

Bienvenue au

Musée de minéralogie

de l'Université de Strasbourg !

À la découverte de la cristallographie



LIVRET ÉLÈVE - niveau 1ère



Jardin des sciences

Université de Strasbourg



École et observatoire

des **sciences de la Terre**

Université de Strasbourg

Vous vous trouvez au cœur d'une collection de plus de 30 000 échantillons qui datent pour certains de 1700. Même si les cristaux ont toujours suscité la curiosité et l'admiration, c'est à cette période que débute la minéralogie, c'est-à-dire l'étude scientifique des cristaux.



Ces cristaux ont parfois l'air taillés par l'humain, pourtant ils ont bien naturellement pris cette forme !

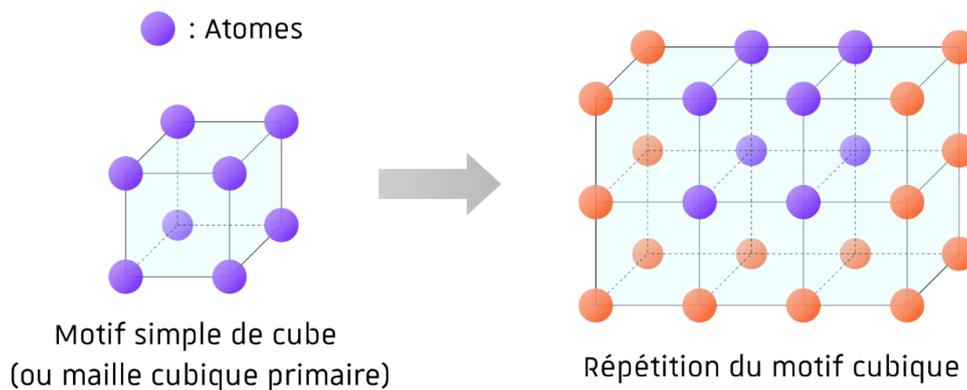
Ce questionnaire retrace l'évolution des méthodes d'identification et de classification des cristaux, ayant permis la construction des connaissances actuelles en cristallographie.¹

Repérez-vous à l'aide du plan situé à l'arrière du livret, pour identifier les vitrines utiles pour répondre aux questions.



Dans chaque réponse aux questions se trouvent des lettres permettant de résoudre l'énigme suivante :

« Je suis un cristal dont les atomes forment le motif le plus simple de tous : un cube, qui suis-je ? »



La réponse finale est :

— — — — —

Question bonus : cette espèce n'est pas présente dans les collections du musée de minéralogie, savez-vous pourquoi ?

¹ Sources pour la création de ce questionnaire : G. Férey, Une (brève) histoire de la cristallographie, l'actualité chimique – juil.-août-sept.-oct. 2014, p 29-40.

J.-J. Rousseau, A. Gibaud, Cristallographie géométrique et radiocristallographie Ed. 3. Dunod. 2007.

W. Clegg, La cristallographie aux rayons X. 2018.

Décrire et classer les cristaux

Dès 1770, un scientifique, Jean-Baptiste Romé de l'Isle², découvre qu'il est possible d'identifier et de classer les cristaux grâce aux angles entre leurs faces, qui définissent différents **systèmes cristallins**.

À cette époque, on ne connaît pas les atomes ni l'organisation de la matière à une si petite échelle. C'est pourquoi les cristaux sont décrits selon leur forme géométrique visible à l'œil nu. Il est ainsi possible de les classer.



Grâce à votre observation minutieuse des vitrines, reliez le nom de chaque minéral à son système cristallin et ses caractéristiques géométriques.

Minéraux

Systèmes cristallins

Caractéristiques

Pyrite •

F



• Base rectangle
• Face rectangle

L

Soufre •

E



• Base et face carrées

E

Axinite •

B



• Base et face parallélogrammes (angle $\neq 90^\circ$)

D

Apatite •

P



• Base et 2 faces rectangles,
• 2 faces parallélogrammes (angles $\neq 90^\circ$)

