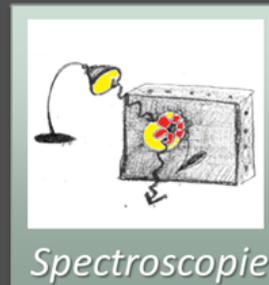
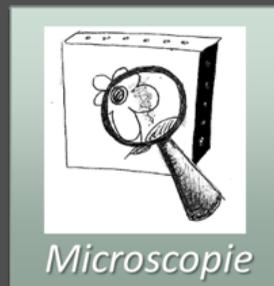


La chimie et la physique, outils d'investigation des œuvres d'art

Davy CAROLE, maître de conférences,
Laboratoire des Multimatériaux et Interfaces, LMI, UMR 5615 CNRS –
UCBL

Anne PILLONNET, professeur des universités,
Institut Lumière Matière, ILM, UMR 5306 CNRS-UCBL



*L'art n'est pas ce que tu vois mais ce que
tu fais voir aux autres*

Edgar Di

- Limites de notre perception
- Quelques méthodes pour voir au-delà du visible
- Les histoires

Quelques données sur notre capacité de perception

Œil humain

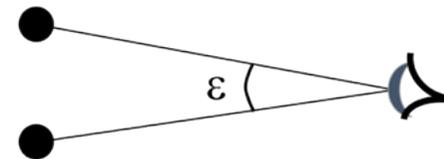
- Pouvoir séparateur de l'œil

$$\varepsilon = 5 \cdot 10^{-4} \text{ rad} = 0,0286^\circ$$

- La taille limite d'un objet observable par l'œil est de 125 μm à 25cm (cheveu) de 100km sur la lune



Résolution entre deux points d'un objet



Œil humain

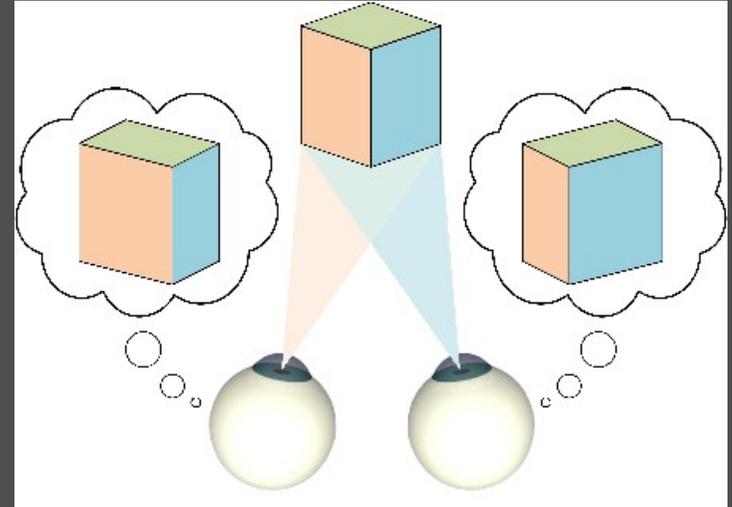
- Pouvoir séparateur de l'œil
- Latitude de mise au point

l'œil normal voit net entre 25cm à l'infini



Œil humain

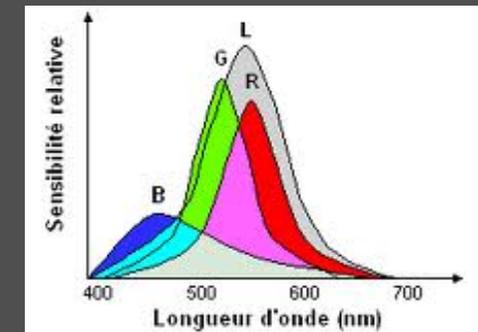
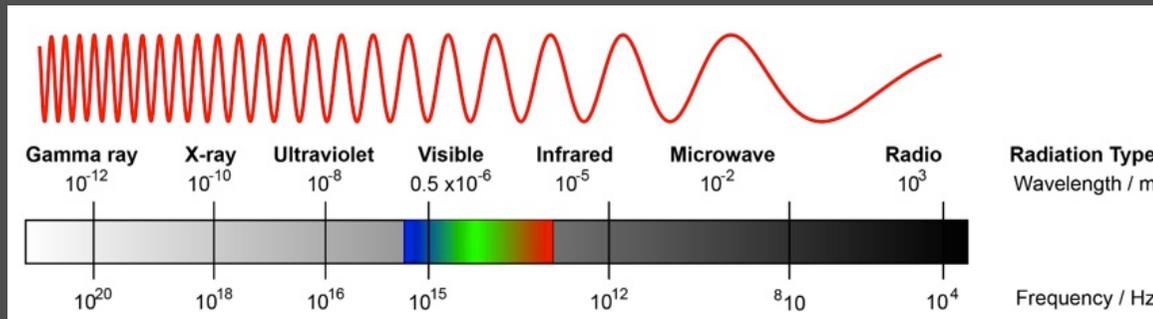
- Pouvoir séparateur de l'œil
- Latitude de mise au point
- Vision stéréoscopique :



Nous avons deux yeux qui nous permettent de percevoir les reliefs !

Œil humain

- Pouvoir séparateur de l'œil
- Latitude de mise au point
- Vision stéréoscopique
- Gamme spectrale visible
 - Cette gamme est perçue par 4 capteurs : les trois cônes R/V/B (trichromie diurne) et les bâtonnets (vision nocturne en noir et blanc)



Daltonien?

Et les autres sens..?

Toucher, poids, sonorité, odeur... les autres sens sont également sources de nombreuses informations...

Bois, marbre (sensation de froid, de douceur, etc)

Quelques méthodes d'analyse et leurs limites

Voir au-delà du visible

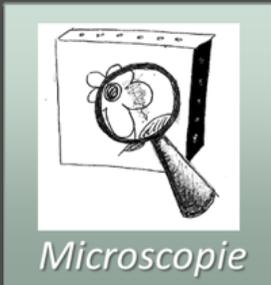


- Aller au-delà de la résolution spatiale de l'œil en grossissant par un système optique : **loupe, microscopie optique et électronique**



- Aller au-delà de la gamme spectrale visible en éclairant l'objet par différentes radiations (IR, UV, X) et en analysant sa réaction (absorption, réflectivité, émission) : **spectroscopie**

Voir au-delà du visible

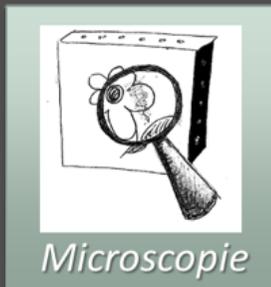


- Aller au-delà de la résolution spatiale de l'œil en grossissant par un système optique : **loupe, microscopie optique et électronique**

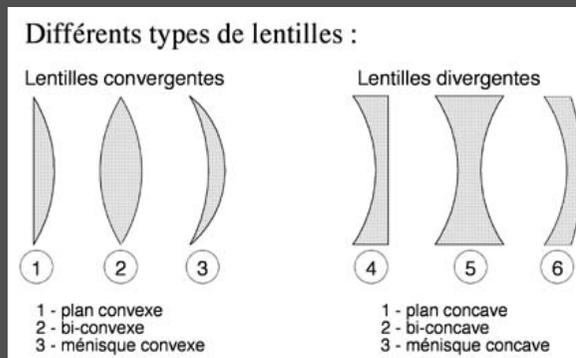


- Aller au-delà de la gamme spectrale visible en éclairant l'objet par différentes radiations (IR, UV, X) et en analysant sa réaction (absorption, réflectivité, émission) : **spectroscopie**

Voir au-delà du visible



- Aller au-delà de la résolution spatiale de l'œil en grossissant par un système optique : **loupe, microscopie optique et électronique**

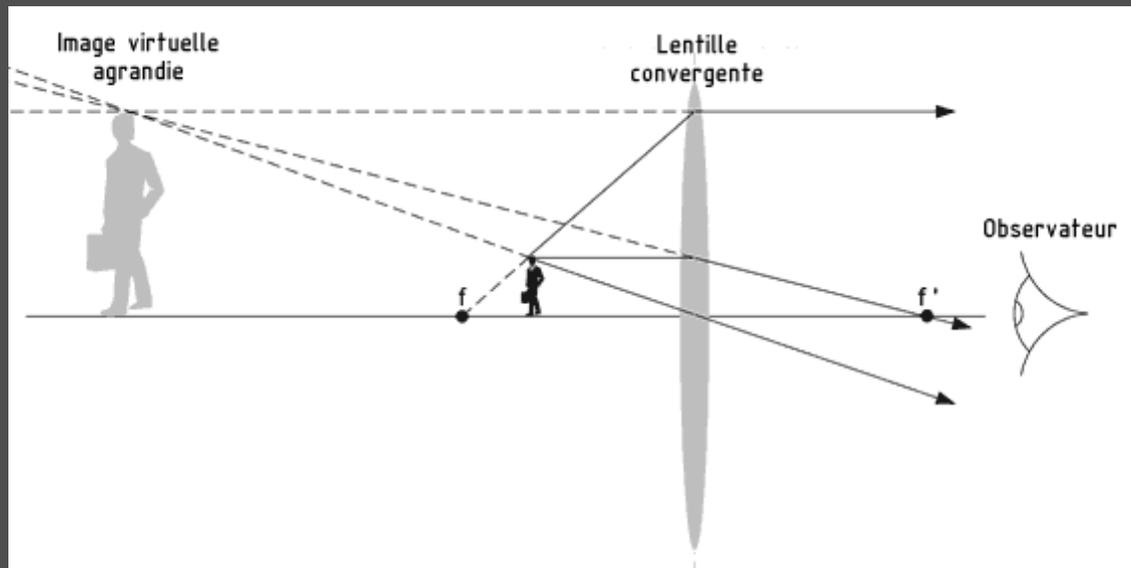


L'idée est de créer une image virtuelle agrandie de l'objet grâce à un système optique composé d'une ou plusieurs lentilles



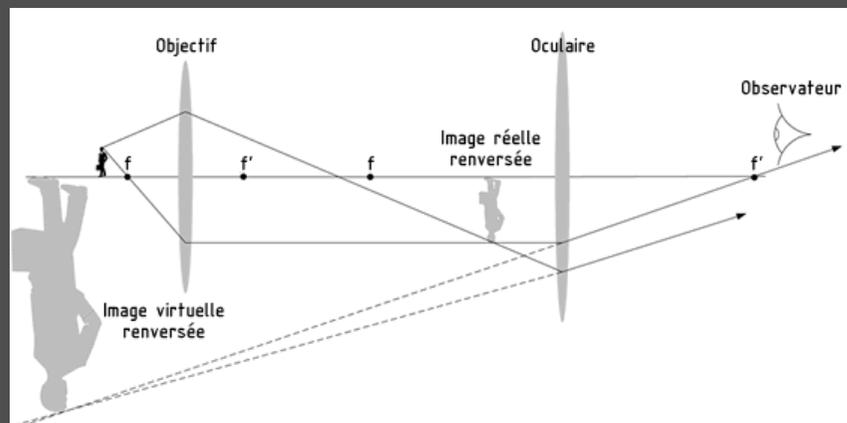
Loupe binoculaire

- Grossissement à travers une lentille convergente
- Vue stéréoscopique (3D) conservant le relief



Microscopie optique

- Grossissement de 100 à 1000 réalisé à travers un système de plusieurs lentilles. Observation avec ou sans prélèvement
- Vidéomicroscopie des œuvres : l'œil est remplacé par une caméra, elle peut être réalisée directement sur l'œuvre.



