

« Mode & minéraux ? »

Ce parcours a été créé en décembre 2025 dans le cadre d'un projet de recherche du programme ENAMOMA-PSL sur la revalorisation de déchets minéraux dans la mode*. En partenariat avec un créateur de mode, nous avons étudié le potentiel créatif de particules fines issues de terres de chantier excavées. Nous avons alors arpentré le musée pour mieux comprendre le gisement de matière minérale que nous avions dans les mains.

Il était une occasion d'étudier les liens qui unissent ou séparent deux mondes, celui de la mode et celui des minéraux. Une occasion également de réfléchir à l'origine naturelle ou synthétique des matières, à leur abondance ou fragilité, aux communautés qui les manipulent, à celles qui les mésestiment.

Le parcours propose ainsi de décrypter l'utilisation et l'empreinte des minéraux dans la mode, depuis leur extraction jusqu'à leurs usages sensibles, visibles et invisibles, à l'intersection des mondes organiques et minéraux. Le parcours vise également à mettre en lumière la vie humaine des matières qui font la mode, prélevées, préparées, mélangées, transformées, incorporées, utilisées, appréciées, délaissées, récupérées, réutilisées, détruites, abandonnées, restituées, métamorphosées.

**Le parcours « mode & minéraux ? »
discute cinq thèmes transversaux repérables
par un code couleur:**



**Artisanat &
industrie**



**Création &
sensorialité**



**Connaissance
des minéraux**



**Emprise
environnementale**

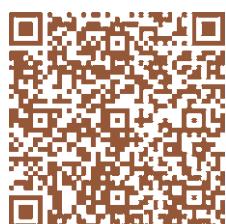


**Santé &
bien-être**

**Ces thèmes sont abordés au travers de questions concrètes
sur la vie humaine des matières qui font la mode :**

- 1 Minéraux, minerais, métaux, matériaux, pourquoi tous ces mots ?
- 2 D'où viennent les composants métalliques de nos jeans et soutiens-gorge ?
- 3 Comment des minéraux peuvent-ils agir sur des fibres végétales ?
- 4 Comment une roche volcanique peut-elle servir à fabriquer un vêtement ?
- 5 Quelle fibre minérale servait à tisser des linceuls, nappes, draps ou rideaux de théâtre ?
- 6 La mode nickel chrome ?
- 7 Comment des minéraux jouent-ils sur la palette colorée de nos vêtements ?
- 8 Quels effets sensoriels issus des minéraux viennent ennobrir nos vêtements ?
- 9 Quelles artisan·es façonnent les gemmes et métaux qui ornent la mode ?
- 10 Comment des minéraux inspirent-ils la création de mode ?
- 11 Des Joyaux sans la Couronne ?

Vous pouvez visiter le musée au gré des thèmes, des questions ou des salles qui retiendront votre attention. Un tableau proposé au dos de cette carte permet de repérer les minéraux et roches discutés. Ils sont classés en fonction des salles du musée qui sont organisées selon les familles de minéraux de la classification de Strunz. Bonne visite !



Pour contacter notre équipe
ENAMOMA-PSL,

pour tout commentaire, idée ou question



Pour tester vos connaissances
à l'issue du parcours

Une version imprimée de ce parcours est disponible à la consultation dans le musée.

* Le programme ENAMOMA-PSL réunit trois établissements de l'Université PSL : l'École des arts décoratifs - PSL, l'Université Paris Dauphine - PSL et Mines Paris - PSL. Il fédère étudiants, enseignants, chercheurs, artistes et professionnels, au sein d'un espace interdisciplinaire pour s'engager dans la transformation du monde de la mode et des matières. Le projet de recherche IDEOMM « Industriation de déchets organiques et minéraux pour la filière mode » à l'origine de ce parcours a été financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR-23-SSAI-0002-01).

Vitrine	Minéral / ROCHE	Famille de minéraux	Fréquence* AFCRTR	Principaux domaines d'utilisation*	Nom courant associé à l'utilisation dans la mode	Carte(s)
O61	Chrysotile	Silicates	Commun	NOMBREUSES INDUSTRIES	Amiante blanc	5
O68	Muscovite	Silicates	Abondant	Automobile, électronique, industrie papetière, santé	Mica	8-10
O72	Kaolinite	Silicates	Abondant	Chimie, bois, santé	Argile blanche	5-8-10
O78	Lazurite	Silicates	Très rare	Joaillerie, collection	Lapis-lazuli	7
N25	Apatite	Phosphates	Commun	Agroalimentaire, santé	Engrais phosphaté	3
L26	Borax	Borates	Rare	Energie, chimie, santé	Sel de bore	5-10
L31	Mélantérite	Sulfates	n.d.	n.d.	Vitriol vert	7
L	Gemmes	—	—	Joaillerie	Pierres précieuses, pierres fines, roches ornementales	1-9-11
K26	BAUXITE	—	Abondant	Industrie, chimie	Minerai d'aluminium	8
K27	Goethite	Oxydes	Fréquent	Mécanique, automobile, construction	Minerai de fer	1
K30-31	Calcite	Carbonates	Abondant	Construction, agroalimentaire	Carbonate de calcium	7-8-10
K35	Aragonite	Carbonates	Abondant	Collection	Carbonate de calcium	1
K38	Malachite	Carbonates	Rare	Joaillerie, collection	Carbonate de cuivre hydraté	7
K40	Trona	Carbonates	Abondant	Verre, chimie, industries	Carbonate de sodium	3-7
J29	Hématite	Oxydes	Abondant	NOMBREUSES INDUSTRIES	Minerai de fer	1-2-7
J31-32-33	Quartz	Silicates	Abondant	NOMBREUSES INDUSTRIES, COLLECTION	Silice	1-2-4-10
J37	Rutile	Oxydes	Rare	Joaillerie, collection	Dioxyde de titane	7-8
J38	Cassitérite	Oxydes	Courant	Chimie, mécanique, construction	Minerai d'étain	2-9
I25	Cinabre	Sulfures	Rare	Agroalimentaire, chimie	Sulfure de mercure	6
I26	Stibnite	Sulfures	Rare	Construction, mécanique, chimie, santé	Minerai d'antimoine	6
I28	Cobaltite	Sulfures	Rare	Mécanique, chimie	Cobalt	6
I34	Orpiment	Sulfures	Très rare	Chimie, santé	Minerai d'arsenic	6
I35	Halite	Halogénures	Abondant	Chimie, santé	Soude caustique	3
I35	Sylvite	Halogénures	Commun	Agroalimentaire, chimie	Engrais potassique	3-7
n.d.	Chlorargyrite	Halogénures	n.d.	n.d.	Chlorure d'argent	6
I41	Chromite	Oxydes	Rare	NOMBREUSES INDUSTRIES, SANTÉ	Chrome III	6
n.d.	Gibbsite	Oxydes	Commun	Industrie, chimie	Hydroxyde d'aluminium	5
H23	Cuivre	Élément natif	Très rare	NOMBREUSES INDUSTRIES	Cuivre	2-7-8
H23-24	Argent	Élément natif	Très rare	Chimie, électronique, joaillerie, collection	Argent	8-9
H24	Or	Élément natif	Très rare	Électronique, joaillerie, collection	Or	2-8-9-10
H25	Fer	Élément natif	Très rare	Cf. Goethite & Hématite	Fer	1-2-7
H25	Platine	Élément natif	Très rare	Santé, aéronautique, joaillerie	Platine	2-9
H25	Plomb	Élément natif	Très rare	Cf. Galène	Plomb	6
H30	Sphalérite	Sulfures	Abondant	NOMBREUSES INDUSTRIES, SANTÉ	Minerai de zinc	5-6
H31	Chalcopyrite	Sulfures	Abondant	Agroalimentaire, construction, électricité, collection	Cuivre	2
H34	Galène	Sulfures	Fréquent	Automobile, construction, énergie	Minerai de plomb	6
G27	Garniérite	—	n.d.	n.d.	Minerai de nickel	6
F13	PONCE	—	n.d.	n.d.	Pierre ponce	4
F21	BASALTE	—	n.d.	n.d.	Basalte	4
Non exposée	Tantalite	Oxydes	Rare	Électronique	Tantale	6