U

Calcite •

L



• Base hexagone
• Face rectangle

B

Idocrase •

D



• Base carrée
• Face rectangle

F

Orthose •

U



• Base et face losanges

P

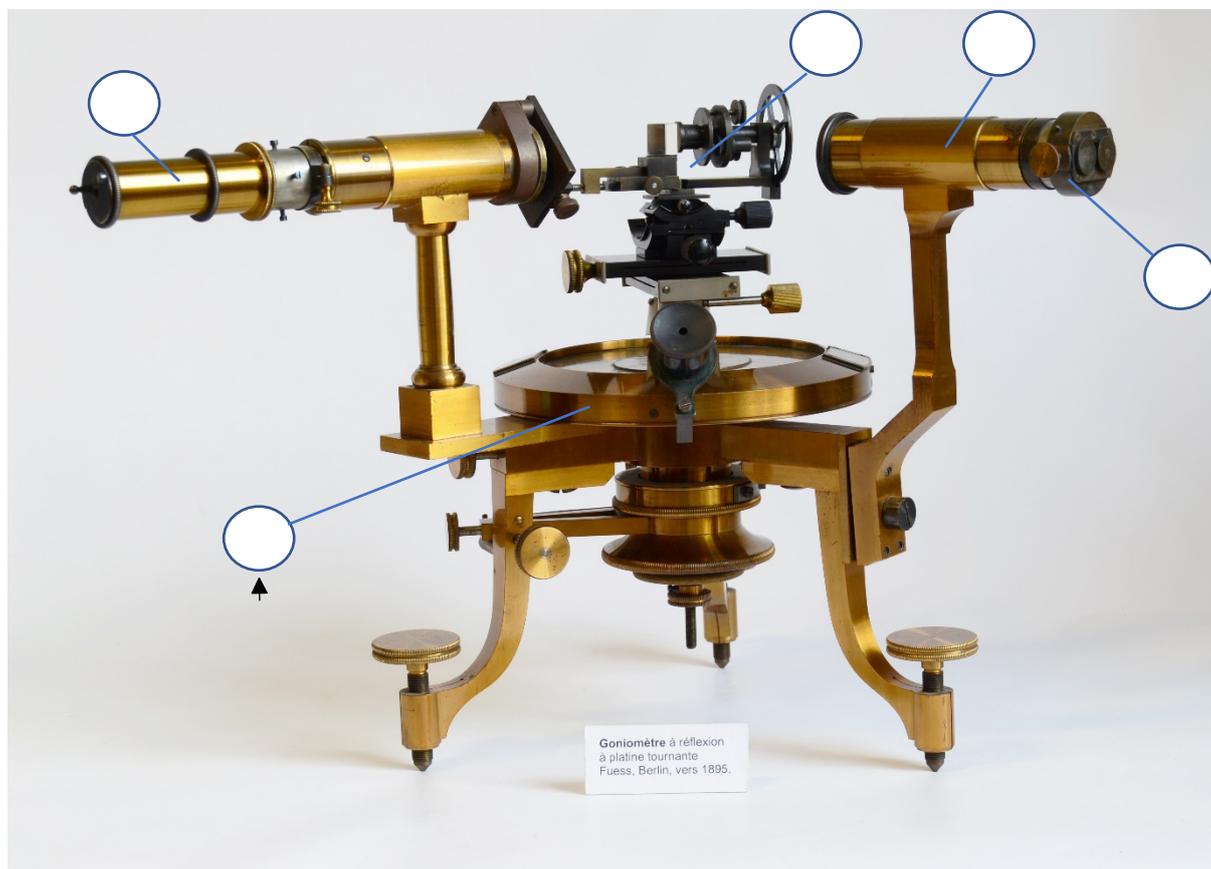


Trouvez la forme et le système cristallin du **soufre** pour découvrir deux lettres de la réponse finale !

² Sources: Clark, E. Pioneers in Optics: Edmund Hartnack and Jean-Baptiste Romé de l'Isle. Microscopy Today 2018, 26 (5), 39-41

Pour des mesures très précises des angles, les scientifiques utilisent des goniomètres.

Voici l'un des goniomètres que vous pouvez observer dans les vitrines. **Observez et raisonnez pour placer sur l'image les numéros correspondant à la fonction de ses différentes parties.**



1. Endroit où l'on place le cristal à étudier. **A**
2. Lunette autocollimatrice qui permet d'observer le faisceau réfléchi par le cristal. **C**
3. Collimateur qui permet d'obtenir un faisceau de lumière parallèle. **M**
4. Source lumineuse qui permet d'éclairer le cristal à étudier. **J**
5. Cercle gradué pour mesurer un angle de déviation. **N**



Trouvez la partie désignée par la flèche, elle indique l'une des lettres de la réponse finale !

