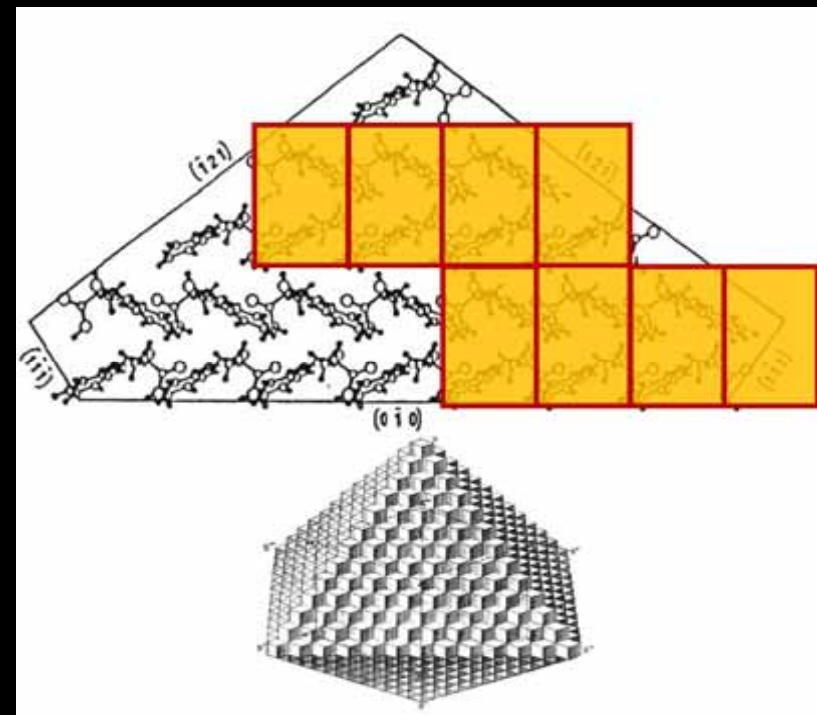
leur forme permet d'imaginer le cristal

IYCr2014



Les premiers « savants » cristallographes

A partir du XVI^{ème} siècle et du siècle des lumières
l'**observation scientifique** des cristaux permet de **déduire**
les premières lois d'organisation des cristaux.

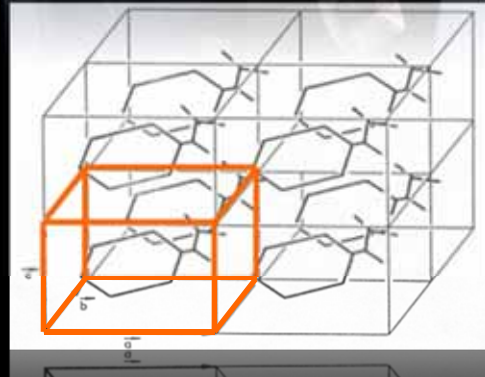


le cristal, objet de science

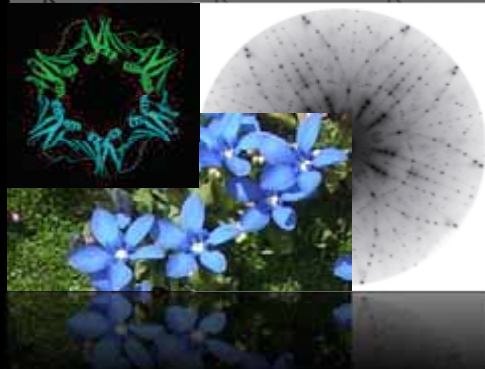
leur forme permet d'imaginer le cristal



Ordre et désordre



Le cristal : un réseau



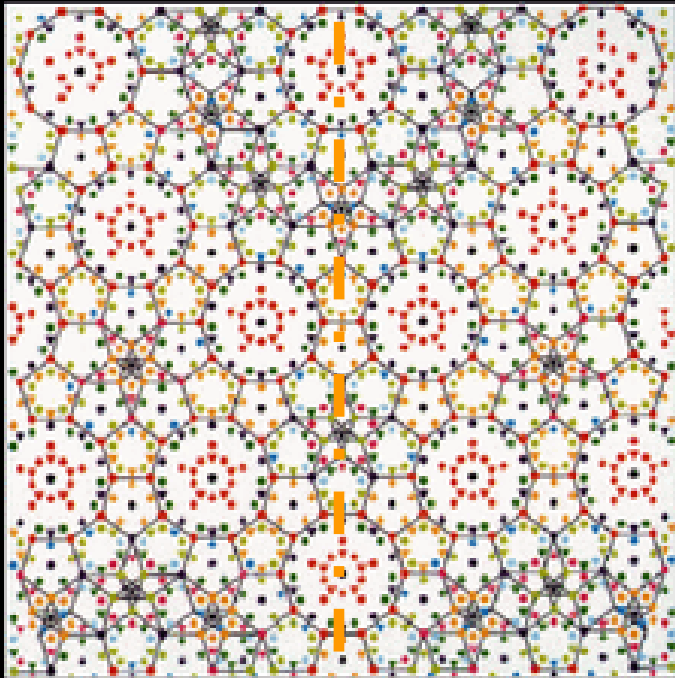
La symétrie



le cristal, objet de science

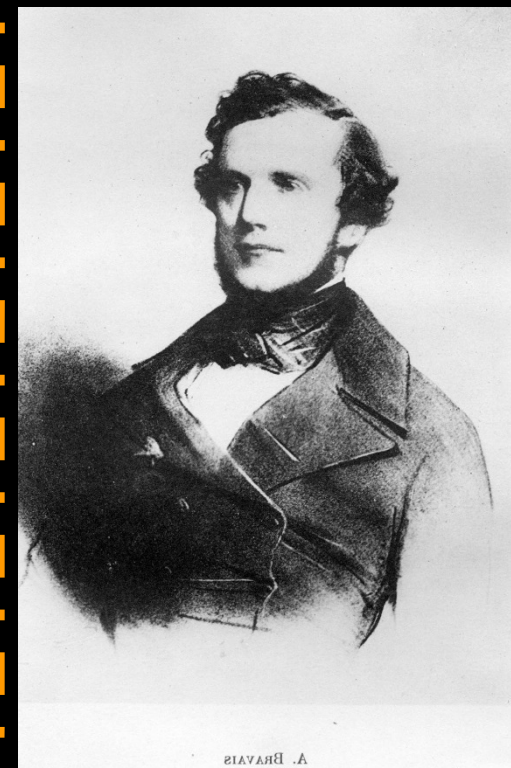
leur forme permet d'imaginer le cristal

IYCr2014



Cristal, symétrie

La cristallographie est une discipline où le concept de symétrie en physique a été introduit.



