

Université de Liège  
Faculté des Sciences  
Département de Géologie  
Laboratoire de Minéralogie



# Minéraux, gemmes et pierres précieuses Leur utilisation dans l'orfèvrerie de nos régions

Prof. Frédéric Hatert

Liège, le 8 octobre 2024



# Partie I: Minéraux, gemmes et pierres précieuses

1. Définitions
2. Caractéristiques des gemmes
3. Principaux gisements
4. Imitations, traitements et synthèses

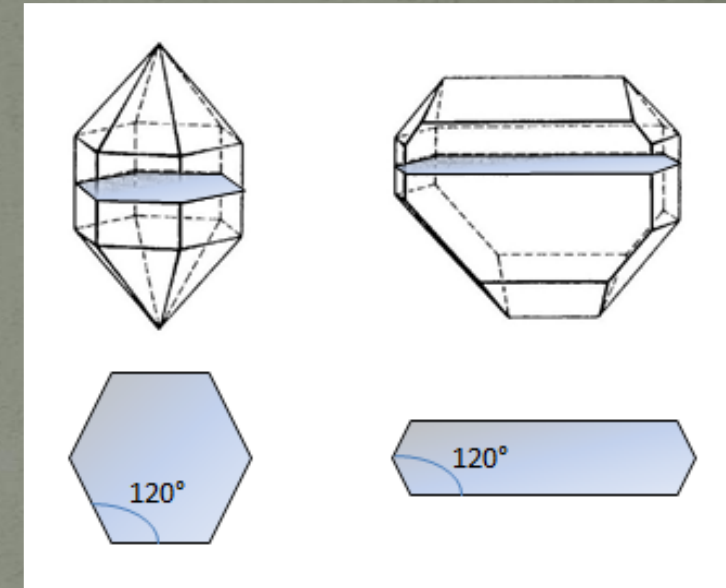
# Les cristaux

- Corps solides
- Homogènes
- Délimités par des faces planes
- Ces faces font entre elles des angles constants



Jean-Baptiste Romé de l'Isle  
(1736-1790)

Nicolas Sténon  
(1638-1686)



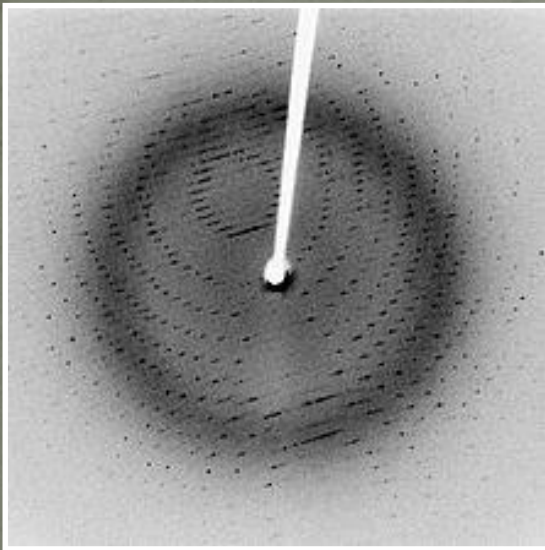
J.-B. Romé de l'Isle  
(1736-1790)

«Peu importe dans quelle mesure les faces d'un cristal peuvent varier dans leur taille ou dans leur forme; l'angle interfacial reste constant, pourvu que les mesures soient effectuées à la même température ».

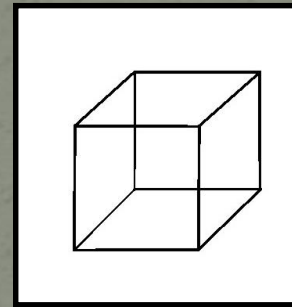
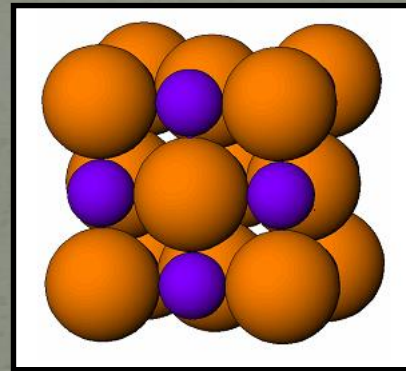


