



GUIDE DE VISITE DU MUSÉE DE MINÉRALOGIE

Les minéraux dans nos téléphones portables

Musée de Minéralogie
60 Boulevard Saint-Michel, 75006 Paris

Salle A

Bienvenue au Musée de Minéralogie de l'Ecole MINES ParisTech.

Le Musée présente des minéraux, c'est-à-dire un ensemble de solides caractérisés par leur composition chimique et l'organisation de leurs atomes. Les minéraux sont partout dans notre vie courante mais ceux présentés ici sont exceptionnels par leur taille et leur beauté. Prenez un peu de temps pour admirer ceux qui sont dans cette salle, ils sont magnifiques.

On voit néanmoins ces minéraux sous certaines formes tous les jours : lessives, papiers, bijoux, verres, tables, peintures, électroménager...

Parmi eux, le téléphone portable : plus de 70% des minéraux que l'on voit dans cette salle entrent dans sa composition.

Nous vous proposons de suivre les minéraux de cette galerie qui permettent de construire le téléphone qui est dans votre poche. Ils entrent dans la fabrication de tous les éléments : les verres, les plastiques et les composants électroniques.

Un téléphone portable c'est :

- 30 à 50% de plastique
- 5 à 15% de verre
- Des composants électroniques : 10 à 15% de cuivre, de l'acier, de l'étain, du fer, du nickel, du cobalt, de l'aluminium, de résines... et plein d'autres encore !

A la dernière page de ce guide, une carte vous permettra de vous guider.

UN PEU DE MINÉRALOGIE...

Commençons par une rapide introduction sur la minéralogie : les minéraux entrent dans une classification. On peut les caractériser selon leur forme et leur composition chimique.

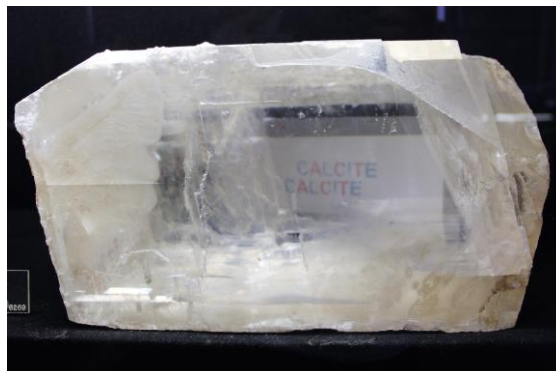
Prenons par exemple une forme : dans la **vitrine A12** on peut voir de la galène et de la fluorine, et dans la vitrine en face est exposée de la pyrite. La couleur, la transparence, le grain de surface de ces minéraux sont très différents mais ils ont la même forme de cubes ! Leur composition chimique est différente mais leur cristallisation se fait selon le même mode cubique.

A l'inverse, la **vitrine A8** contient à hauteur des yeux de la calcite, et plus haut de l'aragonite. Ces minéraux n'ont pas la même forme, pas la même transparence, pas le même aspect, et pourtant ils ont exactement la même composition chimique ! Ce sont tous deux des carbonates de calcium de formule CaCO_3 .

La diversité des formes minérales est donc énorme mais suit certaines règles ! Passons en **salle B** pour en savoir un peu plus.



Galène et Fluorine



Calcite



Pyrite



Aragonite

Salle B

Cette salle est à l'honneur de M. Hauy, dont le tableau est visible sur le mur en face. Il a posé les fondements de la cristallographie. Le résumé de ses découvertes se trouve dans la vitrine centrale. Hauy étudiait un minéral de taille importante, qui lui échappa des mains, tomba, et se brisa en de nombreux morceaux. Hauy remarqua que tous les morceaux avaient une forme particulière. C'était toujours la même forme, celle du minéral d'origine. Il en déduisit que les minéraux avaient une organisation invariable, prédéfinie à l'échelle moléculaire. Après plusieurs essais de casse, Hauy identifia plusieurs systèmes cristallins : il n'en existe en fait que sept. Ce sont les modèles de ces formes qui sont présentés dans la vitrine centrale. La forme est décidée principalement par la composition chimique, mais aussi par les conditions de formation du minéral (pression, température...)