* à partir de Nectoux Didier & Benhamou Cyrille (2017) Curiosités minérales: collection du musée de minéralogie mines parisTech, 2ème édition, Omniscience

Minéraux, minerais, métaux, matériaux, pourquoi tous ces mots ?



Minéraux, minerais, métaux, matériaux, pourquoi tous ces mots ?



■ Un **minéral** est un composé solide naturel possédant une composition chimique donnée et une structure ordonnée. Sa structure cristalline le distingue d'autres matières inorganiques dites amorphes, comme le verre ou le caoutchouc. Le musée de Minéralogie de Mines Paris – PSL expose une collection de minéraux organisés selon les 10 familles de la classification de Strunz : éléments natifs, sulfures, halogénures, oxydes, carbonates, borates, sulfates, phosphates, silicates et minéraux organiques. Les minéraux sont généralement de petites dimensions et rarement perceptibles à l'œil nu. Ceux présentés dans le musée sont remarquables par leur forme et perfection, ainsi que leur taille exceptionnelle.

Une **roche** est un matériau constitué d'un assemblage d'un ou plusieurs minéraux, ou parfois se constitue de verre naturel.

La pétrologie étudie le mode de formation et les propriétés des roches, alors que la minéralogie étudie les minéraux cristallisés qui constituent ces roches. Tout au long du parcours de visite, les **minéraux** et **roches** qui sont discutés et présents dans le musée, sont identifiés au fil des textes.

■ Un **minerai** est une roche contenant une ou plusieurs substances utiles pouvant éventuellement être extraites et traitées pour être utilisées par l'homme. En dehors des éléments natifs qui sont composés d'un seul élément chimique à l'état naturel, les autres minéraux doivent obligatoirement être extraits d'un minerai. Les éléments natifs peuvent aussi être présents au sein de roche ou de minéraux. Le **fer** par exemple sera très rarement trouvé à l'état natif et plus fréquemment extrait de la **goethite** ou de l'**hématite**.

Un **métal** est un élément natif ou un alliage extrait d'un minerai qui a subi un processus de traitement et de raffinage.

De manière plus générique, on peut dire qu'une matière, qui est constituée d'atomes, devient **matériau** à partir du moment où elle est destinée à une utilisation humaine.

■ Les matériaux **gemmae** sont des minéraux, voire parfois des roches, dont la beauté est telle qu'ils peuvent être montés sur des bijoux pour servir d'ornements. Cependant, tout beau minéral n'est pas nécessairement une bonne gemme : au-delà d'être belle, pure et d'une

couleur attrayante, il faut également qu'elle soit assez dure et résistante pour être portée tous les jours. Les **gemmae** les plus connues en France restent le diamant, l'émeraude, le saphir, le rubis et la perle, même si de nombreuses autres pierres sont utilisées, comme les tourmalines, la tanzanite, les quartz (cristal de roche, améthyste, citrine, agate, calcédoine...) ou les grenats. Certaines roches ornementales sont également fort prisées, comme le lapis-lazuli, la turquoise ou le jade.

■ Les minéraux font par définition partie des matières inorganiques, non issues du vivant, par opposition aux matières organiques qui sont composées de l'ensemble des organismes vivants ou morts (plantes et animaux) et des produits de leur décomposition que l'on trouve dans les sols.

Certaines matières sont à la frontière entre ces deux mondes. Une famille chimique est notamment par extension associée aux minéraux, celle des **composés organiques** comme l'ambre.

D'autres minéraux sont également créés par le vivant : ce sont les **biominéraux** trouvés dans les mollusques, comme l'**aronite** qui compose les perles et la nacre, ou encore la silice (**quartz**) présente dans les coquilles de diatomées.

Quant aux **combustibles fossiles** (charbon, pétrole, gaz naturel), ils sont issus de matières organiques fossilisées dans les profondeurs de la terre. Ils désignent toute substance solide, liquide ou gazeuse naturellement formée par la décomposition de la matière organique en milieux clos et souterrains.

■ Enfin, les conditions et temps de formation des minéraux sont très variés, depuis des pressions ambiantes jusqu'à de fortes pressions et / ou température. Chaque minéral a son domaine de stabilité et cristallise grâce à l'apport d'éléments présents dans l'environnement. Citons par exemple la **halite** (ou sel gemme) qui se forme à pression et température ambiante par simple précipitation, par opposition au diamant, qui se forme à 140km de profondeur... au moins !

L'homme s'attèle parfois à reproduire ce que fait la nature. On parle alors de **cristaux synthétiques** – le terme de « minéral » étant réservé à des matériaux naturels. Une collection est exposée dans le musée.



