Des édifices ordonnés: Les cristaux

Industrie

Silice
Pièces automobiles, pneumatiques ..

Quartz les écrans LCD et puces électroniques

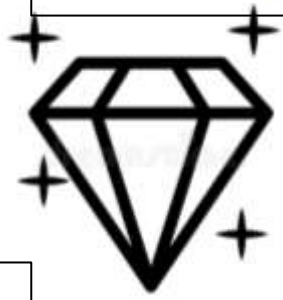
Carbonate de calcium ajouté dans les polymères (plastique)

Diamant pour fabriquer les abrasifs

Bâtiment

Gypse pour fabriquer le plâtre

Quartz pour fabriquer le verre



Arts

Kaolin: pour améliorer la blancheur de la craie, des pigments

Oxydes de fer, azurite: pour colorer les peintures

Graphite: Mine des crayons

Cosmétique

Oxydes de titane: dans les crèmes solaires (protection UV)

Talc
Apporte de la douceur et de l'eclat.

Alimentation

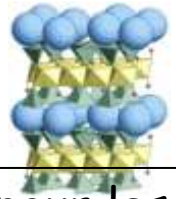
Sels minéraux : Compléments alimentaires

Agriculture

Carbonate de Calcium : Chaux dans les sols

Joaillerie

Silice pour filtrer l'eau et la rendre potable



Gemmes pour les bijoux

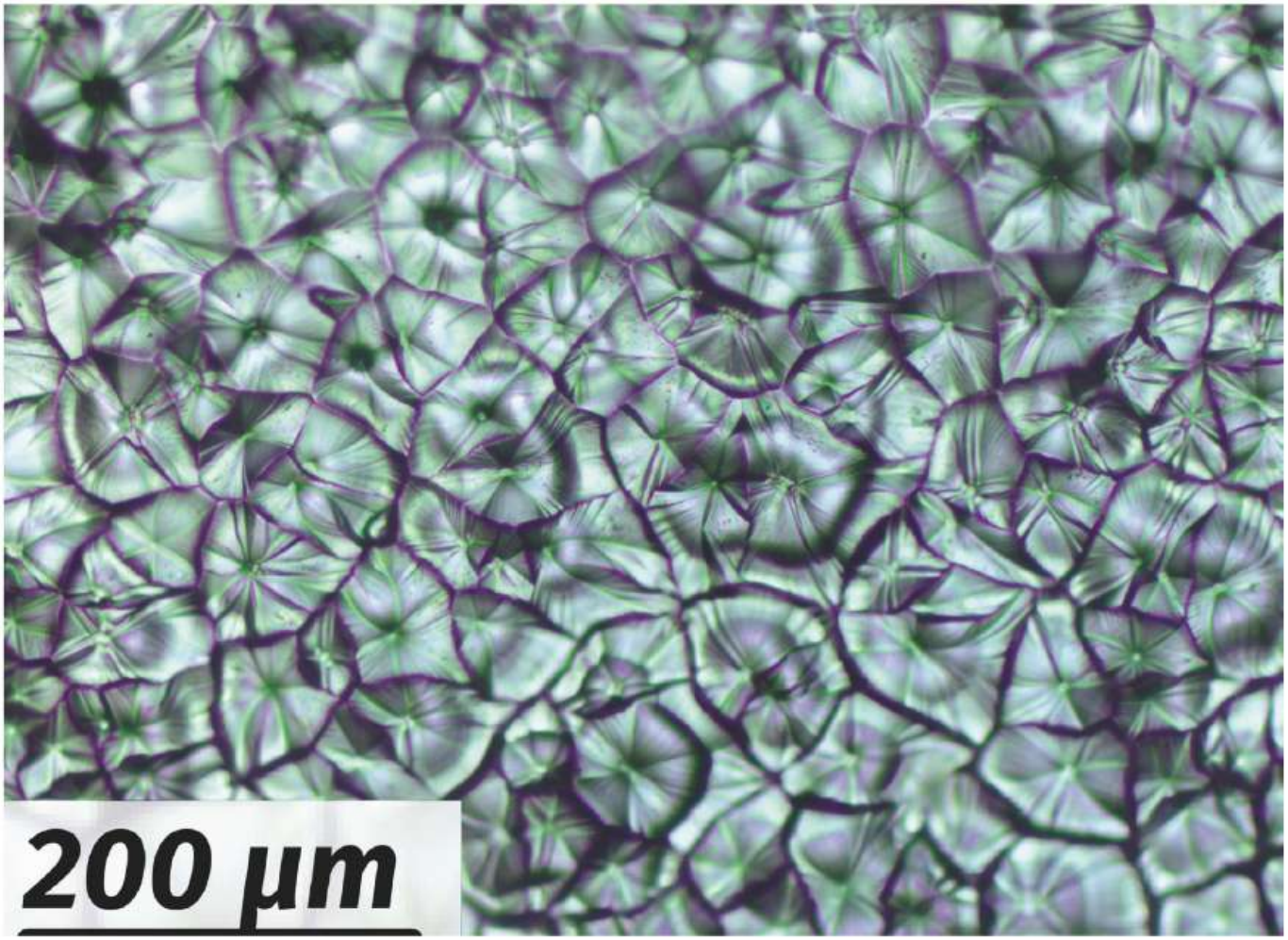
Santé

Smectite pour les pathologies du tube digestif (smecta)

Environnement

Silice pour panneaux solaires

Cristaux et innovations technologiques



microcristaux de perovskite : un rendement proche du silicium (élément rare et cher)

deux chercheurs de l'Institut de technologie de Géorgie (États-Unis) ont développé un procédé de fabrication **améliorant le rendement des cellules photovoltaïques** des **panneaux solaires.** La technique consiste en la cristallisation de la pérovskite, un minéral synthétique, au moyen d'un procédé particulier à basse température qui permet également d'envisager **des cellules photovoltaïques sur matériaux souples**

Cristaux XXL

→Vidéo : Cristaux géants de Gypse dans la grotte de Naica (Mexique)

Voir aussi :

https://www.youtube.com/watch?v=pL5f8VXUhww&feature=emb_logo

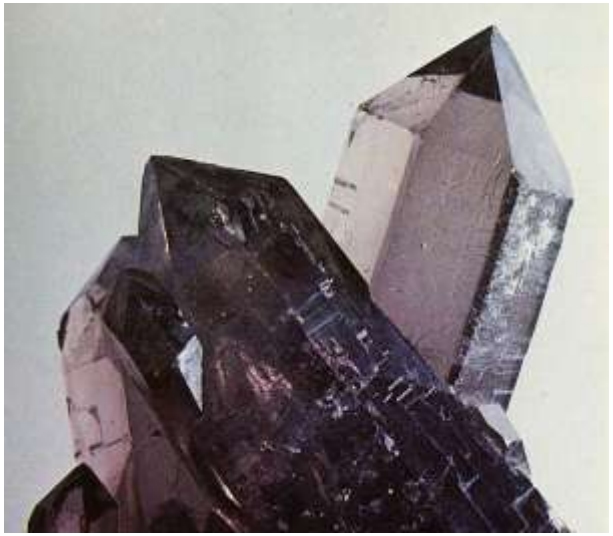
Diversité des cristaux

→Vidéo : Collections minéralogiques (Ex: Université Paris 6)
Voir aussi Ecoles des Mines ParisTech :
https://www.youtube.com/watch?v=qGyQQIw4mqQ

PAS DE CONFUSION ENTRE: ROCHES, MINERAUX, CRISTAUX….

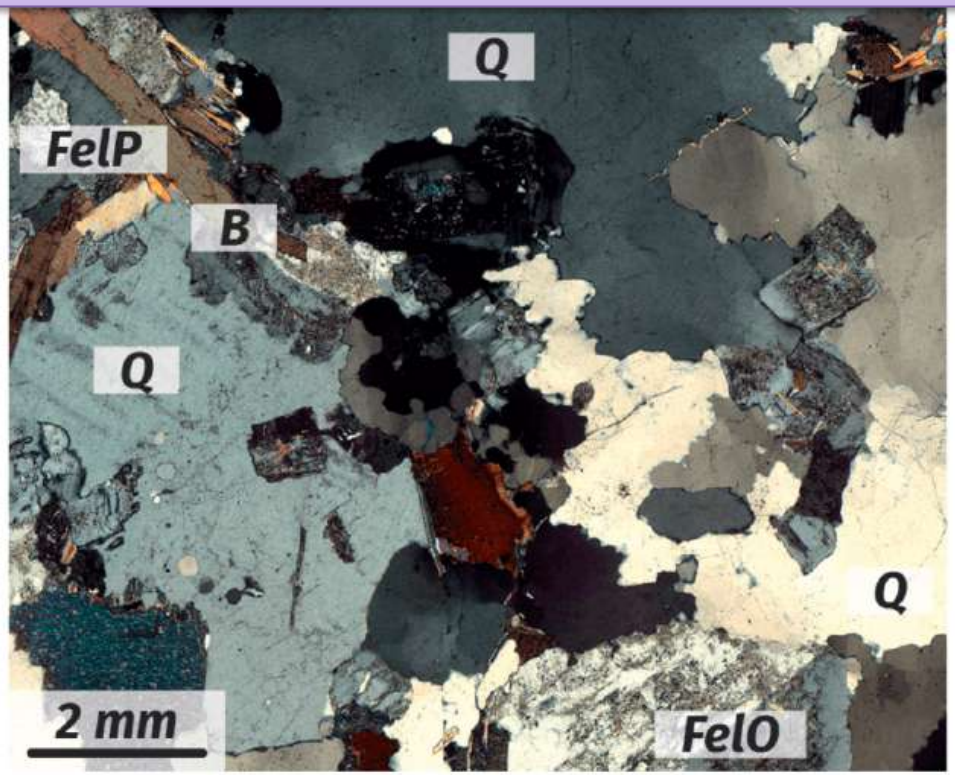
MINERAL: **exemple** Si O_2 = qui peut prendre la forme d'un **le quartz** **CRISTAL**

Echantillon de roche, le granite



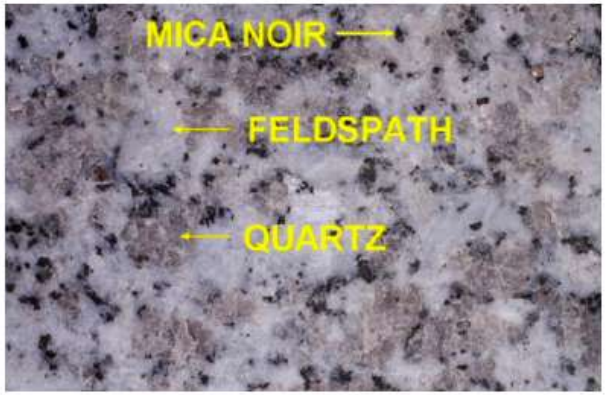
ROCHES: formées généralement de plusieurs minéraux

PAS DE CONFUSION ENTRE: ROCHES, MINERAUX, CRISTAUX….



lame mince de granite au microscope polarisant en LPA montrant des cristaux de plusieurs espèces minérales

granite



espèces minérales

quartz : SiO_2

biotite: $K(Mg,Fe)_3(OH,F)_2(Si_3AlO_{10})$

feldspath: $(Ba,Ca,Na,K,NH_4)(Al,B,Si)_4O_8$

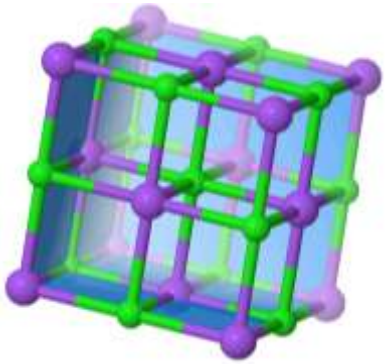
noter:Une roche est formée de l'association de cristaux d'un même minéral ou de plusieurs minéraux.