Quant à la formule chimique, observons la vitrine située entre les deux fenêtres. Elle présente plusieurs minéraux issus de l'élément cuivre et nous permet de voir sous quelles formes on peut trouver un même élément. Le cuivre est utilisé comme conducteur dans les fils électriques. Il peut être trouvé sous forme native, c'est-à-dire pur : c'est le morceau placé sur la vitrine. Mais il peut aussi être associé à d'autres éléments chimiques pour former des minéraux. Ceux présentés ici sont :

- La malachite est un carbonate de cuivre, c'est-à-dire un élément cuivre Cu associé avec un carbonate CO_3 .
- Le diopside est un silicate de cuivre, c'est-à-dire un élément cuivre Cu associé avec une molécule silicatée SiO_2
- L'azurite est également un carbonate de cuivre.
- La cuprite est un oxyde de cuivre, c'est-à-dire un élément cuivre Cu associé avec un oxygène O.
- La chalcopryite, représente 80% de la production mondiale de cuivre. C'est un sulfure de cuivre et de fer, c'est-à-dire des éléments cuivre Cu et fer Fe associés avec un élément soufre S.

Ces minéraux de cuivre sont utilisés comme minerais et extraits pour produire du cuivre. Mais ils peuvent servir comme éléments de décoration ou pour faire des pigments.

La galerie est organisée selon le classement systématique des minéraux (par familles chimiques). Nous allons observer certains minéraux qui rentrent dans la composition des téléphones portables : le plastique, puis le verre, puis les composants électroniques.

LE PLASTIQUE

Salle F

Nous nous dirigeons maintenant en salle F pour nous intéresser au composant majoritaire du téléphone portable. Plusieurs types de plastique sont présents dans le téléphone portable, notamment dans la coque arrière du téléphone, la coque de protection, les touches, etc. Les matières plastiques sont principalement issues de la transformation de combustibles fossiles.

Ces combustibles fossiles (pétrole, charbon) sont d'anciens organismes vivants. Lors de leur mort, les végétaux se déposent sur le sol et s'ils sont enfouis, ils peuvent se transformer alors en charbon. Pour le pétrole ce sont des microorganismes marins. On parle alors de gisements carbonés. Nous avons des exemples de roches sédimentaires au musée avec des feuilles fossilisées (charbonneuses) en **vitrine F1**.

Les plastiques sont indispensables à nos sociétés car ce sont des matériaux qui ont de multiples usages et peuvent prendre des formes très différentes. Ils peuvent être souples ou rigides, opaques ou transparents.

Les principaux plastiques utilisés sont le polyéthylène (PE) dans les emballages plastiques ou le PVC (PolyChlorure de Vinyle) dans l'industrie, les bâtiments, les tuyaux de canalisation, etc.

Le PVC est synthétisé à partir de pétrole et de chlore. Nous avons des exemples de roches avec beaucoup de chlore en vitrine, comme le sel gemme ou Halite (salle H) ... Le PVC est un matériau très décrié de nos jours car il est difficilement recyclable, et est soupçonné de contribuer aux pluies acides ou à des rejets de produits toxiques (dioxine).

UN PEU D'HISTOIRE...

L'un des premiers plastiques créés fut le celluloïd en 1869.

Ce plastique fut synthétisé par John Wesley Hyatt qui répondit à un concours lancé par un fabricant de boules de billard pour trouver un produit de remplacement pour faire face à la pénurie d'ivoire qui sévissait à cette époque.

Toutefois, cette matière résistait mal aux chocs des boules de billard et fut remplacé par un autre plastique : la bakélite.



Feuille fossilisée

UNE POLLUTION IMPORTANTE...

Chaque année, 311 millions de tonnes de plastique sont produits dans le monde. Or seulement 25% des plastiques en fin de vie sont recyclés entraînant une pollution considérable. Les océans contiendraient près de 269 000 tonnes de déchets plastiques, ce qui créerait en des zones de convergence océanique, des continents de déchets.

LE VERRE

Salle G

Le verre est une matière minérale solide non cristallisée. L'ingrédient principal du verre est la silice, c'est-à-dire du quartz. Il compose 72% du verre. Le quartz peut être récupéré directement ou à partir de grès siliceux, qui est une roche faite de grains de sable quartzueux agglomérés. Un morceau de grès est visible dans la vitrine G18. On trouve du grès très pur en silice, tout autour de Paris : à Fontainebleau, à Rambouillet... On a donc rapidement produit du verre autour de Paris.