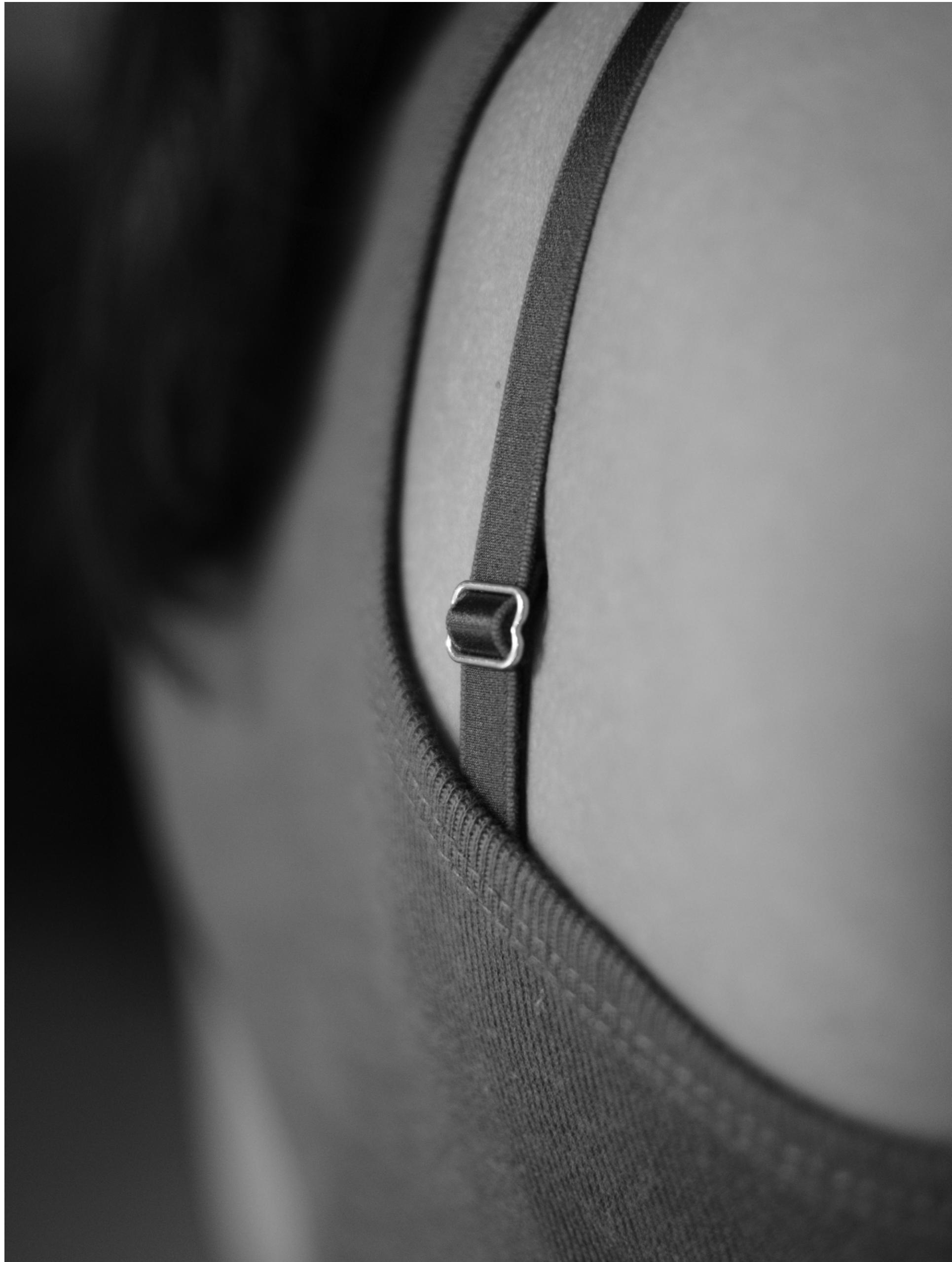
Salle K
Goethite K27 / Aragonite K35

Salle I
Halite I35

Salle H
Fer H25 / Hématite J29 / Quartz J31-32-33

2

D'où viennent les composants métalliques de nos jeans et soutiens-gorge ?



D'où viennent les composants métalliques de nos jeans et soutiens-gorge ?



■ Agrafes, crochets, boutons, pressions, boucles, fermoirs, passants, rivets et zips équipent nos sacs et vêtements. Ils sont à base de **cuivre** (natif, ou à partir de **chalcopyrite**) ou de **fer** (à partir par exemple de l'**hématite**), le plus souvent sous forme d'alliages comme l'acier inoxydable, le laiton ou le zamak – quand ils ne sont pas en plastique. Des plaquages en **or**, en palladium ou en **platine** sont également réalisés pour des produits hauts de gamme, ainsi que des revêtements en céramique à base de silice (**quartz**). Ces fines couches sont apposées pour des raisons à la fois esthétiques et fonctionnelles (anti-corrosion, anti-rayures...).

Mais où ces matières sont-elles disponibles, qui les extrait et comment? On rentre ici dans le domaine de l'approvisionnement.

■ Pour les métaux, une **réglementation sur les «minérais de conflit»** est entrée en vigueur en 2010 aux États-Unis puis en 2021 en Europe. Elle concerne quatre métaux utilisés dans l'industrie pour leurs propriétés mécaniques, électriques ou de résistance, appelés les 3TG: étain, tantale, tungstène et or – en anglais *tin, tantalum, tungsten* et *gold*. La réglementation cible ces métaux parce qu'ils ont été identifiés comme susceptibles de financer des groupes armés dans des zones affectées par des conflits à haut risque, notamment en République démocratique du Congo et dans des pays voisins. Tout composant comportant l'un de ces métaux 3TG nécessite ainsi une traçabilité précise et une diligence raisonnable pour évaluer les risques de la chaîne d'approvisionnement. Dans la mode c'est surtout l'**or** qui peut être utilisé ainsi que l'étain (**cassitérite**), voire le tantale (**tantalite**)

pour des vêtements dits «intelligents» qui utilisent des composants électroniques embarqués similaires à ceux des smartphones – pour charger une batterie, ou suivre un rythme cardiaque.

■ Pour l'ensemble des minéraux, la question des conditions de l'extraction est un sujet majeur. **mines industrielles, mines artisanales et à petites échelle**, toutes génèrent des impacts environnementaux et humains qui nécessitent de porter attention aux choix d'approvisionnement. Certains matériaux sont appelés «critiques» quand ils apportent une forte valeur ajoutée et que leur approvisionnement est risqué, pour des raisons géopolitiques ou de disponibilité. Le Podcast «Planète en transition» de TTI.5 consacre des épisodes à ce sujet (extraction du mica, matériaux critiques).

■ La **traçabilité des filières** est un enjeu réglementaire de plus en plus important dans la mode également. En France, la loi AGEC impose depuis 2023 de mentionner notamment les pays où sont réalisées les étapes de production des étoffes, d'ennoblissement et de confection des vêtements. En Europe, la mise en place du passeport produit digital (DPP) vise ce même effort de traçabilité et de transparence.

Si vous regardez vos étiquettes de près, vous entendrez cependant rarement parler de minéraux, car seules les fibres textiles et les matières d'origine animale ont l'obligation d'être mentionnées. Les matières additionnelles utilisées comme charges, pigments, agents fonctionnels, nanoparticules ou traitements chimiques sont mentionnées uniquement sur une base volontaire.



Salle J
Hématite J29 / Quartz J31-32-33 /
Cassitérite J38

Salle H
Cuivre H23 / Or H24 / Fer H25 /
Platine H25 / Chalcopyrite H31

Comment les minéraux agissent-ils sur les fibres végétales ?



Comment les minéraux agissent-ils sur les fibres végétales ?



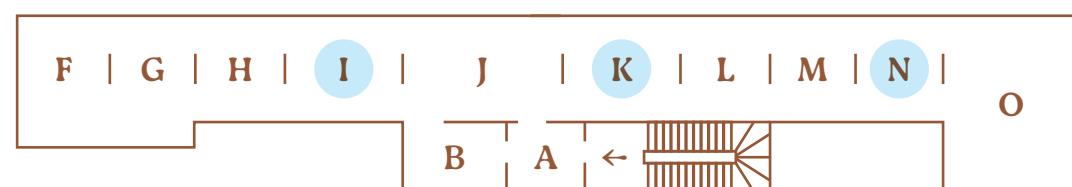
■ Les matières organiques végétales sont utilisées dans la mode pour leurs graines (coton, kapok...), leurs tiges (chanvre, lin...), leurs feuilles (abaca, ananas...) ou leurs fruits (coco...). Par extension, on entend souvent parler de matières « naturelles » par opposition aux matières « artificielles » ou « synthétiques » qui sont fabriquées chimiquement. Les matières artificielles comme la viscose sont issues de matières organiques (cellulose extraite de végétaux ou de protéines) ou inorganiques (silice, carbone, basalte). Les matières synthétiques comme le polyester ou l'élasthanne sont essentiellement issues du pétrole.