Un goniomètre à 2 cercles en laiton est exposé dans le musée, dans quelle ville a-t-il été fabriqué ?

i Heidelberg

A Hanovre

Y Marseille



L'une de ces trois lettres fait partie de la réponse finale !

Compositions chimiques et structures cristallines

Dès le 19^e siècle, des scientifiques, tel l'Allemand Eihard Mitscherlich (1794-1863), observent un lien possible entre la composition chimique et la structure cristalline d'un minéral. Cependant, cette hypothèse est sujette à controverses et à cette époque la notion d'atome n'est pas encore clairement établie.



Actuellement on sait que les cristaux sont composés d'un ou de plusieurs types d'atomes. On écrit leur formule chimique en notant les atomes présents ainsi que leur proportion avec des chiffres en indice. **Par exemple : $SrSO_4$ correspond à 1 atome de strontium, 1 atome de soufre et 4 atomes d'oxygène.**

Grâce à votre observation minutieuse des vitrines, remplissez le texte à trous et rayez la mention inutile (lorsqu'il y a deux propositions) :

L' (de formule **CaSO₄**), la **Barytine** (de formule)
et la (de formule **SrSO₄**)
ont des compositions chimiques identiques / différentes*
et des structures cristallines identiques / différentes.

* *Observez la position des éléments Ca, Ba et Sr dans le tableau périodique (dont la première version date de 1869) !*

Que remarquez-vous ?

La **calcite** et l'**aragonite** ont des formules chimiques identiques / différentes
(Formule(s) :)
et des structures cristallines identiques / différentes.



La seule lettre commune à toutes les formules fait partie de la réponse finale !

Repérez le graphite dans les vitrines : quel cristal également très connu présente la même composition chimique ?

Comment pouvez-vous décrire les différences entre ces cristaux ?

Que pensez-vous alors du lien entre composition chimique et structure cristalline ?

.....

Des édifices ordonnés

Dès 1800, l'abbé René Just Haüy commence à supposer une organisation microscopique régulière dans les cristaux à une échelle très petite. Ses hypothèses sont sujettes à controverses et à cette époque la notion d'atome n'est pas encore clairement établie.



René Just Haüy est un homme d'église mais aussi un scientifique. Ce cristallographe français est considéré comme l'un des pères de la cristallographie géométrique.



René Just Haüy³

Comment Haüy a-t-il élaboré sa théorie sur la structure des cristaux ?

Repérez et soulignez des expressions qui montrent que la construction de la connaissance peut mêler intuition, hasard, mais aussi travail et détermination.

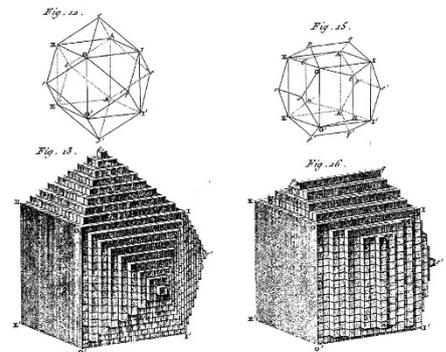
René-Just Haüy, initialement amateur de botanique, s'étonnait de la constance des formes des fleurs, des fruits, et ne concevait pas que les formes des minéraux, plus simples, ne fussent pas soumises à de mêmes lois.

Ce fut lorsqu'il était rempli de ces idées, qu'examinant quelques minéraux il eut l'heureuse maladresse de laisser tomber un beau groupe de spath calcaire cristallisé en prismes. Un de ces prismes se brise de manière à montrer sur sa cassure des faces non moins lisses que celles du dehors, et qui présentaient l'apparence d'un cristal nouveau. M. Haüy ramasse ce fragment ; il en examine les faces, leurs inclinaisons, leurs angles. A sa grande surprise il découvre qu'elles sont les mêmes que dans ... le spath d'Islande.*

Un monde nouveau semble à l'instant s'ouvrir pour lui. Il rentre dans son cabinet, prend un spath cristallisé en pyramide hexaèdre, il essaie de le casser, et il en voit encore sortir ce ... spath d'Islande ; les éclats qu'il en fait tomber sont eux-mêmes de petits rhomboïdes : il casse un troisième cristal, ... lenticulaire ; c'est encore un rhomboïde qui se montre dans le centre, et des rhomboïdes plus petits qui s'en détachent.