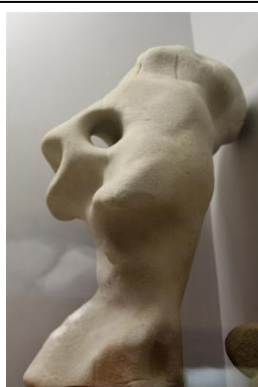
La silice seule suffit normalement à faire du verre. On peut voir des exemples de verre naturel dans la vitrine G15 sous le nom d'obsidienne. L'obsidienne est issue de silice fondue au sein des volcans. Il faut une température très élevée pour faire fondre de la silice : au moins 1600°C. Cette température est naturellement atteinte au sein des volcans, mais est très difficile à atteindre dans les fours faits par les hommes. Il a donc fallu trouver un moyen de baisser cette température.

UN PEU D'INDUSTRIE...

C'est en 1665 que Louis XIV crée à Paris la Manufacture Royale des Glaces. Se servant de matériaux locaux, elle doit permettre de fournir le verre pour les fenêtres et les miroirs du château de Versailles en travaux. Cette entreprise a été renommée Saint Gobain et est actuellement le deuxième producteur mondial de vitrage.

POUR ALLER PLUS LOIN...

Il y a d'autres verres naturels. La température suffisante est aussi atteinte lorsque la foudre frappe le sable dans le désert (verre en forme de tube : fulgurite) ou lorsqu'une météorite heurte le sol (verre en forme de goutte : tectite).



Grès



Obsidienne

Le moyen trouvé est la soude contenue dans le natron. Elle permet de baisser le point de fusion de la silice à 650°C lorsqu'on rajoute 14% de soude. Il est donc beaucoup plus facile de faire du verre.

Le verre nécessite un dernier ingrédient : de la chaux. Celle-ci permet d'augmenter la durabilité du verre. La chaux est obtenue en chauffant la calcite (salle J) à 800°C.

UN PEU D'HISTOIRE...

Le moyen a été trouvé par les Mésopotamiens ou les Egyptiens 5000ans av JC. Un bateau s'est arrêté sur une plage et les hommes ont fait du feu. Au matin ils se sont rendus compte que le sable sous le feu avait fondu et formé une matière étrange : le verre. Ils ont vu que c'était grâce aux blocs de natron (bloc de natron visiblesalle J) qu'ils avaient ramassés sur la plage.

LES COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES

L'Aluminium

L'aluminium est utilisé dans les téléphones portables dans les câbles et dans des composants électroniques.

L'aluminium est extrait du minerai de la bauxite dont nous avons un exemplaire **vitrine G16** Nous voyons la couleur rouge caractéristique de cette roche.

UN PEU D'HISTOIRE...

Le terme « bauxite » vient des Baux-de-Provence, une ville du sud de la France où a été découvert le premier gisement de bauxite. La couleur de la terre dans cette région est rouge témoignant de la présence importante de fer dans cette roche.



Bauxite

Le Fer

Le fer natif présent sur terre vient de l'espace. Il est présent dans certaines météorites, dont certains exemplaires sont visibles **près de la fenêtre**. Notre planète contient 32% de fer, c'est son constituant principal, mais celui-ci est concentré au cœur de notre planète. A la surface de la terre il est présent dans de nombreux minéraux desquels on va l'extraire. On en produit plus de trois milliards de tonnes par an. C'est la deuxième production minière mondiale. Les minéraux exploités sont par exemple l'hématite, visible en **vitrine G29**.

Le fer est principalement utilisé pour fabriquer de l'acier. Celui-ci est un alliage très solide et dont les propriétés peuvent être adaptées. C'est le métal utilisé pour la fabrication de la plupart des produits industriels métalliques.



Météorite ferreuse



Hématite

L'or et l'argent

Juste derrière l'hématite, en **vitrites H23 et H24**, on peut observer de l'argent et de l'or natifs. L'or et l'argent sont présents dans un téléphone portable. Cette utilisation est assez peu connue. La quantité de ces deux éléments est assez faible : en moyenne 300 mg d'argent et 30 mg d'or par portable.

La valeur de ces éléments étant élevée, ces éléments sont très souvent recyclés en fin de vie du téléphone portable. Il est estimé que le coût de l'or et de l'argent pour tous les fabricants de téléphones portables s'élève annuellement à 2,5 milliards d'euros.



Or

POUR ALLER PLUS LOIN...

Il existe des mines d'or en France dans le territoire de la Guyane, exploité de façon légale mais aussi illégale entraînant des problèmes de violence et de contamination de l'environnement (l'exploitation de l'or nécessite l'emploi de mercure ou de cyanure).

Le Plomb

Le plomb est un constituant essentiel des circuits électroniques. Le plomb utilisé dans l'industrie est issu de la galène (PbS) dont nous avons ici un exemplaire en vitrine H6.