# La structure interne des cristaux

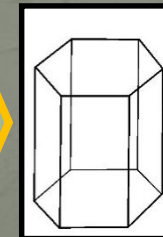
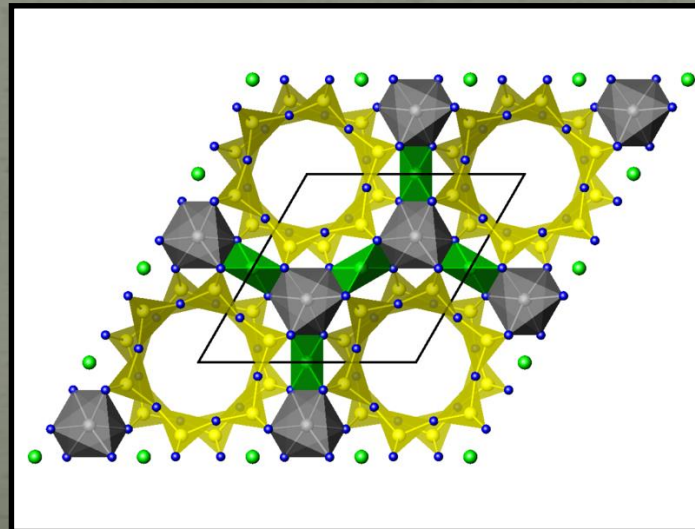
Les faces du cristal sont le reflet de l'arrangement périodique tridimensionnel des atomes



1911: Découverte de la diffraction des rayons X par les cristaux



Halite, NaCl, Système cubique



Béryl,  $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$ , syst. hexagonal

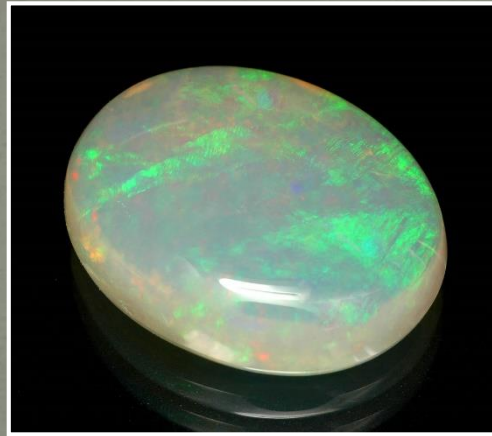


# Les minéraux

- Corps solides
- Inorganiques
- Cristallins
- Produits par des processus géologiques



Mercure, Hg  
Minéral liquide



Opale,  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$   
Minéral amorphe



Ambre  
Minéral organique



Whewellite,  $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$   
Bio-minéral



# Les gemmes



- Minéral (origine naturelle)
- Taillé ou poli
- Qualités esthétiques suffisantes pour l'utiliser en joaillerie, en orfèvrerie, ...

## Valeur d'une gemme:

- Esthétique (couleur, limpidité, type de taille)
- Rareté
- Durabilité (caractéristiques physiques: dureté, clivages, ...)

## Couleur des gemmes:

- La même espèce minérale peut présenter diverses couleurs.
- Ces variétés sont considérées comme des gemmes différentes, alors que pour le minéralogiste, il s'agit d'un seul et même minéral.

- 1 seule espèce minérale (corindon,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ )
- 2 variétés gemmologiques



Rubis



Saphir



# Les « pierres précieuses »

Diamant



Saphir



Emeraude



Rubis



# Les pierres « semi-précieuses » ou « pierres fines »

Table 15.1  
**GEM MINERALS\***

|                    |                  |                          |
|--------------------|------------------|--------------------------|
| NATIVE<br>ELEMENTS | TUNGSTATES       | SILICATES<br>(continued) |
| <b>Diamond</b>     | Scheelite        | Axinite                  |
| SULFIDES           | PHOSPHATES       | <b>Beryl</b>             |
| Sphalerite         | Beryllonite      | Cordierite               |
| Pyrite             | Apatite          | <b>Tourmaline</b>        |
| OXIDES             | Amblygonite      | Enstatite-               |
| Zincite            | Brazilianite     | hypersthene              |
| <b>Corundum</b>    | <b>Turquoise</b> | Diopside                 |
| Hematite           | Variscite        | <b>Jadeite</b> (jade)    |
| Rutile             | SILICATES        | Spodumene                |
| Anatase            | Phenacite        | Rhodonite                |
| Cassiterite        | Willemite        | <b>Tremolite-</b>        |
| <b>Spinel</b>      | <b>Olivine</b>   | <b>actinolite</b>        |
| Gahnite            | <b>Garnet</b>    | (nephrite jade)          |
| <b>Chrysoberyl</b> | <b>Zircon</b>    | Serpentine               |
| HALIDES            | Euclase          | Talc                     |
| Fluorite           | Andalusite       | Prehnite                 |
| CARBONATES         | Sillimanite      | Chrysocolla              |
| Calcite            | Kyanite          | Diopside                 |
| Rhodochrosite      | <b>Topaz</b>     | <b>Quartz</b>            |
| Smithsonite        | Staurolite       | <b>Opal</b>              |
| Aragonite          | Datolite         | Feldspar                 |
| Malachite          | Titanite         | Danburite                |
| Azurite            | Benitoite        | Sodalite                 |
| SULFATES           | Zoisite          | Lazurite                 |
| Gypsum             | Epidote          | Petalite                 |
|                    | Vesuvianite      | Scapolite                |
|                    |                  | Thomsonite               |

