Voyage dans le Cristal
Cristal aux Multiples facettes,
Objet d'émerveillement
Objet de science et de connaissance de la Matière et de la Vie
Objet contemporain aux multiples applications
Le Cristal et la Cristallographie sont des outils précieux pour la Science
Ce « Voyage dans le Cristal » vous fera découvrir les interrogations qu'il suscite, les démarches scientifiques qu'il provoqua et son importance dans notre vie quotidienne.

La forme des cristaux :
cause accidentelle ou propriété interne ?
Les cristaux sont ils issus de la croissance de la matière inerte ou ont-ils été sculptés ?
L'observation et l'organisation des collections
L'étude : la naissance d'une science
... une cause externe au cristal
La forme des cristaux ?
... une cause interne au cristal

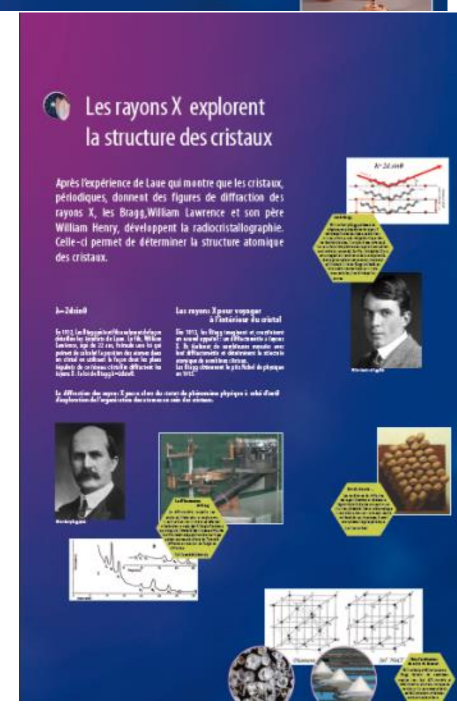
L'héritage de l'Antiquité : le rendez-vous manqué avec les cristaux
Aux 4e et 5e siècles av. J-C, les philosophes grecs tentent de comprendre le monde et la matière : les formes angulaires géométriques des pierres ont-elles inspirées les géomètres antiques ?
Le monde par les nombres
Une première approche des atomes
Un monde géométrique
Les quatre éléments

De la mesure géometrique au modèle
A partir du 18e siècle, alors que rien ne permet de voir à l'intérieur des cristaux, les cristallographes imaginent leur structure interne à travers l'observation de leur géométrie externe.
Classer par la forme ?
Un empilement de briques élémentaires
Une constance des angles
Pour expliquer les faces

Comprendre les formes des cristaux :
symétrie et périodicité et
Au 19e siècle, les chercheurs allemands et français introduisent les concepts d'axe, centre et plan de symétrie et de réseau comme critères de classification et utilisent les mathématiques pour les formaliser. La notion de périodicité (répétition régulière) et d'un ordre atomique s'impose pour comprendre la forme des cristaux et leur symétrie.
Morphologie cristalline : plan, centre et axe de symétrie
Une notion de réseau
Combiner symétrie et réseaux
Relier la forme des cristaux avec leur structure atomique

Un invité surprise : Les rayons x
Lors de la découverte des rayons X en 1895, Röntgen est persuadé que ces rayons présentent des analogies avec la lumière visible mais malgré ses efforts il ne parvient pas à cerner leur nature. De guerre lasse, il les baptise Rayons X.
Des rayons qui traversent la matière solide !
Des rayons qui suscitent de multiples recherches

La première experience de diffraction des rayons x
En 1912, Laue irradie un cristal avec des rayons X. Cette expérience confirme que les rayons X ont de très petites longueurs d'onde et démontre la périodicité des cristaux.
Utiliser le cristal pour comprendre les rayons X
Utiliser les rayons X pour comprendre le cristal
Diffraction des rayons X par les cristaux


Les rayons X explorent la structure des cristaux
Après l'expérience de Laue qui montre que les cristaux, périodiques, donnent des figures de diffraction des rayons X, les Bragg, William Lawrence et son père William Henry, développent la radiocristallographie. Celle-ci permet de déterminer la structure atomique des cristaux.
Les rayons X pour voyager à l'intérieur du cristal

Les vertus médicinales et magiques du cristal

Barthélémy l'Anglais, *De proprietatibus rerum (Le livre des propriétés des choses*, trad. Jean Corbichon)
Bibliothèque nationale de France, ms. fr. 134, fol. 262 v°, ca. 1450 : cueillette des gemmes

Les lapidaires

La fascination pour les gemmes remonte à l'Antiquité. Les lapidaires, traités sur les pierres précieuses, leur accordent de nombreuses qualités, mais aussi d'extraordinaires pouvoirs.

Bibliothèque nationale de France, ms. lat. 14429, fol. 117 r°, ca. 1250 : extraction de la pierre

Le cristal, mère des gemmes

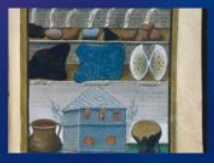
La Au Moyen Age, on considère le cristal comme de l'eau gelée et fossilisée au fil du temps. Ce serait la plus ancienne des pierres, et la mère de toutes les autres.