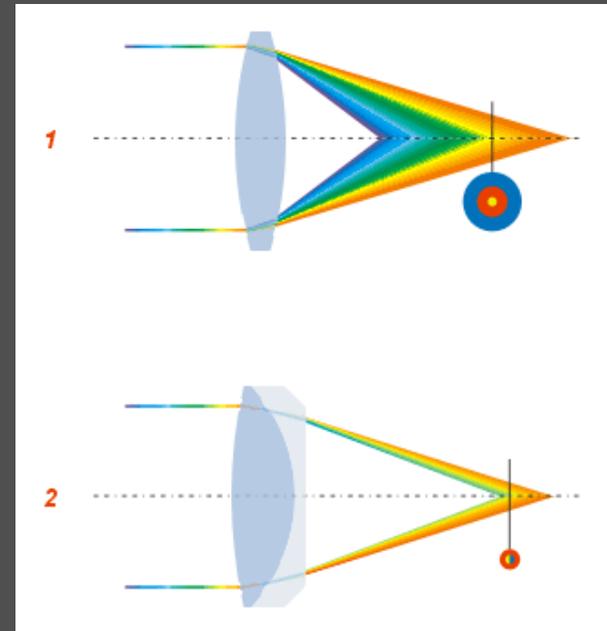
<http://www.mba-lyon.fr/static/gigapixels/kewgreens.html>

Limitations de la microscopie

- La **clarté** qui dépend de la taille des ouvertures de la qualité des optiques
- La **profondeur de champ**
- Le **caractère ondulatoire** de la lumière qui modifie la forme et le contraste de l'image créé :
 - **Aberration chromatique**
 - **Critère de Rayleigh**

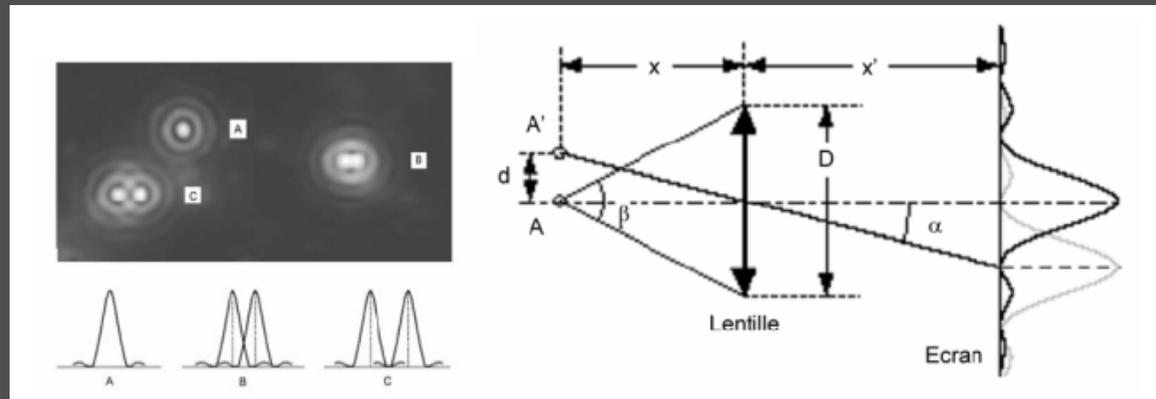
L'aberration chromatique :

- La focalisation dépend de l'indice optique de la lentille, qui dépend de la longueur d'onde
- Elle peut être en partie corrigée par l'ajout d'une deuxième lentille
- **Travail en lumière monochromatique : une partie de l'information est cependant perdue**



Critère de Rayleigh :

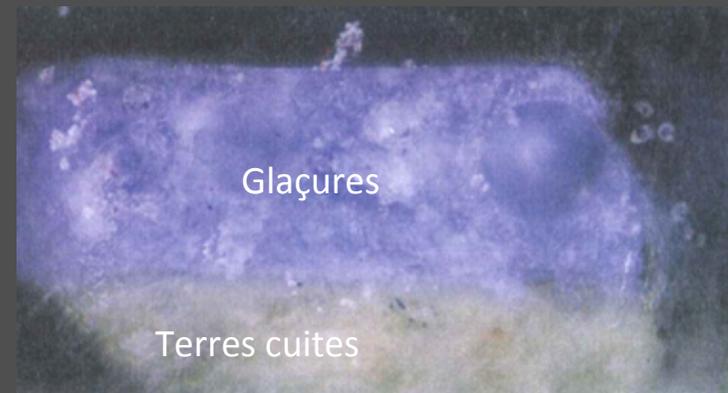
- La résolution limite ε entre deux points à travers un système optique est donnée par : $0,61 \lambda / ON$
avec λ : longueur d'onde de travail
et ON : ouverture numérique du système.
- La résolution peut être améliorée en augmentant la taille de l'objectif ou **en diminuant la longueur d'onde de travail λ**



Microscopie optique



La madone et l'enfant, Andréa Della Robbia, Florence, 1435-1525



Coupe transverse d'une glaçure bleue sur son support de terre cuite

Prélèvement sur Vierge à l'enfant Chompret¹

¹ *Les Della Robbia, J. R. Gaborit, M. Bormand ed. Rmn, 2002*

Microscopie électronique

- Grossissement jusqu'à 1 000 000 fois : on peut observer l'alignement des atomes dans les cas les plus favorables
- Observation avec prélèvement



Image d'une fourmi par un microscope électronique à balayage.



micrographie haute résolution germanium-silicium (université de Kiel)

Longueur d'onde des électrons ?

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m_0 v} = \frac{h}{\sqrt{2m_0 eU}}$$

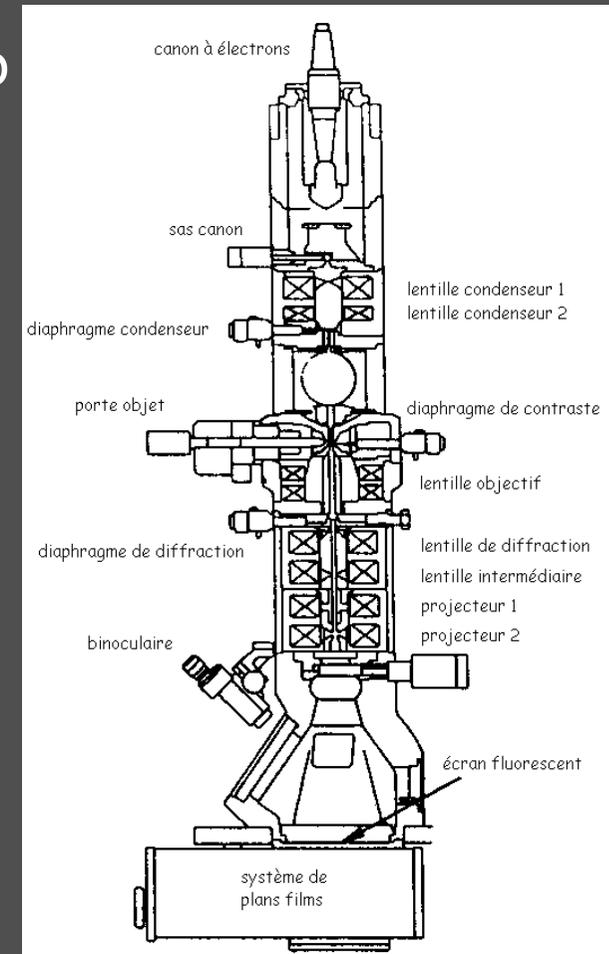
h : constante de Planck

e : charge de l'électron

m_0 et $E_0 = m_0 c^2 = 511 \text{ keV}$: masse et énergie au repos de l'électron

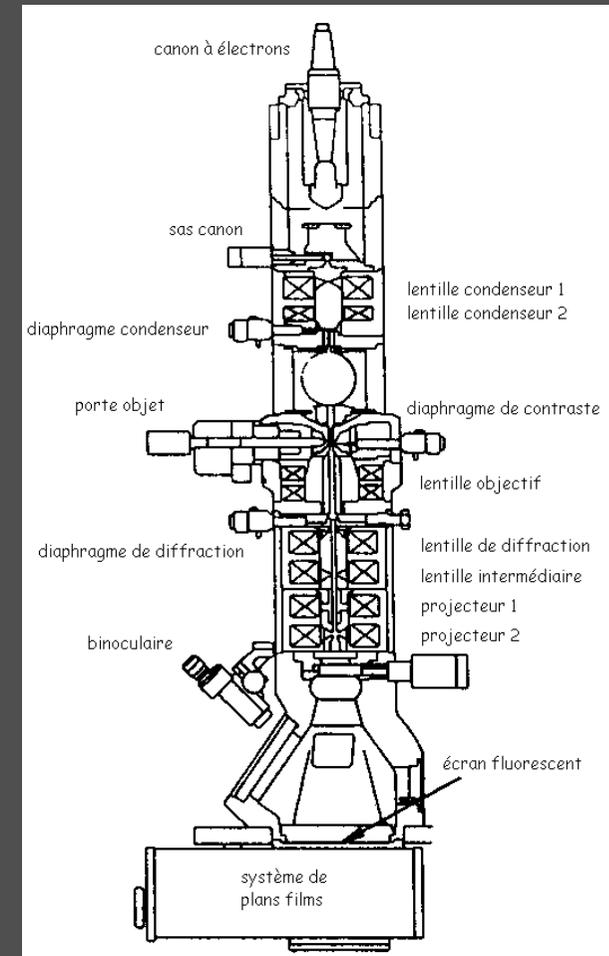
Tension d'accélération U (kV)	Longueur d'onde λ (nm)
10	0,0123
200	0,0025

la longueur d'onde des rayons X utilisés en diffraction X est de l'ordre de 0,1 nm (Cu K_α : $\lambda = 0,154 \text{ nm}$).



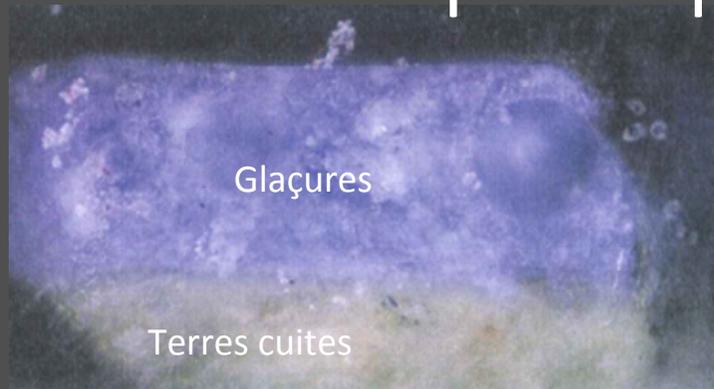
Les limitations de la microscopie électronique ?