La main de l'homme agit pourtant aussi sur les matières « naturelles », pour permettre la culture et la transformation des matières végétales en étoffes de qualité, en s'appuyant parfois sur des ressources du monde minéral.

■ C'est par exemple le cas pour certains modes d'agriculture, pour assister la **fertilisation des champs** avec des phosphates (comme l'**apatite**) et du potassium (extrait de la **sylvite** par exemple).

■ On peut également utiliser des minéraux pour le **rouissage du lin**, une étape essentielle de macération de la plante qui permet de dissocier les parties fibreuses de la plante. En Europe, une fois arraché dans les champs, le lin est généralement laissé au sol plusieurs semaines pour laisser les bactéries et l'alternance de pluie et de soleil décomposer la plante. Dans d'autres pays, notamment en Chine, le processus peut être accéléré avec un traitement alcalin avec un carbonate de sodium (**trona** chauffé et purifié).

■ Le **procédé de mercerisation** qui a été développé au XIX^e siècle permet quant à lui de rendre le coton plus lisse, résistant et brillant. Le coton est trempé dans de la soude caustique (obtenue à partir de la **halite**) qui fait gonfler les fibres de cellulose et réorganise leurs liaisons moléculaires. Grâce à cette évolution physico-chimique des fibres, le coton absorbe mieux la teinture, reflète la lumière avec un éclat subtil, résiste mieux au rétrécissement et se pare d'atouts de défroissabilité. Un effet sensoriel parmi d'autres auxquels les minéraux peuvent contribuer.



Salle N
Apatite N25

Salle K
Trona K40

Salle I
Halite I35 / Sylvite I35

Comment une roche volcanique peut-elle servir à fabriquer un vêtement ?



Comment une roche volcanique peut-elle servir à fabriquer un vêtement ?



■ Le **basalte**, une roche volcanique, peut être fondu et extrudé en de solides filaments qui sont à la fois légers et résistants à des températures extrêmes. Les fibres de basalte sont ainsi intégrées dans des matériaux composites pour isoler des composants, ou pour former des revêtements offrant une protection électromagnétique, dans l'aérospatial, l'automobile ou la santé. Elles sont aussi utilisées pour des **textiles techniques** et pour des **vêtements de protection**.

■ Dans le domaine de la mode, les roches volcaniques sont moins utilisées pour former des fils, mais plutôt pour **fonctionnaliser des matières**, c'est-à-dire leur donner de nouvelles propriétés techniques avancées aussi appelées performances.

Des technologies ont par exemple été développées pour produire des textiles thermorégulateurs en polyester qui intègrent des particules actives dérivées de minéraux volcaniques. Ces particules visent à améliorer le mécanisme naturel de refroidissement du corps en captant les rayons infrarouges humains pour éliminer les vapeurs d'eau. Une fonctionnalité utile pour des vêtements de travail ou des vêtements de sport.

■ Des roches volcaniques peuvent également être utilisées pour **ennoblir des étoffes**.

Les années 80 ont notamment rendu populaire le processus de « stonewash » utilisant de la pierre **ponce**, une roche volcanique poreuse et de faible densité. Abrasive, elle vient accélérer artificiellement l'usure des jeans et les adoucir, via de grands tambours industriels où le denim est lavé au contact des roches. La technique du sablage a également été développée à la même époque, avec de la silice cristalline (**quartz**) propulsée à très haute vitesse. À partir de la fin des années 2000, le sablage a cependant été progressivement interdit dans la grande majorité des pays du fait de risques sanitaires graves pour les travailleurs exposés aux particules très volatiles. Les industriels du denim recourent de plus en plus à des alternatives non-mécaniques comme le lavage enzymatique ou à l'ozone, ou des traitements d'érodage au laser. Des marques délaisSENT aussi l'effet « délavé » pour valoriser l'usure naturelle, où seul le temps et les mouvements du corps font leur œuvre.



5

Quelle fibre minérale servait à tisser
des linceuls, nappes, draps
ou rideaux de théâtre ?



Quelle fibre minérale servait à tisser des linceuls, nappes, draps ou rideaux de théâtre ?



■ Les amiantes font partie des rares minéraux à structure naturellement fibreuse, alors que la majeure partie des fibres minérales sont obtenues artificiellement par transformation des minéraux, comme les fibres de verre ou les fibres de basalte.

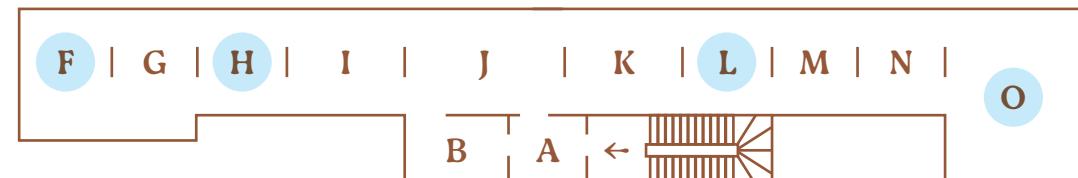
Les amiantes sont aujourd’hui connues pour leur dangerosité pour la santé due à l’inhalation de leurs microfibres. Pourtant pendant des siècles, leur grande résistance mécanique et leur tenue au feu ont conduit à une utilisation dans de nombreux produits manufacturés. Notamment le **chrysotile** ou **amiante blanc** qui est le seul à pouvoir être filé et tissé. Pratiquée depuis l’Antiquité, son extraction s’est développée de manière plus intensive dans la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle avec la découverte de grands gisements au Canada et en Russie. L’industrie s’est étendue sous l’impulsion du textile ainsi que pour la production de tuyaux, de plaquettes de frein, ou de produits de protection incendie.

Ainsi en parlait Gaston Tissandier en 1882 dans un article de *La Nature*, s’appuyant sur le Cours de minéralogie de M.G. Delafosse: « La variété d’amiante la plus belle et la plus recherchée est une substance blanche ou grise, qui se sépare en filaments déliés, soyeux, longs et flexibles, susceptibles de se filer à la manière du chanvre et du coton, sinon seuls, du moins lorsqu’on les mêle à une petite quantité de ces matières végétales qu’on fait ensuite disparaître en les brûlant. L’amiante résiste à la flamme de nos foyers ordinaires ; mais il fond

quand on l’expose à un feu plus intense, celui du chalumeau par exemple. Les anciens connaissaient l’amiante, ils n’ignoraient point l’art de le tisser. Avec la toile d’amiante ils confectionnaient des linceuls, dans lesquels on faisait brûler le corps de ceux que la mort venait d’enlever. On en fabriquait aussi des nappes et des draps qu’il suffisait de jeter au feu quand ils étaient sales, remplaçant ainsi le bain de lessive par une flamme. »

De premiers soupçons de dangerosité des amiantes ont été émis dès le début du XX^{ème} siècle mais il faudra attendre 1977 pour qu’ils soient classés parmi les substances cancérogènes par le CIRC, puis 1997 pour leur interdiction totale en France.