Les pouvoirs du cristal

Les vertus des gemmes découlent de leur couleur : le cristal, à la blancheur lactée, possède la faculté de favoriser la lactation. C'est une pierre utile aux mères. Venu du froid, le cristal a le pouvoir de refroidir. Le lapidaire de Jean de Mandeville, au XIVe siècle, énumère les nombreuses vertus du cristal :

"Cristal reffroidist le cervel, conforte la veüe, multiplie layt es mamelles. La pouldre de luy beüe fraint la cole et chaulde maladie ou venant par chaleur. " (47. Cristal)

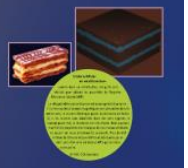
"Le cristal refroidit le cerveau, fortifie la vue, augmente la lactation. Boire la poudre de cristal guérit les problèmes de bile, les maladies chaudes ou provoquées par la chaleur. "



Le Livre des simples médecines
Bibliothèque nationale de France, ms. Fr. 12322, fol. 191, ca. 1520 : pierres médicinales chez l'apothicaire

Cristal, magnétisme et neutrons : de Néel à Fert

Néel a imaginé l'antiferromagnétisme. Les neutrons en ont prouvé l'existence. Fert et Grunberg ont découvert la « magnétorésistance géante » en réalisant des cristaux antiferromagnétiques artificiels. Il en a résulté des applications d'une grande importance dans la vie de tous les jours…



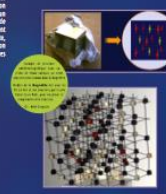
Dans un cristal magnétique l'ordre des moments magnétiques se superpose à l'ordre des atomes. Ces moments magnétiques des atomes peuvent s'illustrer par l'orientation des flèches de minuscules boussoles. Comme les Rayons X permettent de voir l'ordre des atomes, les neutrons permettent de voir l'ordre magnétique, car les neutrons sont eux-mêmes des minuscules boussoles : ils possèdent un moment magnétique.

1970 : Le prix Nobel de Néel

En 1932, Néel imagine un ordre particulier, une alternance des moments magnétiques dans un sens et dans l'autre : l'antiferromagnétisme. Cela permet d'expliquer le comportement de certains matériaux magnétiques, mais cette idée va à l'encontre des théories de l'époque. Dix-sept ans plus tard, l'observation d'un cristal d'oxyde de manganèse, grâce aux neutrons, confirme l'existence d'un tel ordre.

2007 : Les prix Nobel de Fert et Grunberg

En réalisant un empilement de couches très fines (quelques nanomètres ou millionièmes de mm), et en alternant des couches magnétiques et des couches non magnétiques, ils imaginent et fabriquent un cristal magnétique artificiel qui permet de contrôler à souhait le courant. Ils découvrent la propriété de Magnétorésistance Géante, qui permet une plus grande miniaturisation des têtes de lecture et l'existence des disques durs de grande capacité.



L'indomptable diamant

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

Dans l'Antiquité, les Grecs le nommaient ainsi car ils ne pouvaient ni le tailler ni le scier. Les hommes lui ont vite donné des qualités et symboles extraordinaires.

Inaltérable

La pierre n'est pas aussi pure que cette époque pour ce qui concerne son pouvoir de charme.

Invincible

Si cette pierre est si indomptable, c'est qu'elle est exception et donc source de pouvoir et de vertu en un jeu d'opposition. L'objet inaccessible s'oppose à la nécessité et au poison.

Pouvoir

Un diamant n'est pas seulement synonyme d'opposition et d'éternité.

Éternel

… et donc un symbole de l'amour éternel et du mariage…

L'imaginaire autour du diamant a évoluer depuis que l'antique légende de sa nature, une valeur des diamants, dans la tour ivoire en cache-cache sur un lecteur pendant plusieurs siècles.

Les diamants célèbres choisissent l'histoire des diamants. Objets de convoitise, ils peuvent dans des multiples mains : rois, nobles, rois, empereurs, riches marchands, aventuriers…… catalogés rares liés du Hindouisme dans un mausolée.

L'Homme, le diamant et la famille « carbone »

Pour recréer le diamant, l'homme a dû tracer son histoire, comprendre sa nature, ses contradictions. Après moult essais, l'Homme a réussi à le maîtriser pour de multiples utilisations. Cette connaissance lui permet de trouver encore maintenant de nouveaux membres de sa famille « carbone » aux applications inédites.

De l'origine du diamant naturel ……

Les diamants naturels sont d'abord présentés d'Inde, de Bornéo, du District plus, depuis l'Ouest d'Afrique du Sud. Une du ces mines, nommée « The Big Hole », a aidé les chercheurs à comprendre l'origine des diamants : les minerais sont creusés dans la cheminée d'un volcan… les diamants viennent d'environ 150 km de profondeur.

.. au diamant artificiel

Ce n'est qu'au milieu du 20e siècle que les premières recherches théoriques permettent de déterminer les conditions de stabilité du diamant et de graphite pour obtenir du diamant. Il faut des températures de 1900-2500° et des pressions supérieures à 45 000 atmosphères. Ses trois jours, nous présentons réunion de telles conditions, nous pouvons dans « carbone » des diamants…

En maîtriser la production

Les diamants artificiels sont essentiels pour l'industrie (coupage). L'énergie Dosage des jeuds du potentiel, la chimerie (surgeon) et l'électronique du futur. Les diamants naturels sont périodiquement dédiés à la bijouterie.

La grande famille « carbone »

Nous avons jusqu'ici parlé du diamant et du graphite, mais l'histoire continue. Il a été découvert récemment des autres matériaux ayant des enrichissements d'atomes de carbone différents.

Des jumeaux aux caractères différents

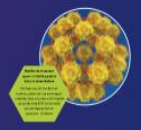
Au 19e siècle, les savants savent que le diamant et le graphite sont constitués de la même matière : le carbone. Mais ils ne savent toujours pas expliquer leur différence. Ils ont tranquillement et clair. Faisons mal aux et ne définit. Le diamant est plus lourd que le graphite ceci toutes pressées, dès cette époque, que si l'on comprimer le graphite on un volume correspondant à celui occupé par un diamant de même poids on pourrait transformer le graphite en diamant !

Ou des faux jumeaux ?

Au début du 20e siècle les savants ignorent de découvrir la structure intime du diamant et du graphite, elles sont très différentes.

Jouez avec les symétries : construisez un cristal

Nous pouvons paver une surface avec des motifs ou des pavés identiques (carrés, rectangles, hexagones), de même nous pouvons paver un volume avec de petits volumes (ou briques) identiques (cubes, parallélépipèdes, prismes,…). La forme des pavés impose un maillage symétrique.