« Tout est trouvé ! » s'écrie-t-il. Les molécules du spath calcaire n'ont qu'une seule et même forme : c'est en se groupant diversement qu'elles composent ces cristaux dont l'extérieur si varié nous fait illusion.

Monsieur Haüy n'hésite pas à mettre en pièces sa petite collection ; ses cristaux, ceux qu'il obtient de ses amis éclatent sous le marteau : partout il retrouve une structure fondée sur les mêmes lois. Dans le grenat, c'est un tétraèdre ; dans le spath fluor, c'est un octaèdre ; dans la pyrite, c'est un cube...



*spath : variété transparente de calcite

Molécules intégrantes d'un cristal cubique Traité de Minéralogie (1801) par René Just Haüy (CC BY-SA 4.0)

Grâce à la lecture du texte, remplissez le texte à trous avec les mots proposés :

cristal

atomes

géométrie

L'abbé René Just Haüy découvre que lorsqu'il casse un de calcite, les éclats conservent la même

..... . Cela s'explique maintenant par le fait que les..... sont organisés de manière régulière.

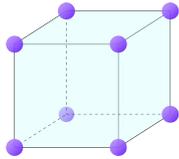


La quatrième lettre du mot indiqué par la flèche fait partie de la réponse finale !

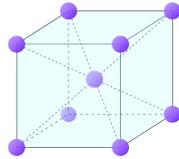
Un éclairage mathématique sur l'infiniment petit

Dès les années 1850, Auguste Bravais, un minéralogiste et cristallographe français, s'intéresse beaucoup à la géométrie des cristaux. Il déduit que si les cristaux sont formés de « petits objets » (que l'on appellera plus tard les atomes) organisés de manière régulière, alors ils ne peuvent former que certaines structures conduisant aux géométries observées à l'œil nu. En se basant sur la forme des cristaux (leur système cristallin) il décrit de manière mathématique la distribution de ces petits objets dans l'espace cristallin. Ces agencements sont aujourd'hui appelés « Réseaux de Bravais ». Par souci de simplification, on parle plus couramment de **mailles élémentaires**.

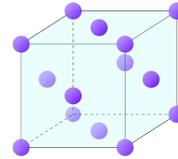
Types de mailles élémentaires cubiques :



Cubique primaire



Cubique centré

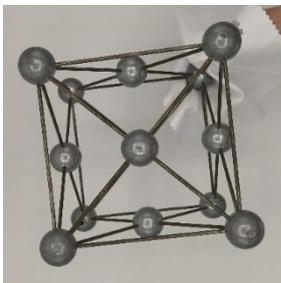


Cubique faces centrées

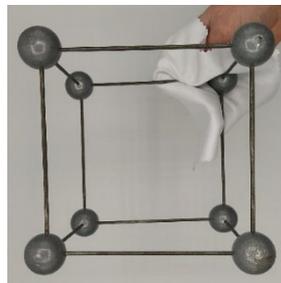


À cette époque Bravais ne fait que des hypothèses basées sur la géométrie. On ne connaît pas les atomes et ses idées font débat. Il faudra attendre l'arrivée des rayons X 50 ans plus tard, qui lui donneront raison !

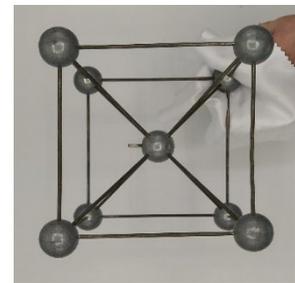
Grâce à votre observation minutieuse des vitrines, reliez chaque minéral au modèle en fer correspondant à sa maille élémentaire :



Or



Chlorure de césium



Polonium

On peut reconnaître le réseau de Bravais d'un minéral en :

- l'observant à l'œil nu **I**
- calculant le nombre d'atomes dans la maille élémentaire **O**
- l'observant au microscope **M**