■ Aujourd’hui nous nettoyons notre linge de maison par l’eau plutôt que par le feu, mais la recherche d’alternatives textiles résistantes au feu a été importante pour d’autres applications techniques comme les vêtements de protection. La chimie minérale s’appuie sur des minéraux qui peuvent libérer de l’eau ou d’autres qui bloquent la chaleur, via des fibres minérales artificielles comme des fibres de verre (à base de silice), des fibres de **basalte** ou des fibres céramiques (à base de **kaolinite** par exemple), ou via des charges minérales ignifuges intégrées dans des textiles synthétiques (utilisation par exemple de la **gibbsite** ou de borate de zinc, un composé issu de minéraux comme le **borax** et la **sphalerite**).



Salle O
Chrysotile O61 / Kaolinite O72

Salle L
Borax L26

Salle H
Sphalerite H30

Salle F
BASALTE F21

La mode nickel chrome?



La mode nickel chrome ?



© 2025 ENAMOMA-PSL

■ Le chrome ou le nickel font partie des matières qui sont regardées de près par les entreprises qui les manipulent et les incorporent à des objets de mode. Les entreprises sont particulièrement attentives aux **risques cancérogènes, mutagènes et reprotoxiques** (CMR) ainsi qu'aux **allergènes**, que ce soit pour les personnes qui travaillent à la fabrication des objets de mode ou pour celles qui les utilisent.

Au-delà de la **législation** comme la réglementation européenne REACH, les entreprises se réfèrent à des **labels** comme OEKO-TEX® Standard 100 qui garantit l'innocuité des textiles ou des produits utilisés lors du processus de production, pour les travailleurs et les consommateurs, et pour l'environnement. Les principales maisons de mode établissent également en interne leurs propres standards, en établissant une **liste de substances à usage restreint** appelée PRSL (*Product Restricted Substances List*).

Ces listes établissent des indicateurs et seuils avec une attention particulière pour les bébés et enfants pour lesquels les seuils de tolérance peuvent être différents. Les listes concernent des matériaux et produits issus de matières organiques végétales ou animales (étoffes, cuir, duvet et fourrure, bois, papier, chaussures en caoutchouc) et de matières organiques fossilisées (plastiques). Les matières minérales sont également regardées de près. Quels minéraux en particulier ?

■ **Le nickel** (extrait par exemple de la **garniérite**) est un très bon conducteur électrique et thermique avec des propriétés magnétiques et une forte résistance à la corrosion, principalement utilisé dans la production d'acier inoxydable et pour l'application d'une barrière de diffusion dans les pièces de joaillerie plaquées or. Le nickel est présent dans de nombreux alliages dans lesquels il n'est pas évident de trouver un substitut avec les mêmes propriétés. Le contact cutané peut cependant causer des dermatites de contact allergique, lorsqu'il est en contact avec des substances issues de la vie quotidienne (transpiration, produits cosmétiques...). Agrafes, boutons, montres, bijoux, lunettes doivent ainsi être conçus avec précaution.

■ **Le chrome** est également utilisé pour la production d'acières inoxydables, il améliore la dureté des métaux et leur résistance à la corrosion. Il est également utilisé chimiquement comme catalyseur, pour la fabrication de pigments et colorants ou pour le tannage du cuir qui permet d'ennoblir les peaux animales tout en les rendant imputrescibles. Il est présent dans la nature sous sa forme trivalente (Chrome III, **chromite**) mais c'est sa forme hexavalente (Chrome VI), dérivée du Chrome III par oxydation anodique, qui est surveillée de près du fait de ses propriétés CMR. L'utilisation du chrome nécessite une vigilance particulière pour éviter qu'il ne se transforme, en plus de la vigilance à avoir sur le traitement des eaux très réglementé.

Historiquement, le tannage des cuirs utilisait des jus tannants végétaux obtenus à partir d'écorces de chêne, de châtaigner, de feuilles ou de fruits. L'introduction du tannage au chrome à la fin XIX^{ème} siècle a révolutionné l'industrie du cuir en permettant l'obtention de cuirs de très belles qualités avec une gamme de couleurs étendue et un process plus rapide. Le tannage au chrome III reste aujourd'hui dominant dans l'industrie, avec une nécessaire maîtrise des procédés. D'où l'importance d'avoir recours à un approvisionnement de confiance ! En parallèle se développent ou se redéveloppent des techniques alternatives végétales ou minérales.

■ D'autres éléments et minéraux associés pourraient encore être cités, utilisés entre autres dans les étapes d'ennoblissement : antimoine (**stibnite**), arsenic (**orpiment**), cadmium (**sphalerite**), cobalt (**cobaltite**), mercure (**cinabre**), plomb (**galène**)...

Arrêtons-nous sur un dernier exemple. **Le chlorure d'argent** (**chlorargyrite**) et la pyritthione de zinc (un composé de synthèse obtenu à partir de la **sphalerite**) peuvent être utilisés dans les vêtements de sport ou les culottes menstruelles pour leurs propriétés antibactériennes. Une partie cependant des particules est diffusée dans les eaux au moment des lessives et leur impact potentiel au contact des corps est en débat - d'autant plus pour une utilisation dans des vêtements intimes.



Salle I
Cinabre I25 / Stibnite I26 / Cobaltite I28 /
Orpiment I34 / Chromite I41

Salle H
Sphalerite H30 / Galène H34

Salle G
GARNIERITE G27

Comment les minéraux jouent-ils sur la palette colorée de nos vêtements?



Comment les minéraux jouent-ils sur la palette colorée de nos vêtements ?



© 2025 ENAMOMA-PSL

Les tissus ont historiquement été colorés à partir de roches broyées. L'**hématite** donnait des rouges, la **malachite** des verts, le lapis-lazuli (**lazurite**) un bleu outremer précieux. Il s'agissait d'une coloration par **pigmentation** inorganique. Un « pigment », insoluble, adhère en surface grâce à un liant, alors qu'un « colorant » est une molécule soluble qui s'infiltre dans les fibres et les teint de l'intérieur. Les pigments donnent des teintes généralement plus mates et très résistantes, tandis que les colorants permettent des couleurs plus vives mais moins stables.

Les colorants étaient pour leur part issus de plantes tinctoriales, mais ils mobilisaient eux aussi des minéraux pour se lier chimiquement aux fibres. C'est le rôle des **mordants** qui sont nécessaires pour fixer la couleur sur des matières naturelles comme le coton ou le lin. Le mordant le plus utilisé est un sel minéral synthétique, l'**alun**, qui est obtenu à partir de sulfates d'aluminium et de potassium. Le sulfate de fer (obtenu à partir de **mélangérite**) a également été utilisé pour approfondir les tons jusqu'au noir, ou le sulfate de **cuivre** pour réchauffer les rouges et les bruns, ou verdier les jaunes – ils le sont moins aujourd'hui pour des raisons de toxicité.