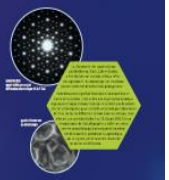


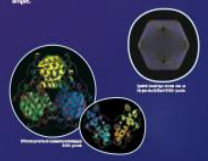
Essayez avec ces pavés …

Tous ces volumes ou surfaces ont une symétrie axiale d'ordre 2, 4, 3 ou 6 (angles de 180°, 90°, 120° ou 60°). Si nous utilisons des pavés pentagonaux (5 côtés, angles 72°) ou décagonaux (10 côtés, angles 36°) qui sont des surfaces ayant une symétrie d'ordre 5 et 10 respectivement, on voit pavage ne permet pas de couvrir complètement une surface. Il reste toujours des trous. Il en est de même pour les volumes ayant une symétrie d'ordre 5 ou 10 comme l'icosaèdre, le pentagonododécaèdre, … aussi, pour les chercheurs cristallographes, cette symétrie était interdite pour les cristaux. Construisez un cristal avec la répétition d'une même brique.

Les « quasi-cristaux » troublent les certitudes

La découverte en 1984 de « quasi-cristaux » dans des alliages d'aluminium et de manganèse a mis en cause les certitudes des cristallographes et des physiciens : un ordre quasi-périodique peut exister. Il se décrit par un empilement régulier de deux briques différentes. Construisez une étoile à dix branches avec ces deux briques différentes et particulières.





Voyage d'Alice et Joseph au pays des cristaux

L'étude de la structure des cristaux ne peut pas se faire directement (par microscopie) mais doit recourir à la diffraction. La géométrie des lieux où sont distribuées les taches de diffraction permet de représenter cette structure indirectement dans un espace virtuel que l'on appelle « espace réciproque ».

Utilisez les maths pour visualiser les cristaux

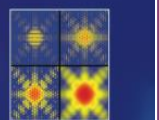
Il y a une relation mathématique rigoureuse appelée « Transformée de Fourier » entre cet « espace réciproque », observé par la diffraction, et la réalité du cristal que l'on appelle « espace direct ». Pour comprendre cet outil, nous présentons sur ce panneau en parallèle la vision d'Alice (au pays des merveilles), qui voit directement le monde du cristal, les atomes, et celle de Joseph (Fourier), qui ne voit ceux-ci que par les taches de diffraction.

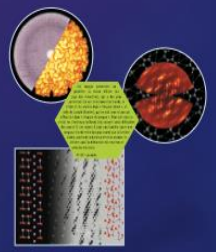
Voyagez dans « l'espace réciproque »

Cette observation de « l'espace réciproque » par la diffraction permet aux scientifiques de voir la symétrie d'un cristal, la dimension de sa brique de base et de « voir » les atomes : la diffraction est une empreinte digitale qui permet de distinguer chaque cristal.

Pour en savoir plus…

La diffraction peut compliquée car elle propose une image « indirecte », ou dit « réciproque » que est quasiment l'inverse de la réalité du cristal. Ce n'est rien d'autre qu'une somme d'ondes (de sinusoïdes), découverte par Joseph Fourier alors qu'il est préfet de Grenoble sous Napoléon Ier.





Le Quartz ou le « cristal de roche »

Le quartz est un constituant majeur des roches de l'écorce terrestre. Il s'observe dans de nombreuses montagnes, en particulier dans les Alpes. C'est de la silice (SiO2) cristallisée. Incolore et transparent, il s'appelle «cristal de roche».

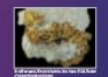
Les trois formes de la silice :
- cristalline,
- nanocristalline,
- vitreuse

- La forme cristalline existe dans de nombreuses roches : magmatiques (quartzes), métamorphiques (gels, sables) et métamorphiques (quartzites).
- La forme nanocristalline, aux cristaux minuscules, est présente dans les agates, calcédoine et silex.
- La forme vitreuse est rare, elle se trouve dans les opales, les obsidiennes (lives des volcans).

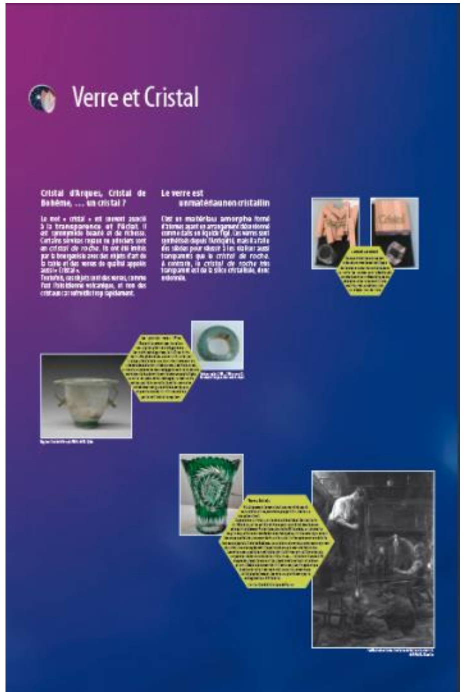
Des variétés de quartz liées à son environnement

Le quartz présente souvent des facettes en prismes à six faces terminées par des pyramides à six faces.

Pur, il est incolore et transparent, c'est le cristal de roche. Il devient violet en présence d'impurtés : violet pour l'améthyste, jaune pour la citrine.