Un exemple: le sel (Chlorure de Sodium

Composition: NaCl

Système cristallin: Cubique

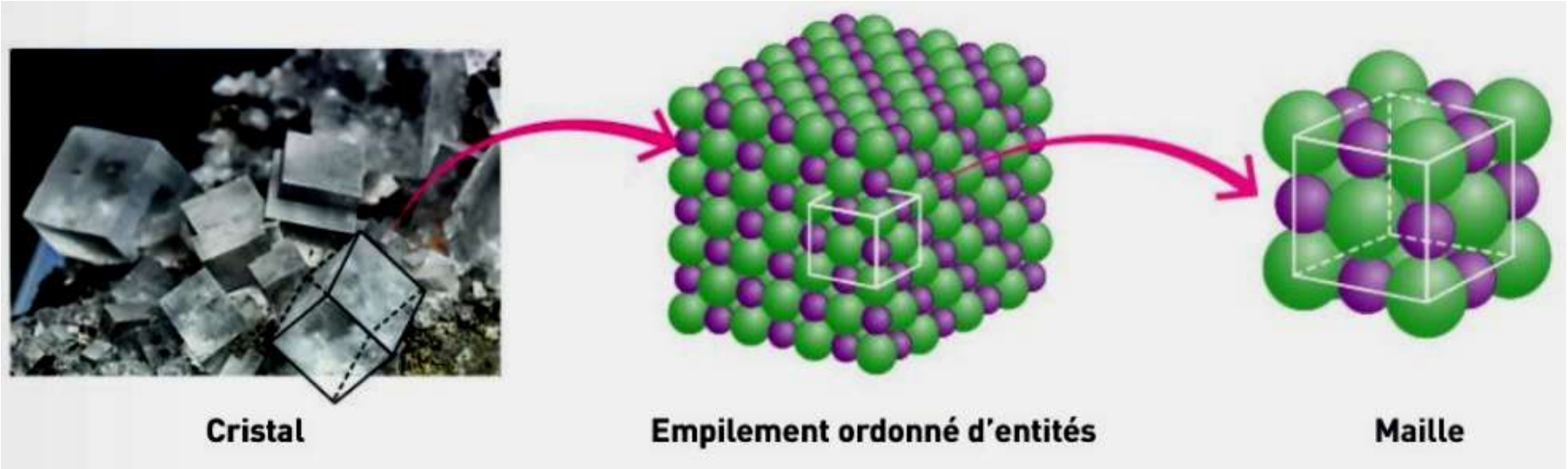
Maille élémentaire cubique



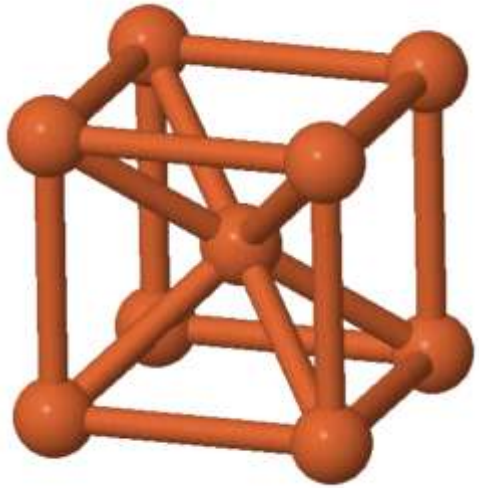
Atomes

Cl

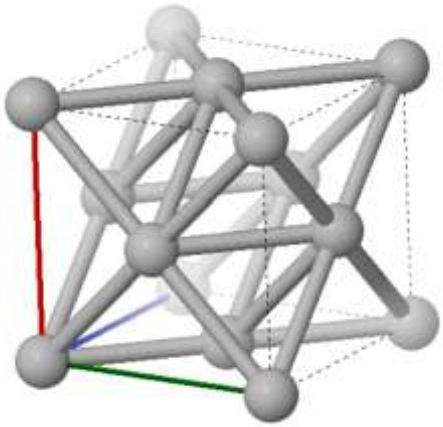
Na

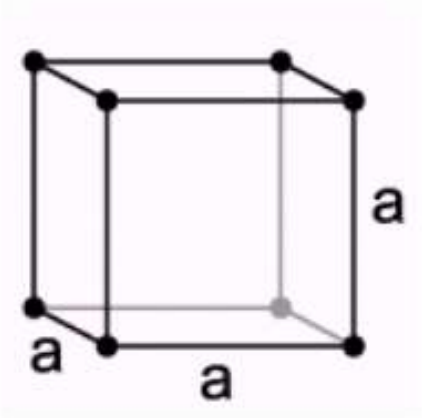


Fer

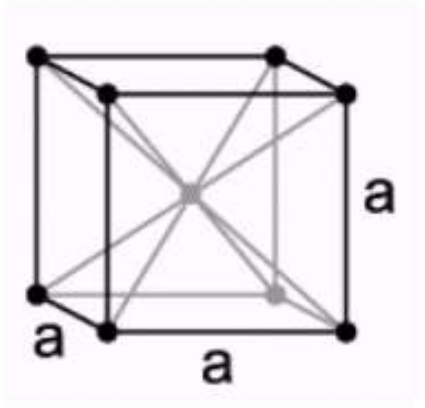


Argent

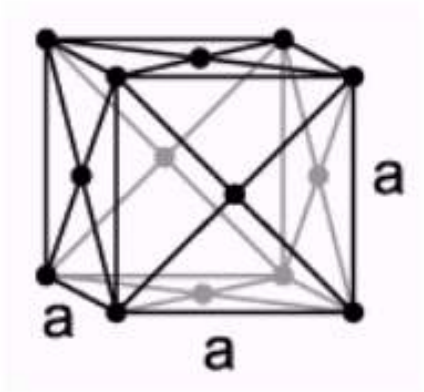




Cubique simple
(cs)

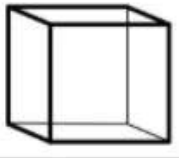
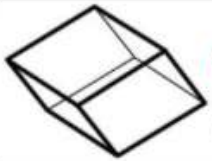
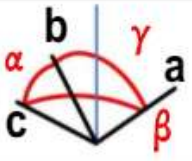
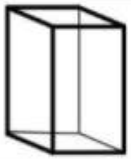
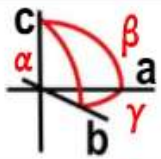
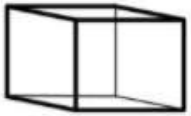
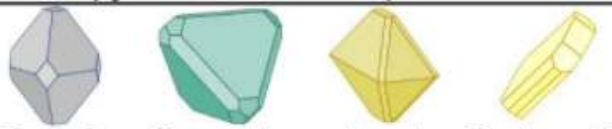
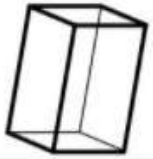
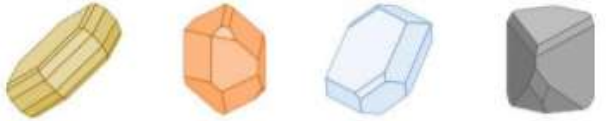
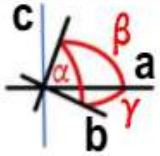


Cubique centré
(cc)



Cubique faces centrées
(cfc)

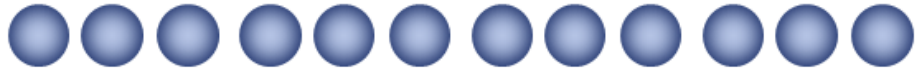
LES 7 SYSTEMES CRISTALLINS

Cubique		$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90°$	Galène Tétraédrite Fluorite Almandin
Rhomboédrique	 	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90°$	Arsenic Cinabre Calcite Dioptase
Hexagonal		$d = a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90°$ $\gamma = 120°$	Graphite Greenockite Corindon Béryl
Quadratique	 	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90°$	Chalcopyrite Rutile Scapolite Analcime
Orthorhombique		$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90°$	 Bornite Boracite Baryte Bertrandite
Monoclinique		$a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90°$ $\beta \neq 120°$	 Pyrrhotite Monazite Stilbite Neptunite
Triclinique		$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90°$	Turquoise Cyanite Albite Rhodonite

→Voir activité au tableau: Mailles et atomes

P.1 – Maille avec atomes aux sommets

Consigne: Déplacez et positionnez les atomes aux sommets. Combien d'atomes avez-vous pu placer ?



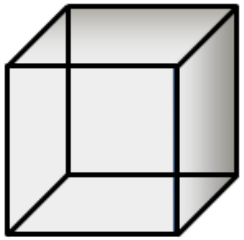
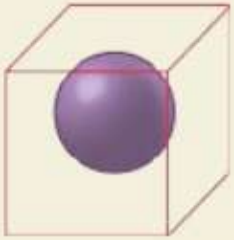
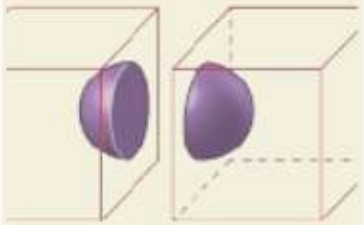
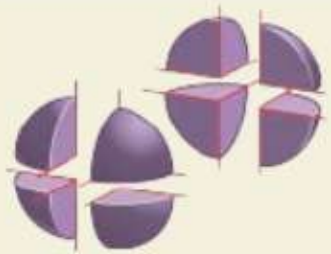


Tableau de contribution d'un atome à la maille en fonction de sa position		
Place d'un atome dans la maille	Nombre de mailles qui se partagent l'atome	Contribution de l'atome à la maille
Centre		1
Face		$\frac{1}{2}$
Arête		$\frac{1}{4}$
Sommet		$\frac{1}{8}$

→Voir vidéo avec les sucres
(Ou
Manip)

→Voir activité : Représentation de mailles Fe Ag

1ere E.S.	Chapitre : Des édifices ordonnés, les cristaux	Date :
Représentation de mailles cristallines en perspectives cavalières		

Mise en situation et recherche à mener	
Le fer et l'Argent sont deux métaux dont la maille cristalline est cubique. Ils sont cependant composés d'atomes distincts et disposés différemment. **On se propose de représenter la maille cristalline de ces deux métaux afin d'en montrer les différences**	
Données	
La maille cristalline du fer est de type cubique centrée. Les atomes de fer (Fe) occupent les sommets. Un atome de fer est situé à l'intérieur de la maille, au centre.	La maille cristalline de l'argent est de type cubique à face centrées. Les 14 atomes occupent les sommets et les faces de la maille.
Questions	
1. Sur une feuille à carreaux, représenter côte à côte la maille cristalline du Fer et de l'Argent afin de les comparer. *Vous utiliserez les conventions de représentation de la fiche technique, en particulier toutes les lignes (pointillés ou pas) permettant le positionnement des atomes.* 2. La masse volumique du fer = 7,8 g/cm3, celle de l'argent = 10,5 g/cm3. Proposez une (des) hypothèse(s) permettant d'expliquer ces différences.	

Des édifices ordonnés, les cristaux

COURS

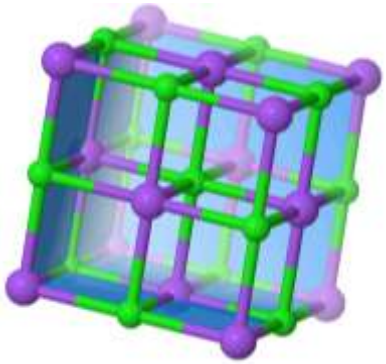
I – Le cristal : Un agencement ordonnée et régulière d'éléments chimiques

1. La structure microscopique d'un cristal peut être décrite par la répétition dans l'espace d'un parallélépipède contenant des entités. Ce parallélépipède est appelé maille.

2. La forme géométrique de la maille, la nature et la position dans cette maille des entités qui la constituent définissent la structure cristalline (le système cristallin).

a. On distingue 7 types de système cristallins (cubique, quadratique…etc).

b. Les structures cubiques simples et cubiques à faces centrées sont deux exemples de types cristallins définis par une maille cubique sur laquelle les positions des entités chimiques sont différentes.



Cl

Na

Comment se forme le sel ?

D'où vient le Na et le Cl ?

Aigues-Morte et les salins

Aigues-Morte et les salins

Aigues-Morte et les salins

Etat existant - milieux et paysages

Situation et milieux identifiés

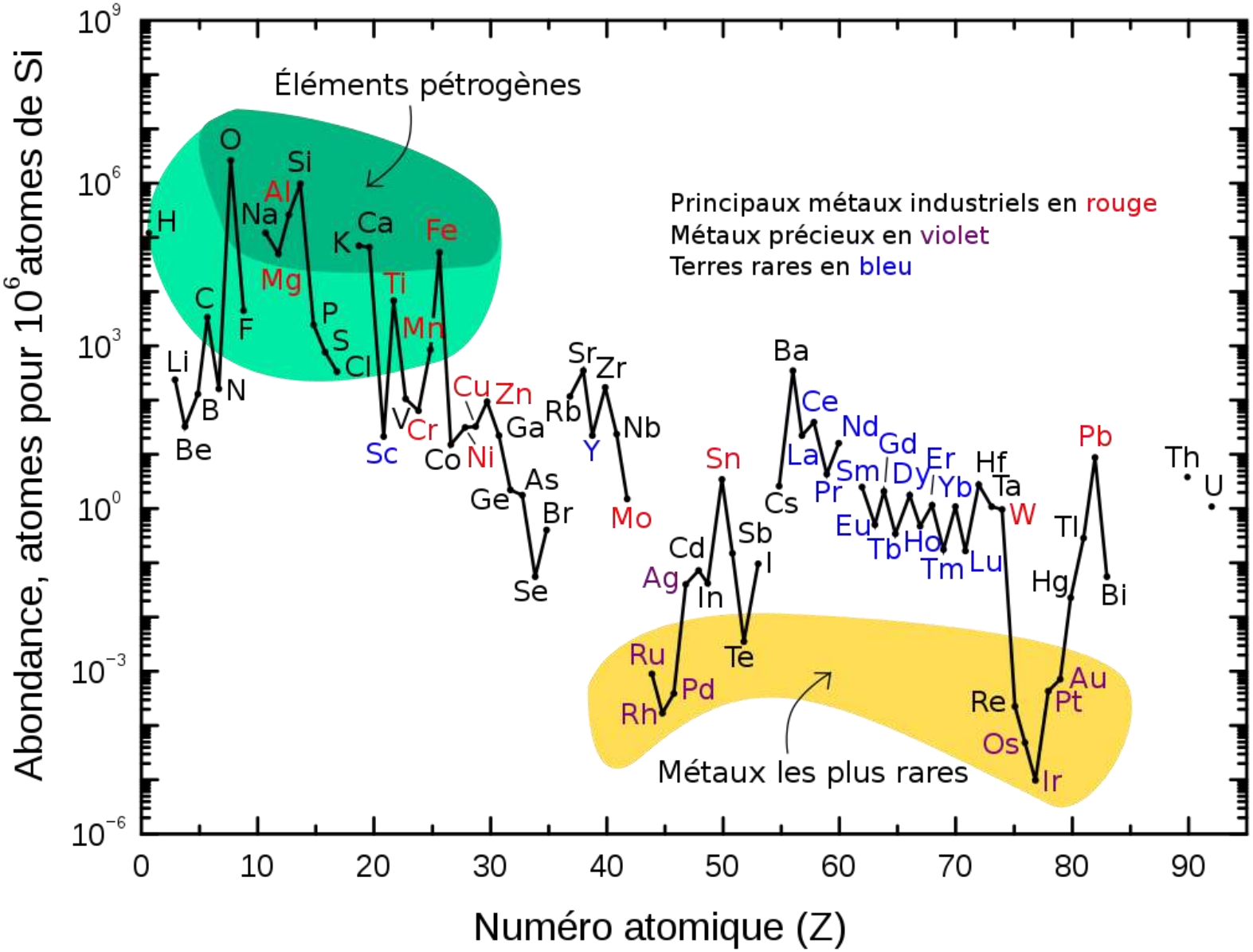
Un territoire composé de multiples espaces remarquables

principaux constituants de l'eau de mer (d'après DEGENS, 1989)		
	ion	g/L
Sodium	Na^+	10,56
Magnésium	Mg^{2+}	1,27
Calcium	Ca^{2+}	0,40
Potassium	K^+	0,38
Strontium	Sr^{2+}	0,013
Chlorure	Cl^-	18,98
Sulfate	SO_4^{2-}	2,65
Hydrogénocarbonate	HCO_3^-	0,14
Bromure	Br^-	0,065
Fluorure	F^-	0,001