le cristal, objet de science

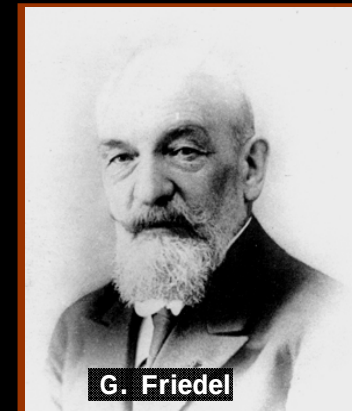
leur forme permet d'imaginer le cristal

IYCr2014



Les monde des macles

Présentation de diverses macles
et modèle en bois



le cristal, objet de science

la découverte des rayons X permet le voyage dans le cristal

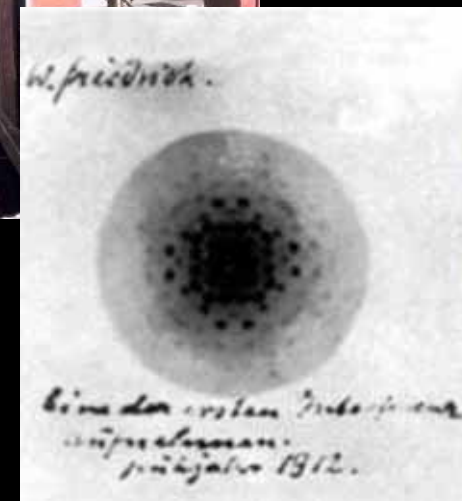
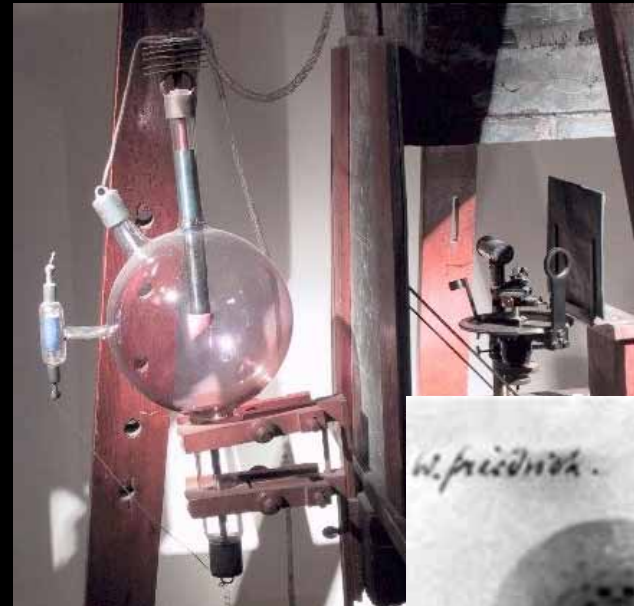
IYCr2014



W. C. Röntgen



Max von Laue



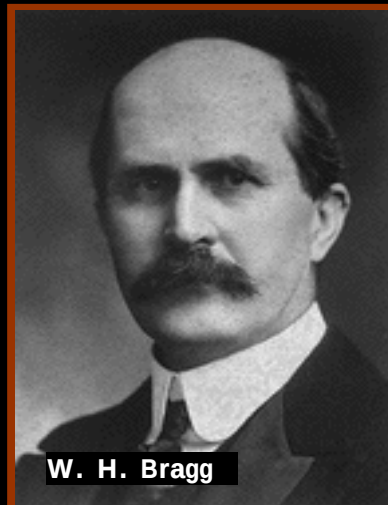
De la découverte des Rayons X...

La découverte des rayons X en 1895 ouvre un nouveau domaine scientifique
Polémique sur des rayons X : ondes ou particules, la réponse des cristaux

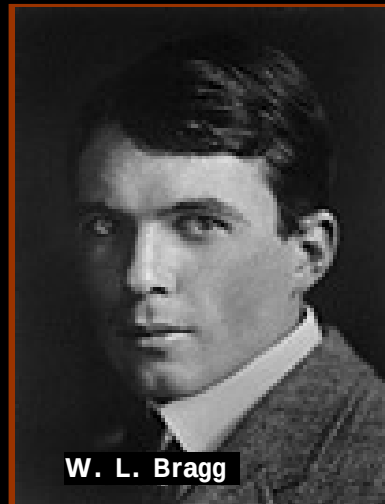


le cristal, objet de science

la découverte des rayons X permet le voyage dans le cristal



W. H. Bragg



W. L. Bragg

... à son utilisation pour « voir » l'intérieur des cristaux

Mise en évidence de l'ordre des atomes dans les cristaux.

La cristallographie et ses Prix Nobel

Les découvertes de la radiocristallographie : structure de NaCl, du diamant, de la calcite, ordre magnétique, structures biologiques, de l'ADN,...

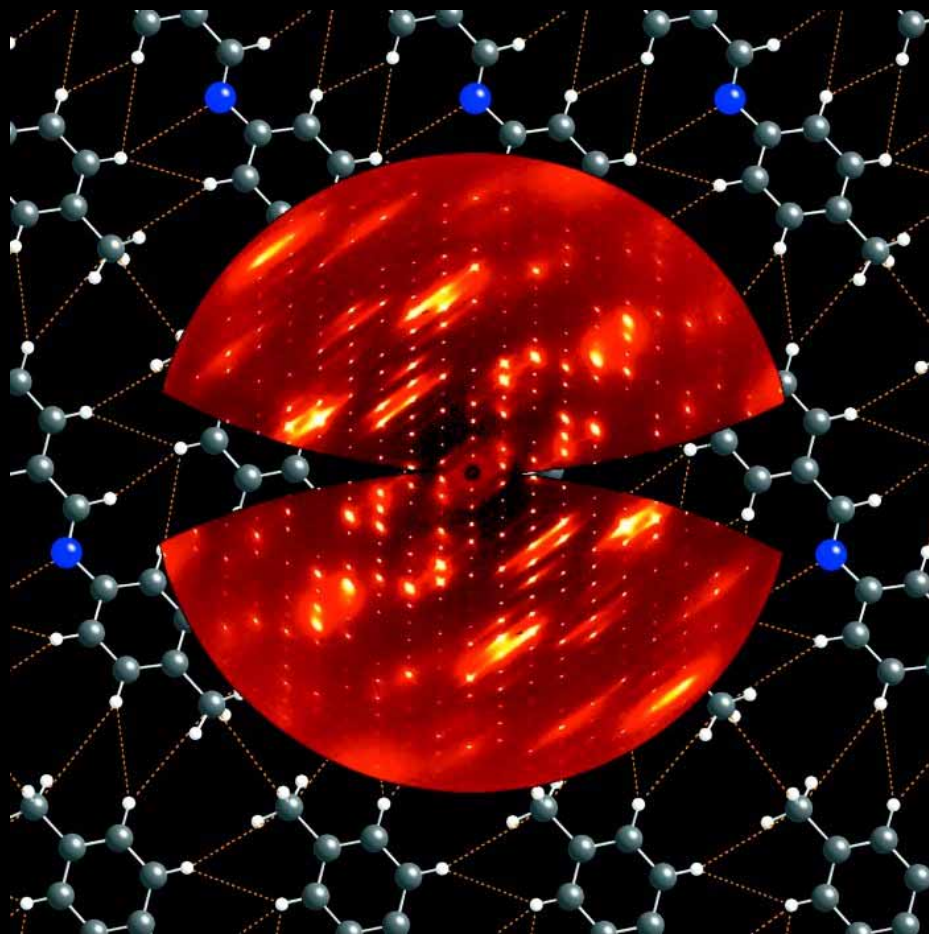
... C'est l'âge d'or de la physique en cristallographie.