- Préparation minutieuse du prélèvement :
 - En transmission, l'échantillon doit être transparent aux électrons, donc une épaisseur $< 100\text{nm}$ (1000 fois plus fin qu'un cheveu)
 - en balayage, l'échantillon doit être recouvert d'une couche conductrice
- Réactivité sous faisceau
- Une observation nécessite un expert, la mesure ne peut pas être automatisée

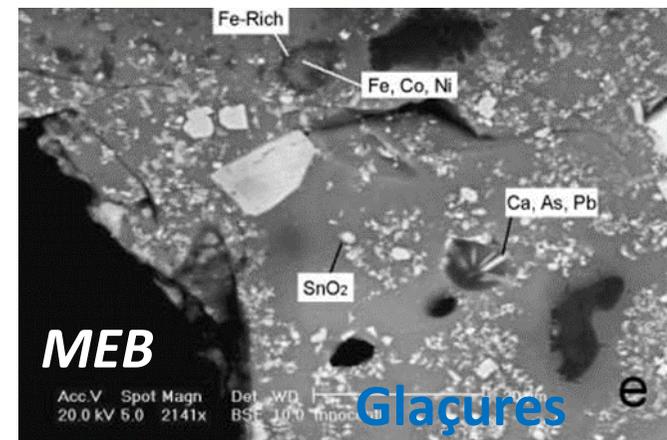


Microscopie électronique

Microscopie optique



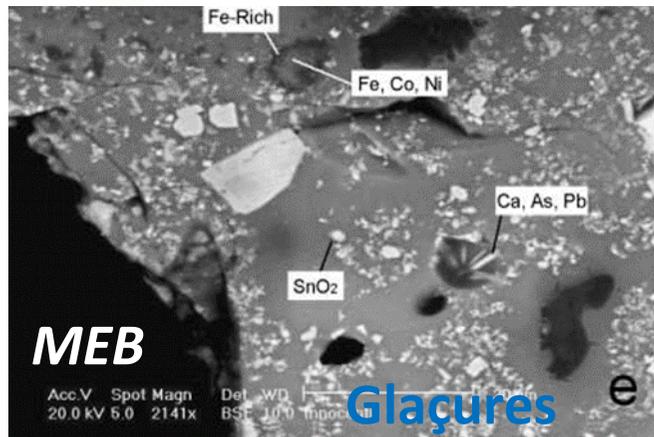
Coupe transverse d'une glaçure bleue sur son support de terre cuite
Prélèvement sur Vierge et enfant Chompret¹



¹ Les Della Robbia, J. R. Gaborit, M. Bormand ed. Rmn, 2002

Microscopie

MEB électronique



- ☺ Visualisation des grains, fissures, bulles à l'échelle microscopique dans la coupe
- ☺ Mesure de l'épaisseur des couches (glaçure, interface..)
- ☺ Cartographie des éléments chimiques dans la matrice
- ☹ Méthode destructive (prélèvements)

¹ Les Della Robbia, J. R. Gaborit, M. Bormand ed. Rmn, 2002

Voir au-delà du visible

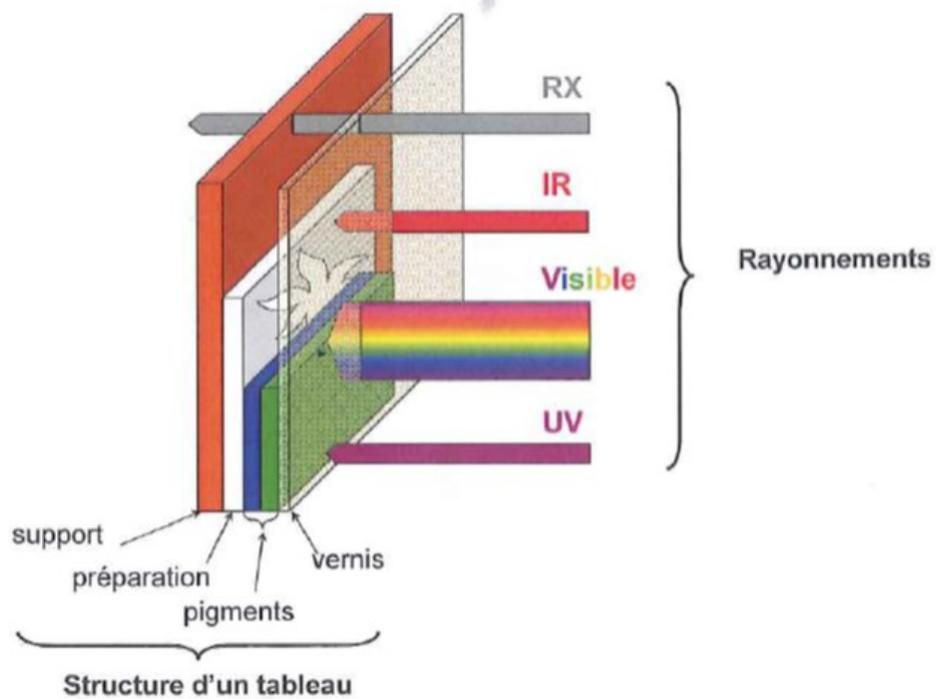
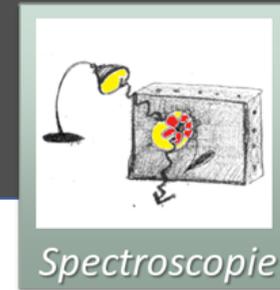


- Aller au-delà de la résolution spatiale de l'œil en grossissant par un système optique : **Loupe, microscopie optique et électronique**



- Aller au-delà de la gamme spectrale visible en éclairant l'objet par différentes radiations (IR, UV, X) et en analysant sa réaction (absorption, réflectivité, émission) : **spectroscopie**

Absorption / Réflectivité



sous rayonnement X



Absorption X

Momie bouddhiste, Liuquan, dans une statue
XI-XIIe siècles

Sous infrarouge



Réfectographie IR

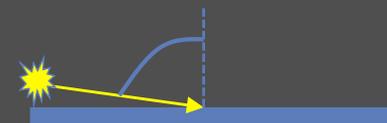
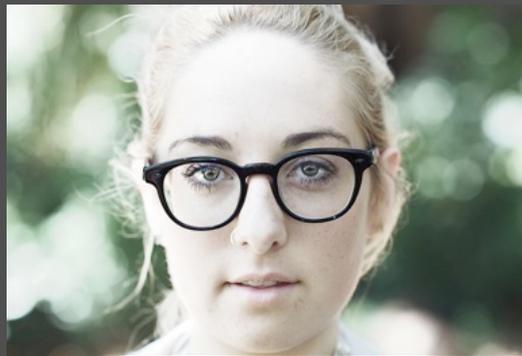
Dans la gamme visible sous différentes incidences

Procédé

Une source lumineuse directionnelle orientée selon le plan de surface améliore la lisibilité du relief à partir des ombres portées.

Applications

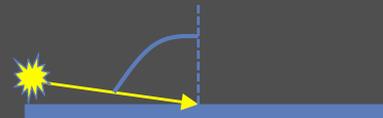
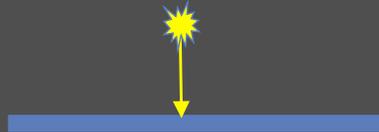
Étude des traces d'outils à la fabrication. Dépistage des restaurations artisanales, des faux, ... Pierre, granulométrie. Fer, martelage. Inscriptions en creux. Craquelures, déformations de surface.



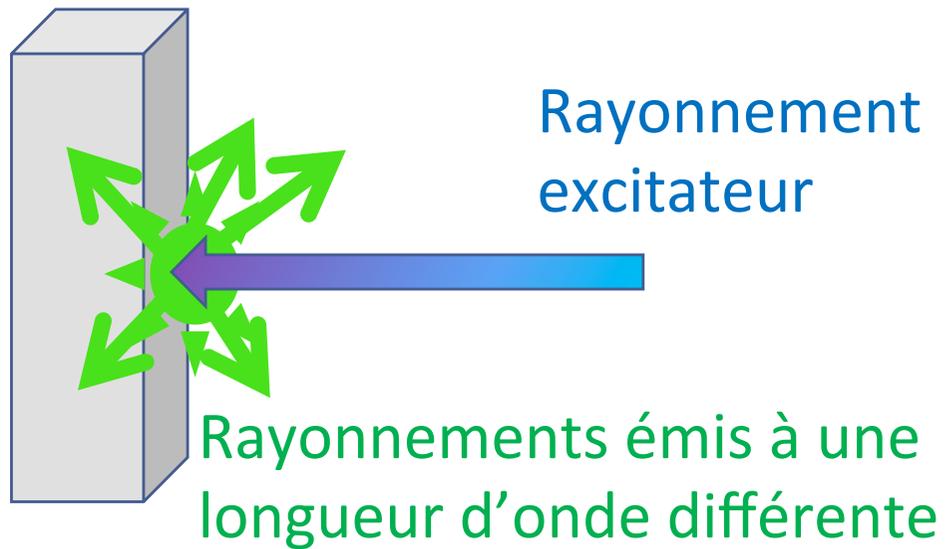
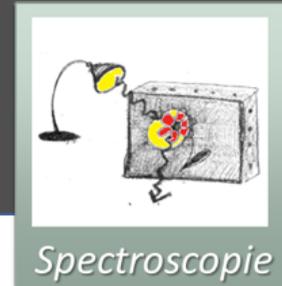
Imagerie en lumière rasante : mise en évidence d'un réseau de craquelures



A. APPIANI, Portrait de Joséphine, reine d'Italie, Musée du Château de Malmaison – C2RMF, F. Lambert



Excitation / émission



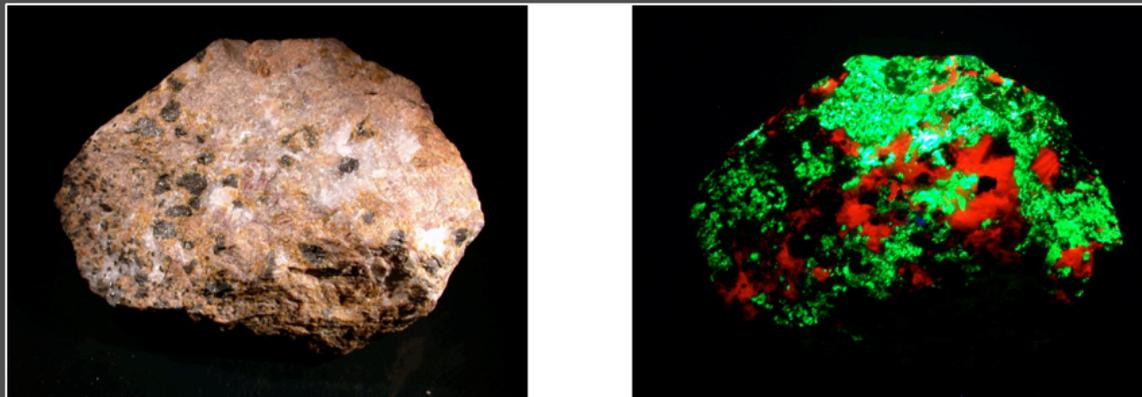
Dans la gamme UV-visible pour la photoluminescence

Procédé

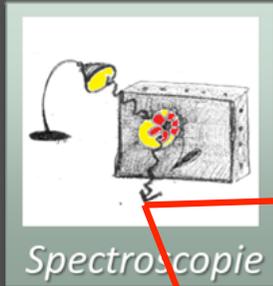
Une source lumineuse qui émet un rayonnement U.V., visible ou IR, provoque des phénomènes de fluorescence. La longueur d'onde excitatrice doit être adaptée au pigment recherché