Pour obtenir du bleu, un autre mode de teinture était nécessaire : la **teinture indigo**. Également à base de végétaux comme le pastel, cette technique très spécifique de teinture nécessite de dissoudre l'indigo pour lui permettre de pénétrer dans les fibres. Les plantes à indigo doivent baigner dans une cuve rendue alcaline à l'aide de potasse (**sylvite**) ou de chaux (à base de **calcite**). Une fois le tissu retiré, l'indigo s'oxyde à l'air et prend une couleur bleu foncé – après plusieurs bains et une succession d'oxydations.

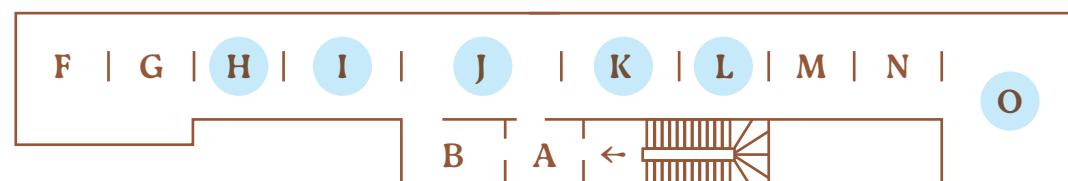
D'autres techniques historiques de teinture reposent sur un **contact avec de la terre**. Le bogolan par exemple est une technique traditionnelle du Mali qui utilise de l'argile ferrugineuse pour dessiner des motifs symboliques sur un tissage de coton. Grâce à une réaction chimique entre la boue riche en **fer** et des tanins imprégnés dans le coton, les motifs appliqués avec la boue sont révélés par une succession de trempages,

rinçages et séchages au soleil. La soie peut également être ennoblie par des techniques d'origine asiatique comme la soie enterrée qui repose là encore sur une réaction chimique : enfouie dans le sol pendant plusieurs semaines, la soie s'oxyde et prend des teintes uniques et irrégulières. Dans le cas de la « mud silk » chinoise, une succession d'étapes très spécifiques peut créer des soies bicolores aux tons profonds.

L'avènement des colorants synthétiques à la fin du XIX^{ème} siècle a bouleversé les techniques traditionnelles d'ennoblissement textile. Leur pratique a cependant persisté à plus petite échelle par tradition, puis aujourd'hui pour **diminuer l'empreinte environnementale** de la teinture qui est l'une des étapes les plus consommatrices d'énergie dans la fabrication textile. Aucune technique n'est sans impact, des recherches ont donc lieu dans de nombreuses directions en s'appuyant sur la diversité des ressources organiques et inorganiques : recherche de mordants alternatifs, utilisation de déchets végétaux et alimentaires pour de la teinture végétale, chimie verte alliant matières organiques et minérales, processus de teinture à basse température ou sans eau...

Chaque technique permet d'obtenir une gamme de couleurs qui a sa propre identité matière, plus ou moins étendue, vive, régulière, résistante. La mode se ravira parfois de nouvelles techniques plus écologiques qui permettent d'avoir un rendu similaire et de retrouver des teintes coups de cœur. Parfois elle se surprendra à jouer d'une couleur inattendue associée à une technique alternative.

Les minéraux sont par ailleurs utilisés pour **soutenir ou maintenir les teintes**. Pourquoi certains blancs sont-ils par exemple si éclatants ? Ils peuvent contenir du **rutile**, un oxyde de titane servant de pigment minéral qui diffuse la lumière. De la zincite, généralement synthétique, peut également être ajoutée pour protéger contre les UV et éviter un jaunissement au soleil. Le percarbonate de sodium, un solide cristallisé issu de carbonate de soude (**trona** et **natron**), agira quant à lui comme un agent blanchissant au lavage.



Salle O
Lazurite O78

Salle L
Mélantérite L31

Salle K
Calcite K30-31 / Malachite K38 / Trona K40

Salle J
Hématite J29 / Rutile J37

Salle I
Sylvite I35

Salle H
Cuivre H23 / Fer H25

Quels effets sensoriels issus des minéraux viennent ennobrir nos vêtements ?



Quels effets sensoriels issus des minéraux viennent ennobrir nos vêtements ?



© 2025 ENAMOMA-PSL

■ L'ennoblissement est une étape qui joue sur la performance des matériaux et qui surtout apporte une coloration, des motifs ou une finition esthétique. Au-delà de leur caractérisation technique, les étoffes et vêtements sont définis par leurs effets sensoriels. C'est ainsi que la mode résonne, surprend, enveloppe, protège, émerveille, rassemble, revitalise.

Le visuel, le touché et le comportement des étoffes les inscrivent dans un monde sensible. Le visuel renvoie aux couleurs et motifs, aux aspects mats, poudrés, brillants, iridescents... Le touché peut être doux, brut, sec, duveteux... Le comportement fluide, lourd, sculptural... Le vocabulaire utilisé pour ressentir ces matières est infini.

Ce terrain de jeu sensoriel est parfois activé par l'utilisation de minéraux ou biominéraux.

■ Dans le domaine de la broderie notamment, si la plupart des **sequins et paillettes** sont aujourd'hui principalement en polyester ou acétate de cellulose, ils ont historiquement été formés de métal doré ou argenté (**or, argent, cuivre, laiton, aluminium** anodisé), de mica (**muscovite**), de nacres, de coquillages, de verre ou de céramique (avec de nombreuses sources possibles de minéraux). Seule la haute couture ou les traditions en maintiennent aujourd'hui l'usage.

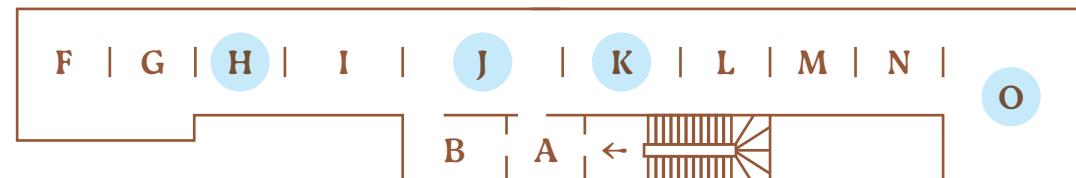
Les paillettes de mica par exemple sont naturellement brillantes. Elles peuvent même devenir iridescentes quand elles sont recouvertes de **rutile**. Le minéral crée par interférence optique un effet nacré. Les paillettes de micas sont au cœur des broderies de l'artisanat traditionnel indien depuis leur introduction au XVII^{ème} siècle par les Moghols. Ces broderies Shisha ou « miroir » enchâssent dans les étoffes des paillettes de différentes tailles et formes qui scintillent sur les étoffes joyeusement colorées.

■ D'autres minéraux sont quant à eux utilisés dans les opérations d'apprêt mécanique ou chimique qui permettent de **modifier l'apparence, le touché ou les propriétés d'un textile** – comme le procédé de mercerisation qui adoucit les cotonns.

Une charge en argile kaolin (**kaolinite**) peut par exemple venir renforcer des fibres utilisées pour un entoilage – une technique qui consiste à apposer une couche textile sur l'envers d'un tissu pour lui donner plus de consistance et de solidité. La charge vient donner du corps à un drapé, augmenter l'opacité sans nuire à la légèreté, ou prévenir la formation de plis ou l'étirement des tissus.