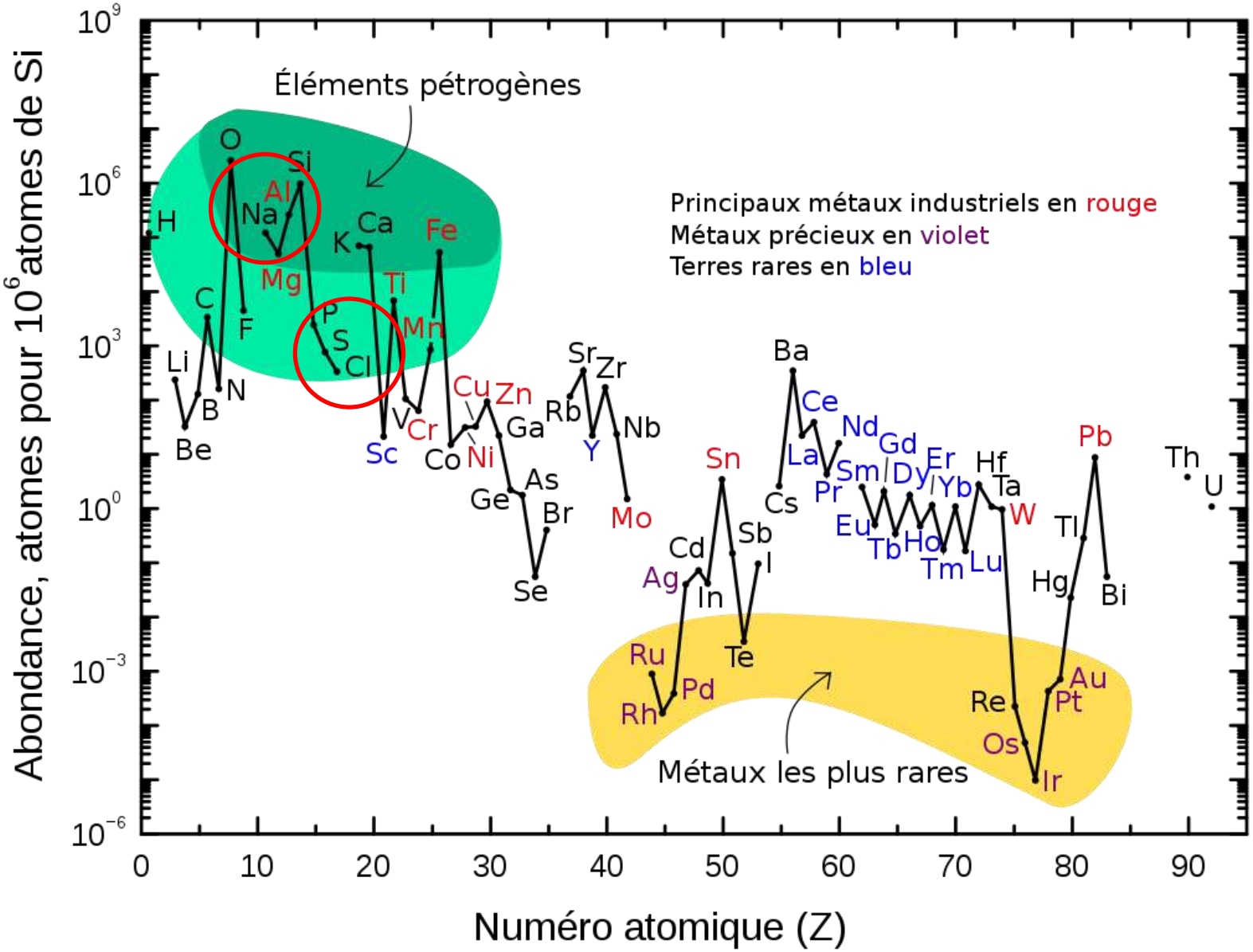
Principaux minéraux des roches		
GROUPE	**minéral**	**Formule chimique**
AMPHIBOLES	hornblende	$Na\ Ca_2\ (Mg, Fe)_4\ (Al, Fe)\ (Si,Al)_8\ O_{22}(OH,F)$
PYROXENES	augite	$(Ca, Mg, Fe, Al)_2\ (Al, Si)_2O_6$
PERIDOTS	olivine	$(Mg, Fe)_2\ SiO_4$
FELDSPATHS potassiques	orthose	$K\ Al\ Si_3O_8$
plagioclases	albite, anorthite	$Ca\ Al_2\ Si_2O_8$
FELDSPATHOIDES	leucite	$K\ Al\ Si_2\ O_6$
	néphéline	$Na\ Al\ SiO_4$
QUARTZ	quartz	SiO_2
MICAS	muscovite	$K\ Al_2\ (Al\ Si_3)\ O_{10}\ (OH, Fe)_2$
	biotite	$K\ (Mg, Fe)_3\ (Al\ Si_3)\ O_{10}\ (OH, Fe)_2$
	chlorite	$(Mg, Fe)_{10}\ Al_2\ (Si,Al)_8\ O_{20}\ (OH,F)_{16}$
MINERAUX ARGILEUX	illite	Semblable à muscovite
	kaolinite	$Al_4\ Si_4\ O_{10}\ (OH)_8$
	smectites	$Si_x\ Al_y\ O_{10}\ Al2\ (OH)2\ Na_z$
CARBONATES	calcite	$Ca\ CO_3$
	dolomite	$(Ca, Mg)\ CO_3$
SULFATES	gypse	$Ca\ SO_4,\ 2\ H_2O$
PHOSPHATES	apatite	$Ca_5\ (F, Cl)\ (PO_4)_3$
OXYDES	hématite	Fe_2O_3

Principaux minéraux des roches		
GROUPE	**minéral**	**Formule chimique**
AMPHIBOLES	hornblende	Na Ca_2 (Mg, Fe)$_4$ (Al, Fe) (Si,Al)$_8$ O_{22}(OH,F)
PYROXENES	augite	(Ca, Mg, Fe, Al)$_2$ (Al, Si)$_2O_6$
PERIDOTS	olivine	(Mg, Fe)$_2$ SiO_4
FELDSPATHS potassiques	orthose	K Al Si_3O_8
plagioclases	albite, anorthite	Ca Al_2 Si_2O_8
FELDSPATHOIDES	leucite	K Al Si_2 O_6
	néphéline	Na Al SiO_4
QUARTZ	quartz	SiO_2
MICAS	muscovite	K Al_2 (Al Si_3) O_{10} (OH, Fe)$_2$
	biotite	K (Mg, Fe)$_3$ (Al Si_3) O_{10} (OH, Fe)$_2$
	chlorite	(Mg, Fe)$_{10}$ Al_2 (Si,Al)$_8$ O_{20} (OH,F)$_{16}$
MINERAUX ARGILEUX	illite	Semblable à muscovite
	kaolinite	Al_4 Si_4 O_{10} (OH)$_8$
	smectites	Si_x Al_y O_{10} Al2 (OH)2 Na_z
CARBONATES	calcite	Ca CO_3
	dolomite	(Ca, Mg) CO_3
SULFATES	gypse	Ca SO_4, 2 H_2O
PHOSPHATES	apatite	Ca_5 (F, Cl) $(PO_4)_3$
OXYDES	hématite	Fe_2O_3

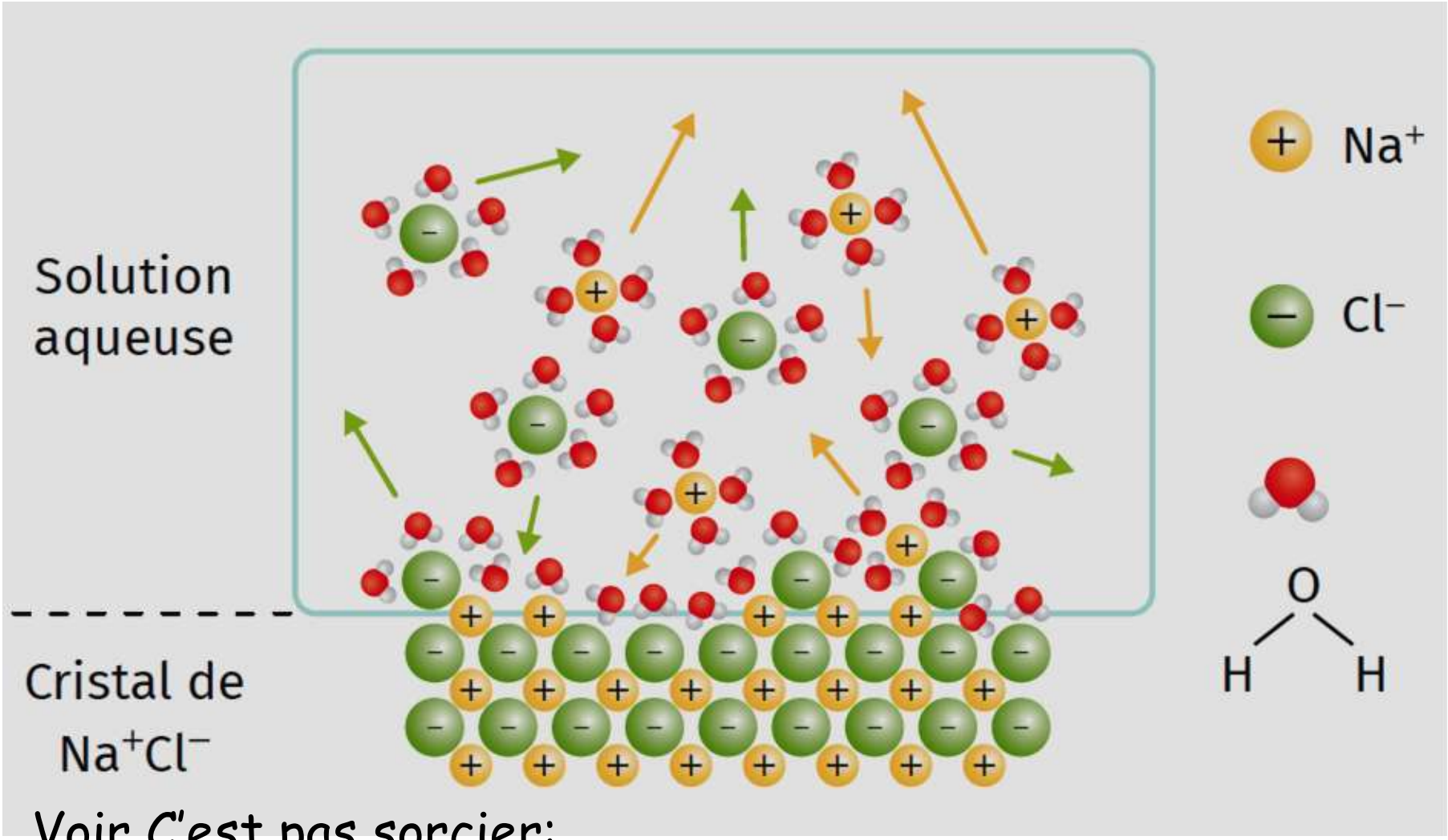
Abondance (en fraction atomique) d'éléments chimiques dans la croûte terrestre externe en fonction de leur numéro atomique Z



Abondance (en fraction atomique) d'éléments chimiques dans la croûte terrestre externe en fonction de leur numéro atomique Z



Passage du Na+ et Cl- de l'état ionique (en solution) à cristallin



Voir C'est pas sorcier:

https://www.youtube.com/watch?v=390d_F13bug

EXPÉRIMENTATION

- *Faites chauffer 200 mL d'eau et dissolvez-y 30 grammes de sel. Versez le mélange dans un verre.*
- *À un cure-dent, attachez l'une des extrémités d'un fil de laine, puis placez-le en travers du verre de sorte que le fil pende dans l'eau salée.*
- *Laissez sécher quelques jours et observez.*

Dispositif

Résultat

Résultat vu au microscope

→Voir DM : Fabriquer des cristaux de halite

Des édifices ordonnés, les cristaux

COURS

I – Le cristal : Un agencement ordonnée et régulière d'éléments chimiques

3. À l'échelle macroscopique, cette organisation conduit à la formation de cristaux aux formes géométriques bien définies.

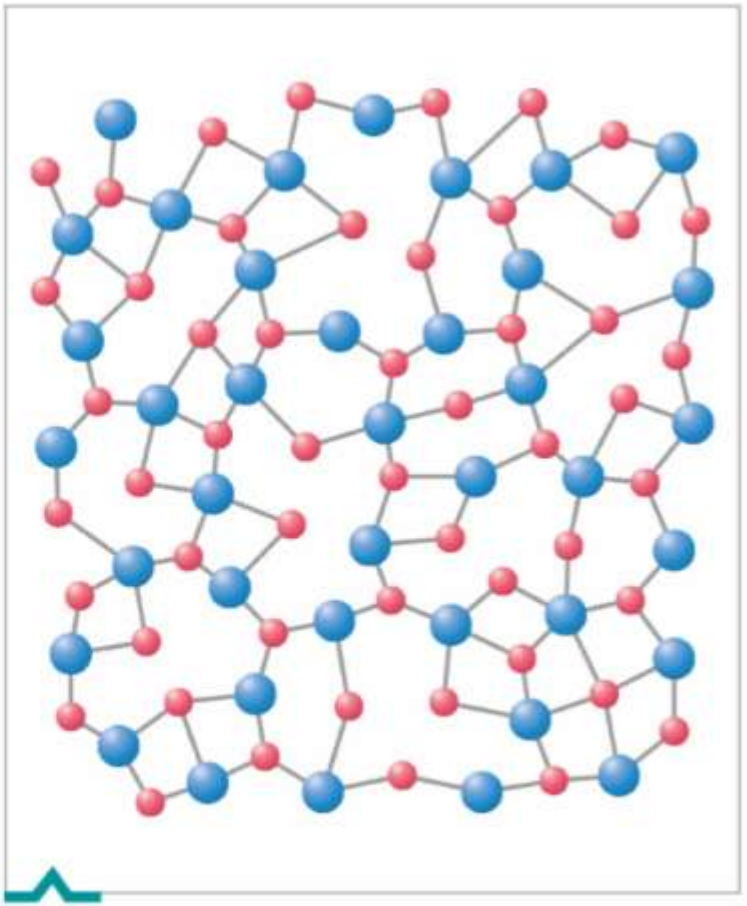
Exemple : Le cristal de chlorure de sodium (constituant majoritaire du sel de cuisine) est présent dans certaines roches ou est issu de l'évaporation de l'eau de mer. Sa forme cubique est due à la maille cubique qui le constitue.