Applications

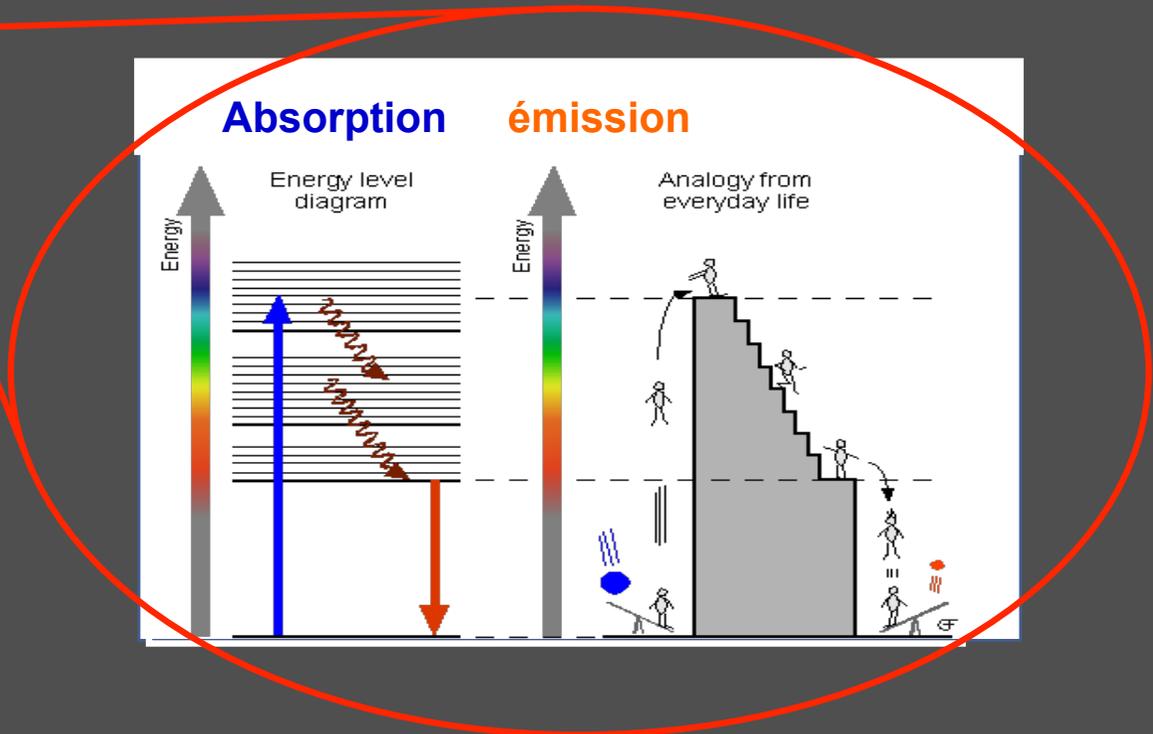
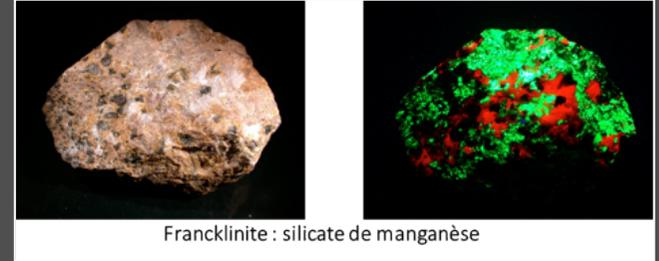
Etude des matériaux, pigments.
Par exemple un rayonnement U.V. permet d'identifier la gomme laque, le pourpre antique, les rubis et les grenats, un rayonnement IR excite l'azurite



Francklinite : silicate de manganèse



Interaction Lumière - Matière





Bleu d'Egypte

Lumière blanche



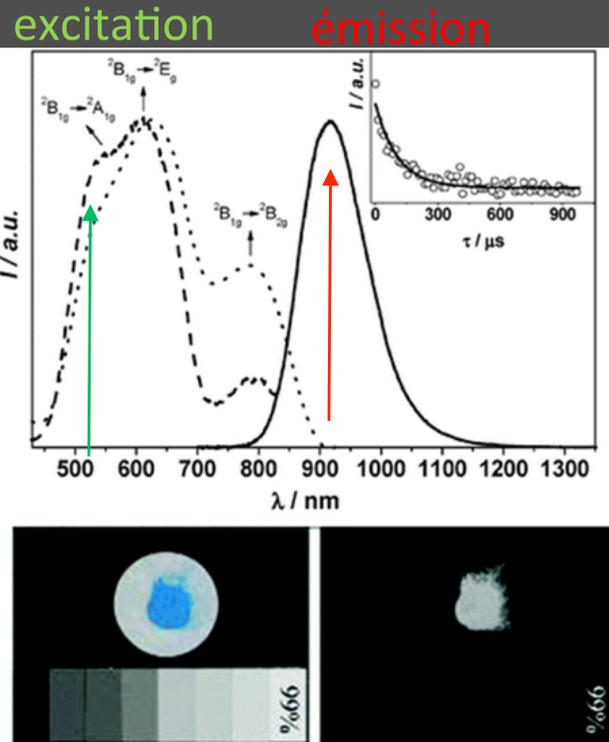
Tête, temple d'Artémis, British Museum

Bleu d'Egypte détecté sous une radiation verte (525nm)
Détection dans l'infrarouge



G. Verri, 'The spatially resolved characterisation of Egyptian blue, Han blue and Han purple by photo-induced luminescence digital imaging' *Anal Bioanal Chem* (2009) 394 : 1011-1021

Bleu d'Egypte



Bleu d'Égypte détecté sous une radiation verte (525nm)
Détection dans l'infrarouge



Tête, temple d'Artémis, British Museum

G. Accorsi, G. Verri, M. Bolognesi, N. Armaroli, C. Clementi, C. Miliani, A. Romani 'The exceptional near-infrared luminescence properties of cuprorivaite (Egyptian blue) Chem. Commun. (2009) 3392-3394



North Carolina Museum of Art à Raleigh



Photo infrarouge

Bleu d'Égypte et... les autres silicates de Cuivre

Bleu
d'égypte



Bleu
chinois



Violet
chinois



Vert
d'égypte



Excitation sous une LED rouge émettant à 629nm

G. Verri, 'The spatially resolved characterisation of Egyptian blue, Han blue and Han purple by photo-induced luminescence digital imaging' *Anal Bioanal Chem* (2009) 394 : 1011-1021



Detail of a mural from an Eastern Han tomb near [Luoyang](#), [Henan](#) showing a pair of [Liubo](#) players, containing both Han blue and Han purple pigments



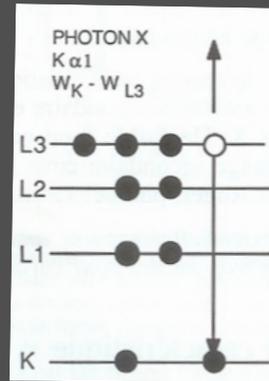
Traces of Han purple can still be seen on many of the terracotta warriors

Dans la gamme X : composition élémentaire par fluorescence X

Procédé

Excitée superficiellement à l'air par un rayonnement X, voir gamma, la matière émet un rayonnement X secondaire caractéristique de sa composition élémentaire. Les analyses sont ponctuelles, non destructives, immédiates et se lisent sur un spectre issu de l'ordinateur.

Remarque : l'irradiation aux rayons peut avoir des conséquences sur un échantillon sensible (échauffement, altération)



Applications

Analyses de composition de surface de tous les métaux, matériaux organiques, verres, pigments, etc.

Analyses de traces dans les liquides



La Koré, Musée des Beaux Arts de Lyon

Dispositif d'analyse XRF portable



Luca Della Robbia sculpture, Museo Nazionale del Bargello in Florence.¹

Source excitatrice X

¹ G. Pappalardo & al J. Cultural Heritage (2004)

Dispositif d'analyse en laboratoire



PIXE, Laboratoire AGLAE, Louvre.

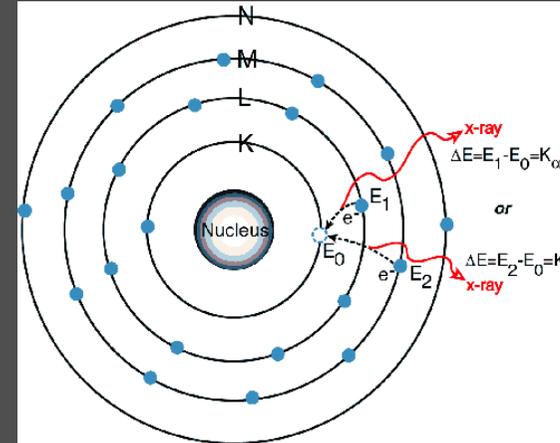
Source excitatrice gamma

Fluorescence X - principe

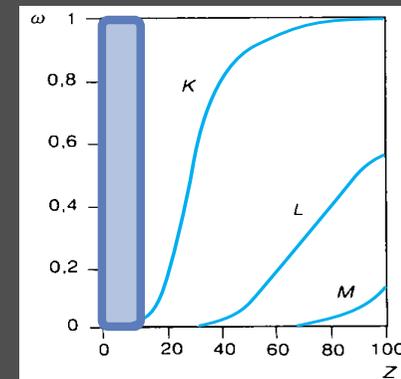
Limites de la technique d'analyse

Tableau périodique des éléments chimiques

Le tableau périodique des éléments chimiques est présenté avec des légendes de couleur indiquant les groupes d'éléments : métaux alcalins, alcalin-terreux, autres métaux, métaux de transition, gaz nobles, métalloïdes, non-métaux, halogènes, et actinides. Des informations techniques sont fournies pour l'élément Fer (Fe), notamment sa masse atomique (55,845), son numéro atomique (26), sa configuration électronique ($[Ar] 3d^6 4s^2$), et son symbole chimique.



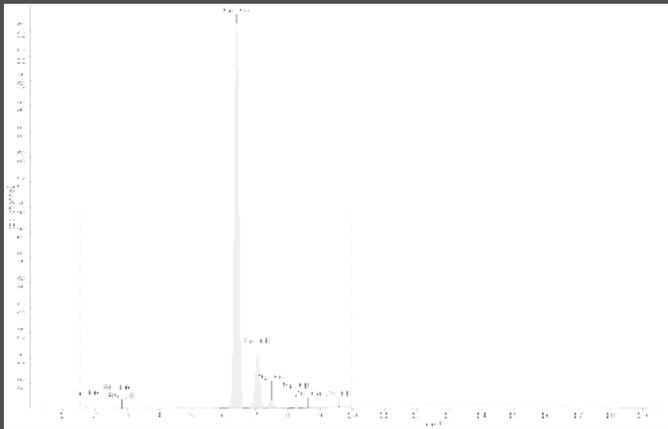
Représentation schématisée de l'atome et des orbitales électroniques



Variation du rendement de fluorescence w en fonction du numéro atomique Z des éléments



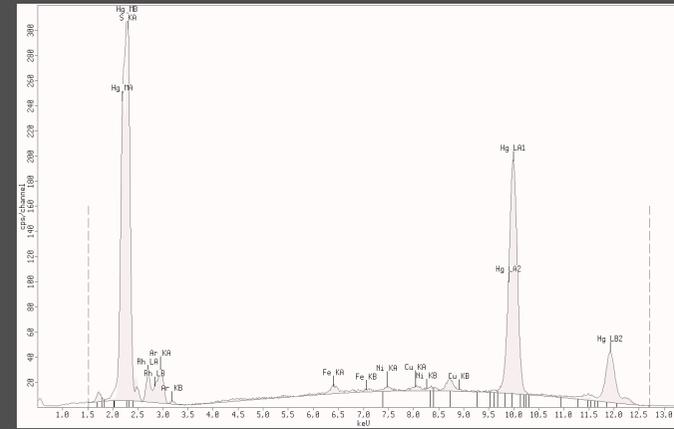
Ocre rouge
 Fe_2O_3



Présence de Silicium (terres silicieuses)