\*Colored photographs of many of these minerals and gems cut from them are given in Plates I–IV.

Tourmaline



Améthyste



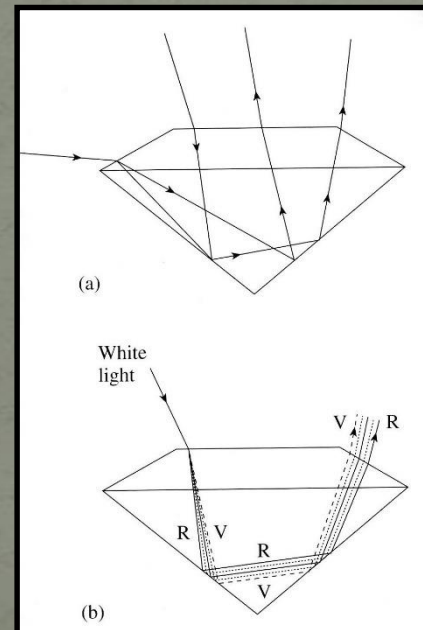
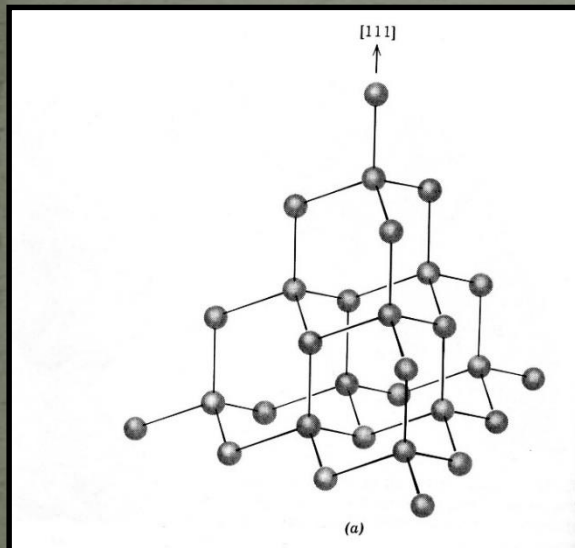
Aigue-marine





# Le diamant

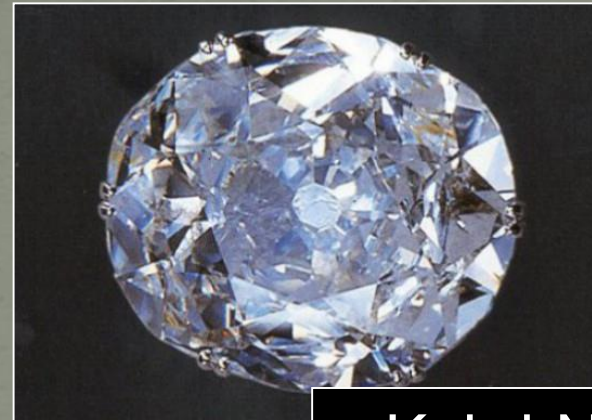
- Formule chimique : C
- Système cristallin : Cubique
- Propriétés physiques : Clivage {111} parfait ; **dureté 10** ; densité 3,52 ; éclat adamantin à gras ; **n = 2,42**, dispersion forte