Verre et quartz ont la même composition chimique: SiO_2

On fabrique du verre à partir de sable (débris de quartz)

Pourquoi le quartz est cristallisé alors que le verre ne l'est pas ?

a. Silice cristalline (formule SiO_2)



b. Silice vitreuse (formule SiO_2)

Manuel Nathan 1ère Enseignement Scientifique 2019

Des édifices ordonnés, les cristaux

COURS

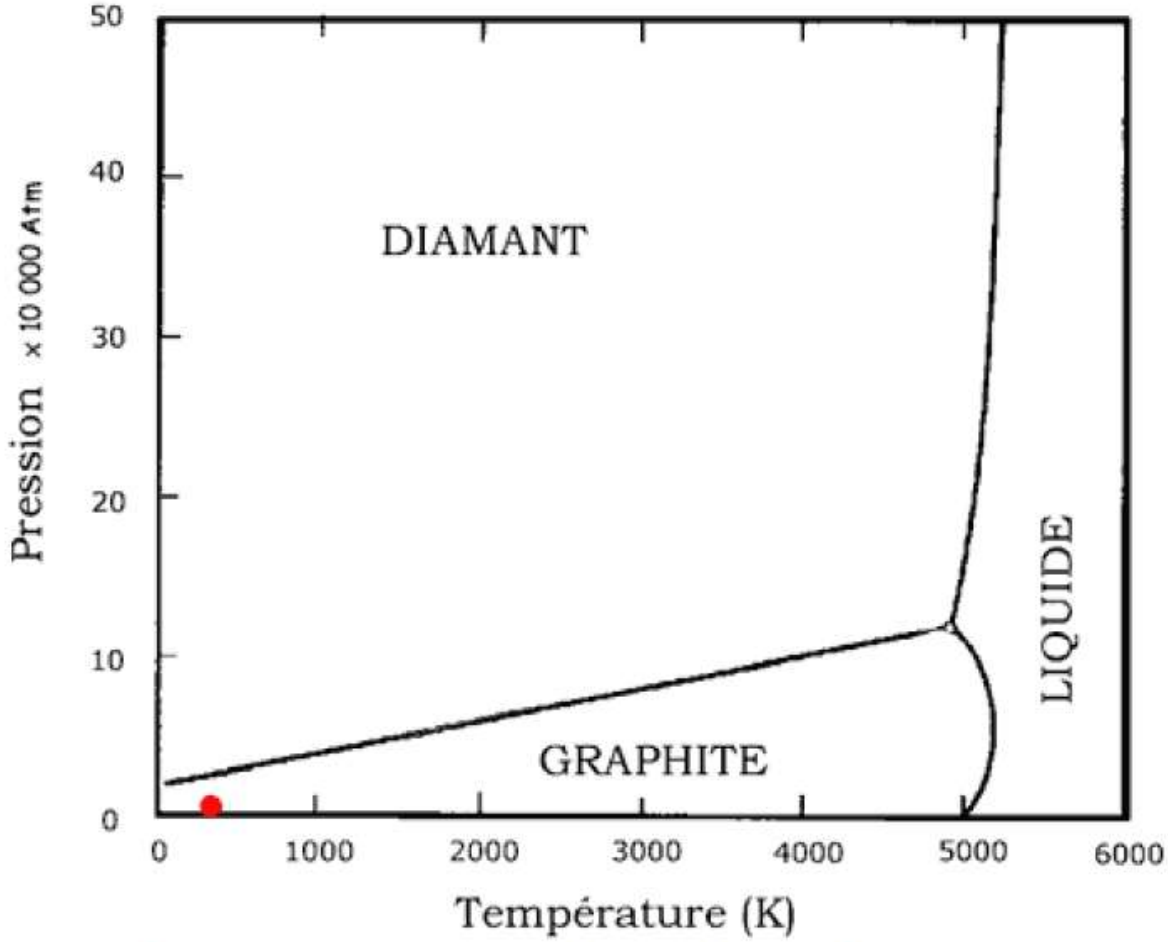
I – Le cristal : Un agencement ordonnée et régulière d'éléments chimiques

4. Certains solides ne présentent aucune organisation particulière à l'échelle macroscopique : ce sont des solides amorphes.

a. Le verre est un exemple de solide amorphe.
b. Les entités chimiques d'un solide amorphe se répartissent de manière aléatoire.
c. Les solides amorphes n'ont donc pas de structure particulière.

→Voir activité « Graphite et Diamant »
Exploitation du logiciel Minusc

Voir Videos:
→Aix Marseille https://www.youtube.com/watch?v=-tJe48L8Bug
→ Comment se fabrique un diamant
→ Diamant naturel / synthétique



Graphique présentant l'état du carbone dans un diagramme pression température

Des édifices ordonnés, les cristaux

COURS

II - Un composé de formule chimique donnée peut cristalliser sous différents types de systèmes cristallins qui ont des propriétés macroscopiques différentes (apparence, masse volumique…).

1. Les minéraux se caractérisent par leur composition chimique et leur organisation cristalline.

Exemple : Le **graphite** et le **diamant** sont deux cristaux composés de carbone uniquement, mais présentant une organisation cristalline différente. Leur apparence macroscopique et leur masse volumique sont différentes.

→Voir activité : Calcul de la compacité d'une structure cristalline (MATHS)

1ere E.S.	Chapitre : Des édifices ordonnés, les cristaux	Date :

Calcul de la compacité d'une structure cristalline

Mise en situation et recherche à mener

Certains cristaux, bien qu'étant constitués des mêmes atomes, peuvent avoir des propriétés différentes (masse volumique, dureté... etc). Ces différences peuvent s'expliquer par le nombre et l'agencement des atomes dans la maille.

On souhaite démontrer, par le calcul, qu'une maille cubique simple est moins compacte qu'une maille cubique à face centrées

Données (voir aussi livre p.28 et 29)

La **compacité** d'un cristal cubique correspond à la proportion d'espace occupé par les atomes dans le cube. C'est un nombre inférieur à 1 qui s'exprime sans unité.

La compacité C d'un cristal s'exprime sous la forme :

$C = n \times V_{at} / V_m$

Avec V_{at} = Volume de l'atome

V_m = Volume de la maille (c'est-à-dire du cube)

n = Nombre d'atomes par maille

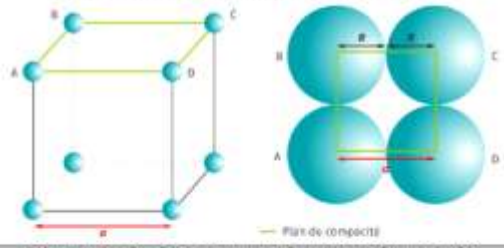
V_{at} peut être assimilé à celui d'une sphère

Le volume d'une sphère de rayon r est :

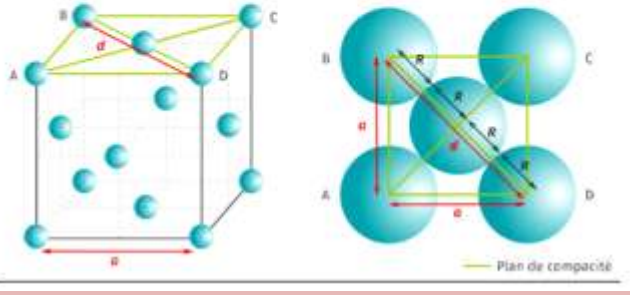
$$\text{volume} = \frac{4}{3}\pi \times r^3$$

Le volume d'un cube d'arête a = a^3

Eléments de géométrie pour une maille cubique simple :



Eléments de géométrie pour une maille cubique à face centrées



→ Voir activité: Masse volumique et compacité d'un cristal de halite (MATHS)

1ere E.S.	Chapitre : Des édifices ordonnés, les cristaux	Date :

Masse volumique et compacité d'un cristal de halite

Mise en situation et recherche à mener

Lorsqu'on connait les particularités cristallographiques d'un cristal (nature, nombre et répartition des atomes dans la maille), il est possible, par le calcul, d'en déduire certaines de ses propriétés, comme la masse volumique, sans avoir à faire des mesures.

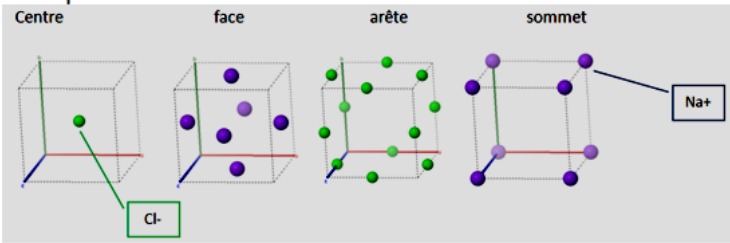
On se propose de mettre en œuvre une démarche permettant de calculer la masse volumique et la compacité d'un cristal de halite (sel ou chlorure de sodium, de formule NaCl)

Informations scientifiques et ressources

Caractéristiques des cristaux de chlorure de sodium:

Atomes présents	Type de maille	Dimension de la maille a/b/c en nm	Angles des axes de la maille α/β/γ en degrés	Rayon des atomes en pm	Masse molaire des atomes $g.mol^{-1}$
Sodium Na chlorure Cl	Cubique face centrée	a=b=c=0,564	α=β=γ=90	Chlorure=181 Sodium=99	Cl=35,453 Na=22,98

Atomes présents dans le cristal de chlorure de sodium :



Unités, formules

- **Nombre d'Avogadro N_A** = nombre d'entités élémentaires (atomes, molécules, ou ions en général) qui se trouvent dans une mole de matière ($N_A = 6{,}022.10^{23}$ mol^{-1}).

Des édifices ordonnés, les cristaux

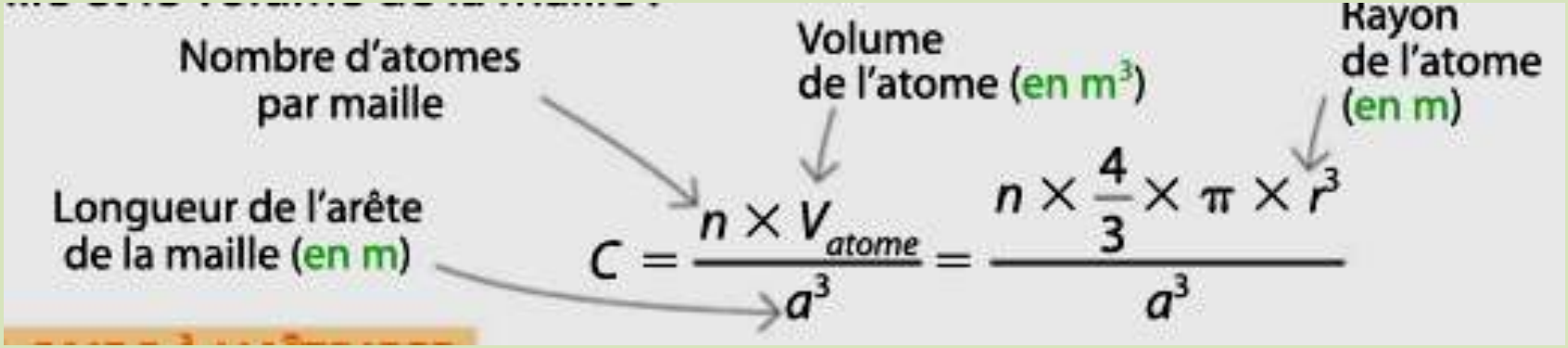
COURS

II – (suite)

2. Les entités occupent une proportion plus ou moins grande du volume de la maille appelée <u>compacité</u>.

a. **La compacité c** d'une structure est un nombre inférieur à 1 et sans unité.

b. **La compacité c** = Volume occupé par les atomes / Volume de la maille



Des édifices ordonnés, les cristaux

COURS

II – 2 (suite)

c. Pour compter le nombre d'atomes par maille (n) il faut tenir compte du fait que la plupart des atomes appartiennent à plusieurs mailles.
Par exemple un atome au sommet d'une maille cubique appartient à 8 mailles adjacentes.

→Voir activité Mailles et atomes

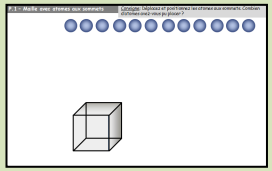
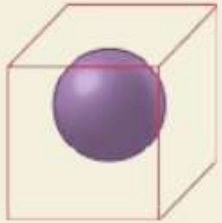
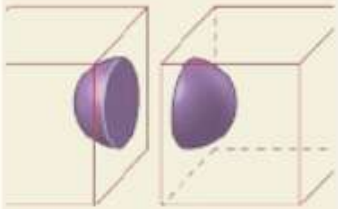
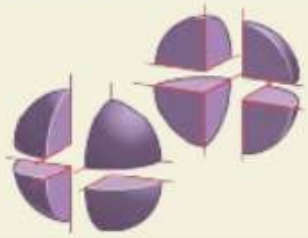


Tableau de contribution d'un atome à la maille en fonction de sa position

Place d'un atome dans la maille	Nombre de mailles qui se partagent l'atome	Contribution de l'atome à la maille
Centre		1
Face		$\frac{1}{2}$
Arête		$\frac{1}{4}$
Sommet		$\frac{1}{8}$

Des édifices ordonnés, les cristaux

COURS

II – (Suite)

3. L'organisation microscopique du cristal détermine sa masse volumique ρ (qui est liée à sa compacité).

a. Elle s'exprime en g.cm-3

b. C'est le rapport entre la masse du cristal et son volume

c. ρ = Masse de la maille / Volume de la maille

$$\rho = \frac{\text{masse d'une maille}}{\text{volume d'une maille}}$$

ρ en $g \cdot cm^{-3}$; **masse** d'une maille en g ; **volume** d'une maille en cm^3

La masse d'une maille étant reliée aux nombres d'entités qui la composent, la masse volumique va varier en fonction de la structure cristalline du composé.

$$\text{Masse maille} = \frac{N \times M}{N_A}$$

N : nombre d'entités par maille

M : masse molaire de l'entité ($g \cdot mol^{-1}$)

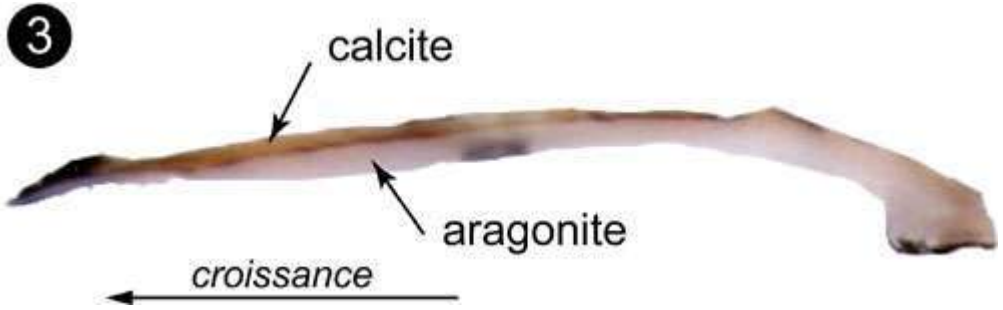
$\mathbf{N_A}$: constante d'Avogadro ; $N_A = 6{,}022 \times 10^{23}\ mol^{-1}$

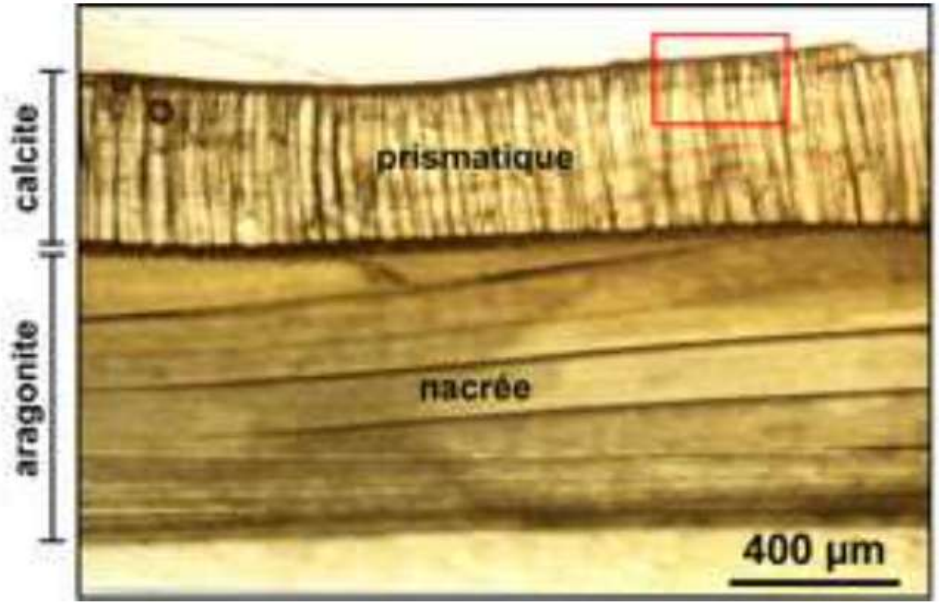
Soit *a* l'arête d'un cube en cm, on peut donc exprimer la masse volumique en $g \cdot cm^{-3}$ comme :