le cristal, objet de science

la découverte des rayons X permet le voyage dans le cristal

IYCr2014



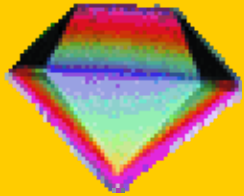
Comment « voir » dans les cristaux : une question de mathématiques

Passer du monde « réciproque » au monde « réel » : une illustration de la Transformée de Fourier (borne interactive ou quizz)



Alice et Joseph au pays du cristal

*ou le Monde d'Alice et le Monde de Joseph
... Les cristaux à la lumière des rayons X*



Joseph, comment peut-on voir la **structure** des cristaux ?



En étudiant leur **diffraction** avec des rayons X



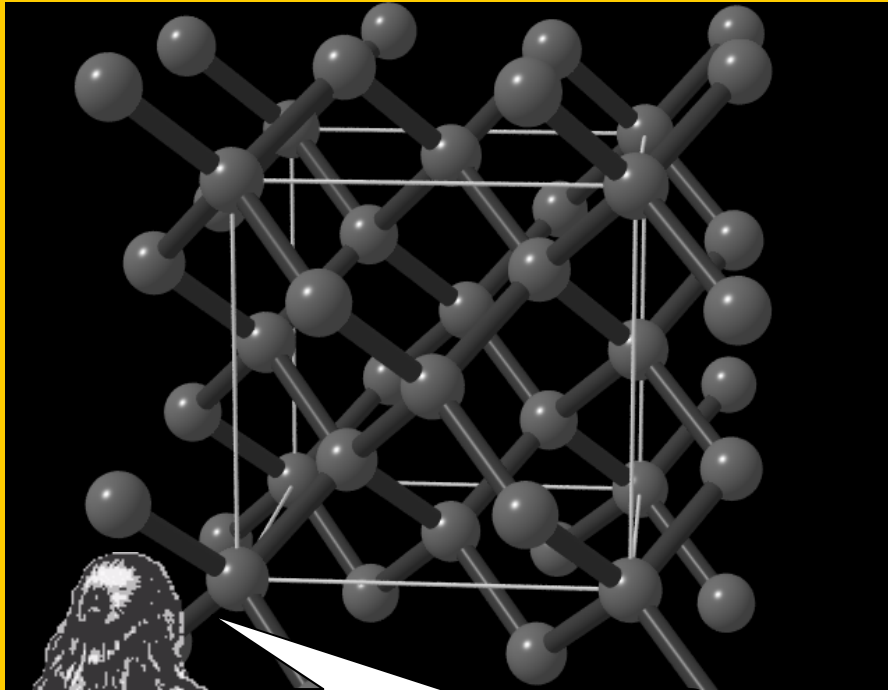
Joseph Fourier



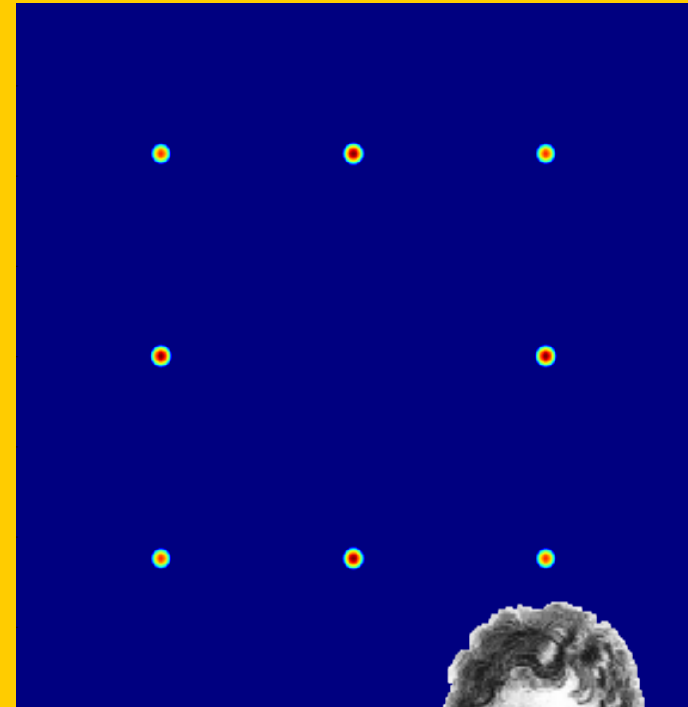
le Monde d'Alice

le Monde de Joseph

Le Diamant



Le diamant a une structure cubique



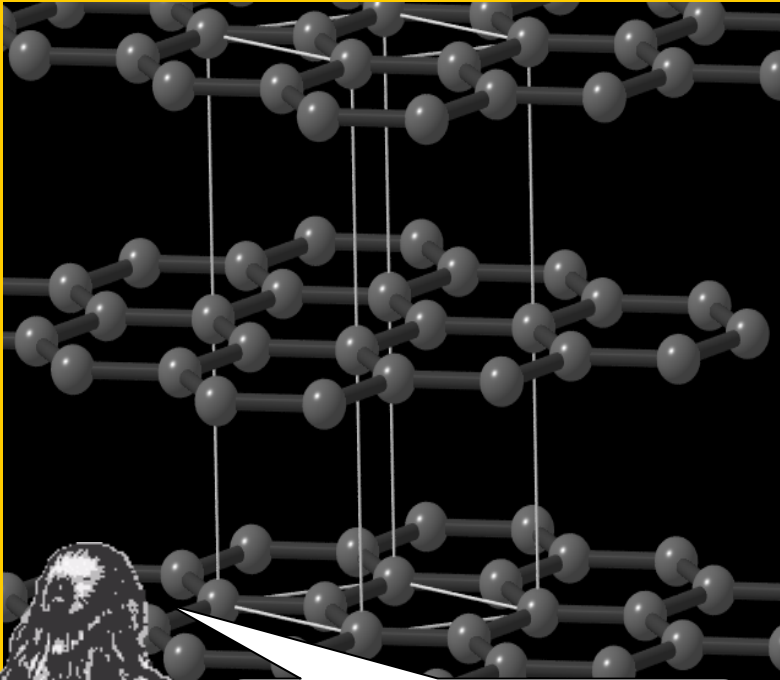
*Sa diffraction présente aussi une **symétrie** cubique. C'est une petite structure alors il y a peu de tâches de diffraction*