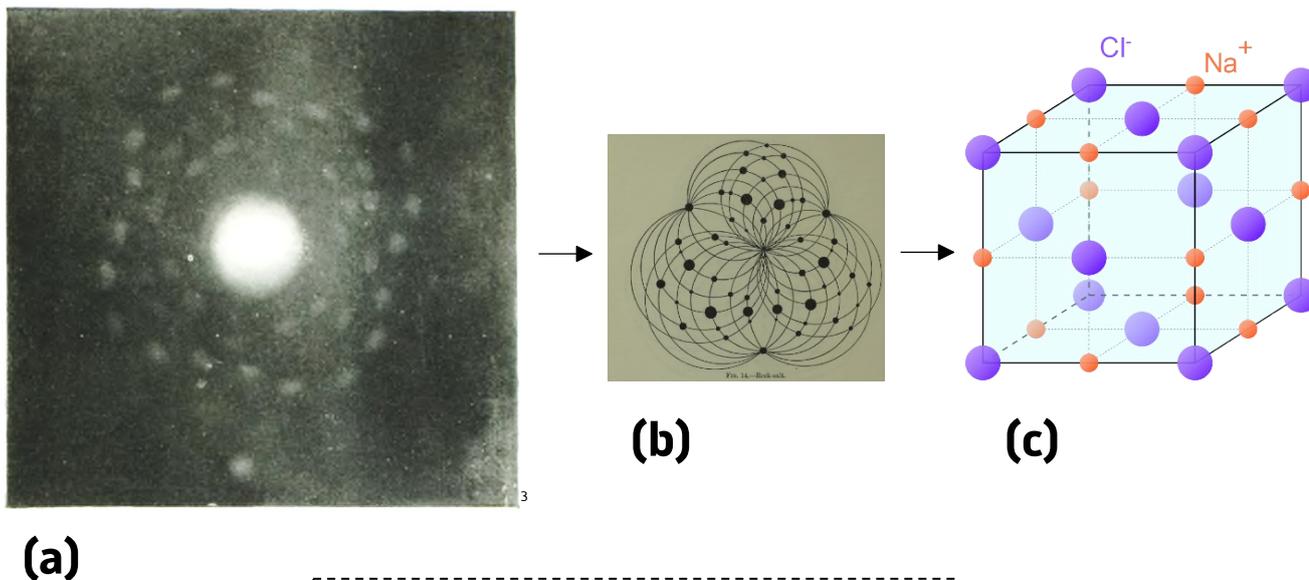


L'une de ces trois lettres fait partie de la réponse finale !

La révolution « rayons X »

La découverte des rayons X en 1895 permet d'énormes progrès en cristallographie. Grâce aux rayons X et à un phénomène appelé la diffraction, il est possible d'observer l'organisation des atomes dans les cristaux. Cette technique est toujours employée aujourd'hui pour déterminer la structure de cristaux inconnus. Les mesures par diffraction des rayons X donnent ce que l'on appelle un diffractogramme.

Les premiers diffractogrammes ressemblaient à l'image suivante (a), des calculs complexes de géométrie (b) permettent ensuite de remonter à la structure du cristal (c) :



Repérez des appareils à rayons X dans le musée !