# Diamants célèbres

Table 31.3 Large and famous diamonds

| Name                 | Weight in carats |                        | Origin                      | Present display         |
|----------------------|------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------|
|                      | Original         | Cut                    |                             |                         |
| Cullinan             | 3106             | 550, etc. <sup>a</sup> | Premier, South Africa       | British Crown           |
| Excelsior            | 995              | 21 stones              | Jagersfontein, South Africa | Tiffany, New York       |
| Star of Sierra Leone | 969              | 770                    | Sierra Leone                | British Crown           |
| Great Mogul          | 793              | 280                    | India                       | Unknown                 |
| Vargas, brown        | 728              |                        | Brazil                      | Unknown                 |
| Jubilee              | 650              | 245                    | Jagersfontein, South Africa | Saudi Arabia            |
| Regent               | 410              | 140                    | India                       | Louvre, Paris           |
| Star of Yakutia      | 343              | 232                    | Yakutia, Russia             | Treasury, Moscow        |
| Orloff               | 787              | 190                    | India                       | Treasury, Moscow        |
| Oppenheimer, yellow  | 254              |                        | Kimberley, South Africa     | Smithsonian             |
| Centenary            | 600              | 274                    | Premier, South Africa       | British Crown           |
| Tiffany, yellow      | 287              | 129                    | Kimberley, South Africa     | Tiffany & Co., New York |
| Koh-i-Noor           | >600             | 109                    | India                       | British Crown           |
| Sancy                | 55               |                        | India                       | Louvre, Paris           |
| Hope, blue           | 112              | 45                     | India                       | Smithsonian             |



« Koh-i-Noor »



« Hope »