« Les étoiles du Monde inférieur »
Dès la Préhistoire, l'Homme, dans sa quête des richesses du monde souterrain, découvre des pierres aux formes et matières très variées. Certaines, comme le cristal aux multiples facettes, provoquent l'émerveillement.
Une multitude de formes et de couleurs
Des pierres angulaires tranparentes
Le quartz pour fabriquer des objets


Verre et Cristal
Cristal d'Arques, Cristal de Bohème, … un cristal ?
Le verre est un matériau non cristallin

Cristaux et pierres précieuses : la magie des faces
La couleur, la transparence, la rareté et l'inaltérabilité de certaines pierres en ont fait des objets précieux très rapidement utilisés dans les bijoux et joyaux. Elles sont devenues symboles de puissance et de richesse.
L'attrait des facettes
Tailler pour faire jaillir la lumière
Réaliser des bijoux
La taille, un art précis

Cristal : variation des formes
Une même espèce minérale peut présenter des formes cristallines différentes. La championne toute catégorie est la calcite (CaCO3), composante majeure du calcaire.
Les multiples formes de la calcite
Faces, vitesse de croissance, assemblage…

Les cristaux jouent avec la lumière
Ils peuvent l'absorber, la produire, la dédoubler ou même changer sa couleur.
Un cristal absorbant
Un cristal LASER
Un cristal fluorescent
Un cristal « non linéaire »
Un cristal anisotrope

Des « pierres angulaires »
Une pierre angulaire bien étrange, limitée par des faces planes, plus ou moins lisses, elle est comme fabriquée, on l'appelle « Cristal ».
Cristal : un mot venu du froid
Cristal : une définition qui évolue au fil du temps

Structure et applications du Quartz
En raison de ses propriétés remarquables sa structure est étudiée très vite et plusieurs modèles de disposition de la molécule sont proposés. Toutefois, du fait de sa complexité, sa structure n'est déterminée qu'en 1925 par W. L. Bragg et R. E. Gibbs.
Un ordre en escalier à vis
Les propriétés piézoélectriques du quartz
Sonars, montres à quartz, …

Les cristaux et l'archéologie
Les objets retrouvés dans des contextes funéraires sont souvent constitués d'assemblages de cristaux préservés lorsque les conditions de conservation sont favorables. Ces cristaux sont, pour ceux qui savent les lire, de véritables archives.
Une connaissance issue des cristaux
Objet de science et de mémoire

Les cristaux « bâtisseurs »

Les matériaux- minéraux sont utilisés par l'homme depuis les temps préhistoriques pour construire des abris, des lieux de mémoire ou pour montrer sa puissance en bâtissant des édifices souvent monumentaux, finement ouvragés. Ces matériaux sont pour la plupart constitués de cristaux souvent invisibles à l'œil nu.

Des matériaux extraits du milieu naturel…

Calcaires, granites, ardoises, argiles, les roches et sols qui nous environnent sont composés de cristaux de quartzites et nous constituent des murs en pierre ou en terre, des toits, des sols, des fortifications …
Ce sont des matériaux faits de cristaux que se sont indéfiniment artificiels et ont donc été ancien au cours de leur histoire géologique.

… aux matériaux conçus par l'homme

Mortier de chaux, plâtre sont les premiers matériaux manufacturés par l'homme. Les développements technologiques aidant, l'homme va en créer de nouveaux qui, contrairement, sont aussi constitués de petits cristaux.
Ces cristaux, mélangés à de l'eau et au contact de l'air, vont se transformer en d'autres cristaux que vont prendre. L'hydrogène. A partir d'une pâte se constitue alors un matériau qui va s'solidifier et durcir en séchant.

Les cristaux, l'art et la couleur

Peindre, représenter, décorer durablement.
La représentation graphique a précédé l'écriture et l'homme a très tôt appriovisé l'utilisation des matériaux-minéraux pour les appliquer sur des surfaces, sur le corps.

Des cristaux aux pigments en poudre

Les sels, les Bleus dans les sols sont très rapidement été exploités pour produire des pigments. Ces pigments sont des poudres généralement obtenues par broyage, cuisines et constituées de très petits cristaux qui ont en particulier la propriété de conserver leur couleur dans le temps.
Les pigments peuvent être d'origine naturelle, comme les terres vertes, les ocres, le lapis lazuli … ou être synthétiques, ont pour reproduire des matériaux naturels à moindre coût, comme le cinabre, soit pour obtenir des couleurs plus vives, nouvelles, plus stables (comme le bleu de prusse).

Les peintures

Les peintures sont un mélange de pigments et de liant utilisés aussi bien par les artistes que dans la vie courante.

Dans les peintures modernes, constituées de matériaux polymères, peuvent être ajoutés certains pigments- minéraux comme le bleu de cobalt(o) ou des charges qui peuvent en particulier augmenter leur pouvoir couvrant. Les charges les plus courantes sont le dioxyde de titane (rutile, anatase), le carbonate de calcium (calcite) ou plus anciennement le talc (argile magnésienne) ou

Lithorge

Minium

Des cristaux pour comprendre le vivant

Afin de mieux comprendre le fonctionnement du vivant et le rôle des différentes protéines, les scientifiques cherchent à connaître leur structure. Pour cela, la diffraction des rayons X (ou radiocristallographie) est une technique extrêmement puissante. Elle présente une contrainte importante :
il faut que les protéines soient sous forme de cristaux.

« Cultiver » des cristaux de protéines

Les protéines, sont de grosses molécules (macromolécules) biologiques ensemblées à la vie, elles sont formées d'acides aminés. Chaque protéine a une fonction spécifique, directement liée à sa structure tridimensionnelle, c'est à dire à la manière dont les acides aminés sont agencés les uns par rapport aux autres dans l'espace. Les protéines ne forment pas naturellement des cristaux. Il faut donc fabriquer un cristal artificiellement.

… pour les étudier

Il existe une relation très étroite entre l'arrangement atomique (la structure) d'une macromolécule biologique et sa fonction : la connaissance précise de sa forme permet de faire des hypothèses sur son rôle et la façon dont elle réalise sa fonction. Les études concernent la recherche fondamentale, pour une compréhension fine des processus biologiques, et la recherche appliquée, avec la synthèse de nouveaux médicaments.

Des cristaux pour comprendre le vivant - 2

Les macromolécules biologiques sont des énormes molécules composées de plusieurs milliers à plusieurs centaines de milliers d'atomes et appartiennent à l'une des 2 familles :
- les acides nucléiques qui sont les supports (ADN) ou les intermédiaires de traduction du message génétique de notre organisme (ARN),
- les protéines qui sont les produits de la traduction du message génétique ; elles catalysent des réactions chimiques (les enzymes), transportent d'autres molécules (comme l'hémoglobine qui transporte l'oxygène) ou peuvent être des protéines structurales (comme la kératine qui imperméabilise la peau).