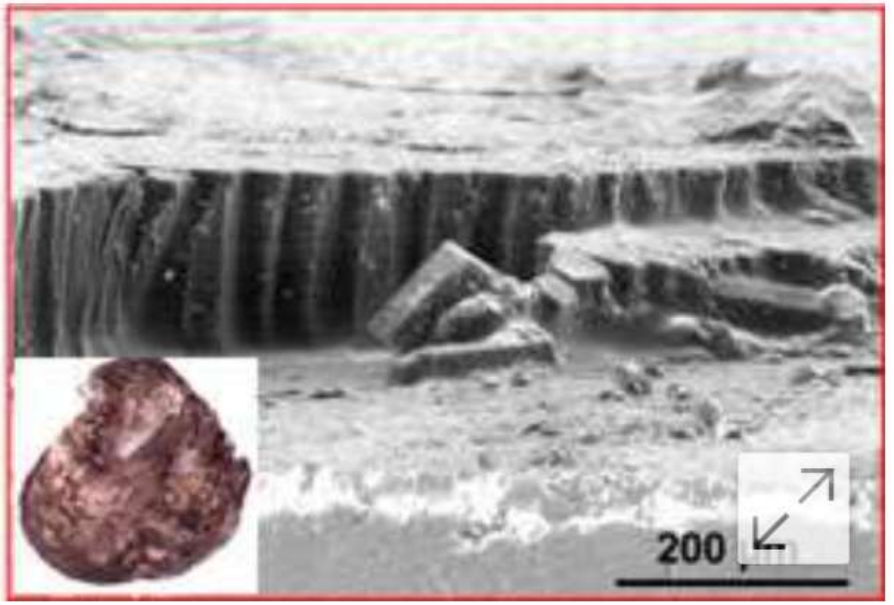
$$\rho = \frac{N \times M}{N_A \times a^3}$$

Cristaux biogéniques

Coquille de mollusque bivalve



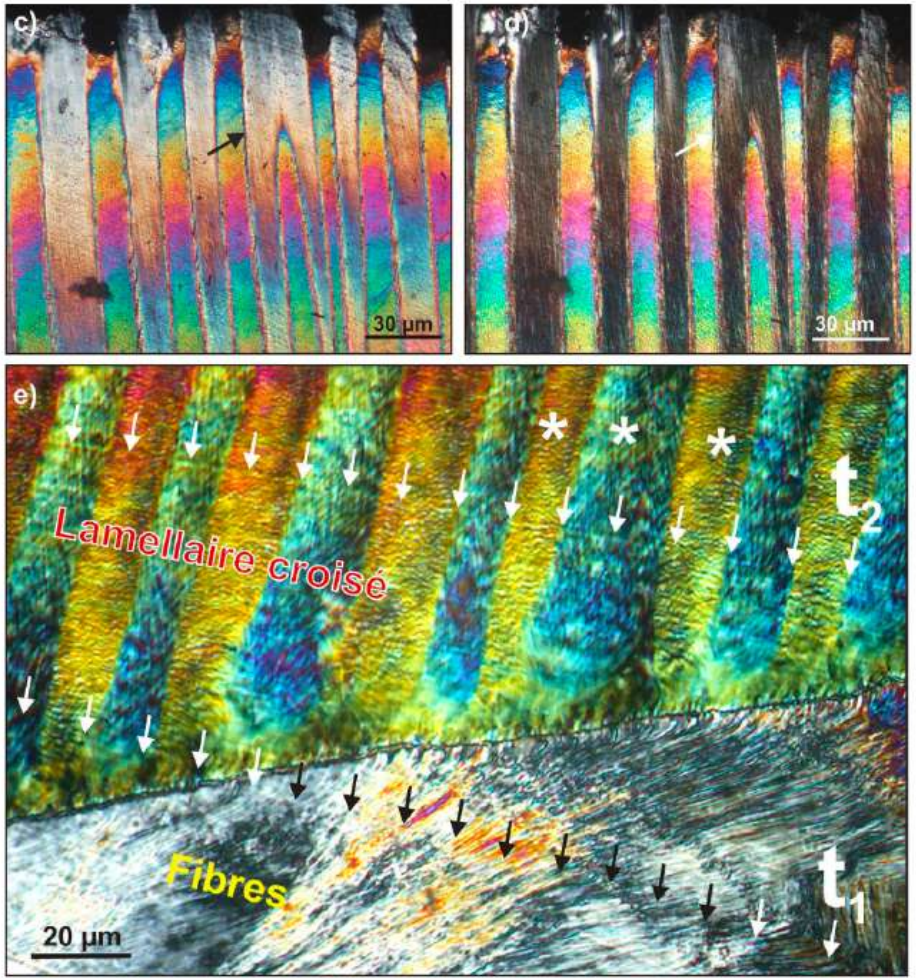




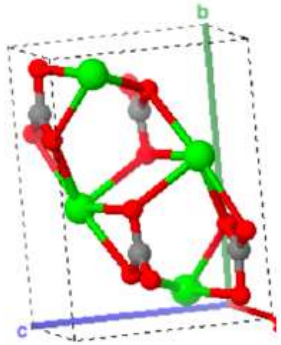
Coupe de coquille de mollusque bivalve vue au microscope optique et au MEB

Cristaux biogéniques

Gastéropode Nérita



fibres de calcite et lamelles croisées d'aragonite dans une coquille de Nerita au microscope polarisant

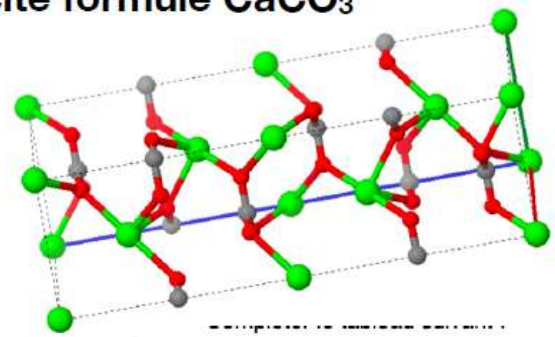


aragonite formule $CaCO_3$

Atome	I	F	A	S	Total	Masse	%
C^{4+}	4	0	0	0	4	48.04	12
O^{2-}	12	0	0	0	12	192	48
Ca^{2+}	4	0	0	0	4	160.32	40

Masse volumique calculée : 2.928 g/cm^3
Compacité calculée : 62.87 % (volume)
Pourcentage d'hydratation : 0 % (masse)

calcite formule $CaCO_3$

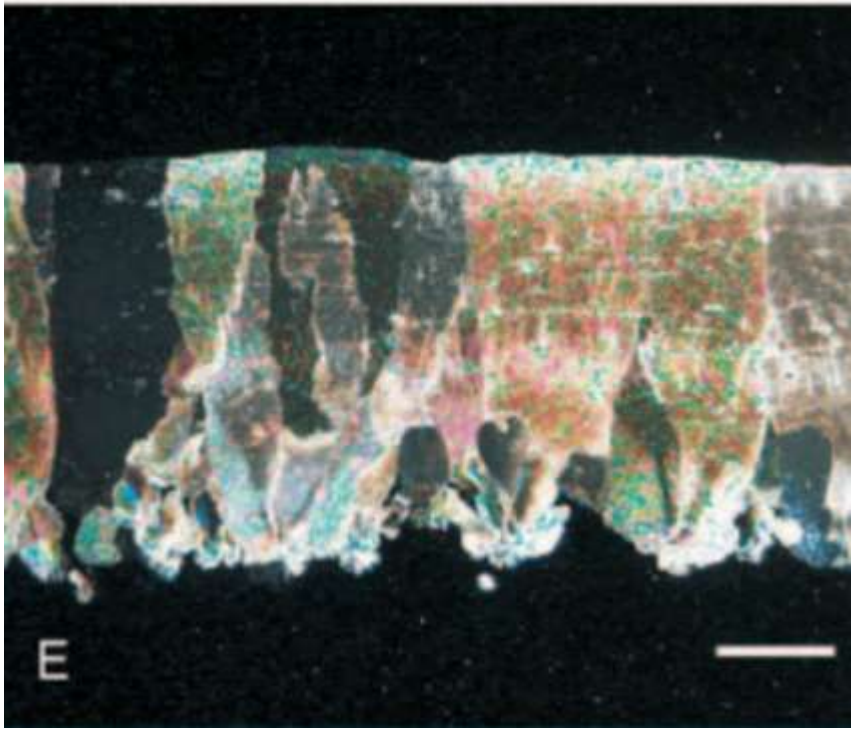


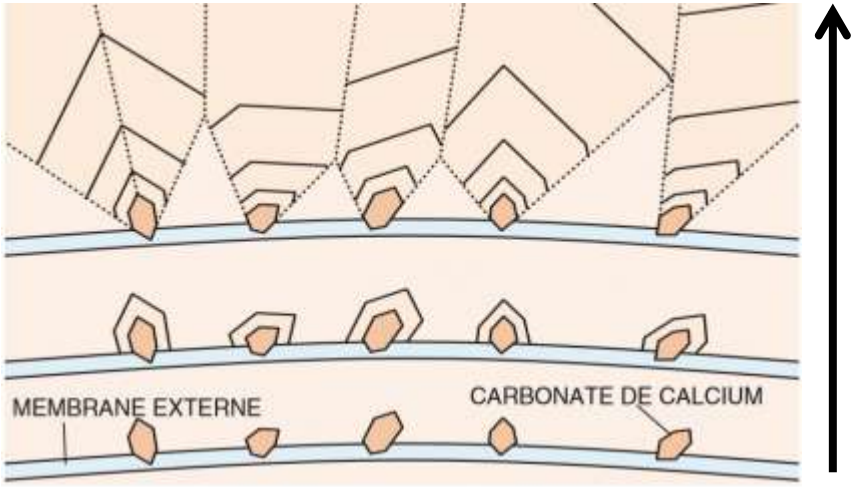
Atome	I	F	A	S	Total	Masse	%
C^{4+}	4	0	8	0	6	72.06	12
O^{2-}	14	8	0	0	18	288	48
Ca^{2+}	4	0	4	8	6	240.48	40

Masse volumique calculée : 2.711 g/cm^3
Compacité calculée : 58.21 % (volume)
Pourcentage d'hydratation : 0 % (masse)

Cristaux biogéniques

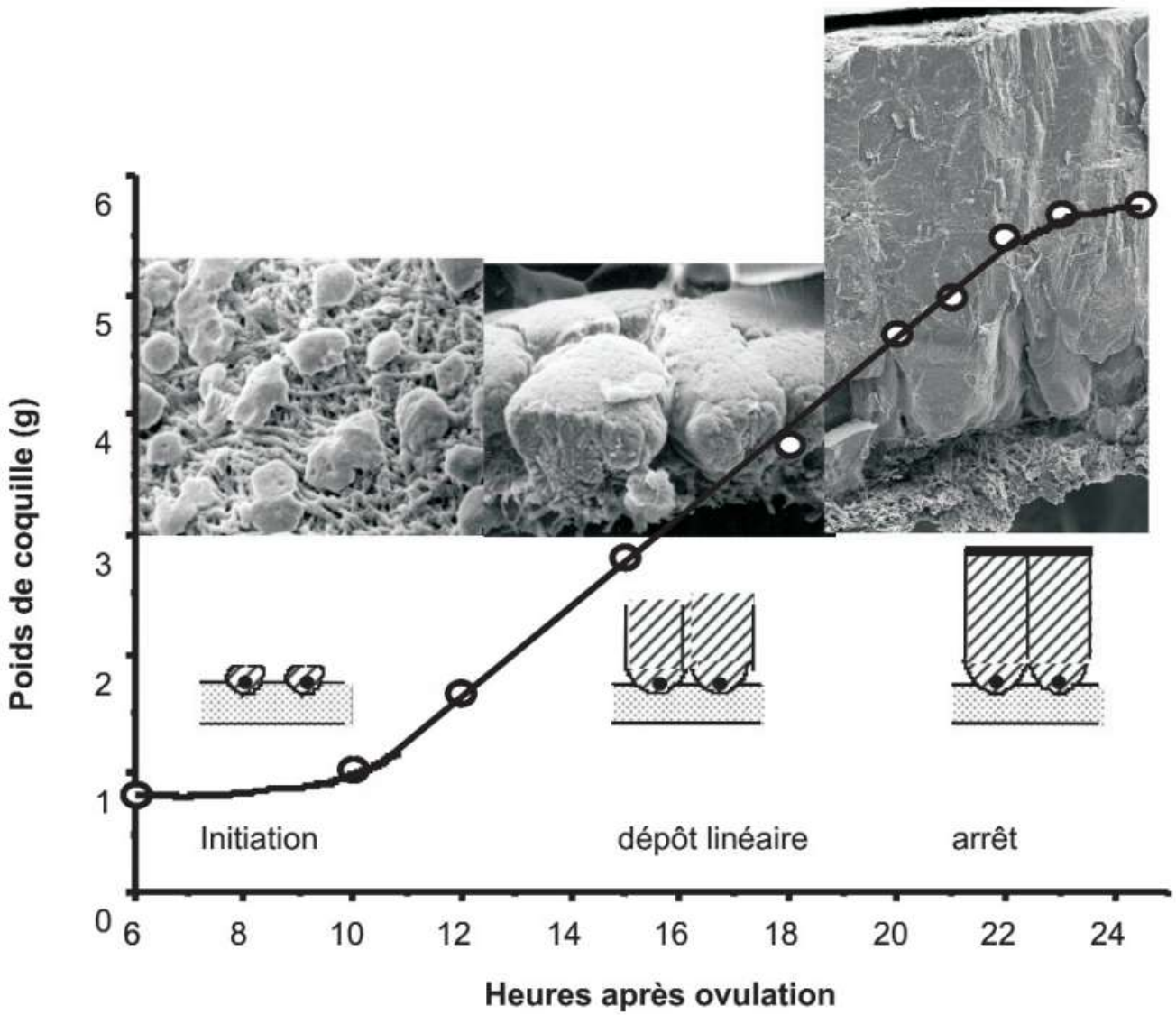
Coupe de coquille d'œuf de poule observée au microscope polarisant et croissance des cristaux de calcite





Cristaux biogéniques

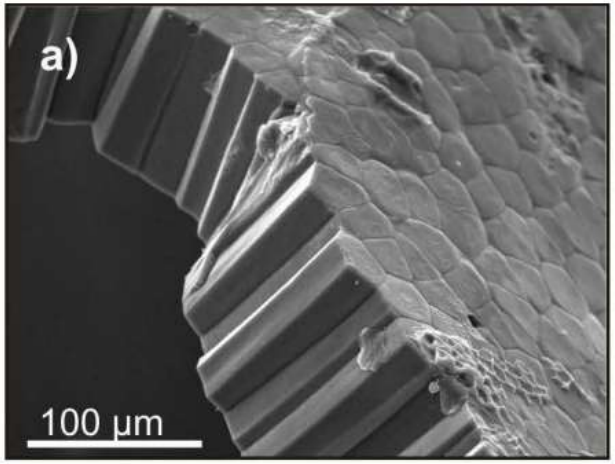
Croissance de la coquille de l'œuf de poule