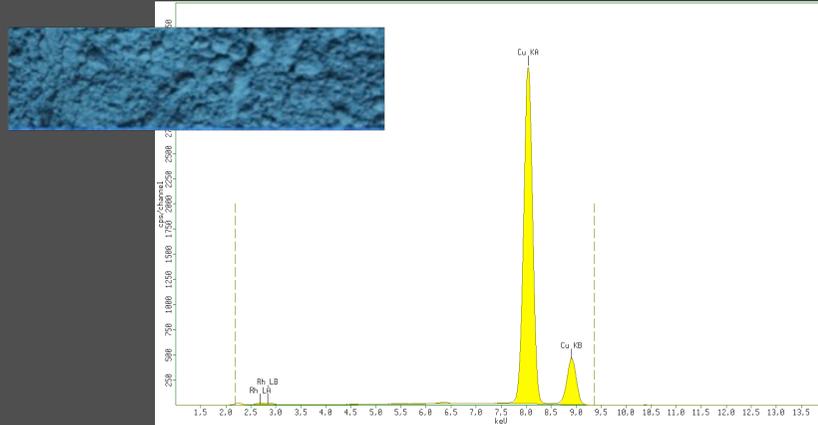


Cinabre
 HgS

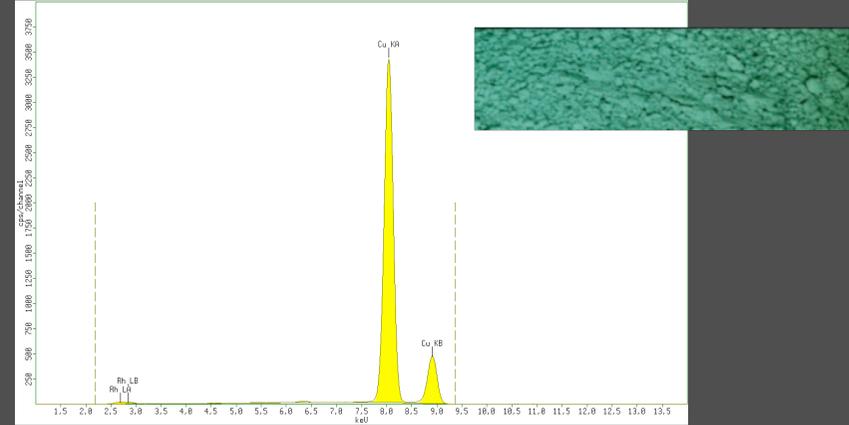


Le pic de soufre est superposé à celui du mercure

Azurite (Bleu)
 $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$



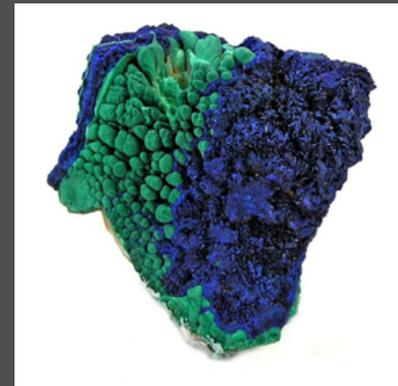
Malachite (Vert)
 $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$



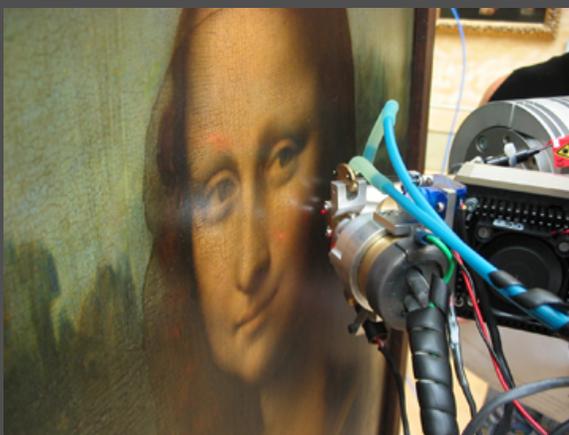
Ces pigments ne peuvent pas être différenciés en Fluorescence X

Azurite, $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$: pigment bleu d'origine minérale en plein air, peut se transformer en malachite
Pseudomorphose : $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2 + \text{CO}_2$

Malachite, $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$: pigment vert d'origine minérale



Analyse du glacis par fluorescence X



Photographie prise durant la série de mesures sur la Joconde : la spectrométrie de fluorescence des rayons X est réalisée directement devant les œuvres au musée du Louvre

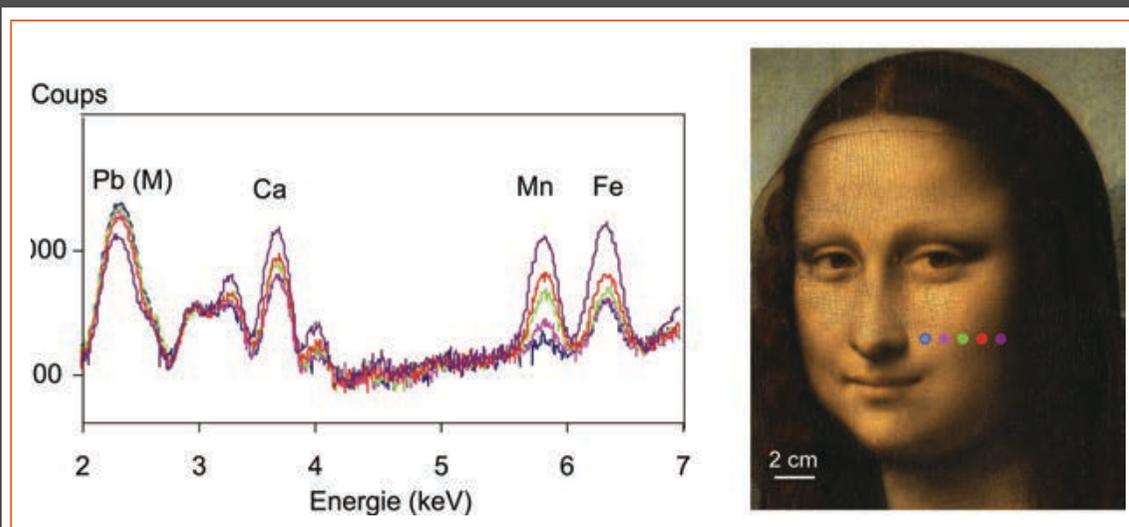


Figure E1 – Spectres de fluorescence des rayons X obtenus en divers points de la joue de la Joconde. Le glacis d'épaisseur croissante est à l'origine de l'ombre qui est enrichie en calcium, manganèse et fer.

Contrat européen Eu-Artech
Philippe Walter, Laurence de Viguerie, Jacques Castaing
Laboratoire d'archéologie moléculaire et structurale, UMR 8220, CNRS/UPMC, Paris

Trois histoires d'investigation

authentification

savoir faire

aspect originel



Détection des faux

La tête bleue

La tête bleue du Louvre



*Collier de perles de verre bleu foncé au cobalt et bleu clair au cuivre
18e dynastie, vers 1400-1300 av. J.-C.*



*Flacon de verre : fond bleu foncé au cobalt,
incrusté de festons blanc, jaune et bleu clair
au cuivre,
18e dynastie, vers 1450-1350 av. J.-C.*



Tête en verre bleu

La tête bleue du Louvre

La tête en verre bleu achetée en 1923 par le musée du Louvre fut d'emblée attribuée au Nouvel Empire, l'époque du retour à la tradition qui suivit la fièvre créatrice de la révolution religieuse sous Aménophis IV-Akhénaton.



Tête en verre bleu

Le meilleur spécialiste du verre égyptien de son temps, Cooney, finit par laisser échapper cette phrase en 1960 : « *Despite repeated examinations now extending over several years I have never been able to eradicate a lingering doubt about the antiquity of this head* ».

Musée du Louvre, département des Antiquités Égyptiennes

Composition chimique des verres bleu foncé et turquoise des verres de la 18^e dynastie

Matrice vitreuse

Il s'agit de silicates sodocalciques

Outre la présence de silicium et d'aluminium on retrouve la présence importante de sodium provenant de cendres végétales, qui caractérisent également la présence forte en magnésium et en potassium

Couleur

Verres bleus foncés colorés au cobalt (0,06 à 0,5 %) et au cuivre (0,6 à 4 %) pour les turquoises

Opacité

Verres turquoise opaques grâce à la présence de cristaux de $\text{Ca}_2\text{Sb}_2\text{O}_7$ antimoniate (V) de calcium réparties dans la matrice vitreuse



Composition chimique des verres de la tête bleue



Matrice vitreuse

Il s'agit de silicates alcalins (sodium) à faible teneur en calcium
Présence importante d'oxyde de plomb jouant le rôle de fondant dans les verres
et d'arsenic.

Absence de soufre et de phosphore : source sodique pas d'origine végétale

Couleur

Verres bleus foncés colorés au cobalt (0,36%)
et pour le bleu ciel au cobalt (0,17%)

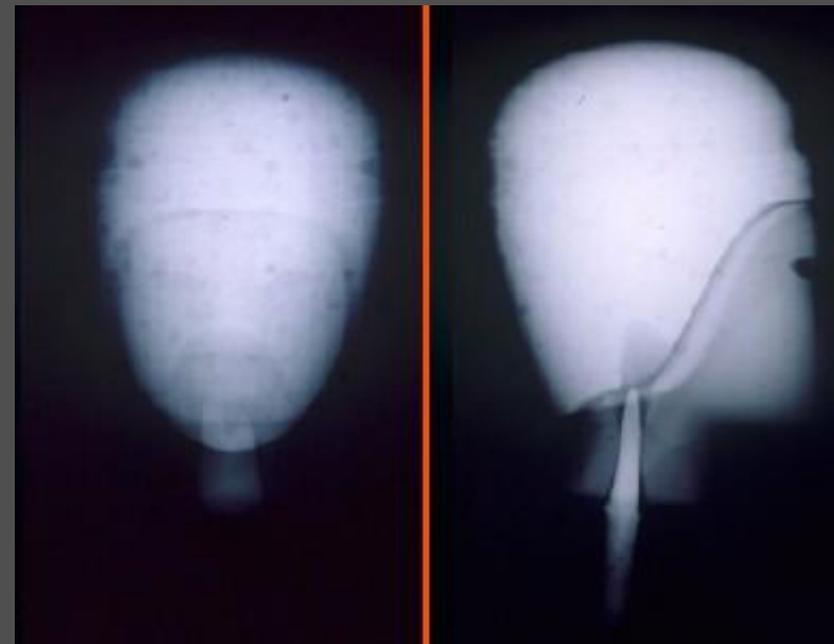
Opacité

Verres de la tête opacifiés par des petits cristaux d'arséniates de plomb de formule approximative $3\text{Pb}_3(\text{As}_2\text{O}_4)_2 \cdot \text{PbO}$,
ce qui correspond à des opacifiants inventés par les verriers vénitiens au XVIIe siècle de notre ère.

Radiographie des verres de la tête bleue



Le visage et la perruque ont vraisemblablement été moulés, puis assemblés. Une cavité est aménagée à l'intérieur du visage et un tenon métallique est inséré dans le cou.