# Qualité des diamants (règle des 4C)

## Le poids (Carat)



7.00 carats  
12.4mm



6.00 carats  
11.7mm



5.00 carats  
11mm



4.00 carats  
10.2mm

## La couleur (Colour)



D E F

COLORLESS



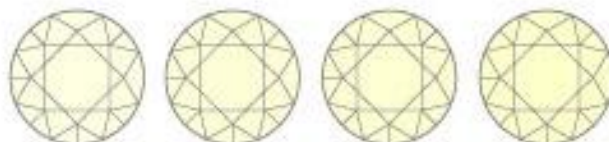
K L M

YELLOW TINGE



G H I J

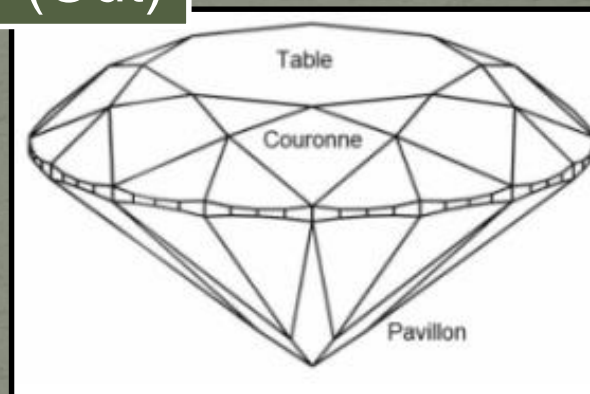
NEAR COLORLESS



N O P Q

LIGHT YELLOW

## La taille (Cut)



## La limpidité (Clarity)

### DIAMOND CLARITY GRADING



**F - IF**  
Flawless or  
Internally  
Flawless

**VVS1-VVS2**  
Very Very  
Slight  
Inclusions

**VS1- VS2**  
Very  
Slight  
Inclusions

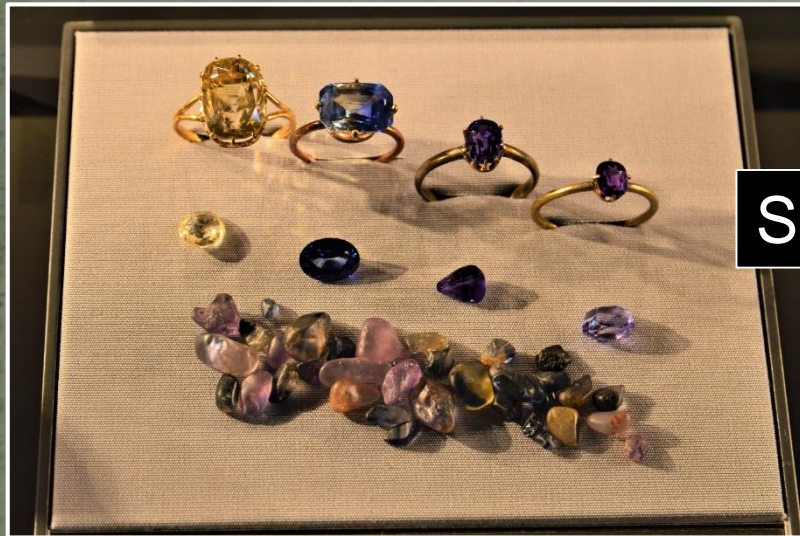
**SI1-SI2**  
Slight  
Inclusions

**I1-I3**  
Inclusions

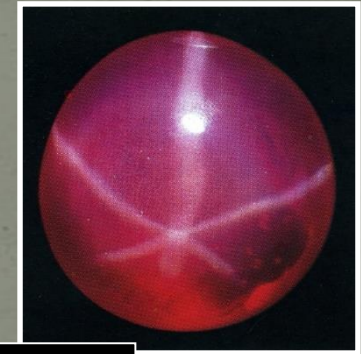


# Les variétés de corindon (rubis et saphir)

- Formule chimique :  $\text{Al}_2\text{O}_3$
- Système cristallin : Rhomboédrique
- Propriétés physiques : Plans de débitage {0001} et {101} ; **dureté 9** ; densité 4,02 ; éclat adamantin à vitreux ;  $n_e = 1,760$ ,  $n_o = 1,769$ , U-.



Saphirs



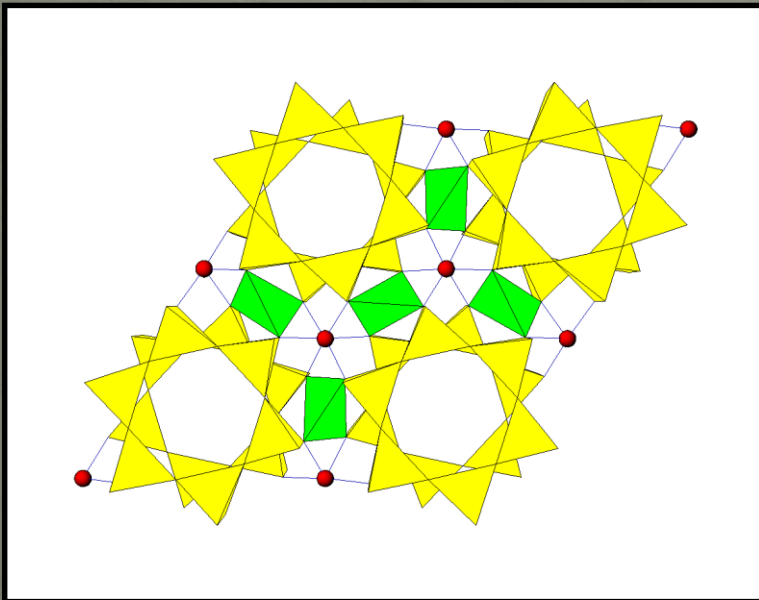
Rubis





# Les variétés de béryl

- Formule chimique :  $\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$
- Système cristallin : Hexagonal
- Propriétés physiques : Clivage {0001} imparfait ; **dureté 8** ; densité 2,65-2,80 ; éclat vitreux ;  $n_e = 1,557-1,599$ ,  $n_o = 1,560-1,602$ , U-.