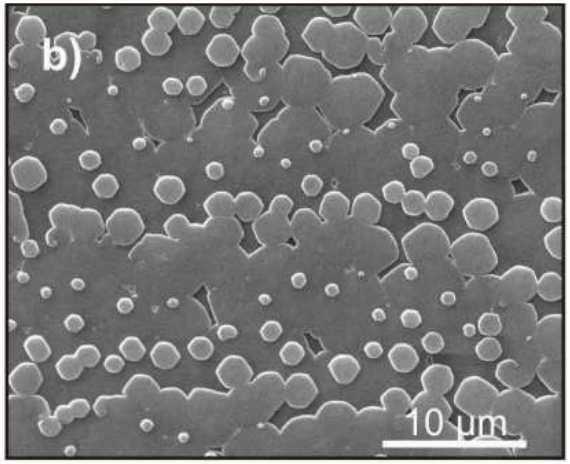


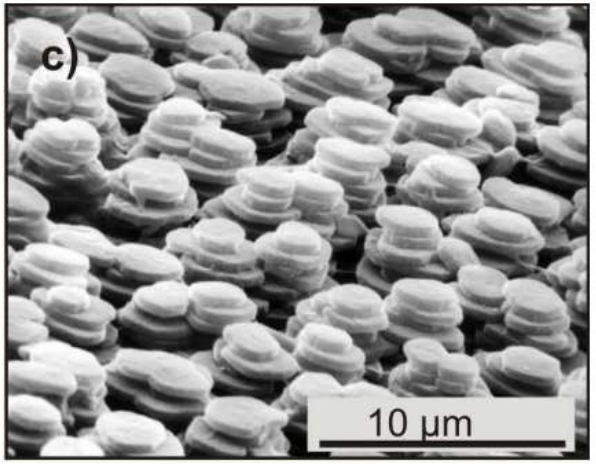
Cristaux biogéniques

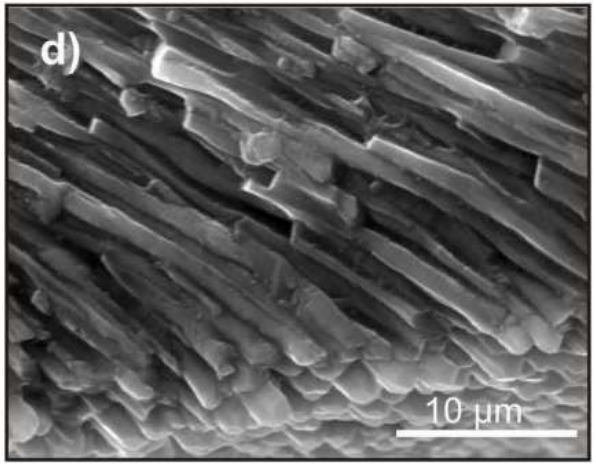
Différents types de cristaux de calcite / aragonite de mollusques

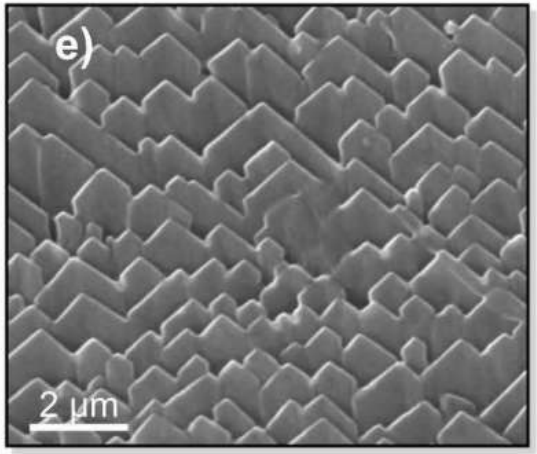
a) Prismes simples (calcite), Pinna nobilis. b) Nacre (aragonite), Pinctada margaritifera. c) Nacre (aragonite), Haliotis. d) Prismes fibreux (calcite), Mytilus edulis. e) Folie (calcite), Crassostrea gigas. f) Folie croisé (calcite), Patella vulgata.

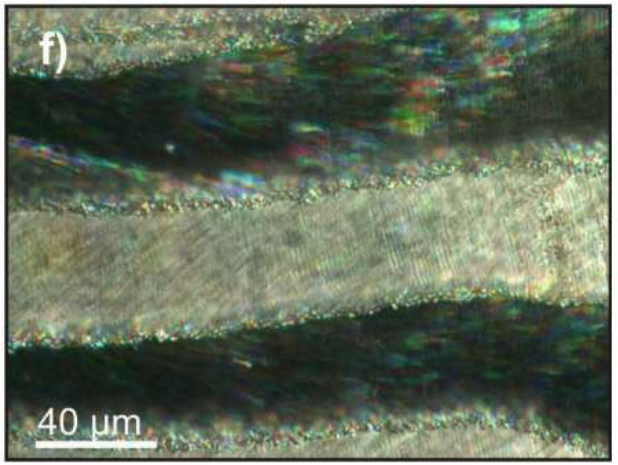






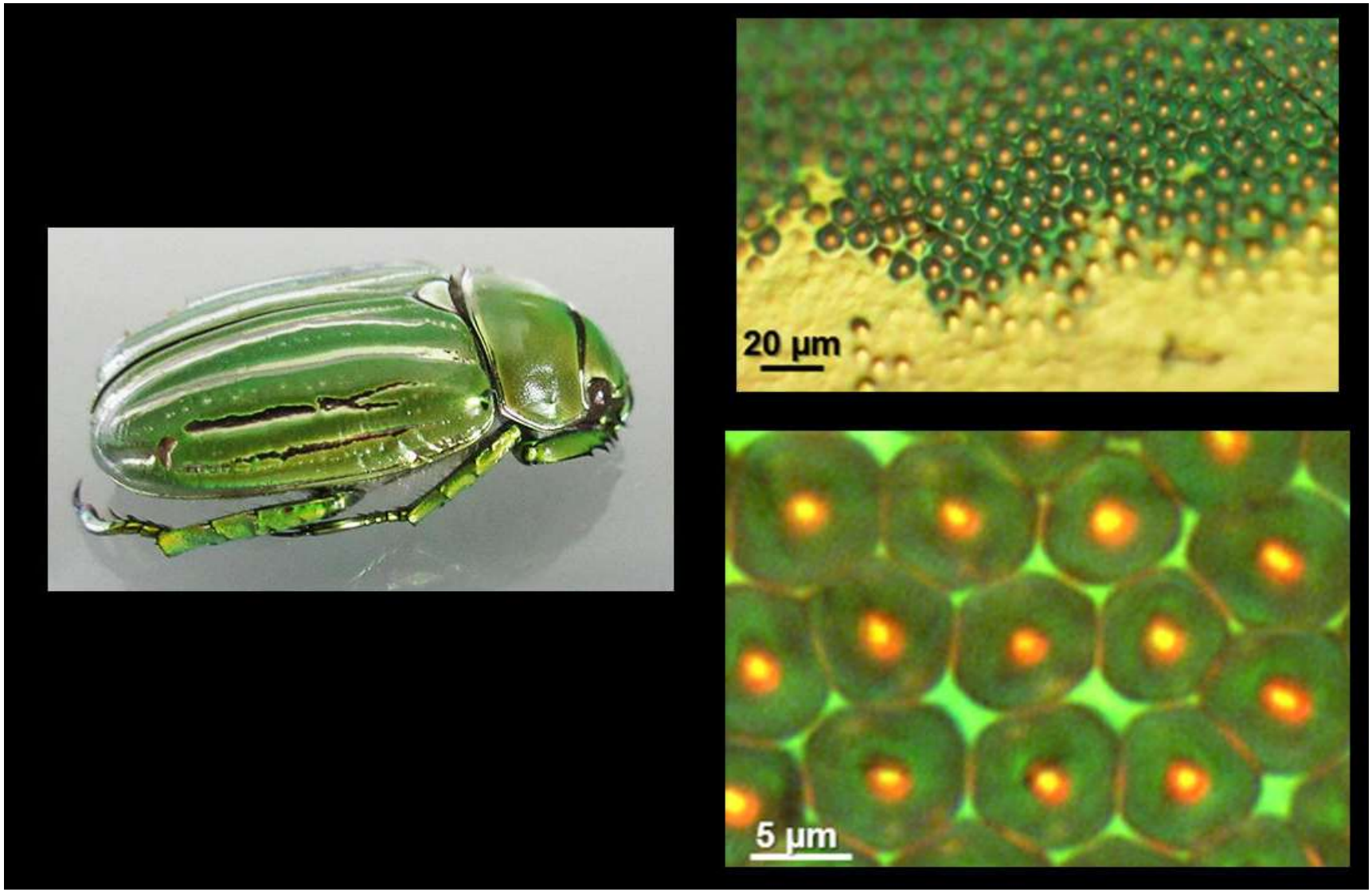






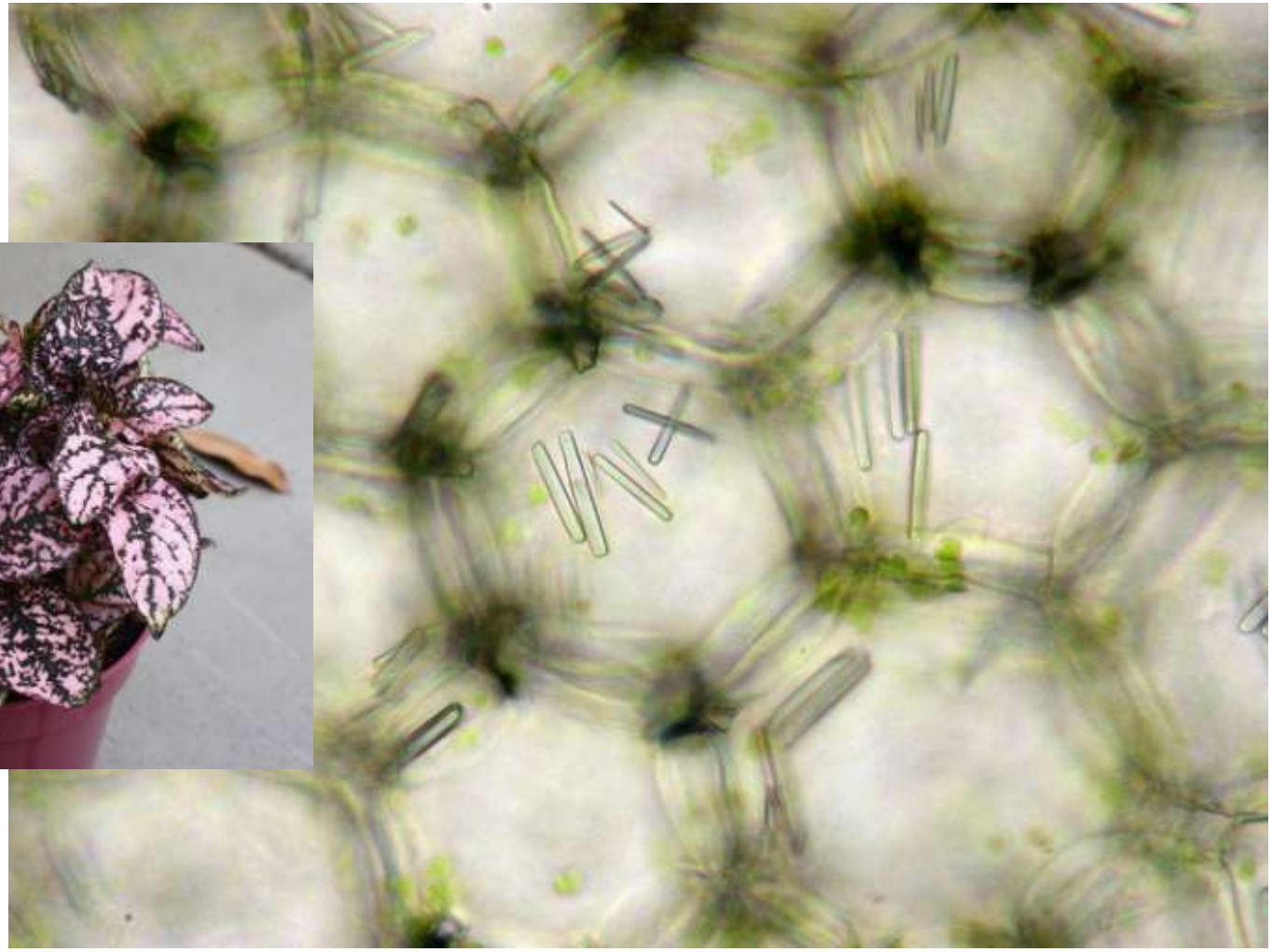
Cristaux biogéniques

La carapace du scarabée «Chrysina gloriosa» (à gauche), qui présente en alternance des bandes vertes et argentées, doit sa couleur irisée à l'organisation en cristal liquide de ses molécules de chitine.