Les rayons X et l'ADN

L'ADN est présent dans toutes les cellules vivantes. C'est le support de l'hérédité, qui recèle le « secret de la vie ». Elle est constituée de deux brins complémentaires formés par deux séquences régulières de petites molécules, enroulés en double hélice. Ainsi, elle peut se dupliquer en molécules identiques entre elles, propriété à la base de la génétique. C'est ce cliché d'un pseudo-cristal fait de fibres d'ADN, de Rosalind Franklin, obtenu en 1951 par diffraction des rayons X, qui a permis de déterminer la forme de la molécule.

Le cristal et la chimie : les zéolites

La cristallochimie est une science née au début du 20e siècle avec la découverte des rayons X. Son objectif : élucider les relations entre les propriétés, la composition chimique et l'arrangement des atomes dans les cristaux.

La pierre qui bout :
un cristal surprenant

En 1756, Cronstedt fit la découverte du premier minéral qui, lorsque il chauffe le minéral de stilbite, utilisé en cuisine de bains aux alentours de 150°C, commence à pierre et bouillir à ébullition. Il en a alors donné le nom de « zéolithe », « pierre qui bout » en grec.

Les rayons X mettent en évidence la structure nano-poreuse de ce cristal compact

En 1930, Taylor et Pauling étudient par diffraction de rayons X les proprietés structurales des zéolites et montrent, qu'à l'échelle de l'atome, les minéraux sont constitués d'une nano-structure poreuse. L'activité est un phénomène de catalyse de surface pouvant d'hydrater et se déshydrater de façon réversible, en fonction de la température. Cela est possible à l'intérieur du cristal dans la structure.

Il existe environ 50 zéolites naturelles et plus de 200 zéolites fabriquées…

Cette approche cristallographique à l'échelle atomique a constitué une référence déterminante pour les chimistes, qui ont pour ainsi visualiser la structure et la construction des zéolites qu'ils fabriquent, tout permettant de surfaciser sur des stratégies de synthèse de nouveaux matériaux.

Le cristal, la chiralité et Pasteur

La chiralité est une notion fondamentale utilisée dans la chimie et la physique. Existant dans certains cristaux, elle est une réalité pour la chimie du vivant et une condition indispensable pour certaines propriétés physiques.

Chiral vient du grec chiro qui signifie main. Lorsque les paumes sont tournées vers le sol, la main gauche n'est pas superposable à la main droite.

La chiralité des molécules

En 1848, Pasteur remarque que des cristaux peuvent avoir deux formes identiques et cependant opposées, images l'une de l'autre dans un miroir. Il démontre par l'existence d'une molécule chirale présente sous ces deux formes, images symétriques l'une de l'autre : des énantiomères.
Lorsque l'on se trouve en présence des deux énantiomères en même temps en partie de mélange racémique.
Une molécule chirale sous l'une ou l'autre forme n'aura pas le même effet sur notre corps. C'est le cas pour certains médicaments, et pour la perception de certains goûts et odeurs.

Il est donc primordial dans de nombreux domaines de savoir distinguer les énantiomères. La diffraction des rayons X sur monocristal est une des deux méthodes de référence pour cela : elle permet alors de déterminer la configuration absolue.

La vie est chirale

Notre corps est constitué avec des briques élémentaires chirales : les acides aminés qui composent les protéines, les sucres… mais l'un des deux énantiomères de ces molécules est utilisé dans le monde vivant.
L'ADN ne modifie toujours dans la même sens.
La vie est chirale et les scientifiques cherchent encore ce les raisons de ce choix d'énergie effectué par la nature.

Cristaux et pharmacie

Les médicaments sont administrés majoritairement par voie orale et se présentent le plus souvent à l'état de poudre solide. La molécule active qui agit sur l'organisme se trouve au sein du comprimé qui est un mélange de principe actif pharmaceutique et d'excipients*. Ce sont les principes actifs qui peuvent former des cristaux.

* Substances destinées à conférer une consistance désirée, ou d'autres caractéristiques physiques ou qualitatives particulières, au produit final, tout en évitant toute interaction avec le principe actif.

Il est important de contrôler l'aspect extérieur, la taille et la structure intime des cristaux qui contiennent la molécule active du médicament car ces paramètres peuvent influencer la vitesse de dissolution et donc l'efficacité du médicament.

Le **Polymorphisme**, qui résulte d'un arrangement différent des molécules, génère des cristaux aux propriétés distinctes.

De nombreuses molécules peuvent apparaître sous différentes formes solides (phases) tout en présentant les mêmes caractéristiques chimiques qu'en solution.
Les phases solides peuvent être des polymorphes, des solvates*, des hydrates**, des solides micro-cristallins*** et des amorphes****.

* Se trouvent entier dans la composition du cristal.
** Plusieurs molécules possèdent la même formule brute mais ont des formules développées différentes.
*** Ils sont constitués de micro-cristaux agglomérés.
**** Il s'agit d'un composé dans lequel les atomes ne respectent aucun ordre à longueur et grande distance.

Exemple : L'Irbesartan

Principe actif contenu dans l'APROVEL : médicament utilisé dans le traitement de l'hypertension artérielle.

L'Irbesartan possède 2 formes cristallines différentes : polymorphes* A et B

Les 2 poudres obtenues ont des propriétés distinctes avec :
- un aspect extérieur différent,
- des tailles différentes,
- des solubilités et des vitesses de dissolution différentes…

Les propriétés influencent l'efficacité (sous-dosage) ou la toxicité (surdosage) du médicament.

* Dans ce cas particulier, les molécules constituant les 2 solides diffèrent par la position d'un atome.

Polymorphe A

Polymorphe B

APROVEL

Le cristal et la micro-électronique

La plupart des composants électroniques, couramment présents dans notre vie quotidienne, sont réalisés à base de cristaux quasi-parfaits : les semi-conducteurs.