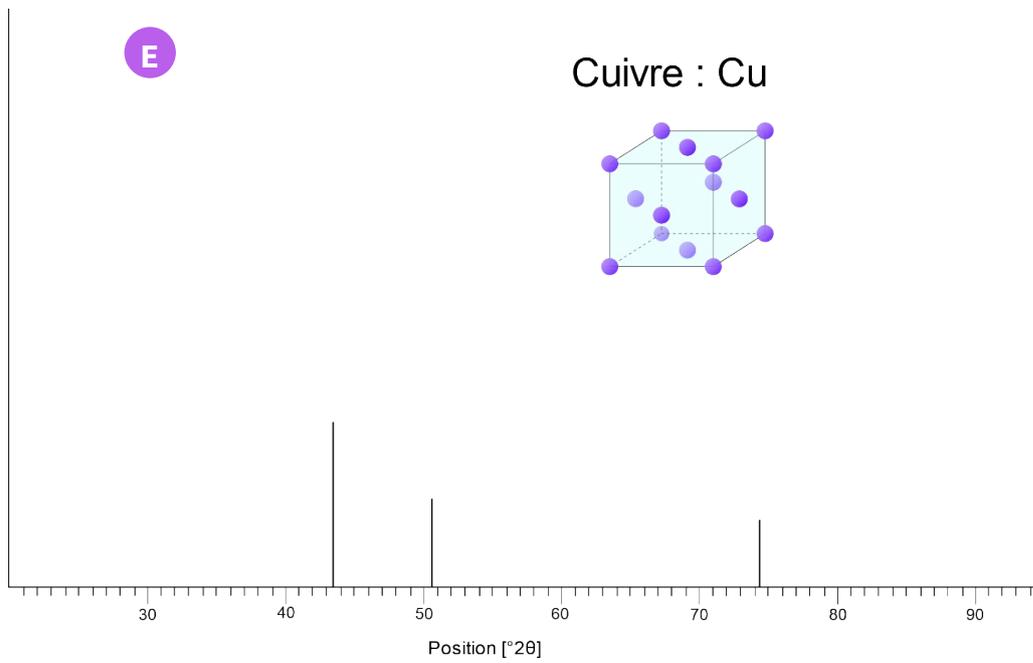
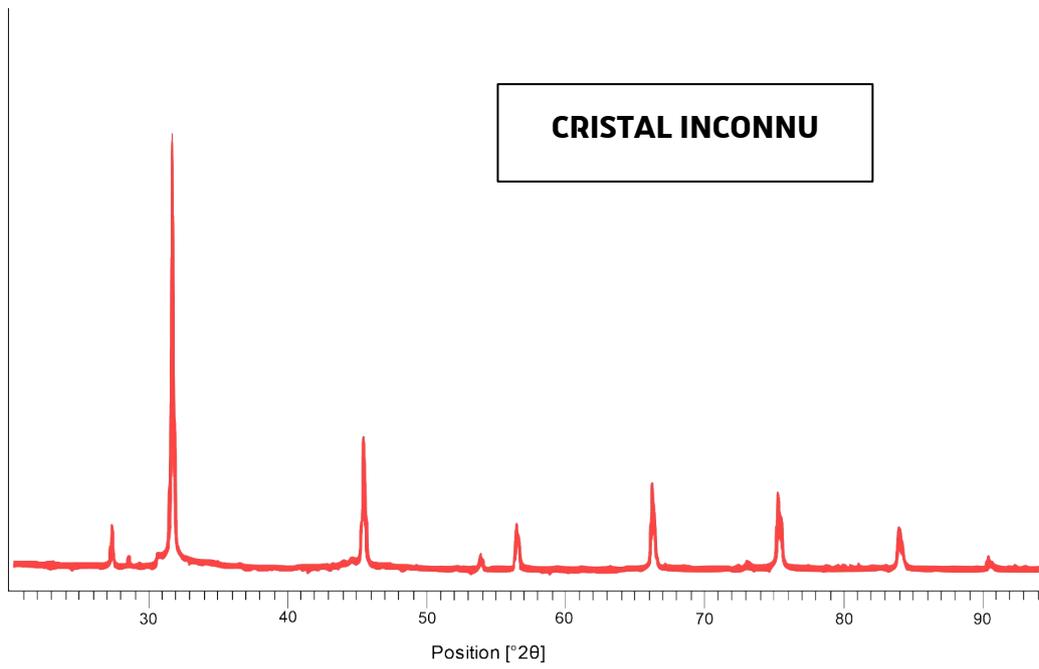
Aujourd'hui l'analyse de cristaux par diffraction des rayons X est assistée par ordinateur. On obtient alors des diffractogrammes, où l'axe des abscisses correspond à l'angle de diffraction et l'ordonnée à l'intensité perçue. Le motif obtenu correspond à une structure cristalline donnée.

Retrouvez le nom du cristal inconnu en comparant son diffractogramme aux motifs des diffractogrammes des cristaux connus (voir page suivante).