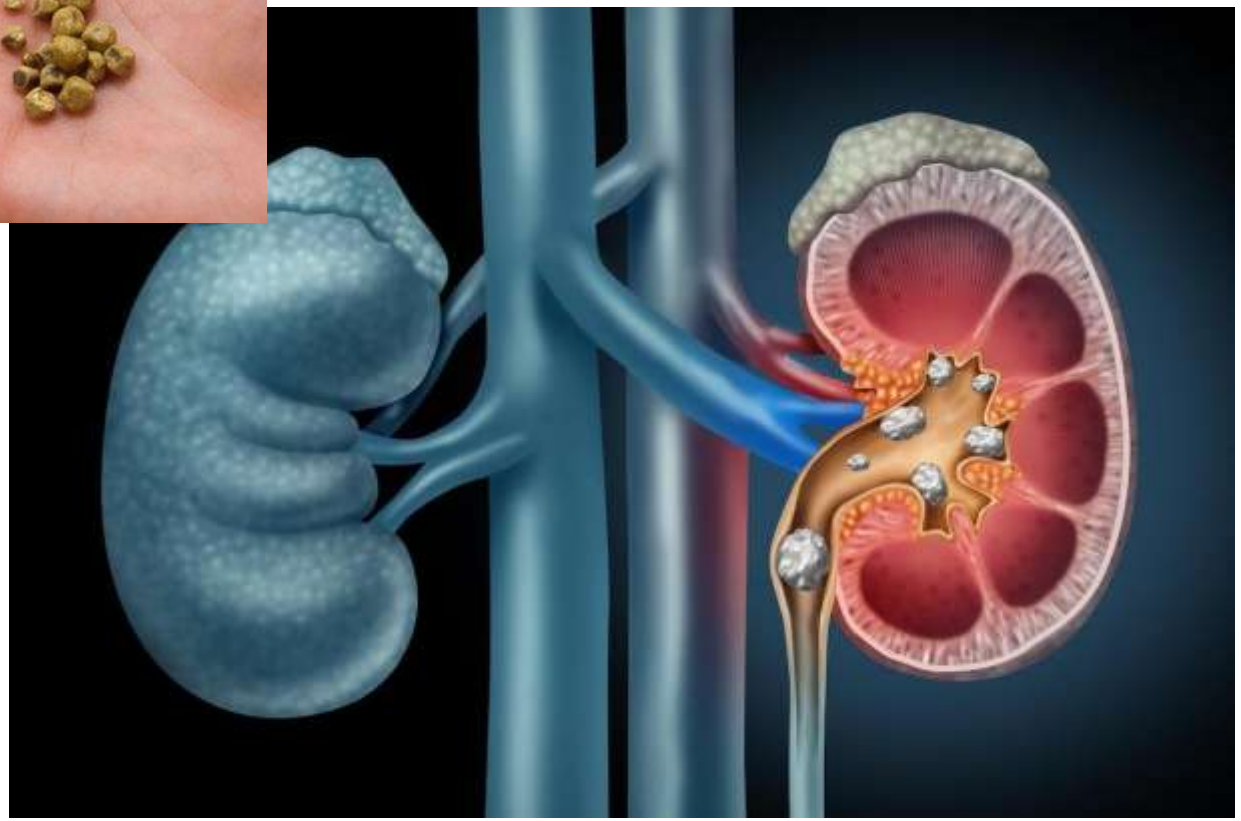
Cristaux biogéniques

Raphides dans cellules de *Hypoestes phyllostachya*
Cristaux d'Oxalate de calcium → Moyen de défense contre les herbivores



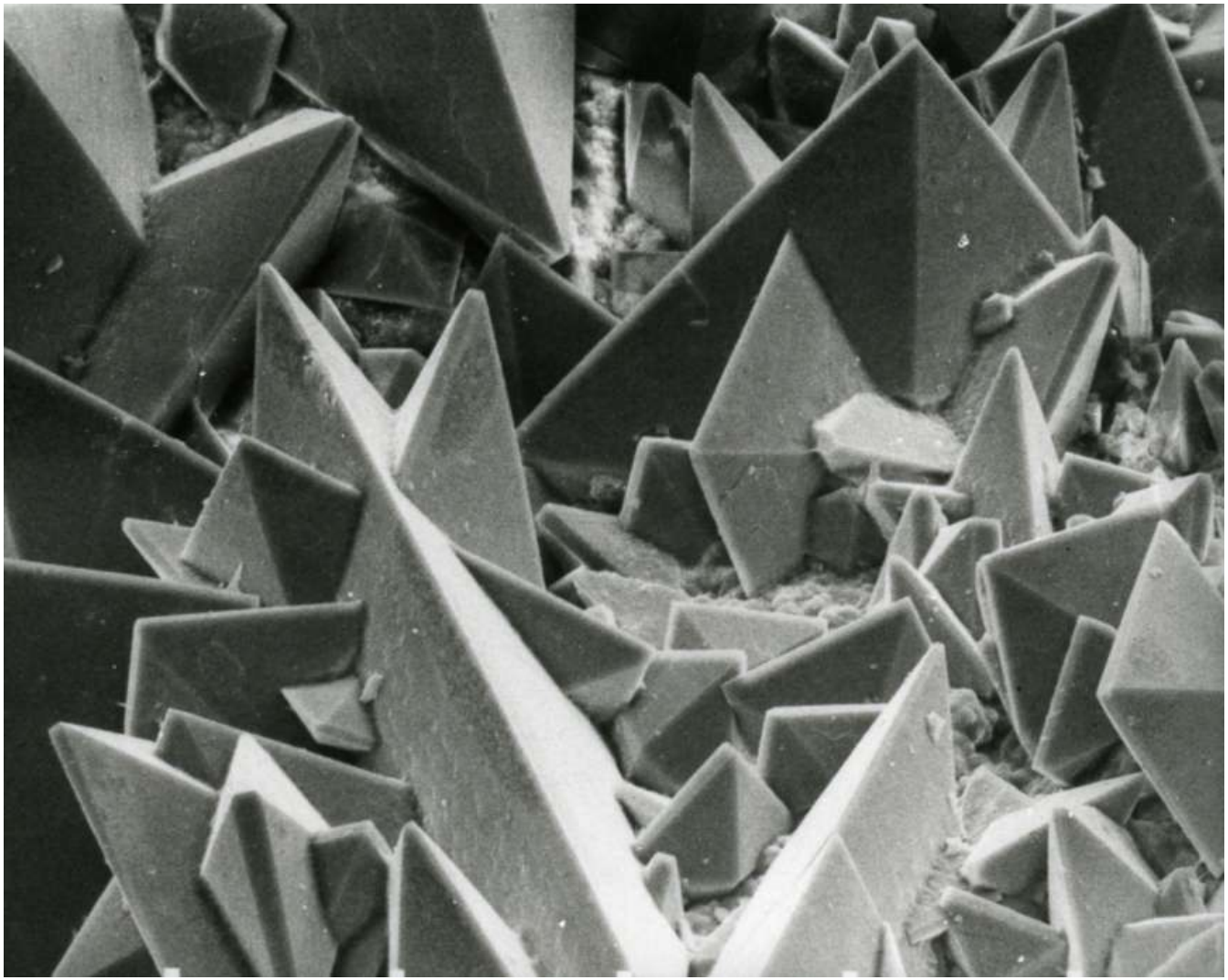
Cristaux biogéniques

Calculs rénaux (*Oxalate de calcium*) → *Responsable des coliques néphrétiques*



Cristaux biogéniques

Photographie au microscope électronique de la surface d'un calcul rénal montrant des cristaux tétragonaux de weddellite (oxalate de calcium dihydraté)



Des édifices ordonnés, les cristaux

COURS

III - Les êtres vivants peuvent posséder des structures cristallines qui jouent des rôles variés.

Un cristal produit par un être vivant est un cristal biogénique.

Exemple : Des cristaux sont responsables de propriétés mécaniques des coquilles de mollusques ou des os des vertébrés.

Exemple : Les cristaux présents dans certaines cellules végétales sont toxiques pour les herbivores.

Exemple : Calcul rénal (cristaux dans l'appareil urinaire) qui déclenche une crise de colique néphrétique

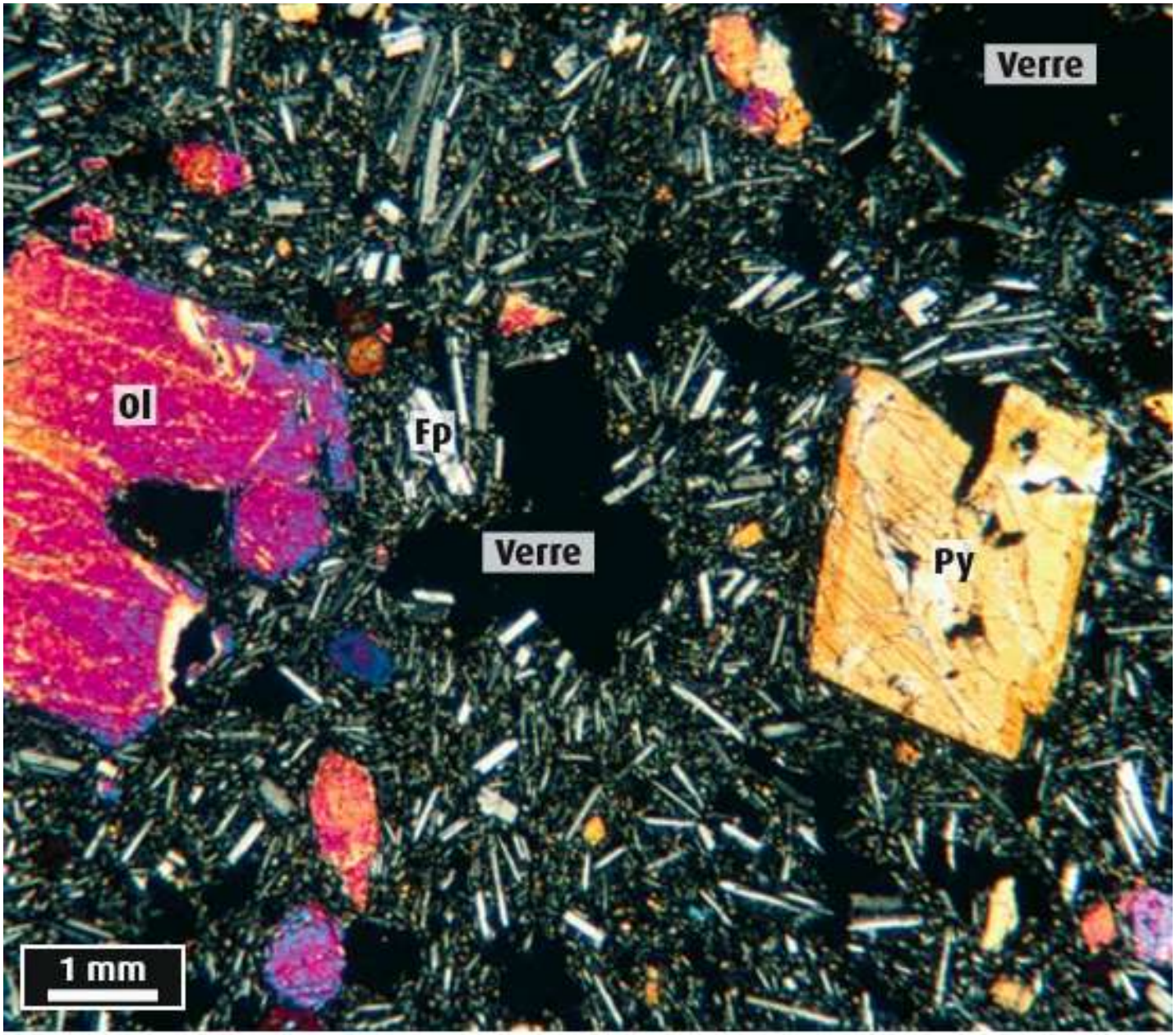
Des édifices ordonnés, les cristaux

Basalte

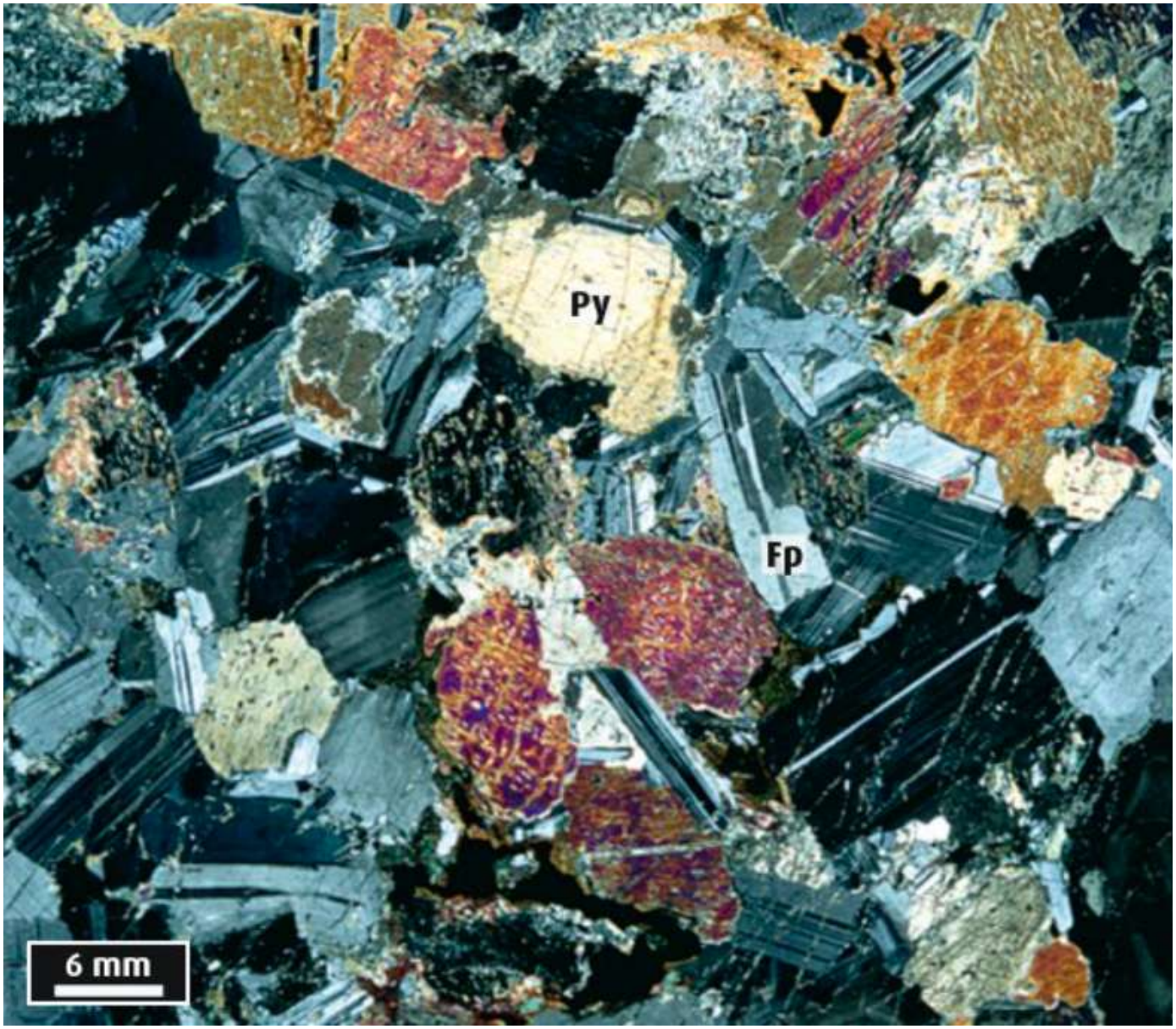
Basalte

Gabbro

Basalte observé au microscope polarisant x 100



Gabbro observé au microscope polarisant x 100



Compositions chimiques et minéralogiques identiques, mais structure différente

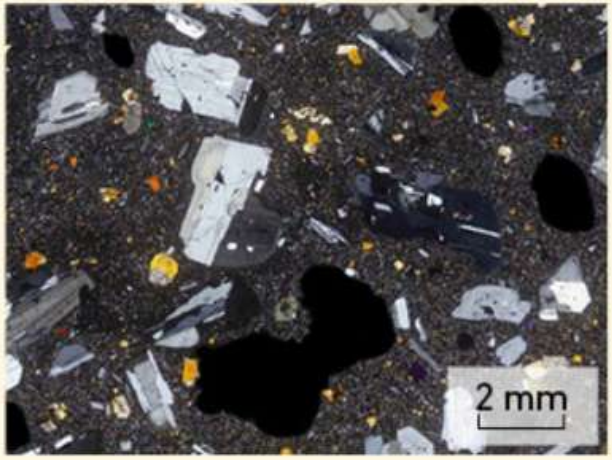
Le basalte

En surface.