Problèmes d'authentification



Auguste Renoir ?
Dans un grenier de Villeurbanne



Léonard Di Vinci ?

Des experts, des illustres faussaires... et des craintes du monde de l'art



Peter Silvermann, achète 21 850 dollars en 2007, un tableau attribué par la maison d'enchères Christie's à un peintre allemand du XIXe. Il est intrigué par ce tableau qu'il associe à la Renaissance italienne

Après achat, consultation d'un expert de la Renaissance : possibilité d'attribution du dessin à Léonard de Vinci (1452-1519)

[Article de Libération](#)

[Article de l'Express](#)

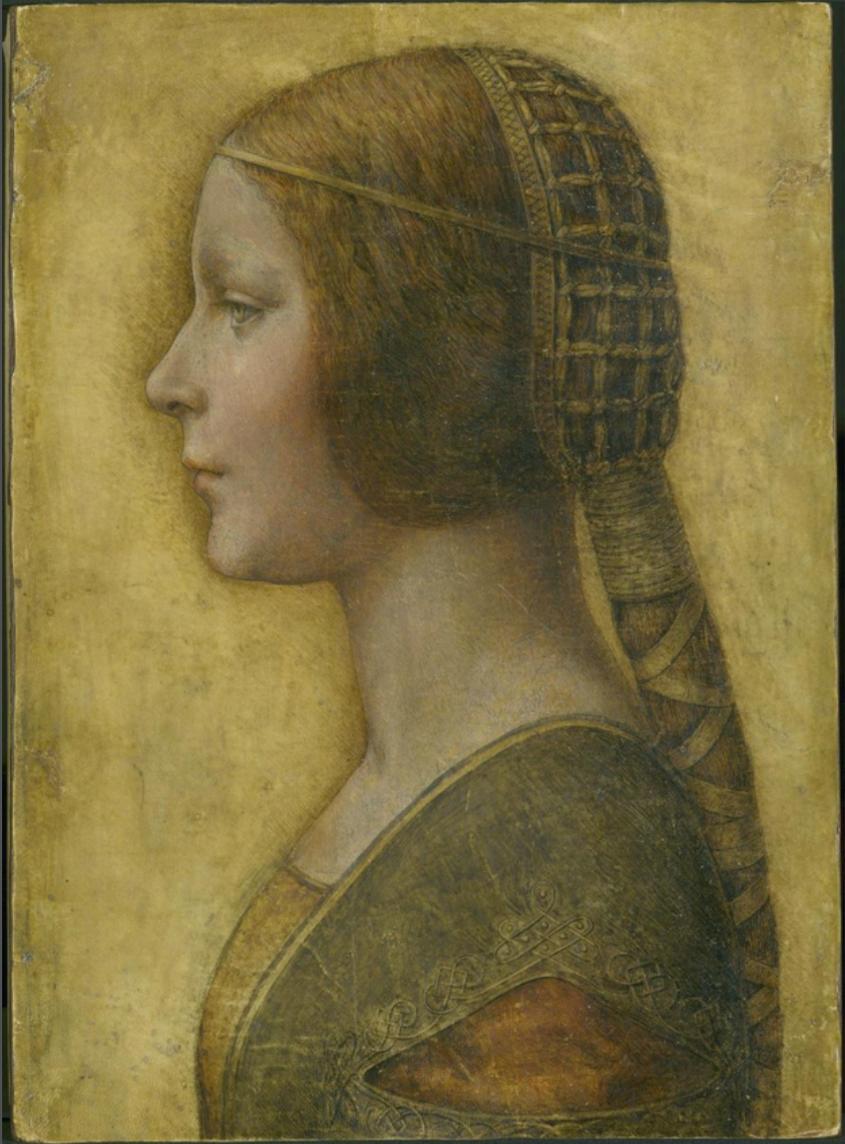
**"La princesse perdue de Léonard de Vinci"
de Peter Silverman et Catherine Withney**

Vers une authentification officielle ?

Il faut un consensus auprès des experts de la Renaissance sur la paternité du tableau

Obstacles :

- Léonard de Vinci ne signe pas ces œuvres
- Peu d'œuvres existantes attribuées à Léonard de Vinci
- Aucune mention dans des écrits de l'existence de ce dessin
- Peur de se tromper à cause de l'enjeu



Détails de l'investigation

* S'agit d'un dessin de l'époque de la Renaissance ?

Les analyses au carbone 14 ont révélé que le vélin datait du 16^e siècle (contemporain à Léonard)
L'analyse de l'isotope 210 du plomb présent dans l'une des trois craies montre que le blanc de plomb a plus de 250 ans.

* S'agit-il d'un tableau d'un des élèves de Léonard de Vinci

Le plus doué des élèves de Léonard avait un style qui lui était propre et qui ne ressemble pas à celui-ci

* Détails techniques du dessin

Les traits marquant les contours du visage ont été effectués par un gaucher, chose très rare à l'époque
Le vélin est apparu à la fin du moyen-âge. Le vélin est une peau de vélot, un veau mort-né
Ce dessin a été réalisé à l'encre et à la craie. Cette association est très rare, ce qui pourrait correspondre au génie de Léonard.

* Replacer ce dessin dans le contexte historique

Détails des habits et aspect physique de la jeune fille : portrait représentant Bianca Sforza, fille illégitime du duc de Milan pour son mariage en 1496

La datation au carbone 14

- La méthode de radiocarbone est basée sur l'horloge de la décroissance radiative du carbone 14 :
 - La teneur en Carbone 14 (radioactif) diminue avec le temps qui s'écoule depuis que l'échange avec l'atmosphère et l'organisme étudié a cessé, soit à sa mort.
 - La datation est donnée en année BP : Before Present (en fait 1950)

Savoir faire

Atelier des Della Robbia



*Vierge à l'Enfant,
Attribué à Andrea Della Robbia,
terre cuite émaillée (vers 1500)
Musée des Beaux Arts de Lyon*

Recherche des secrets de fabrication des ateliers Della Robbia



Madonna del Roseto, Luca della Robbia pendant une analyse "in situ" avec un instrument portable a-PIXE Avec la permission du Museo Nazionale del Bargello²

■ Problématiques des musées :

- **Datation**
- **Authentification**
- **Critères techniques**
- **Matières utilisées**

- Certaines recettes et techniques transmises par des écrits¹ avec les connaissances chimiques de l'époque.
- Depuis une vingtaine d'années, les musées collaborent avec les laboratoires pour analyser les œuvres

¹ Giorgio Vasari, *les vies des meilleurs peintres, sculptures et architectes*, 1567, Flore

² G. Pappalardo & al *Journal of Cultural Heritage* 5 (2004) 183-188

Terre cuite émaillée



Modelage

Origine de la terre
Technique de modelage
(estampage, moulage..)



Séchage puis
cuisson
entre 950 et 1300°C
Four (forme,
température,
régulation..)



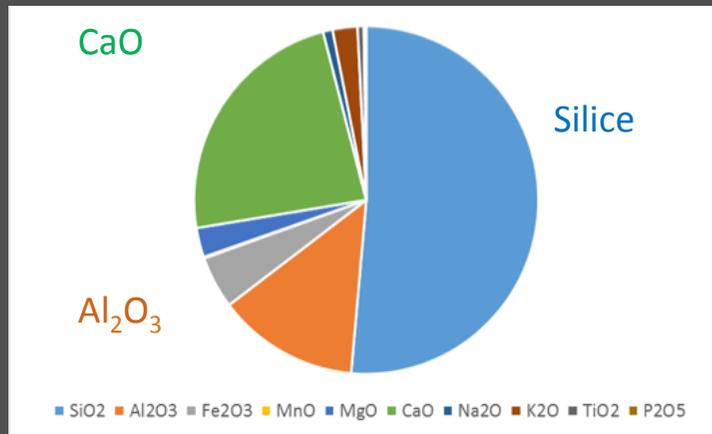
Emaillage

Origine des matières premières (oxydes, frites..)
Processus d'émaillage (pose, température..)



Cuisson
entre 950 et 1300°C

Analyses des pâtes

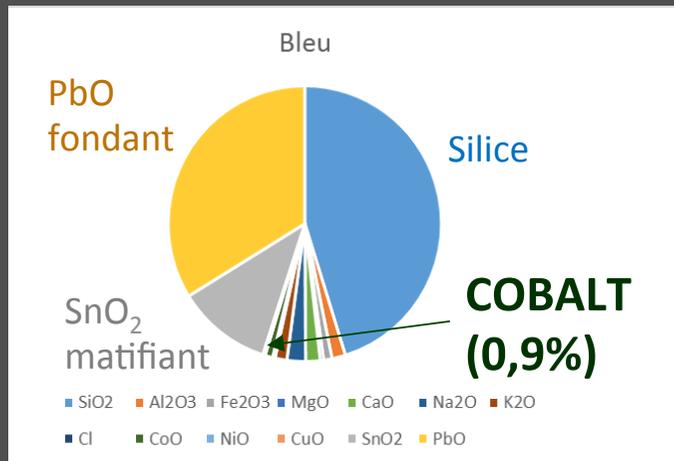


¹ Les Della Robbia, J. R. Gaborit, M. Bormand ed. Rmn, 2002





Glaçures bleues

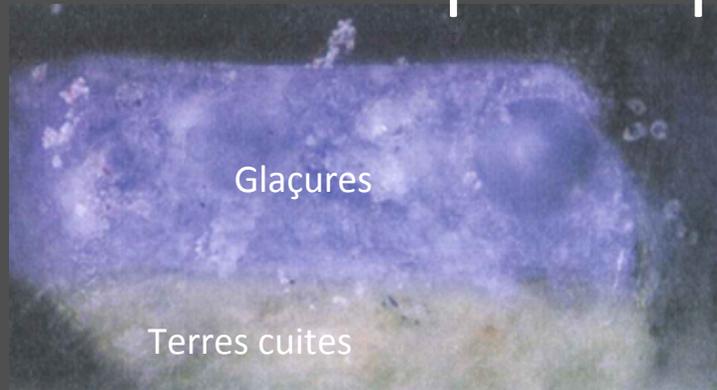


- ❑ L'élément colorant : le **cobalt**. Il a un fort pouvoir colorant bleu.
- ❑ Dans la nature, il est associé à d'autres éléments (Cu, Ni, Fe, As). Les proportions relatives dans le minerai peuvent signer l'origine géographique, ou encore, notamment pour l'arsenic, le niveau de 'grillage' avant utilisation