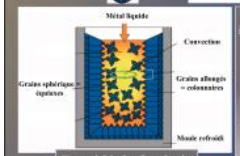
Du poste à transistor de grand-père aux puces de nos ordinateurs

Les cristaux semi-conducteurs sont utilisés couramment dans notre vie quotidienne : ordinateurs, radios à galènes, vue ordinateurs.... Dans tous ces domaines, la tendance générale est de mettre sur de petites surfaces des composants de plus en plus nombreux et donc de plus en plus petits. Pour réaliser ces composants nécessaires, le « cultiver » de cristaux parfaits ou très peu de défauts chimiques et structuraux est primordiale.

De la lumière à partir de cristaux

Des micro-composants analogues permettent de produire de la lumière, comme par les illuminations de Noël modernes. Ils sont appelés diodes électroluminescentes (LEDs) et sont également réalisés avec des cristaux quasi-parfaits.

Des cristaux « de neige » métalliques: grains équiaxes en métallurgie



Les pièces métalliques que l'on fabrique industriellement sont en général composées de plusieurs cristaux (polycristal).

Le procédé de fabrication de base d'une pièce métalliques est la fonderie : on verse un métal liquide dans un moule refroidie. Le métal devient solide et prend la forme du moule. Des cristaux se forment pendant la solidification.

Procédé de fonderie

Analogie: Grains équiaxes et cristaux de neige

Différentes morphologies de cristaux sont obtenues avec des tailles allant de la dizaine de µm à plusieurs centimètres.
Morphologies différentes ⇒ propriétés d'usage mécanique différentes.

Cristaux et métallurgie

Les métaux et les alliages sont formés d'une multitude de cristaux, ce sont des solides polycristallins. Les défauts existant dans et entre les cristaux sont au cœur des performances de la métallurgie.

Une pièce métallique est formée par l'association de petits cristaux (appelés grains) collés les uns aux autres dont la taille varie du centimètre au nanomètre (millièmes de mètre).

La métallurgie : de l'âge du bronze à l'âge d'or des aciers

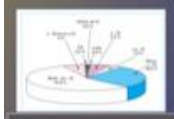
C'est la science qui étudie la structure et les propriétés des métaux et alliages. Elle a commencé il y a 5000-5000 ans avec le bronze puis le fer. Elle désigne aussi les technologies de leur fabrication, traitement et mise en forme, notamment pour les aciers.

L'âge des matériaux aux défauts maîtrisés

La métallurgie ne cesse d'élaborer et mettre en forme des matériaux dans de nombreux secteurs : automobile, aéronautique, nucléaire. Elle utilise la microscopie électronique et la diffraction des rayons X pour déterminer l'agencement des cristaux entre eux, et comprendre les processus mis en jeu lors de l'élaboration (solidification, précipitation) et l'utilisation (corrosion, vieillissement, déformation) d'alliages métalliques.

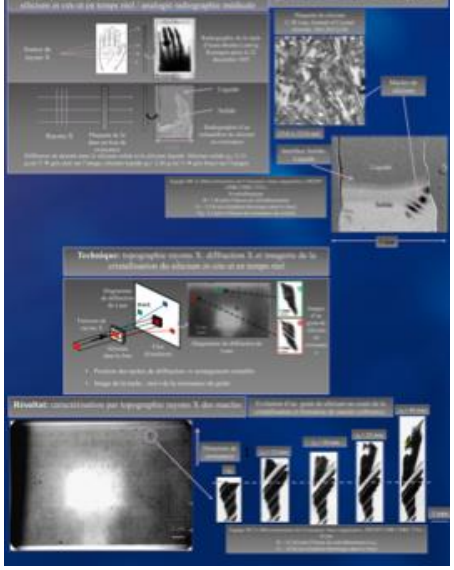
Même si la dureté peut être associée à certaines structures, ce sont souvent les défauts qui déterminent les propriétés mécaniques des métaux et des alliages.

Des cristaux de silicium dans les panneaux solaires photovoltaïques



Le silicium sous sa forme cristalline domine le secteur des applications photovoltaïques

Le plus souvent la fabrication des plaques de silicium cristallin pour les panneaux est faite par des procédés de solidification (passage de l'état liquide à l'état solide par refroidissement contrôlé)



La minéralisation par le vivant : les coquillages et les perles

La biominéralisation est le phénomène par lequel un organisme vivant fabrique et organise une structure minérale.

Une cristallisation sous contrôle

Des êtres vivants pourvoyeurs de calcaire

Des propriétés éprouvées aux applications multiples

Des étoiles aux coeurs des planètes

Les météorites nous renseignent sur la composition du système solaire primitif, des astéroïdes, de Mars et de la Lune.

Poussières d'étoiles

Les premiers solides de notre système solaire

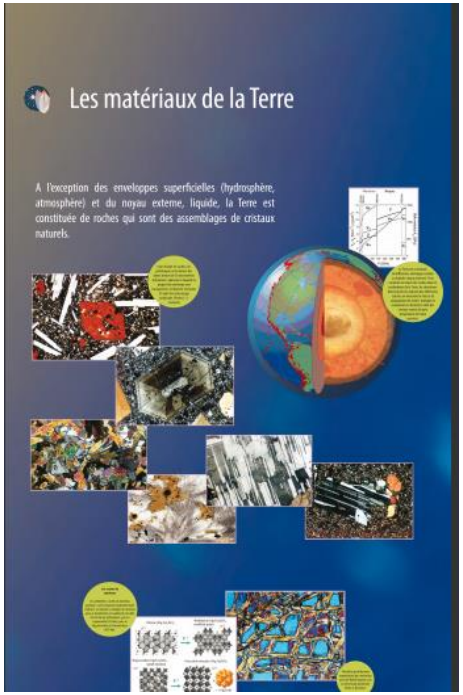
Des cristaux géants dans les noyaux des planètes