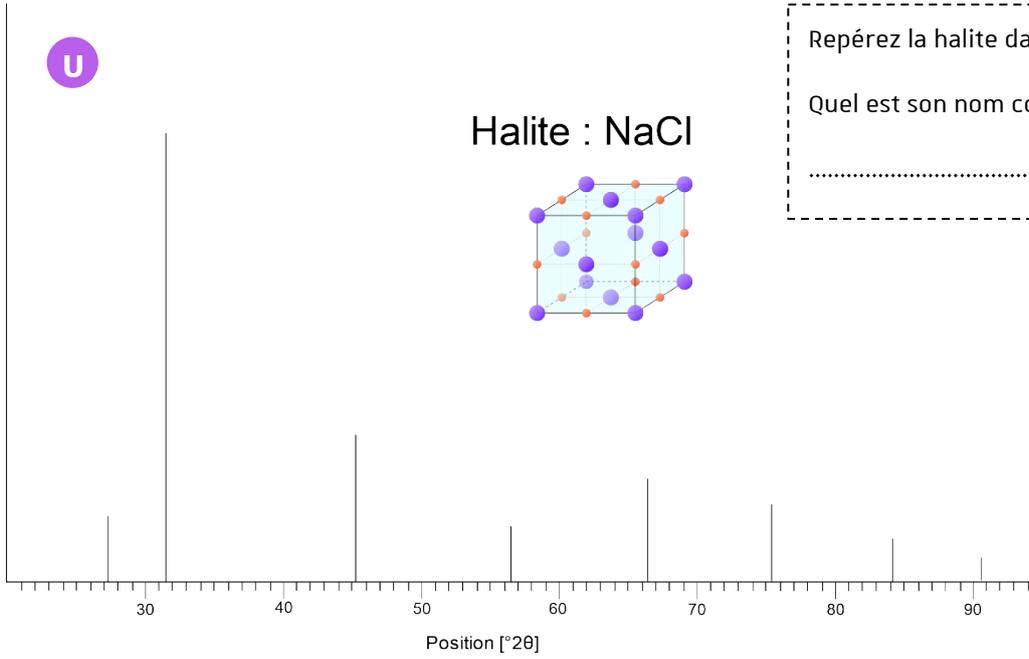
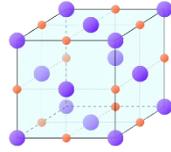
Le bon diffractogramme donne une lettre qui fait partie de la réponse finale !

³ Source: W. L. Bragg, The Structure of Some Crystals as Indicated by their Diffraction of X-ray, Proc. R. Soc. Lond. A, 89 (610), 1913



U

Halite : NaCl



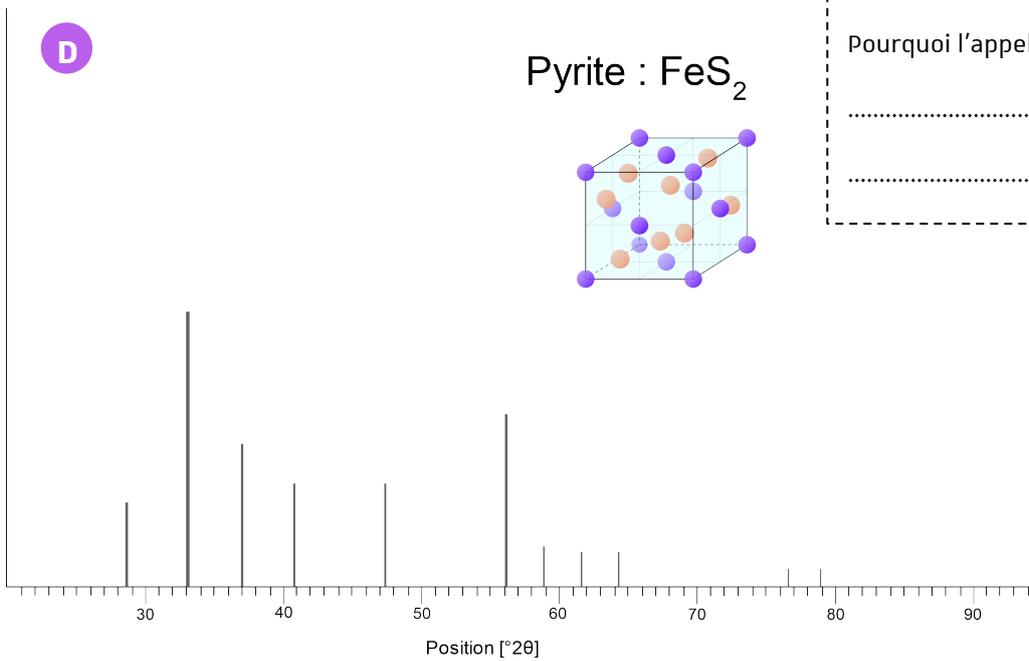
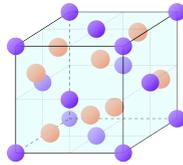
Repérez la halite dans les vitrines.