Emeraude



Aigue-marine



# Le groupe du béryl



Héliodore



Pezzottaite



Morganite

Goshénite





# Les variétés de quartz

- Formule chimique :  $\text{SiO}_2$
- Système cristallin : Rhomboédrique



Quartz fumé



Améthyste

Citrine



Cristal de roche





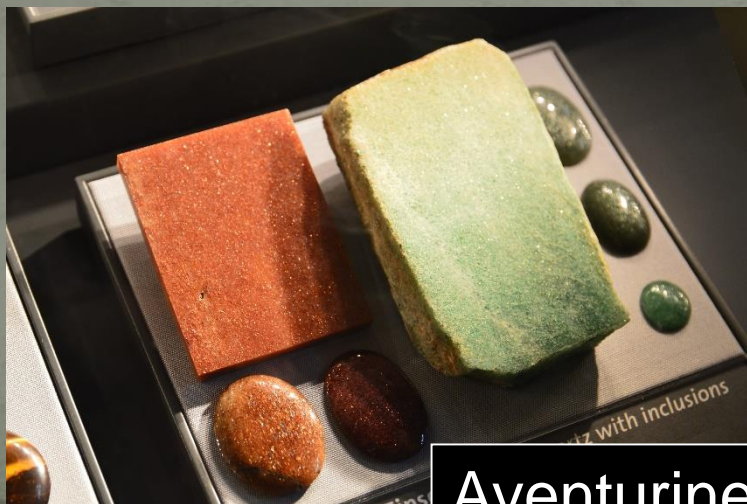
# Les variétés de quartz



Oeil de tigre



Cheveux de Vénus



Aventurine

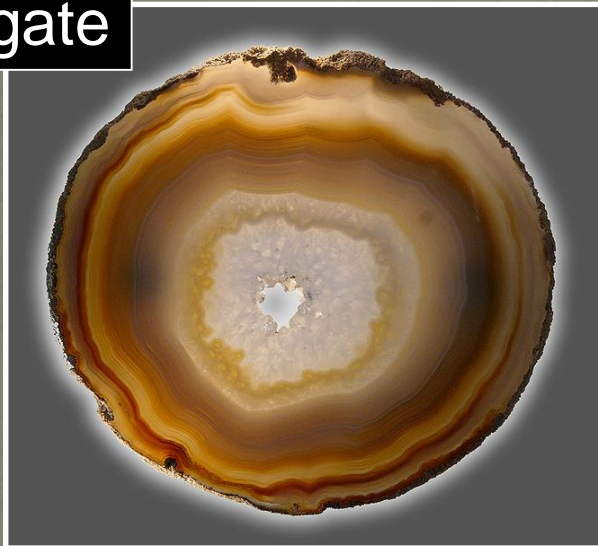


Quartz hématoïde



# Calcédoine et opale

Agate



Cornaline



Opale noble



Opale de feu



Chrysoprase



Onyx



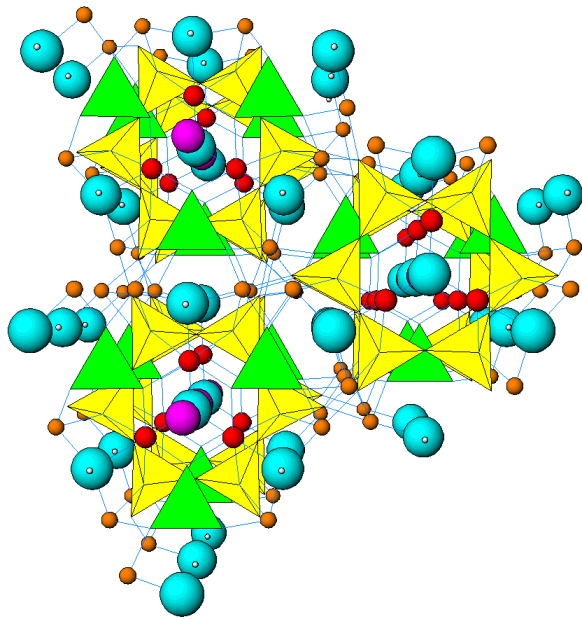


# Le groupe de la tourmaline

- Formule chimique :  $\text{Na}(\text{Mg}, \text{Fe})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3[\text{Si}_6\text{O}_{18}](\text{OH})_4$
- Système cristallin : Rhomboédrique



- Schorl:  $\text{NaFe}_3\ldots$
- Dravite:  $\text{NaMg}_3\ldots$
- Elbaïte:  $\text{Na}(\text{Li}, \text{Al})_3\ldots$



Dravite

Schorl





# L'elbaïte multicolore

Elbaïte



Tourmaline « Paraiba »





# Le groupe des grenats

- Formule chimique :  $R^{2+}_3R^{3+}_2[\text{SiO}_4]_3$
- Système cristallin : Cubique