Le Blanc de Meudon (**calcite**) peut pour sa part, par un effet mécanique, venir polir la fibre et améliorer la douceur d'un tissu, ou par l'effet optique de son aspect blanc et opaque, éclaircir un tissu et le rendre plus mat ou lumineux.

■ Le cupro enfin, dans la lignée de la viscose, est une matière artificielle qui a été développée au début du XX^{ème} siècle comme alternative à la soie. L'ajout de cuivre a permis d'obtenir un **tombé plombant semblable à la soie** même si chaque matière se démarque par sa signature sensorielle. Le cupro est obtenu à partir de fibres de cellulose extraites du linter de coton, dissoutes dans une solution d'ammoniac et de **cuivre**. Le linter de coton est un déchet de l'industrie qui subsiste après l'égrenage des fleurs de coton, c'est-à-dire après l'extraction des fibres longues destinées à la filature. Autre bon point écologique : le cupro peut être biodégradable, à condition que les teintures utilisées pour teinter la matière le soient aussi. Cependant seules de rares marques garantissent un procédé de transformation non toxique ou dangereux pour la santé et pour l'environnement. Les bains de dissolution sont également moins facilement recyclables que ceux de la fibre de lyocell, une autre matière artificielle.



Salle O
Muscovite O68 / Kaolinite O72

Salle K
Bauxite K26 / Calcite K30-31

Salle J
Rutile J37

Salle H
Cuivre H23 / Argent H23-24 / Or H24

Quel·les artisan·es façonnent les gemmes et métaux qui ornent la mode ?



Quel·les artisan·es façonnent les gemmes et métaux qui ornent la mode ?



■ Le **lapidaire** est un artisan qui façonne les **gemmes**. En France, ce métier s'est beaucoup développé dans le Jura à partir du XVI^{ème} siècle. Les habitants de haute-montagne s'occupaient lors des périodes hivernales, tout comme leurs voisins horlogers, en pratiquant des activités minutieuses qui demandaient du temps et de la concentration. Aujourd'hui, le métier de lapidaire fait partie de la liste officielle des métiers d'arts.

La coloration de chaque pierre brute étant variable, le lapidaire commence par cibler la partie sur laquelle il va travailler et qu'il va ainsi conserver. Une ébauche de la gemme est ensuite réalisée. Puis la taille de la pierre s'effectue en deux temps : il commence par le dessus, la "table", puis il passe à la partie inférieure de la pierre, la "culasse". Pour finir, la pierre est polie par une meule d'étain (**cassitérite**) et de diamant, des matériaux plus durs que les pierres taillées.

L'un des principaux enjeux du lapidaire est de trouver un juste milieu entre l'aspect esthétique de la pierre et l'aspect commercial de celle-ci. Pour avoir les plus belles couleurs et la meilleure possible brillance de la pierre, celle-ci doit souvent être plus petite. Cela lui fait alors perdre de son poids et a fortiori de la valeur.

■ Le travail du lapidaire ne doit pas être confondu avec d'autres métiers d'art.

L'**orfèvre** travaille des objets en **or** (natif), **argent** (natif ou extrait de mines de plomb, de cuivre et de zinc fréquemment argentifères), **platine** (natif) et autres métaux dits précieux (c'est-à-dire les métaux ayant une forte valeur économique – ce qui peut varier au cours du temps). Il existe plusieurs spécialisations, avec par exemple le monteur qui s'occupe de l'assemblage des pièces par diverses techniques de soudure et de finition, ou le planeur qui met en forme la pièce par martelage. Aujourd'hui le travail de l'orfèvre réside en partie dans la restauration des pièces.

Le **joaillier** met en valeur les gemmes – joyaux – dans les bijoux et ornements. L'œuvre du joaillier est par définition unique, chaque pierre étant taillée de manière non reproductible.

Le **bijoutier** quant à lui travaille principalement avec de l'**or**, de l'**argent**, mais aussi avec d'autres métaux moins précieux comme le laiton ou avec de la céramique. S'il peut réaliser des pièces sur mesure, elles seront plus facilement reproductibles.

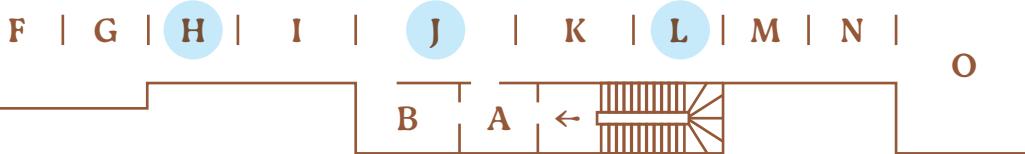
Il existe également des métiers spécifiques à certaines gemmes. Le **diamantaire** travaille les diamants bruts pour en faire des pierres taillées afin d'augmenter leur valeur. Le diamant étant un matériau très dur, le diamantaire travaille exclusivement sur celui-ci, et en est un spécialiste. Le métier regroupe plusieurs fonctions : le diamantaire est capable d'évaluer la valeur d'un diamant et de le tailler pour le sublimer. L'évaluation des diamants repose sur le système des 4C développé par l'Institut Américain de Gemmologie : la taille (*Cut*), la couleur (*Colour*), la pureté (*Clarity*) et le poids (*Carat*).

Nous pourrions encore parler des polisseurs, des sertisseurs, des graveurs ou des bronziers.

Terminons par le **gemmaologue**, aussi appelé expert gemmologue, qui est spécialisé dans l'étude des pierres gemmes. Il réalise une expertise technique et scientifique afin de déterminer leur authenticité et leur valeur. Il sait les sélectionner, conseiller les professionnels dans leurs choix et les orienter en termes techniques et esthétiques.

■ Si le vocabulaire de ces métiers d'art est masculin, le podcast « Brillante » s'intéresse à la réalité du **monde joaillier au féminin**. Des femmes y racontent leurs parcours, expertes, artistes, entrepreneuses, créatrices, journalistes, écrivaines, directrices, communiquantes, et bien sûr joaillières. Dans l'épisode 12 : une conversation avec Eloïse Gaillou, la Directrice actuelle du musée de Minéralogie de Mines Paris – PSL !

Le texte de cette carte s'appuie sur un travail réalisé par Victor Fayon, Rafaël Leclerc, Gabin Sagot et Dorian Tessier dans le cadre du module « Métiers de l'Ingénieur Généraliste – Mode et Luxe » pendant leur première année du Cycle ingénieur civil de Mines Paris – PSL.



Salle L
GEMMES

Salle J
Cassitérite J38

Salle H
Argent H23-24 / Or H24 / Platine H25

Comment les minéraux inspirent-ils la création de mode ?



Comment les minéraux inspirent-ils la création de mode ?



■ Les minéraux peuvent inspirer des créations de mode par l'**utilisation de matières surprenantes** pour des pièces d'exception. À l'occasion du Met Gala en 2024, la maison Balmain a par exemple confectionné pour la chanteuse Tyla une robe bustier moulée directement sur son corps, grâce à du silicone recouvert de trois couleurs de sable et de clous en microcristal. Une robe destinée à briller à chaque mouvement et à questionner le rapport au temps. Le sable est composé de minuscules fragments de roches et de minéraux (le plus souvent du **quartz**) qui sont désagrégés sous l'effet de l'érosion.