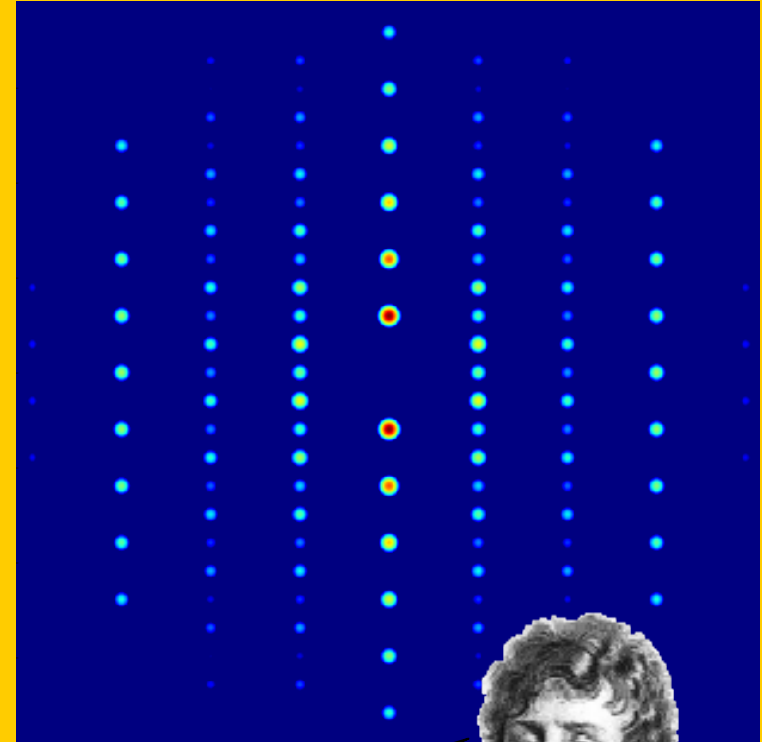
le Monde d'Alice

le Monde de Joseph

Le graphite (mine de crayon)