Le plomb est un élément facile à extraire de la galène, qui est connue et utilisée depuis très longtemps : l'Age de Bronze. Or le plomb est toxique. Actuellement, de nombreuses mesures sont prises pour limiter son utilisation.

UN PEU D'HISTOIRE...

L'aristocratie romaine aurait subi de fortes intoxications au plomb. A cette époque-là, les membres de la société aristocratique buvaient beaucoup de vin. Or les Romains utilisaient de l'acétate de plomb pour conserver et sucrer leur vin. Une autre origine du problème pourrait être le plomb contenu dans les tuyaux qu'ils utilisaient.



Galène

Le Soufre

Juste au-dessus de la galène, on voit un échantillon de soufre pur cristallisé. Le soufre peut être trouvé sous cette forme mais est principalement exploité à partir de minéraux sulfurés.

Voici en vitrine I27 un exemple de superbe système cristallin cubique : la pyrite. Cette pièce n'est pas taillée, sa régularité est naturelle. Elle fut même utilisée comme miroirs par les incas. Vous verrez de nombreuses pyrites dans les vitrines du musée. C'est un minéral assez abondant et qui a joué un rôle primordial dans notre société et notre civilisation. La pyrite est un sulfure de fer : un atome de fer associé à deux atomes de soufre.

La pyrite fut exploitée comme source de fer, mais son contenu en soufre émanait des gaz toxiques.

UN PEU D'HISTOIRE...

La première utilisation « industrielle » de la pyrite remonte en effet à très longtemps... On vous a toujours dit que les premiers hommes ont fait du feu en tapant des morceaux de silex. Avec toute la force et la motivation que vous pouvez y mettre, vous ne sortirez pas la moindre flammèche à l'aide de simples morceaux de silex. Mais ceux-ci contiennent souvent de petites quantités de pyrite. Le choc brutal et d'un sulfure de fer, en particulier la pyrite, par une pierre dure en libère des particules qui s'oxydent immédiatement au contact de l'air et génèrent des étincelles.



Soufre



Pyrite

Au XVe siècle a été inventé le procédé permettant la synthèse d'acide sulfurique à partir de pyrite. L'acide sulfurique a actuellement de très nombreuses applications. La production annuelle mondiale dépasse les 180 Mt. Parmi les utilisations de l'acide sulfurique, on peut citer : la fabrication d'engrais (superphosphates), consommant 50 % de la production ; l'industrie des textiles artificiels ; le traitement des minerais ; le raffinage du pétrole ; le stockage de l'électricité (les « batteries au plomb ») ; le décapage de métaux en sidérurgie ; la synthèse de nombreux composés (colorants, explosifs, détergents, sels, autres acides...). Le soufre intervient donc dans plusieurs étapes de la fabrication des constituants du téléphone.

UN PEU D'HISTOIRE...

En observant la pyrite vous comprendrez sans doute pourquoi, elle a été appelée « l'or des fous ». Elle a en effet souvent été confondue avec de l'or par des mineurs inexpérimentés et un peu trop optimistes.

Salle I

Le Lithium

Le lithium est un élément essentiel en électronique actuellement car c'est le constituant majeur des batteries Lithium-Ion, qui ont l'avantage de stocker et libérer beaucoup d'énergie pour un poids faible. Ces batteries sont ainsi utilisées dans tous les objets portables nécessitant une batterie.

Le lithium est principalement extrait de saumures, c'est-à-dire d'anciens lacs asséchés. La principale source de lithium est donc le sel gemme, ou Halite, visible en **vitrines I7 et I10**. La halite est utilisée en sel industriel. Le spodumène peut également être une source de lithium.



Halite

POLITIQUE DES MINÉRAUX

Parlons maintenant un petit peu de politique. En effet, les minéraux étant omniprésents dans les produits que nous utilisons, leur découverte, leur exploitation et leur détention a toujours été au cœur d'intrigues politiques, de conflits de pouvoir, et de trafic.

Commençons par deux minéraux qui pourraient paraître communs et sans importance, mais qui ont déclenché les passions de l'avidité.

Salle J

Le graphite

Regardez les étranges panneaux sculptés présentés en **vitrine J24**. Ils sont faits en graphite. Le graphite est constitué exclusivement d'atomes de carbone. Il a pu être utilisé en chimie mais son utilisation principale en Europe a longtemps été unique mais dans laquelle il est irremplaçable : les mines de crayon. Son commerce fut donc très répandu.