Spessartine,  $\text{Mn}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$



Almandin,  $\text{Fe}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$



Pyrope,  $\text{Mg}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$





# Variétés de grenats

Hessonite



Grossulaire,  $\text{Ca}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$



Tsavorite



Démantoïde



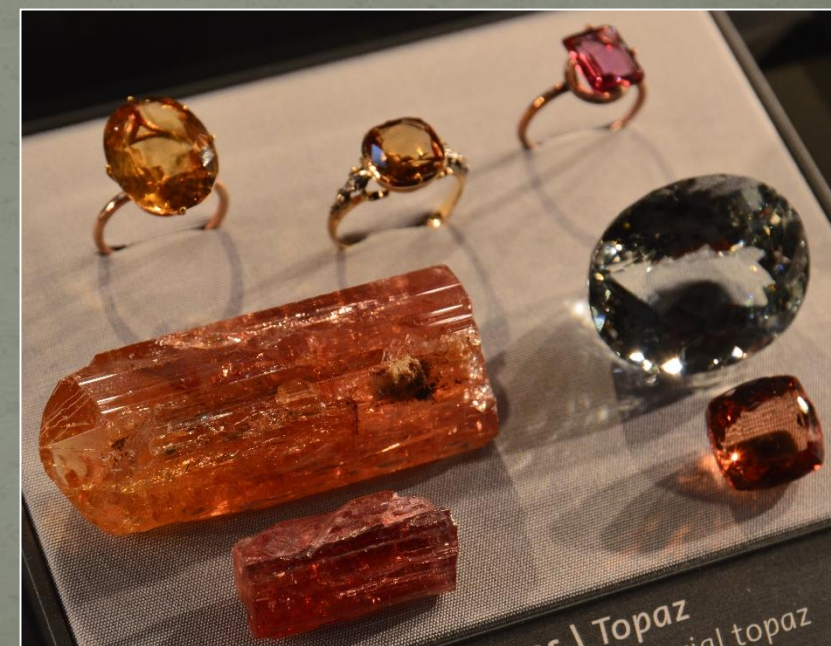
Andradite,  $\text{Ca}_3\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]_3$