Quel est son nom courant ?

.....

D

Pyrite : FeS₂



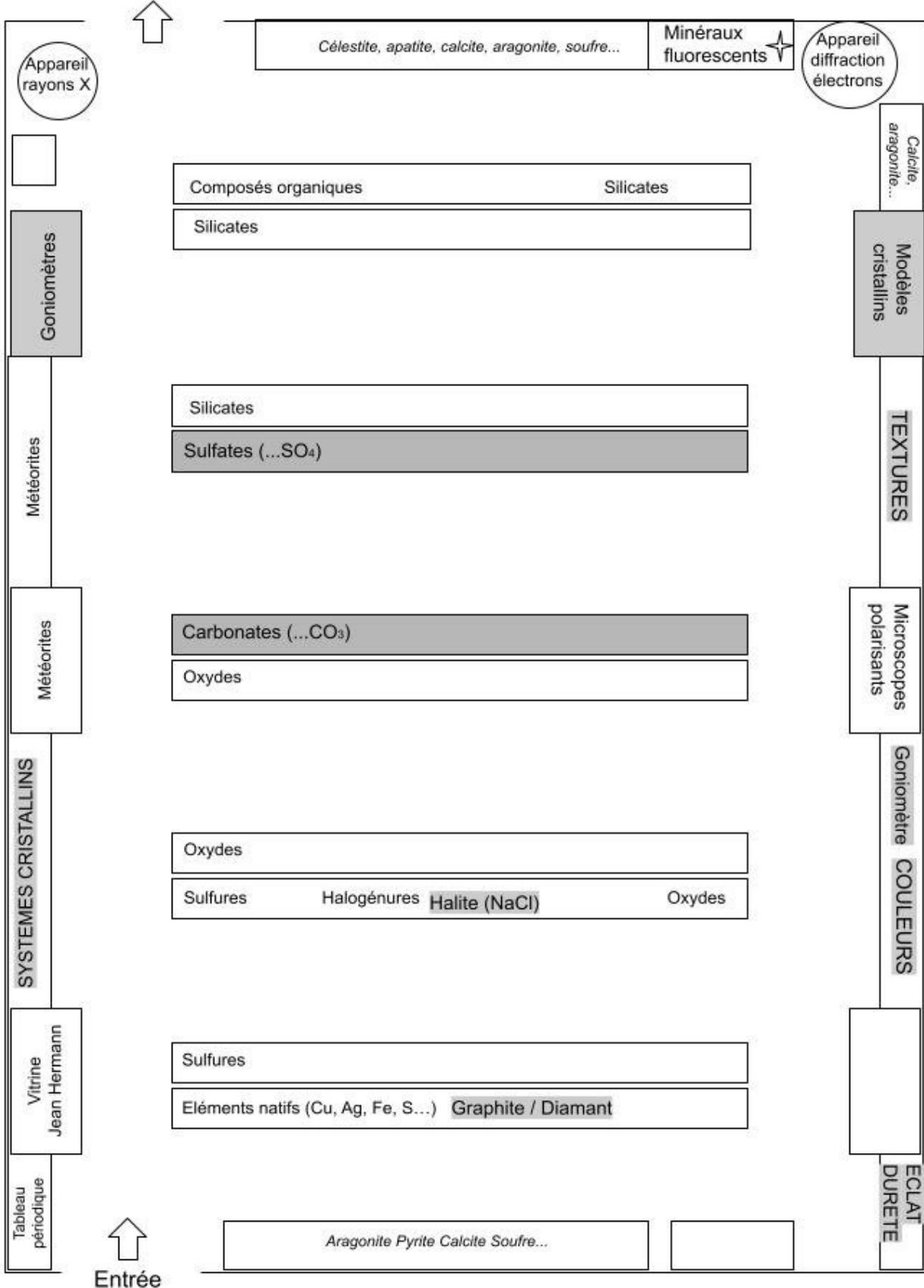
Repérez la pyrite dans les vitrines.

Pourquoi l'appelait-on "*l'or des fous*"?

.....

.....

Vers la salle des minéraux du Rhin



PLAN DU MUSÉE DE MINÉRALOGIE