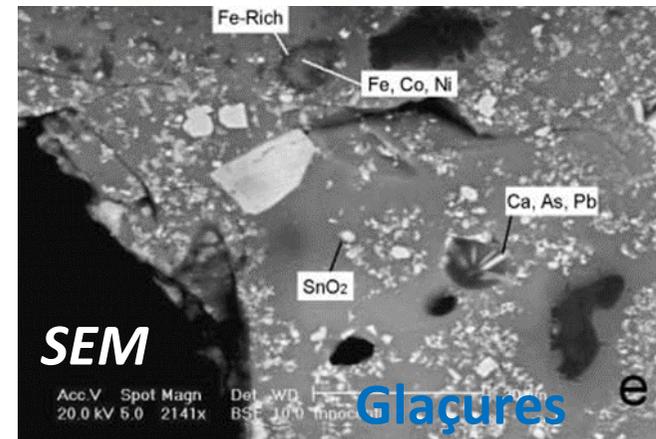
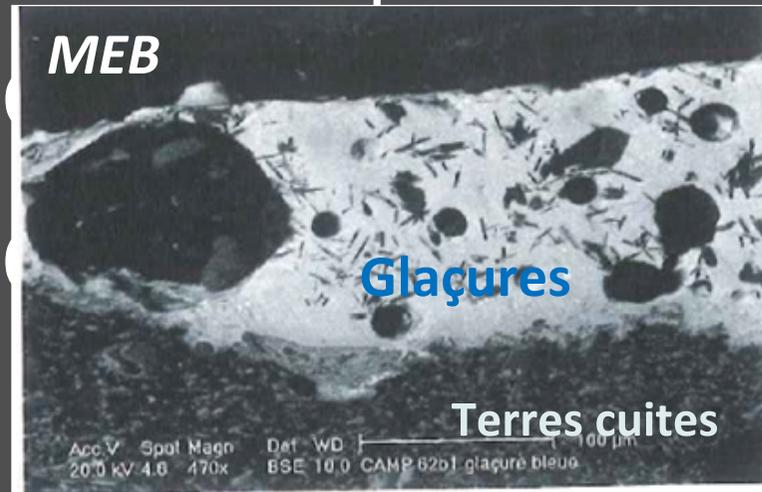


Microscopie électronique

Microscopie optique



Coupe transverse d'une glaçure bleue sur son support de terre cuite
Prélèvement sur Vierge et enfant Chompret¹



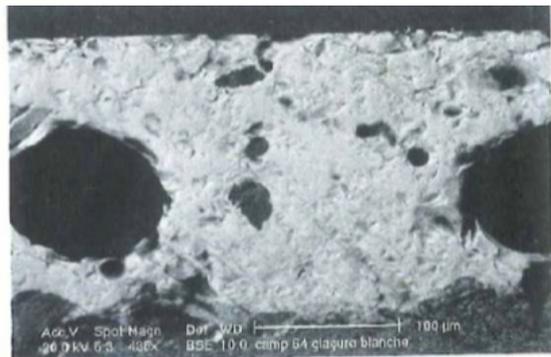
¹ Les Della Robbia, J. R. Gaborit, M. Bormand ed. Rmn, 2002



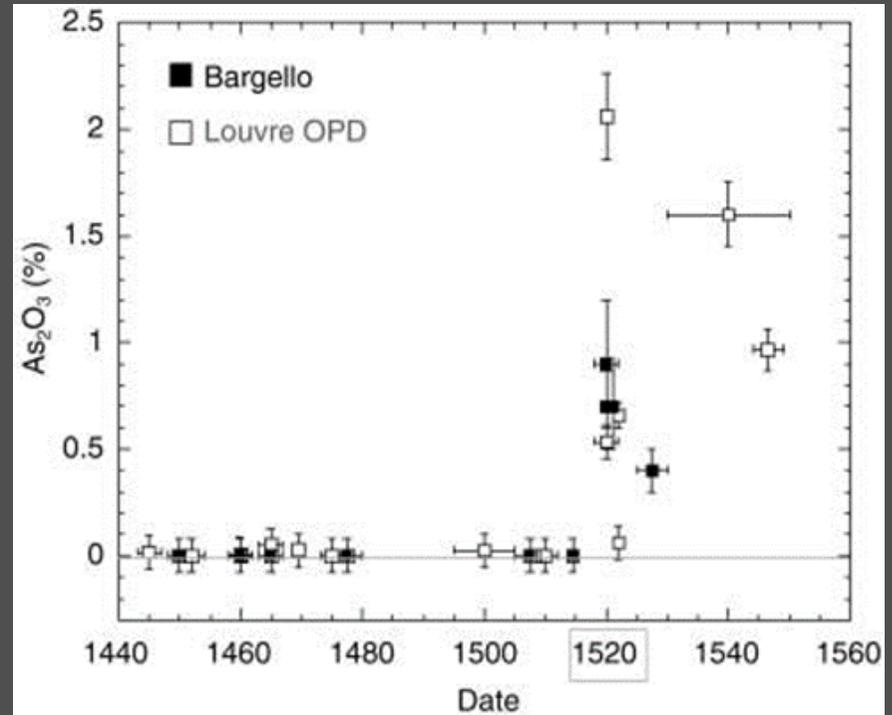
Glaçures bleues



**Zone homogène
Riche en étain et
plomb**



**Zone plus
hétérogène plus
siliceuse avec des
quartz non
fondus**



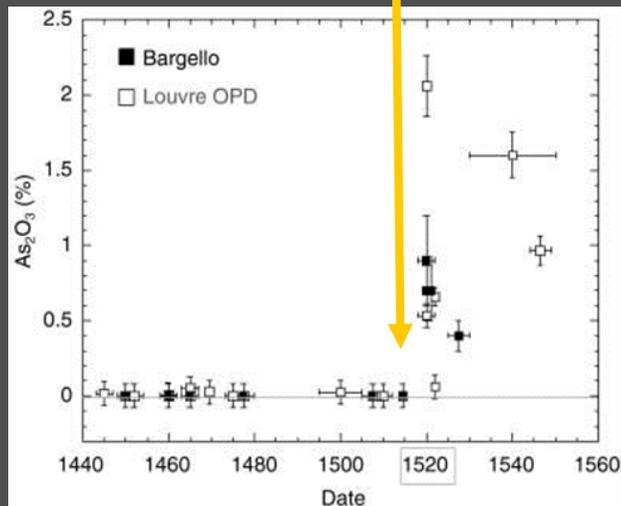
Pourcentage en As_2O_3 dans les glaçures bleues des œuvres della robbiesques issues des collections du Louvre et autres musées^{1,2}

¹ Pappalardo & al Journal of Cultural Heritage 5 (2004) 183

² Zucchiatti & al, Archaeometry 48 (2006) 131



Teneur en arsenic



The As₂O₃ per cent concentration measured in blue glazes from dated artefacts belonging to the collections of the Louvre, the Bargello (data from Pappalardo et al. 2004) and other museums.

□ D'après les analyses d'œuvres datées dans différents musées, la teneur en arsenic a fortement augmenté au début du XIV^{ème} siècle

□ Deux hypothèses :

- ✓ Changement de provenance des pigments ?
- ✓ Changement de traitement ?

Mine de Erzgebirge, Saxe, Renaissance

Mine d'argent, étain, cobalt, nickel, mercure et fer



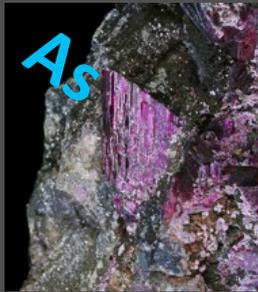
□ Recherche des principaux minéraux de Cobalt présents dans ces montagnes

Mineral	Chemical formula	As ₂ O ₃ /CoO weight ratio	Origin in Renaissance
Skutterudite	CoAs ₃	3.96	Erzgebirge, historic
Erythrite	Co ₃ (AsO ₄) ₂ ·8H ₂ O	0.88	Erzgebirge, historic
Safflorite	(Co,Fe)As ₂	≥ 2.64	Erzgebirge, historic
Cobaltite	CoAsS	1.32	Erzgebirge, historic
Sphero-cobaltite	CoCO ₃	0	Siegen, no sources
Siegenite	(Ni,Co) ₃ S ₄	0	Siegen, no sources
Roselite	Ca ₂ (Co,Mg)(AsO ₄) ₂ ·2H ₂ O	≥ 2.64	Erzgebirge, historic
Linnaeite	Co ₃ S ₄	0	Siegen, no sources

¹ Zucchiatti & al, *Archaeometry* 48 (2006) 131



Skutterudite



Erythrite



Safflorite et calcite



Cobaltite



Roselite

Mineral	Chemical formula	As ₂ O ₃ /CoO weight ratio	Origin in Renaissance
Skutterudite	CoAs ₃	3.96	Erzgebirge, historic
Erythrite	Co ₃ (AsO ₄) ₂ ·8H ₂ O	0.88	Erzgebirge, historic
Safflorite	(Co,Fe)As ₂	≥ 2.64	Erzgebirge, historic
Cobaltite	CoAsS	1.32	Erzgebirge, historic
Spherochalcite	CoCO ₃	0	Siegen, no sources
Siegenite	(Ni,Co) ₃ S ₄	0	Siegen, no sources
Roselite	Ca ₂ (Co,Mg)(AsO ₄) ₂ ·2H ₂ O	≥ 2.64	Erzgebirge, historic
Linnaeite	Co ₃ S ₄	0	Siegen, no sources



Spherochalcite

Erzgebirge

Siegen



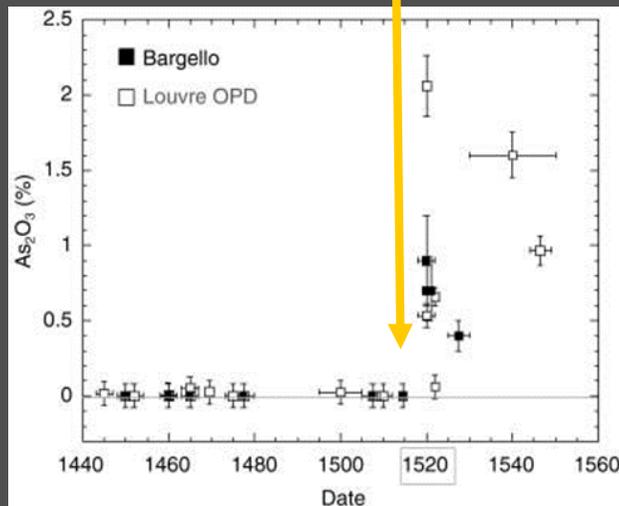
Siegenite
(trace de sélénium détectable que par ICP)



Linnaeite



Teneur en arsenic



The As_2O_3 per cent concentration measured in blue glazes from dated artefacts belonging to the collections of the Louvre, the Bargello (data from Pappalardo et al. 2004) and other museums.

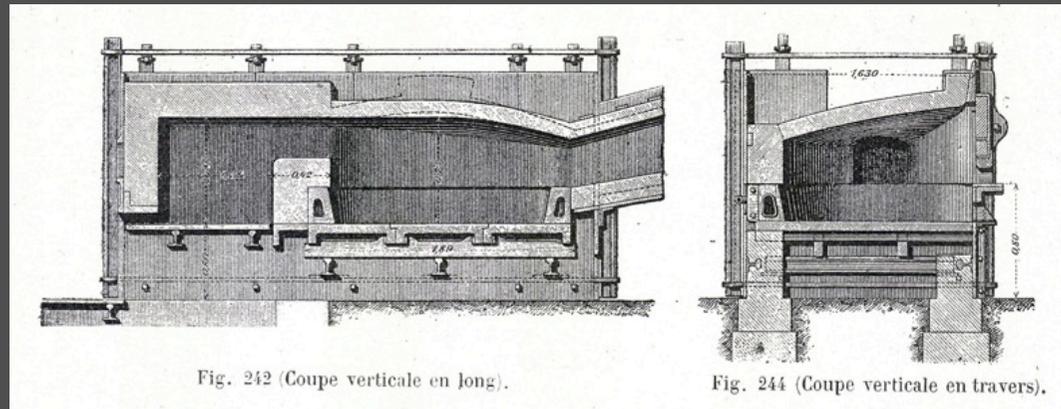
□ D'après les analyses d'œuvres datées dans différents musées, la teneur en arsenic a fortement augmenté au début du XIV^{ème} siècle

□ Deux hypothèses :

- ✓ Changement de provenance des pigments ?
- ✓ Changement de traitement ?