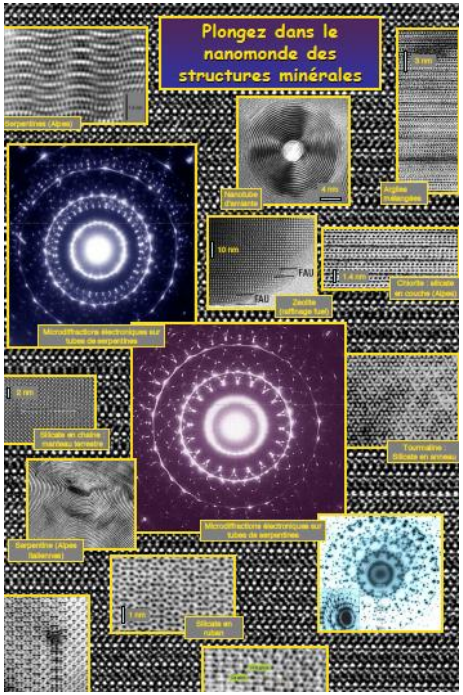
Laves martiennes

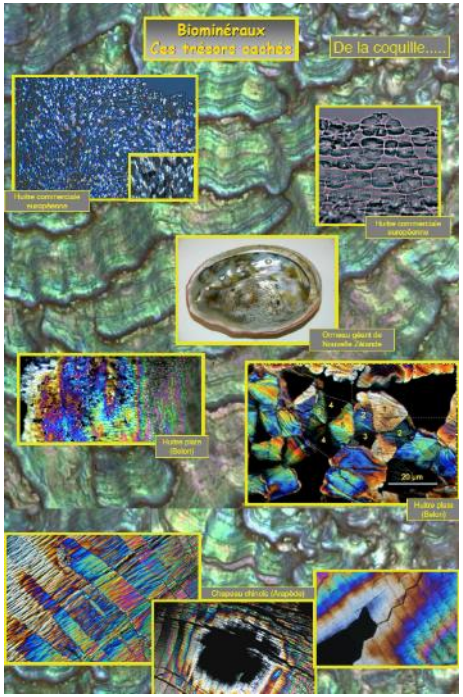
Des nanocristaux au service de l'environnement

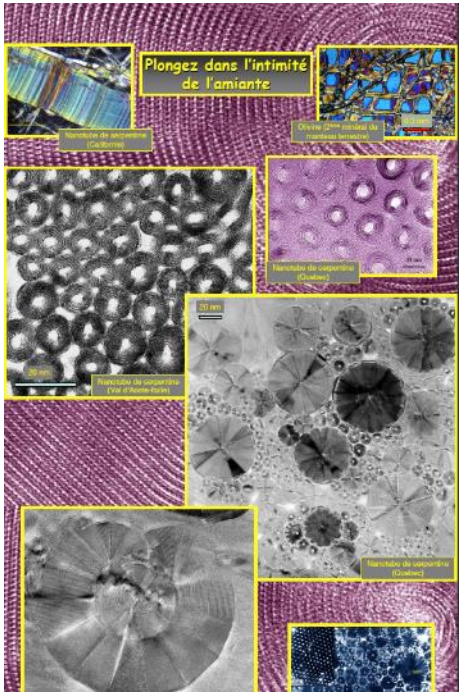
Des nano-cristaux pour dépolluer les eaux

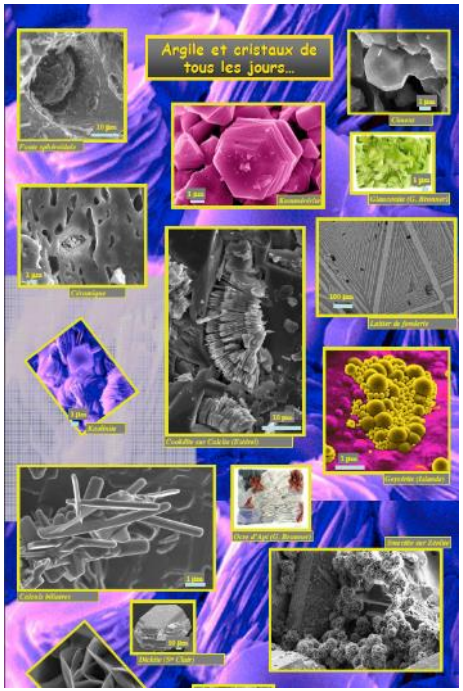
Les imogolites, des nanoparticules naturelles qui piègent le nickel