**Dans le graphite les
atomes sont disposés
en 'feuillets'**

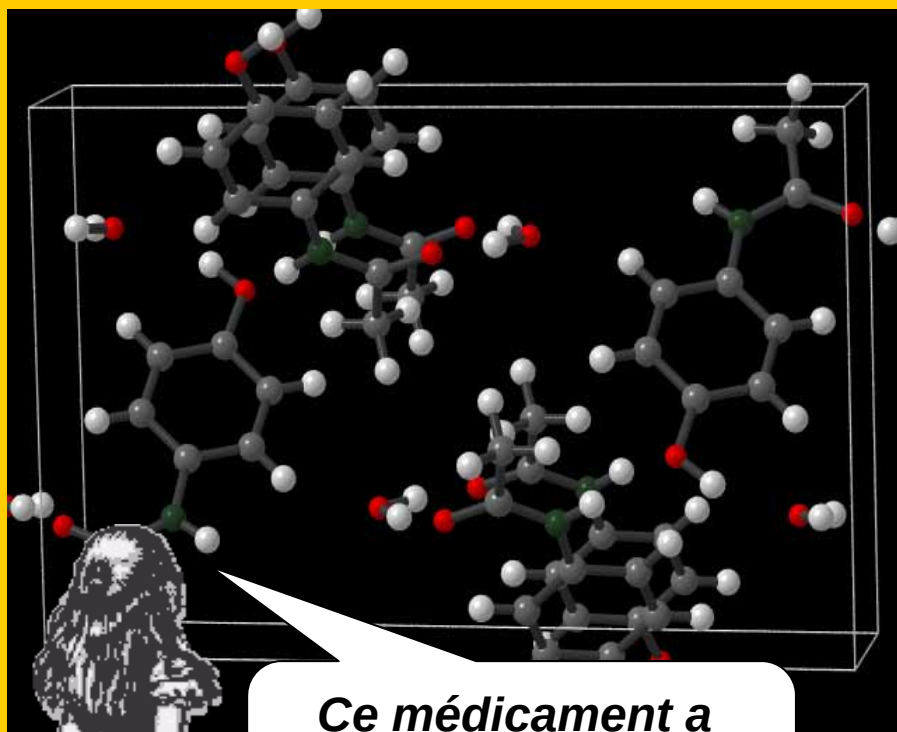


**Sa diffraction
présente des lignes
perpendiculaires aux
feuillets**

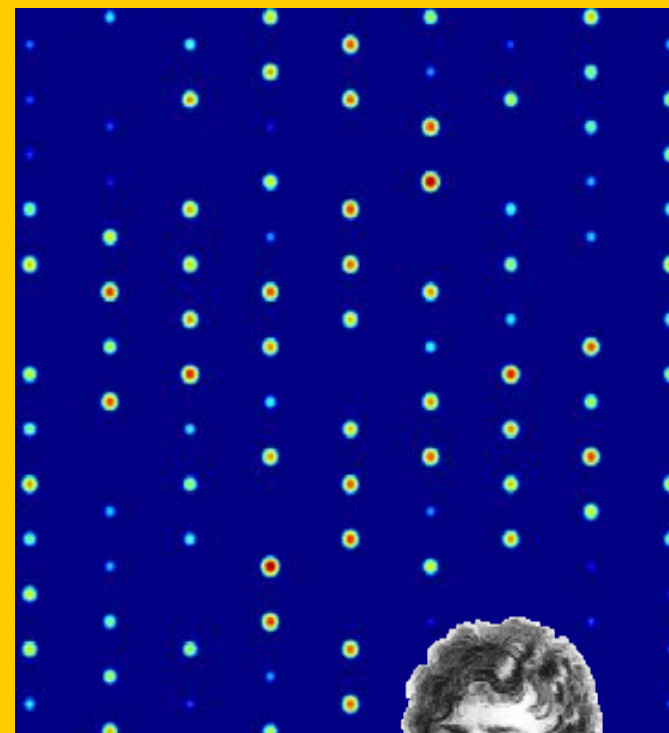
le Monde d'Alice

le Monde de Joseph

Le Paracétamol



*Ce médicament a
une structure
moins symétrique*



*Son cliché de
diffraction présente
aussi moins de
symétrie*

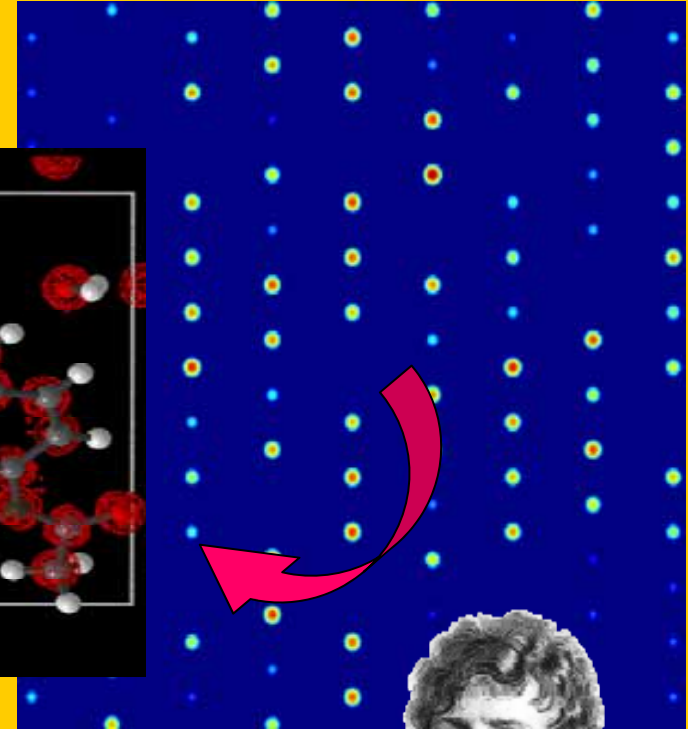
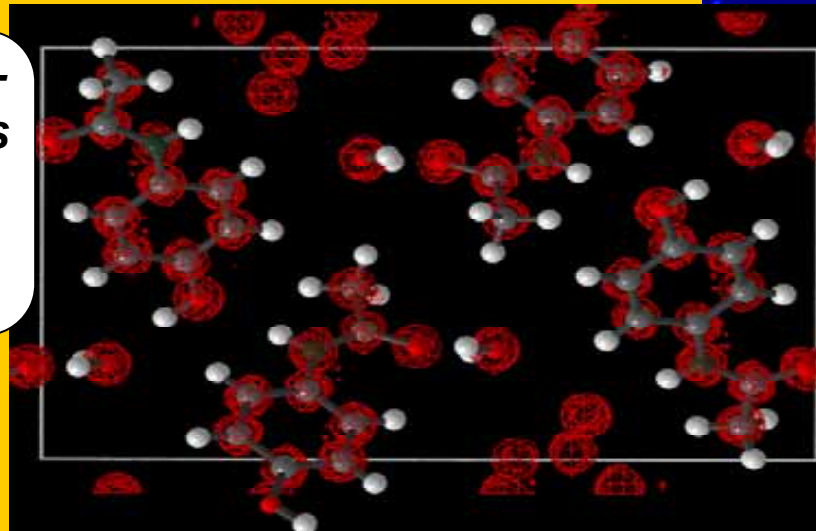


le Monde d'Alice

le Monde de Joseph

**Passer de la diffraction ...
à la structure atomique**

Mais comment fait-on pour trouver les positions des atomes à partir de la diffraction ?



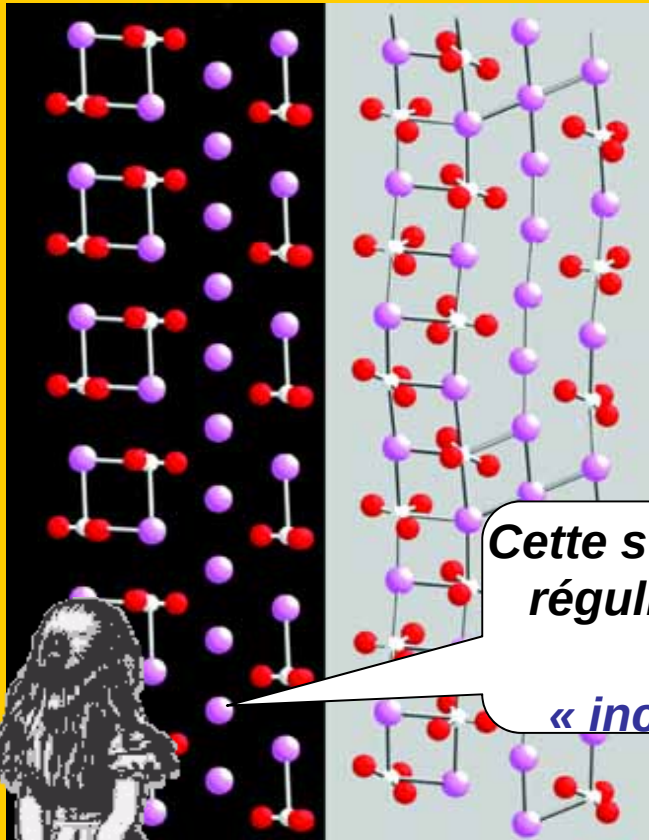
A partir du cliché de diffraction la carte de **densité électronique peut être calculée... et les atomes identifiés, grâce à la transformée de Fourier que j'ai inventée**



le Monde d'Alice

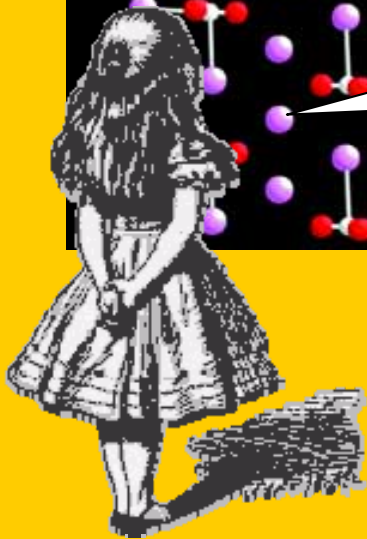
le Monde de Joseph

**... et « voir » des structures
compliquées**



Cette structure a répétition
régulière double, on dit
qu'elle est
« *incommensurable* »