Changement de traitement des minerais

- Avant 1520, le cobalt est un sous produit de l'extraction d'argent. Il est obtenu dans **les fours de fonderie**.
- Plus tard, ce pigment de Cobalt a pu faire l'objet d'une extraction spécifique, avec un procédé adapté : cela s'est traduit par un changement de type de four (**four à réverbère**). Cette nouvelle technologie aurait pu amené une augmentation de la quantité d'arsenic dans le cobalt extrait.



Chimie-physique des céramiques

- Composition des terres
- Diagramme de phase
- Traitement thermique
- Analyse chimique

Atelier création céramique



Visite musée des Beaux Arts de Lyon



*Vierge à l'Enfant,
Attribué à Andrea Della Robbia*

**Admirer les céramiques
bleues de l'art islamique**

Histoire des arts et des technologies

Bibliographie exhaustive



*Les Della Robbia, J. R. Gaborit, M.
Bormand ed. Rmn, 2002*

G. Pappalardo & al *Journal of Cultural
Heritage* 5 (2004) 183-188

A.Zucchiatti & al *Archaeometry* 48 (2006)
131

B.Bajnóczi & al *Archaeological Science*
45 (2014) 1

Trois histoires d'investigation

Détection des faux

Savoir faire

Aspect originel de l'oeuvre

Révélation de l'aspect originel

Polychromie

La Koré de Lyon

540 avant J.-C.



Koré : 'jeune fille'

- V^e s av JC : Athènes vient de battre la surpuissante perse au cours de la bataille de marathon, c'est une période prospère : des fêtes et jeux ont lieu en l'honneur d'Athéna, avec une procession des Korés, jeunes filles des grandes familles des la ville, portant des offrandes. En mémoire des statues étaient érigées sur l'Acropole.
- 480 av JC, les guerres médiques : les perses envahissent et mettent à sac l'acropole, mais Athènes triomphe (bataille de Salamine).
- Reconstruction du site de l'acropole sous l'égide de Péricles et enterrement pieux des statues peintes brisées.
- Découverte des Korés à la fin du XVIII^e siècle par les archéologues : 200 Korés plus ou moins fragmentées dont 14 dans une fosse en 1886





la koré "énigmatique"
500 Av. JC

"vierge de Chios"
510 Av. JC



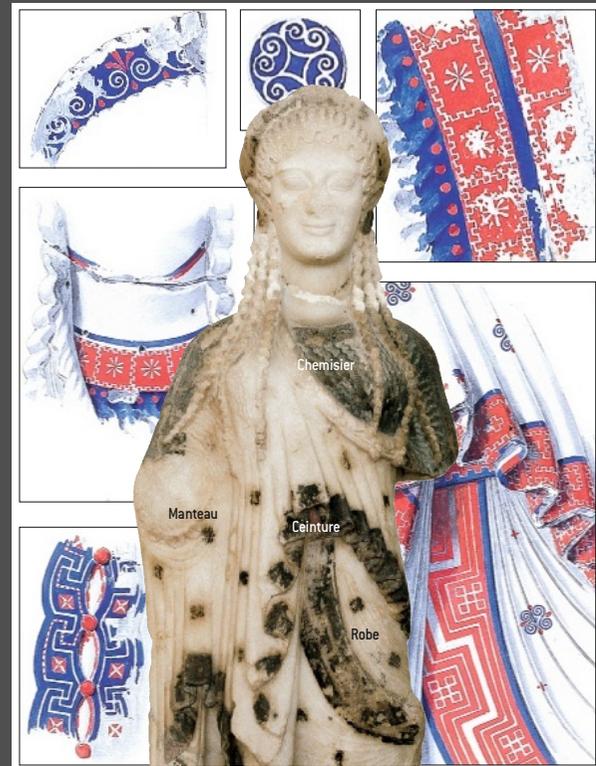
la koré au peplos
530 Av. JC



tête de koré
510 Av. JC

Grandes découvertes Fin du XIX^e – début de XX^e

- Écrits décrivant l'éclat des couleurs
- Quelques clichés noirs et blancs sont réalisés
- Des aquarelles relatent les couleurs en particulier celles du *peintre archéologue Emile Gilliréon*
- Diffusion de moulage en plâtre blanc dans les musées



Exemple de cliché ancien attestant la richesse de la polychromie originelle



Fig. 41. — Délos, Maison de l'Hermès : statuette polychrome.

Aphrodite, Délos, maison de l'Hermès

J. Marcadé, 1953 :

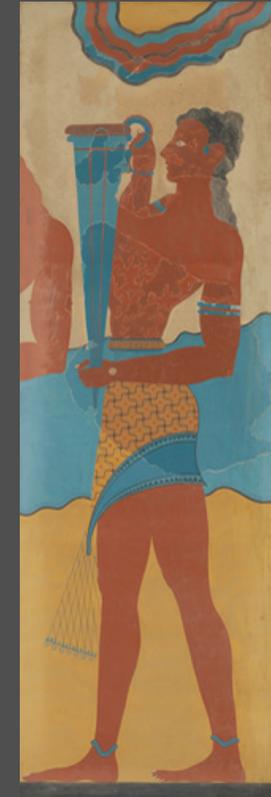
'..[]La statuette garde sur sa face principale des traces de couleur très apparentes. L'encolure et les emmanchures du chiton sont soulignées d'un trait blanc : deux traits blancs limitent la largeur de la paryphé rouge vif, et deux losanges sont dessinés en blanc sur les seins. L'himation était lie-de-vin, les sandales rouge-cerise avec une bande transversale bleue.'

'les restes de peintures n'ont malheureusement pas pu être fixés sur le marbre et ces plaques de poudre colorée, très fragiles, risquent de disparaître.'

Aquarelles du peintre-archéologue Emile Gillieron (1850-1924) et son fils autour des découvertes grecques



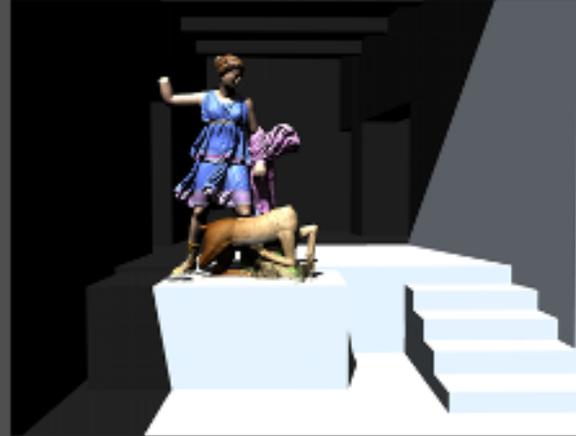
Emile Gilliéron fils (Suisse, b. Grèce, 1885–1939), Reproduction of the "Ladies in Blue" fresco from Knossos (detail), 1927. The Metropolitan Museum of Art, New York, Dodge Fund, 1927 (27.251). Image © The Metropolitan Museum of Art, New York



Fresques colorées - Site de Knossos

Emile Gilliéron père (Suisse, 1850–1924), [Reproduction of the "Cupbearer" fresco from Knossos](#), 1908. The Metropolitan Museum of Art, New York, Dodge Fund, 1909 (09.135.1). Image © The Metropolitan Museum of Art, New York

Restitution par l'imagerie numérique



Groupe statuaire d'Artémis Elaphébole (Délos, in. A449) : Scannérisation 3D et proposition de restitution de la polychromie avec suggestion de son emplacement et de son mode d'exposition originels

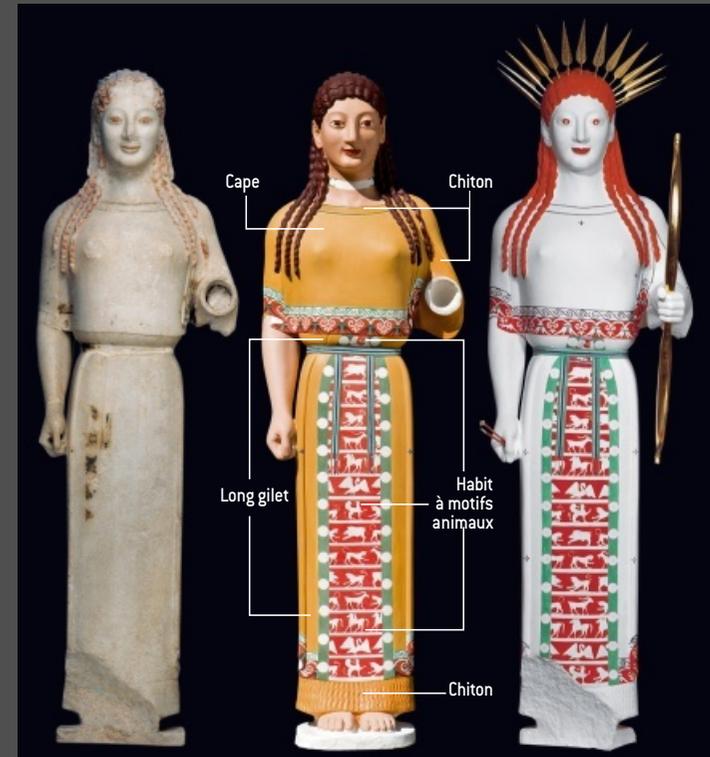
© Photo Ph. Collet, EFA et EFA-C2RMF-IST

- 1. Essai expérimental de restitution de la surface peinte et / ou dorée des sculptures hellénistiques de Délos, P. Jockey programme européen ARCHEOMED*
- 2. MULLIEZ M., 'Le luxe de l'imitation. Les trompe-l'œil de la fin de la République romaine, mémoire des artisans de la couleur', ed. collection du Centre Jean Bérard*

'Restauration' et restitution sur moulage



Ruines de Knossos, découvertes en 1878 et reconstruites au début du XXe



'Koré' au péplos – 530 av JC
Identifié comme la déesse
Artémis

La Koré de Lyon

540 avant J.-C.

Révélation de l'aspect originel

Polychromie

[Lien internet : ttp://c2rmf.fr/actualite/les-couleurs-de-la-kore](http://c2rmf.fr/actualite/les-couleurs-de-la-kore)



Chimie- Physique

- Voir au-delà du visible
- Technique d'analyse :
qu'est ce qu'un spectre ?
- Pigments, marbre,
adhésion

Atelier interaction lumière-matière

Visite musée des Beaux Arts de Lyon



**admirer les statuettes
égyptiennes émaillées
(toujours bleues) et
tanagras en terre cuites**

Lien avec l'histoire de l'antiquité

Bibliographie exhaustive

- Techne N° 40 - Polychromie et
restauration de la sculpture dans
l'Antiquité (2015)
- U. Brinkmann & V. Brinkmann, 'la
polychromie dans la grece antique' Pour
la science, 406 (2011)
- La Koré de Lyon,
[tp://c2rmf.fr/actualite/les-couleurs-de-
la-kore](http://c2rmf.fr/actualite/les-couleurs-de-la-kore)
- Le Mythe de la Grèce blanche. Histoire
d'un rêve occidental. Editions Belin,
2013,291 , P. Jockey programme
européen ARCHEOMED

*L'art n'est pas ce que tu vois mais ce que
tu fais voir aux autres*

Edgar Di