Le graphite est actuellement très recherché pour faire des fibres de carbone et comme composant électronique. Il est également utilisé dans la fabrication de l'acier et des batteries.

UN PEU D'HISTOIRE...

Un marchand français, Jean-Pierre Alibert, parti chercher de l'or en Sibérie découvrit à la place du métal doré du graphite. Un gisement exceptionnel fit sa fortune et duquel il tira du graphite assez pur pour faire les objets présentés dans cette vitrine.



Graphite

Les minéraux, une richesse qui n'est pas toujours une bénédiction.

Salle K

Voici en vitrine K24 la tantalite. Ce minéral est peu esthétique. Il est pourtant indispensable au fonctionnement des téléphones portables car il permet le fonctionnement des micro-condensateurs. Une partie du tantale est produite en République Démocratique du Congo et au Rwanda. L'exploitation de ce minéral rapporte énormément d'argent et se fait principalement dans des mines non officielles. En effet, des producteurs de tantale encouragent la guerre civile dans ces pays : en utilisant des

tensions ethniques, ils provoquent un conflit qui déstabilise la région. Les gouvernements, pris aux mains avec cette guerre civile, ne peuvent donc plus contrôler les exploitations minières qui en profitent pour ne pas déclarer leur production, exploiter dans des zones interdites, ne pas respecter les contraintes environnementales et de droit des travailleurs. Il s'agit alors d'exploitations sauvages qui nourrissent la guerre civile et où les travailleurs sont réduits en esclavage.

L'achat d'un téléphone portable relève donc d'un choix éthique. Certaines marques de téléphones commencent à se préoccuper de l'origine de leurs matières premières et veulent garantir les engagements écologiques et humains de leur production. Mais il ne s'agit encore que de marques inconnues et dont les exigences obligent à augmenter les prix de leur téléphone. Mais pensez-y lorsque vous achèterez votre prochain téléphone ou ordinateur : les enjeux environnementaux, économiques, géostratégiques sont vitaux.



Tantalite

Les minéraux et la royauté

Salle L

Dans cette vitrine sont présentés des gemmes des Joyaux de la Couronne de France. La création des joyaux de la couronne remonte à 1530. Ils se sont transmis à travers tous les régimes. Sous la IIIème République l'État prend la décision de vendre son trésor national pour se débarrasser d'un symbole de la monarchie. Les joyaux sont dispersés en 1887 lors d'une vente aux enchères. Plus de 77.000 pierres et perles sont vendues. Cependant, la commission d'experts, chargée de cataloguer et d'évaluer la collection, recommande de donner des pièces, qu'elle juge historiquement et minéralogiquement importantes, à trois grandes institutions françaises : le Musée du Louvre, le Museum National d'Histoire Naturelle (MNHN) et l'École des mines de Paris (MINES ParisTech). Ces pièces jugées importantes sont considérées comme le patrimoine de la France.

Les rois utilisaient les minéraux pour montrer leur richesse : c'était un signe de pouvoir mais aussi une vitrine publicitaire sur l'abondance des richesses de leur pays. Ils ont également utilisé des pierres naturelles de leur pays comme dons à d'autres monarques. Les joyaux et minéraux sont vus comme des dons précieux et inaltérables dans le temps, comme les alliances qu'ils voulaient former ou la mémoire qu'il voulaient laisser.



Bervi émeraude

POUR ALLER PLUS LOIN...

En Angleterre, une loi interdit que les joyaux de la couronne ne quittent le sol du Royaume-Uni. Lors d'une visite du roi Georges V en Inde il a donc fallu faire une autre couronne...

POUR ALLER PLUS LOIN...

En Hongrie les joyaux de la Couronne ont un statut très spécial. La couronne serait non pas un emblème du pouvoir du roi mais le pouvoir relève d'elle : c'est la couronne qui fait le roi, qui détient le pouvoir sur le pays. Le roi n'est qu'un porteur temporaire de ce pouvoir. Cela donna un mysticisme très particulier autour des joyaux de la couronne hongroise, et une attention évidemment encore plus particulière pour empêcher les vols.

Nous vous remercions de votre visite au Musée de Minéralogie de l'Ecole des Mines de Paris.

Nous espérons que ce guide vous a intéressé. N'hésitez pas à faire part de vos commentaires.



Musée de Minéralogie, 60 Boulevard Saint-Michel, 75006 Paris

<http://www.musee.mines-paristech.fr>



**Auteurs : Clémence Besançon et Guillaume Pugliese, École des Mines de Paris.
Guide issu d'un Acte d'Entreprendre.**