IUCr



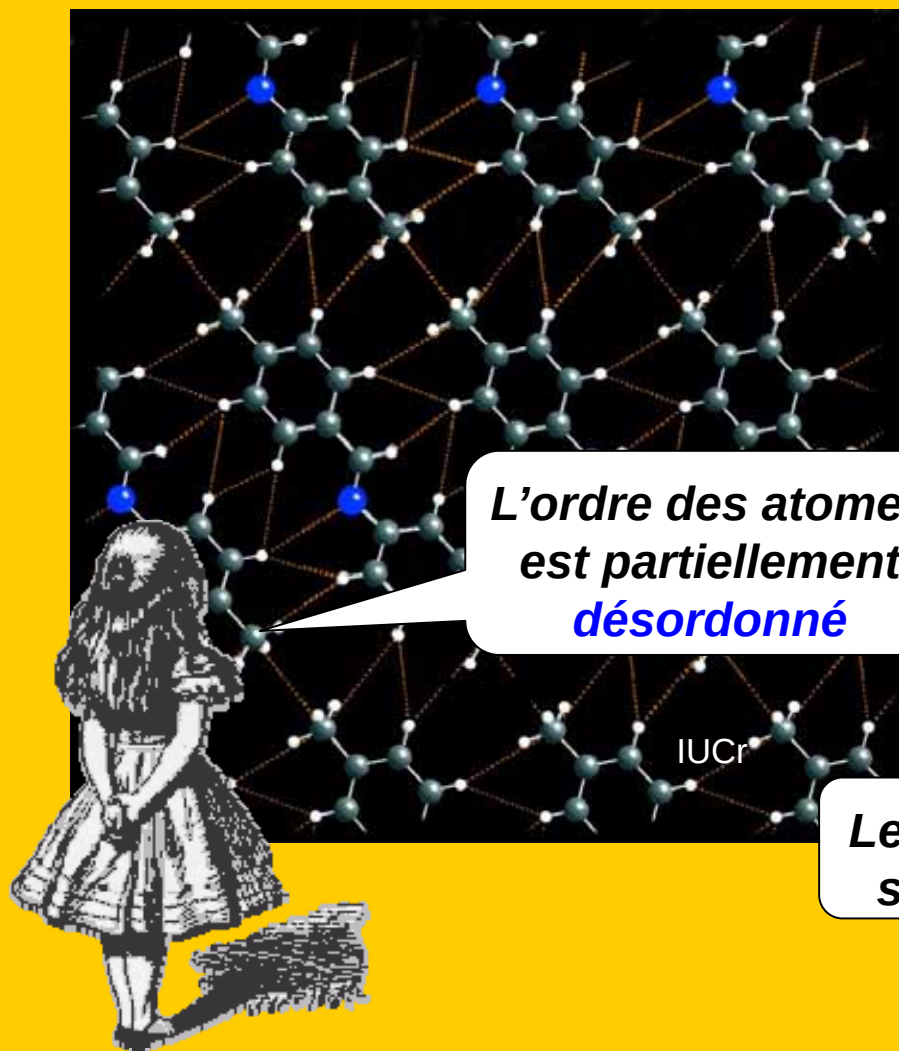
Les taches de diffraction
ont deux périodes non
multiples

IUCr



le Monde d'Alice

... et « voir » des structures
désordonnées



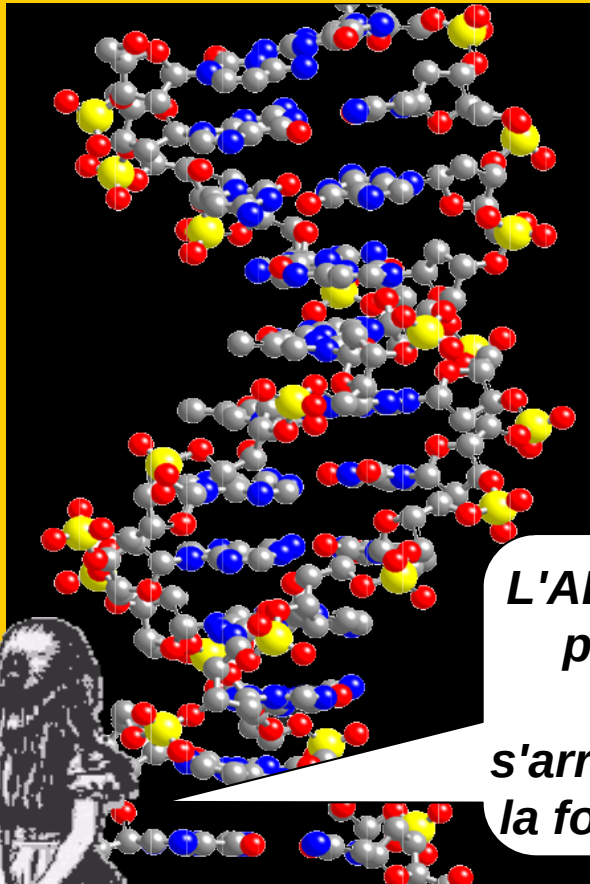
le Monde de Joseph



le Monde d'Alice

le Monde de Joseph

**... et « voir » des structures
biologiques comme l'ADN**



J.P. Gaspard

**L'ADN est une molécule qui
peut avoir des millions
d'atomes ! Mais ils
s'arrangent simplement sous
la forme d'une **double hélice****



Nature

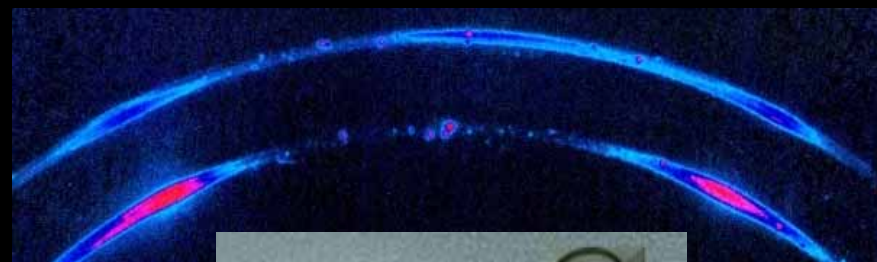
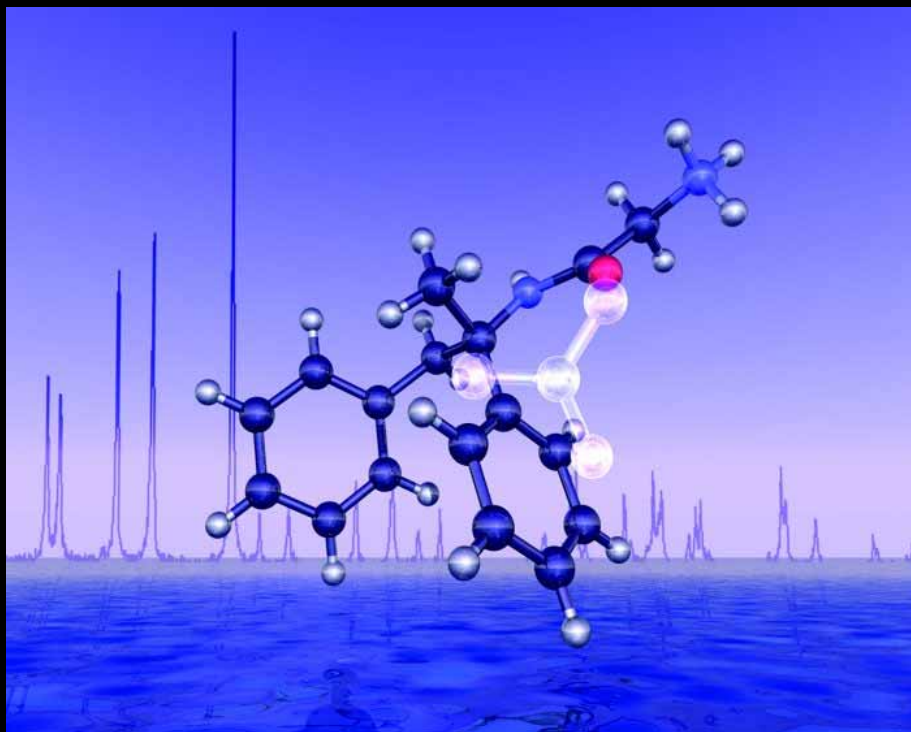
**C'est son cliché de
diffraction qui a permis de
découvrir cette structure
en **double hélice**, en 1953**