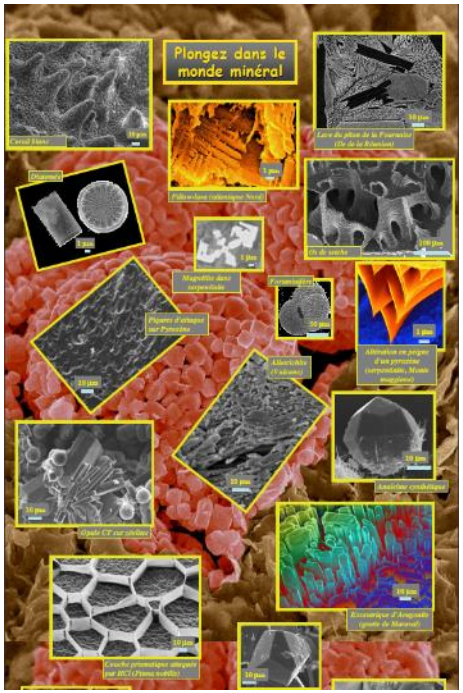
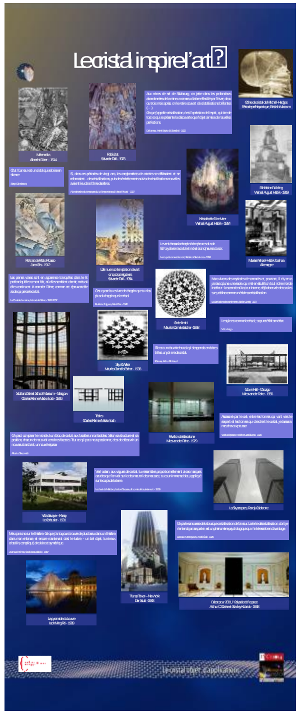
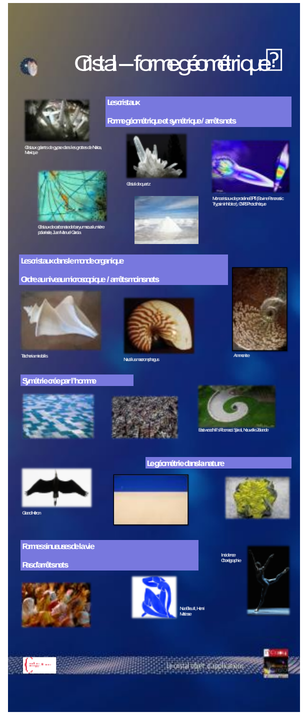
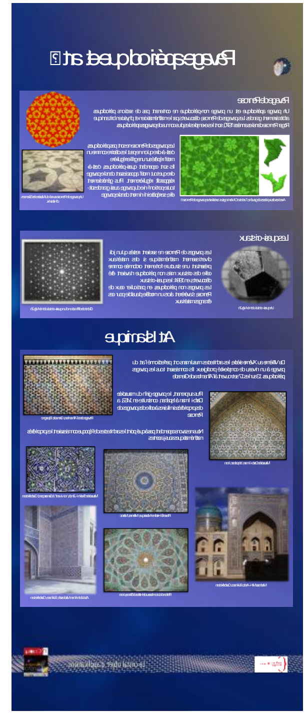
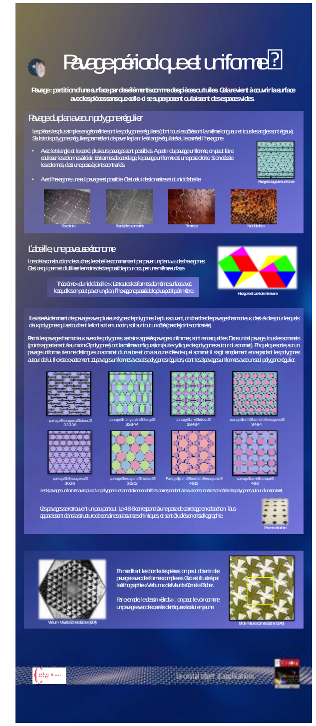
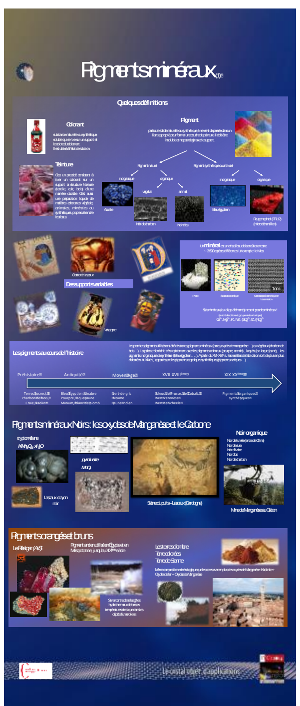
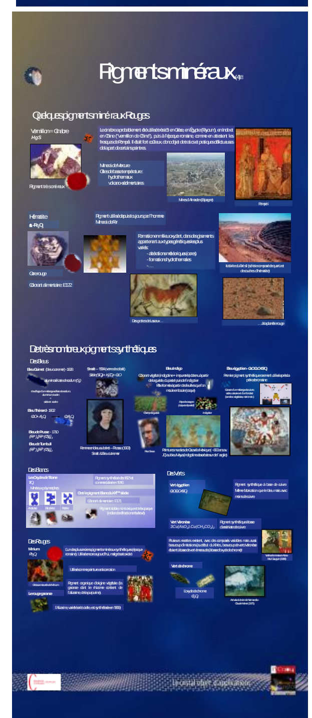

Les matériaux de la Terre
A l'exception des enveloppes superficielles (hydrosphère, atmosphère) et du noyau externe, liquide, la Terre est constituée de roches qui sont des assemblages de cristaux naturels.


Plongez dans le nanomonde des structures minérales
Nanotube (Japon)
Argiles (Bretagne)
Microdiffractions électroniques sur tubes de serpentines
Silicate en chaîne (nanotube) terrestre
Tourmaline : Silicate en anneau
Serpentine (Alpes italiennes)
Silicate en nappe


Biominéraux
Ces trésors cachés
De la coquille....
Huître commerciale napolitaine
Huître commerciale indopacifique
Oiseau géant de Nouvelle-Zélande
Huître plate (Bakor)
Chapeau chinois (Arapède)


Plongez dans l'intimité de l'amiante
Nanotube de serpentine (Californie)
Olivine (2ème cristal du nanotube terrestre)
Nanotube de serpentine (Québec)
Nanotube de serpentine (Val d'Aosta-Italie)
Nanotube de serpentine (Québec)


Argile et cristaux de tous les jours...
Pyrite sphéroïdale
Calcite
Rhodochrosite
Glauconite (G. Brasseur)
Chromite
Gabbro de Jonquière
Cristal de Kaolinite
Coulée de Calcite (Florida)
Gypsoïde (Islande)
Cristal d'Apatite (G. Brasseur)
Smectite sur Zeolite
Calcite bifaisant
Mulite (SiO2 Al2O3)


Plongez dans le monde minéral
Corail blanc
Lave du pied de la Fournaise (Ile de la Réunion)
Quartz
Filaments calcaires Nerite
Oïs de sucre
Magnétite dans serpentinite
Ferromagnésien
Figures d'attaque sur Pyroxène
Alteration en pergos d'un pyroxène (serpentinite, Monts-magnons)
Albite/Albite (Valinco)
Anatase cristallisée
Quartz CT sur calcite
Excentrique d'Aragonite (grotte de Maurad)
Couche prismatique aragonite sur BCC (Pinna nobilis)