Principaux éléments chimiques (en %) :

O	Si	Al	Fe	Mg	Ca
44	24	7	8	4	7

Minéraux : pyroxène, olivine et feldspath plagioclase.



Lame mince de basalte observée en lumière polarisée analysée.

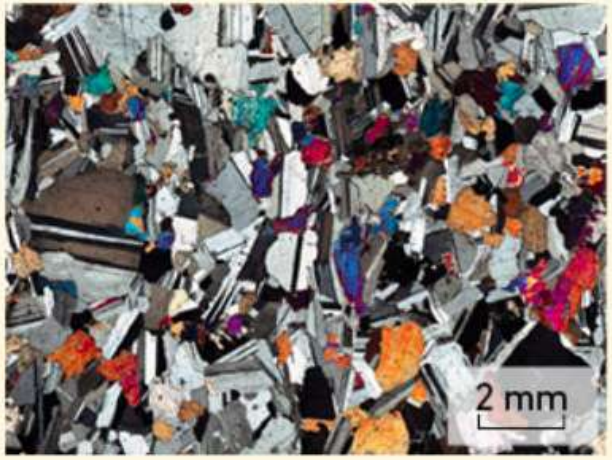
Le gabbro

À la base de la croûte océanique.

Principaux éléments chimiques (en %) :

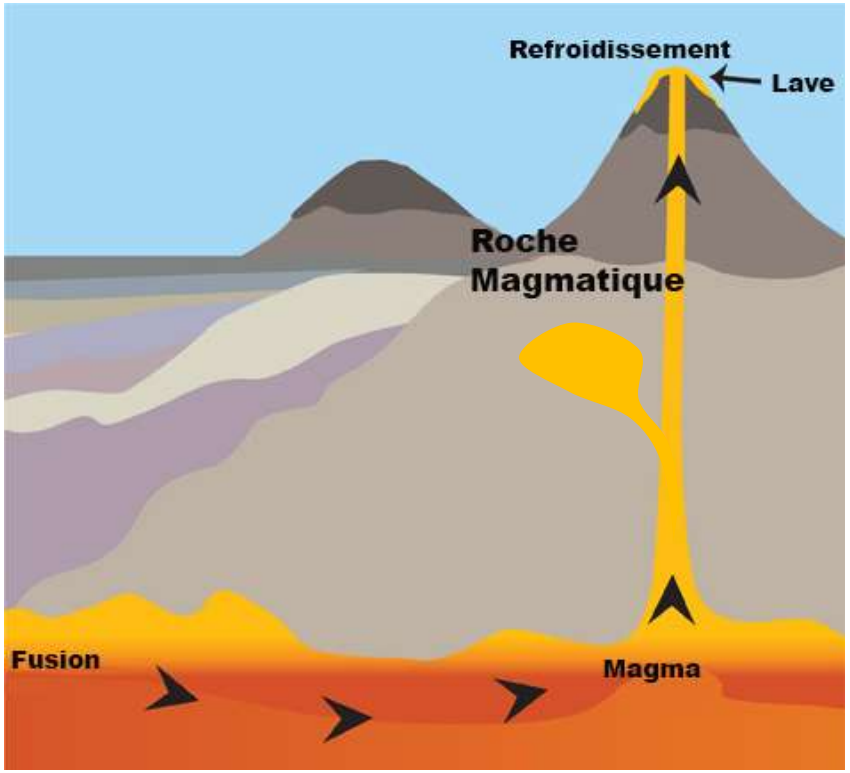
O	Si	Al	Fe	Mg	Ca
44	24	7	8	4	7

Minéraux : pyroxène, olivine et feldspath plagioclase.



Lame mince de gabbro observée en lumière polarisée analysée.

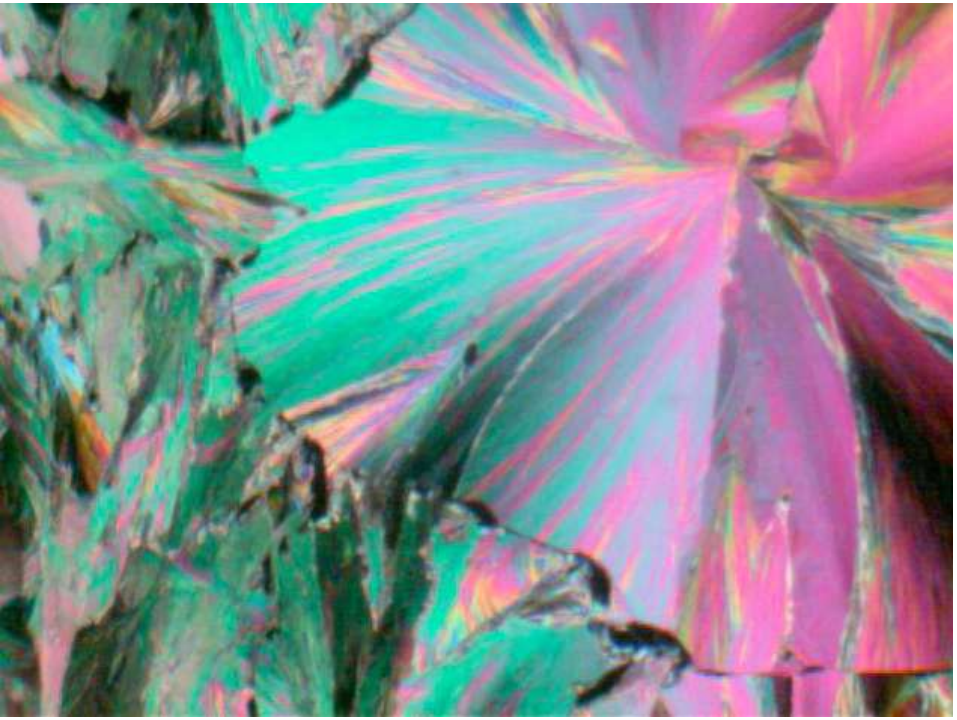
Une roche magmatique se forme par refroidissement (donc solidification) d'un magma

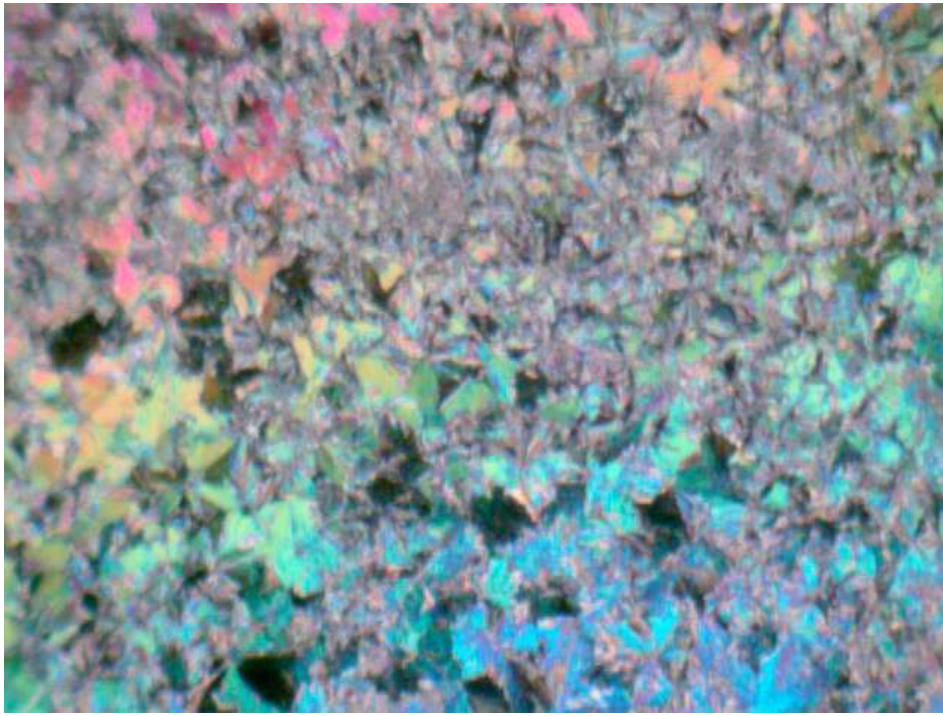


HYPOTHESE : Les différences de structure s'expliquerait par des différences de condition de refroidissement (vitesse)

Vérification expérimentale

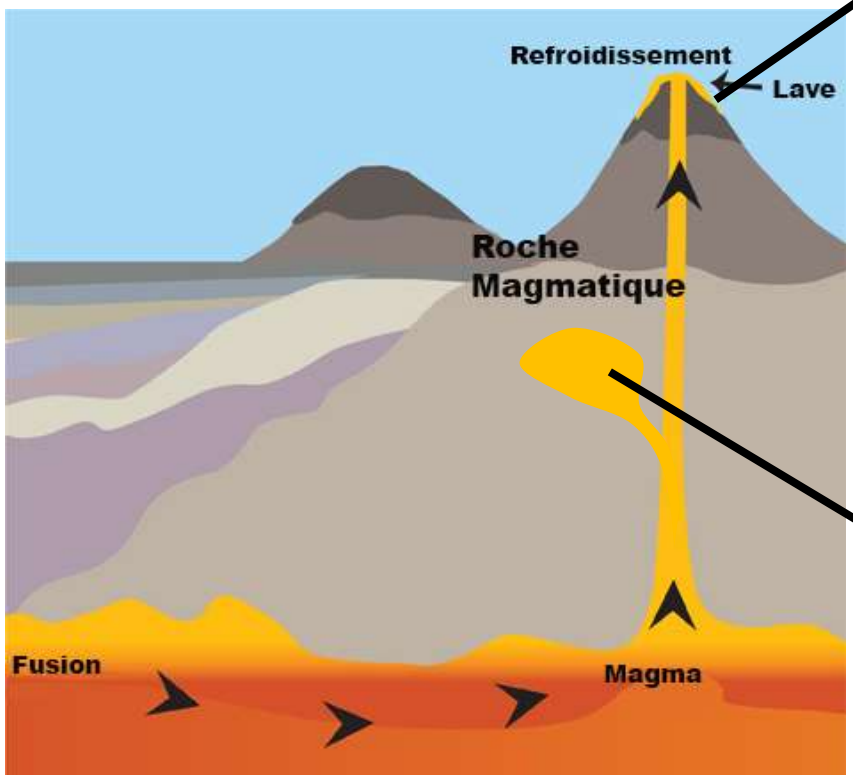
Cristallisation d'ethylvanilline sous microscope polarisant



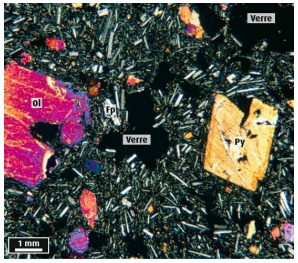


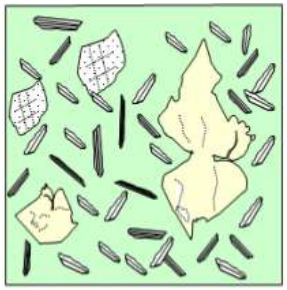
Refroidissement lent
(LPA)

Refroidissement rapide
(LPA)

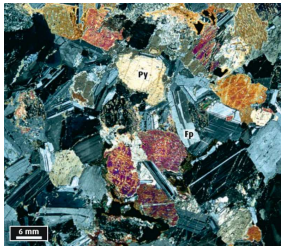


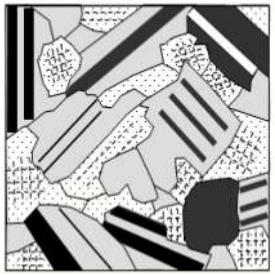
Roche magmatique volcanique (exemple: basalte, andésite) Refroidissement rapide → Structure microlithique





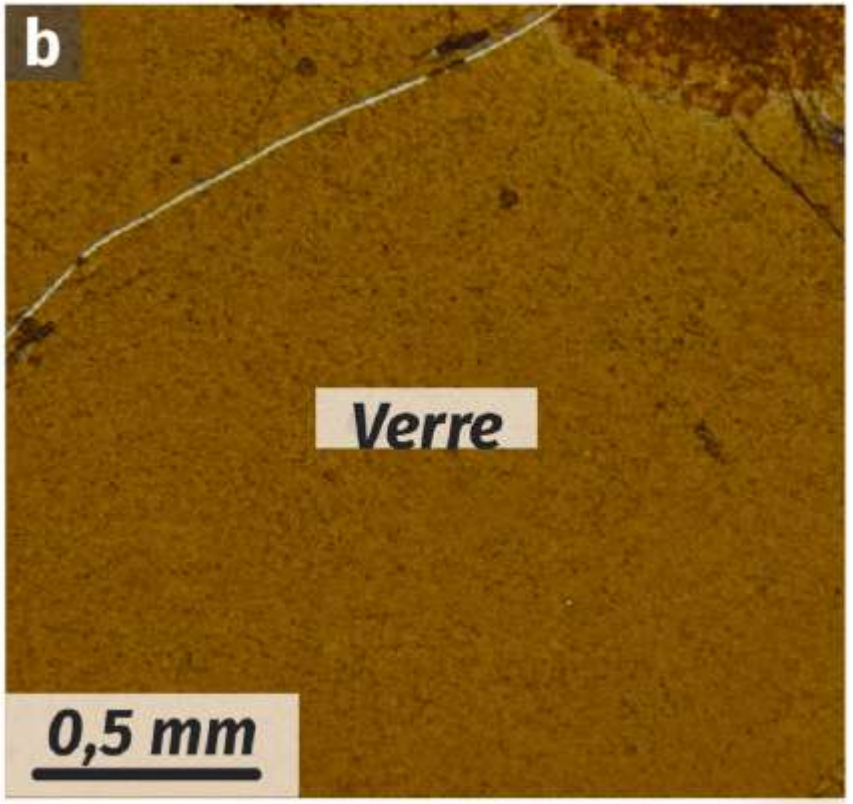
Roche magmatique plutonique (exemple: gabbro, granite) Refroidissement lent → Structure grenue





L'obsidienne = structure amorphe

Lame d'obsidienne observée au microscope plarisant



→ Refroidissement brutal

Des édifices ordonnés, les cristaux

COURS

IV - Selon les conditions de son refroidissement, une roche peut présenter une structure cristalline ou amorphe.

1. Une roche est un assemblage de minéraux et/ou de verre , dont les propriétés dépendent de l'arrangement spatial des entités chimiques les constituant.

2. En fonction de la température et de la vitesse de refroidissement, les roches d'une même nature peuvent avoir des structures différentes.

•Plus le refroidissement est lent, moins les cristaux sont nombreux et plus leur taille est grande.
•Un refroidissement **lent** conduit à une structure **grenue** (Ex : Gabbro).
•Un refroidissement **rapide** conduit à une structure microlithique (Ex : Basalte)
•Certaines roches volcaniques contiennent du verre, un solide amorphe (ex : l'obsidienne), qui est issu de la solidification très rapide d'une lave.