le cristal, objet de recherches et d'applications

le cristal comme un outil de recherches

IYCr2014



Le cristal au service de la chimie, de l'archéologie

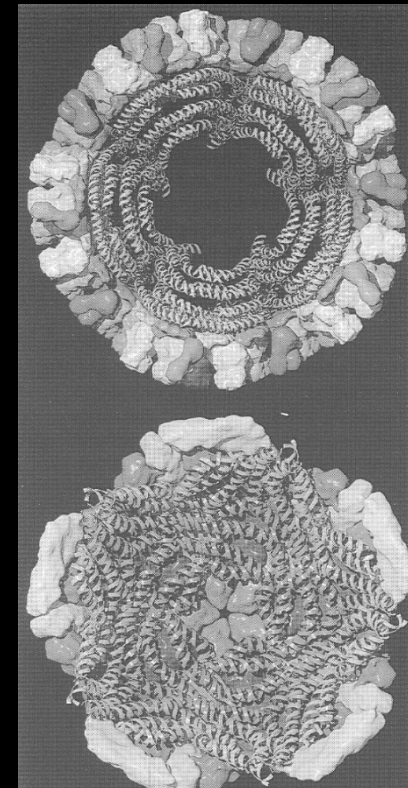
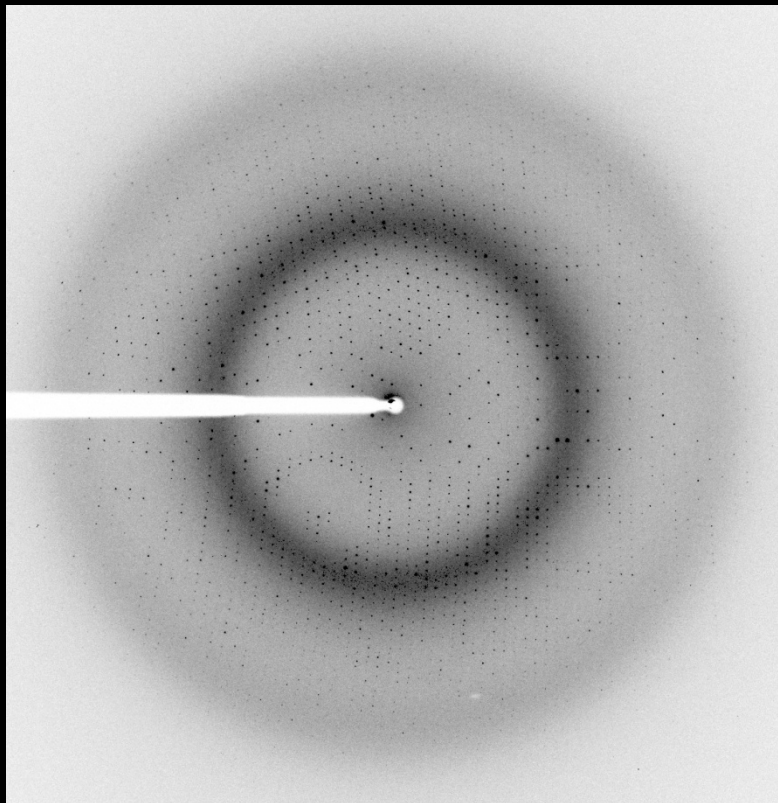
Le cristal pour découvrir les lois de la chimie : une vieille histoire.
L'étude des transformations de phases et de nouveaux matériaux.



le cristal, objet de recherches et d'applications

le cristal comme un outil de recherches

IYCr2014



Le cristal et la connaissance de la Vie

Cristalliser les molécules de la matière vivante pour mieux la connaître
Faire « pousser » des cristaux de virus, de l'ADN, du prion, ...



le cristal, objet de recherches et d'applications

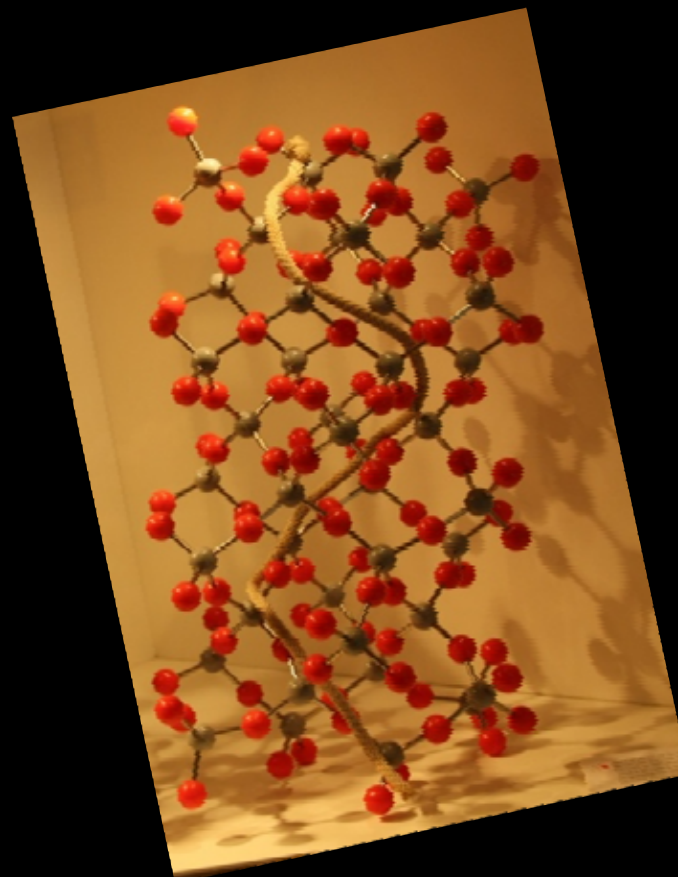
le cristal comme un outil d'applications