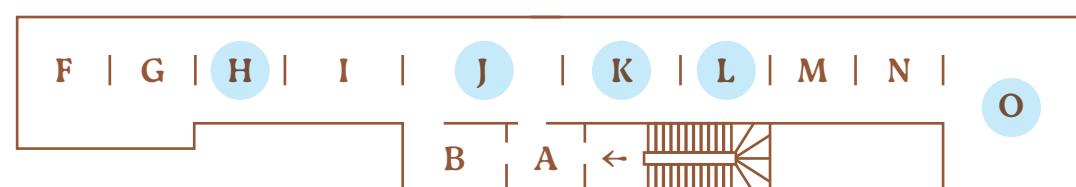
Des effets peuvent aussi être obtenus en jouant sur la formation de cristaux directement sur des textiles, en utilisant du sel de bore (**borax**) ou de l'alun, un composé de synthèse obtenu à partir de sulfates d'aluminium et de potassium. Les effets plairont à certains et moins à d'autres... si l'univers minéral est inspirant, il peut aussi devenir trop prégnant ou perdre de son effet en fonction des créations !

■ L'utilisation inhabituelle de minéraux peut par ailleurs viser la **recherche de matières alternatives** pour repousser les frontières de la mode et diversifier les sources d'approvisionnement. Le créateur Paco Rabanne surnommé « métallurgiste de la mode » est connu pour ses assemblages de métal. Après la présentation en 1966 de douze robes « importables » à effet cotte de maille, il confectionne en 1968 une robe iconique pesant 38kg en plaques d'**or** incrustées de diamants.

Aujourd'hui les matières minérales font partie des domaines d'exploration pour diminuer l'impact environnemental de la mode. Non pas que l'extraction et la transformation des minéraux soient sans incidence, mais leur recyclabilité ou l'utilisation de déchets issus de leur exploitation peuvent ouvrir de nouvelles perspectives. Le projet de recherche ANR IDEOMM* qui est à l'origine de ce parcours muséographique s'intéresse par exemple à la revalorisation de particules fines issues de terres de chantier du bassin d'Île de France, riches en **calcite**, **quartz**, **kaolinite** et **muscovite**.

■ Il faut voir aussi au-delà de l'utilisation physique des matières. Les magies du monde minéral sont une **source d'inspiration** illimitée. Nous pourrions citer les effets marbrés de robes de la collection printemps été 2013 du créateur Hussein Chalayan, les motifs d'inspiration minérales et les incrustations de la collection printemps été 2017 de Christopher Kane, ou les scintillantes pièces de Thierry Mugler dans ses collections de 1992 et 1993. Arrêtons-nous sur la créatrice Iris van Herpen qui a développé en 2017 deux cristaux de synthèse en collaboration avec la société Swarovski, conçus comme un hymne au mouvement: la *Growing Crystal* aux accents futuristes, graphiques et organiques, et la *3D Studs* parée de clous en métal couronnés de cristaux synthétiques. En 2013 elle a également collaboré avec le designer Jólan van der Wiel pour la création de la robe *Magnetic Moon*: un mélange de résine et de charges de fer permet, grâce à la manipulation des forces magnétiques, une irisation tridimensionnelle semblable à celle de la lune. Savez-vous d'ailleurs que se trouvent quelque part dans le musée un bout de lune et un bout de la planète mars ?

■ Le musée de Minéralogie de Mines Paris – PSL a accueilli fin 2025 l'exposition *Those who remain* qui porte aussi à réflexion sur ce **dialogue entre sciences et création**. L'artiste Maceo Goy-Clairet a exposé une série d'œuvres qui interrogent le statut du minéral, objet de fascination, de collection et de projection humaine. Par des procédés tels que l'électrolyse, le moulage ou le soufflage du verre, l'artiste a rejoué et accéléré des processus naturels et proposé sa propre collection de pierres, révélant moins leurs reflets que nos obsessions à leur égard. Au sein des 5000 échantillons exposés au sein du musée, ses créations visaient à désigner ce qui persiste : pas seulement la matière géologique, mais l'inépuisable désir humain d'habiter l'éternité et de maîtriser ce qui nous échappe. Avec distance critique, l'exposition a mis en tension la rigueur immuable du minéral et l'urgence créative de l'homme, invitant le visiteur à repenser son rapport au temps, à la matière et à sa propre finitude.



Salle O
Muscovite O68 / Kaolinite O72

Salle L
Borax L26

Salle K
Calcite K30-31

Salle J
Quartz J31-32-33

Salle H
Or H24

Des Joyaux sans la Couronne ?



Des Joyaux sans la Couronne ?



■ L'École des Mines de Paris a bénéficié en 1887 d'une attribution exceptionnelle de l'État français de plusieurs lots de **gemmes**, épargnés de la vente des Joyaux de la Couronne de France. Ce don était constitué de diamants, émeraudes, perles, topazes et améthystes. Certaines gemmes étaient exposées depuis 2016 mais ont dû être mises en sécurité dans un lieu confidentiel, sous consignes préfectorales, suite au vol du Louvre d'octobre 2025.

On pouvait jusque-là admirer dans la vitrine les améthystes ayant appartenu à l'Impératrice Marie-Louise d'Autriche – une parure confectionnée par le joaillier de Napoléon I^{er}, François-Regnault Nitot, puis dessertie sous Louis XVIII. Figuraient également les émeraudes de la couronne impériale de Napoléon III, conçue par Lemonnier. Mais pourquoi les Joyaux de la Couronne, existant depuis 1530, étaient-ils constitués de gemmes principalement non serties ?

À chaque nouveau règne, les bijoux du souverain précédent étaient dessertis, les gemmes et le métal conservé, et éventuellement réutilisé par le souverain lui succédant. Il s'agissait d'un trésor national et inaliénable. Chaque cour avait son joaillier et ses créations que le monarque suivant ne pouvait

porter à l'identique. Chacun sa mode ! Chacun apportait sa signature qui restait dans l'histoire mais sans toujours perdurer matériellement. Une circularité à la hauteur de la rareté et du symbole des matières employées...

■ Une circularité similaire à la mode contemporaine ?

L'apparente abondance des gisements de matière qui font aujourd'hui la mode ont mené à moins de soin pour la seconde vie de nos vêtements qui ont pourtant un impact environnemental majeur. Devrait-on regarder chacun de nos vêtements comme un joyau ? Quand un vêtement fini par être délaissé par son propriétaire (après une vie plus ou moins longue), plusieurs possibilités permettent de rediriger l'objet ou ses matières vers une nouvelle vie : archivage et exposition de vêtements d'exception, marché de la seconde main, surcyclage pour redonner de la valeur par un processus de décomposition / recomposition créative, ou en dernière instance recyclage – quand cela est possible. Tout pour éviter de les incinérer ou pire de les abandonner dans la nature. C'est toute une systémique collective qui se met en place par l'action concertée des citoyens, des professionnels et des pouvoirs publics.



Salle L
Gemmés