IYCr2014



Les différentes faces du quartz

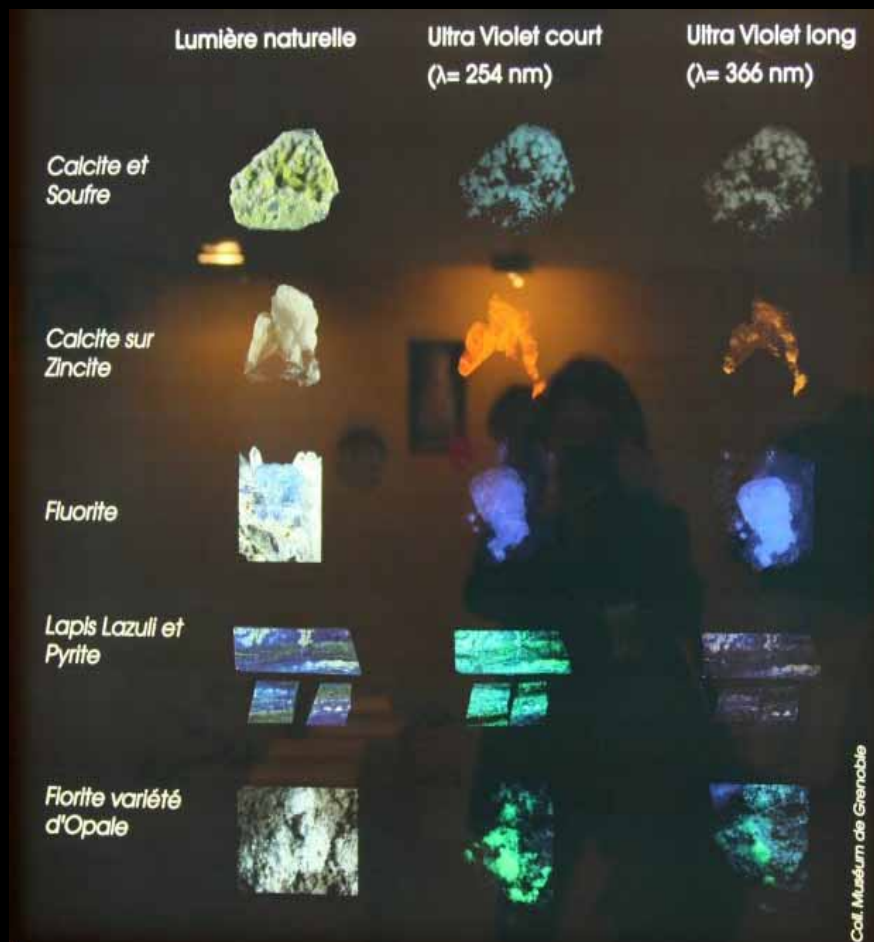
Le quartz (comme le diamant) est un cristal naturel connu depuis la préhistoire et il a une importante utilisation industrielle.



le cristal, objet de recherches et d'applications

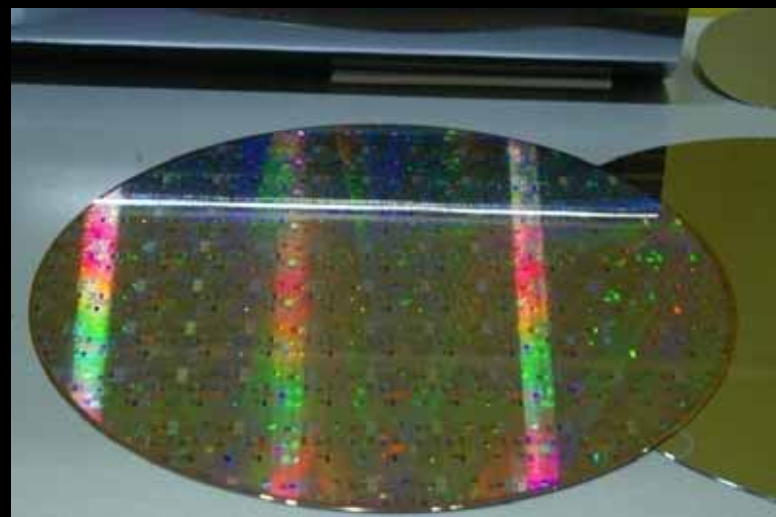
le cristal comme un outil d'applications

IYCr2014



Cristal et lumière

Utilisation des cristaux pour les lasers et l'optique



Cristal et microélectronique

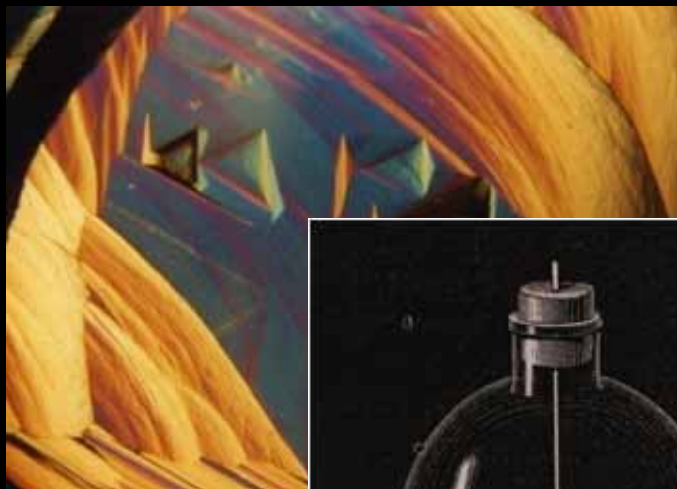
Le silicium monocristallin, élément clef en microélectronique



le cristal, objet de recherches et d'applications

le cristal comme un outil d'applications

IYCr2014



Les différentes facettes du diamant

Un cristal symbole : un cristal naturel, né au cœur de la Terre,

Un cristal synthétique important pour le monde industriel.

Rôle des ordres des atomes sur les propriétés (diamant, graphite)



le cristal, objet d'émerveillement, d'observation

IYCr2014



© Javier Trueba, Madrid Scientific Films 2009



« Cultiver » des cristaux :
une question de temps