Mélanite



# La topaze





# Spinelle et péridot



Spinelle

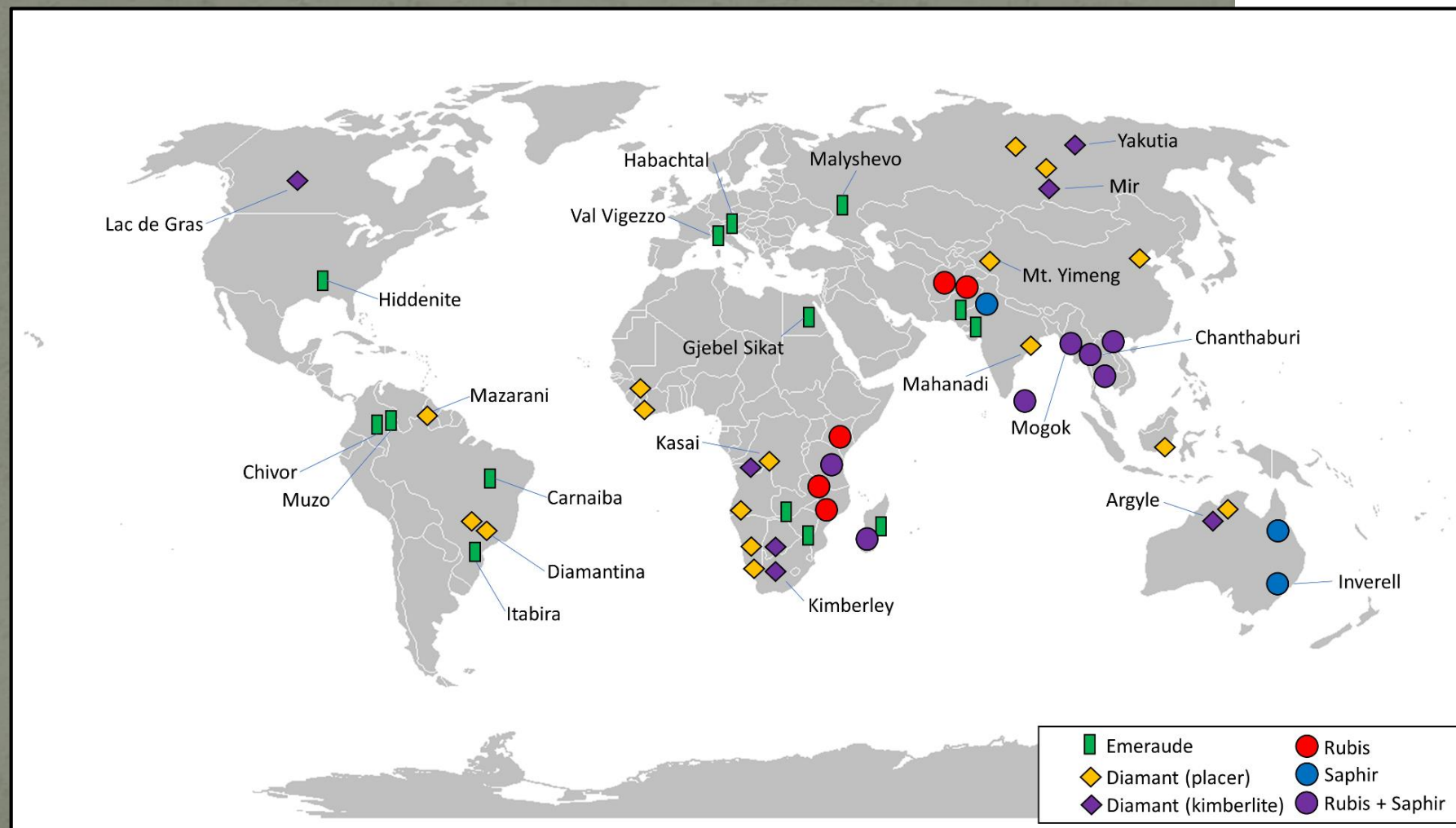


Péridot





# Les gisements de pierres précieuses



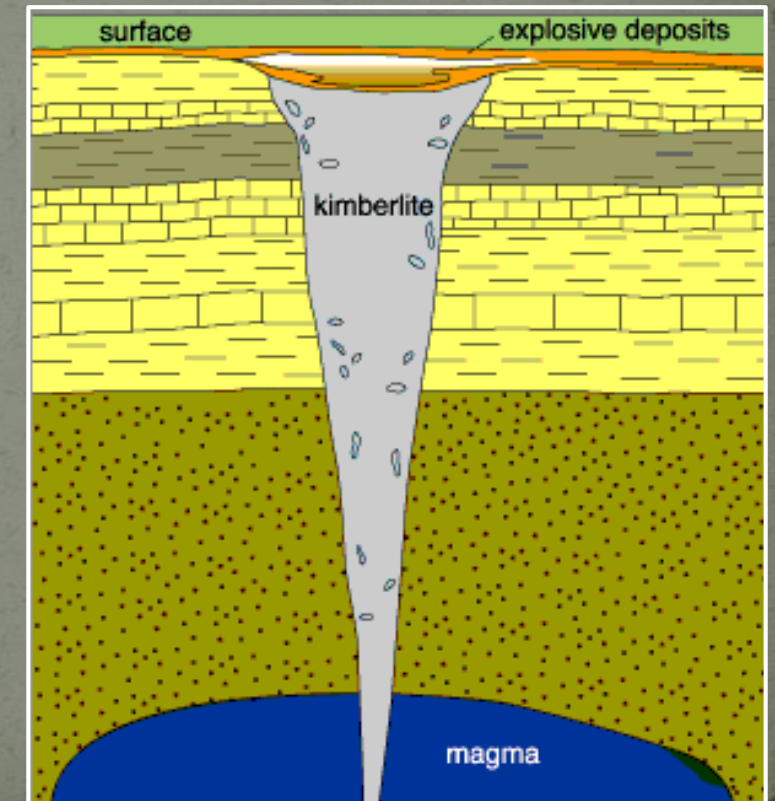
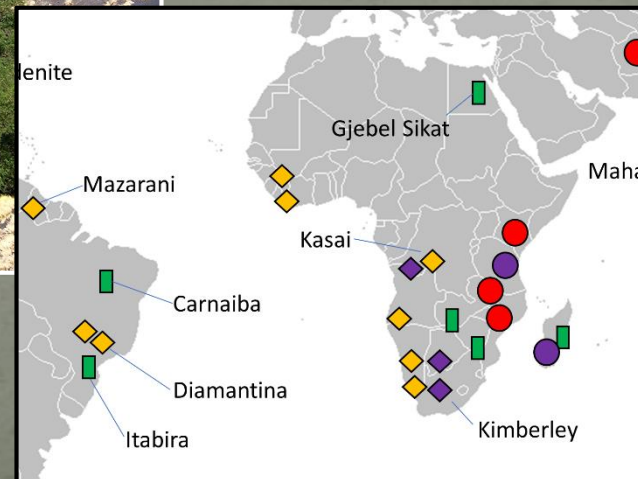


# Formation du diamant: les kimberlites

- 140-190 km
- 1100-1400°C
- 1 à 3 milliards d'annéesC



« Big Hole »





# Les pegmatites granitiques

Spodumène



Aigue-marine



Elbaïte



- Roche magmatiques à grands cristaux
- Concentrent des éléments rares (Li, B, Ta, Be, Cs...)
- Cavités miarolitiques contenant des gemmes



Topaze

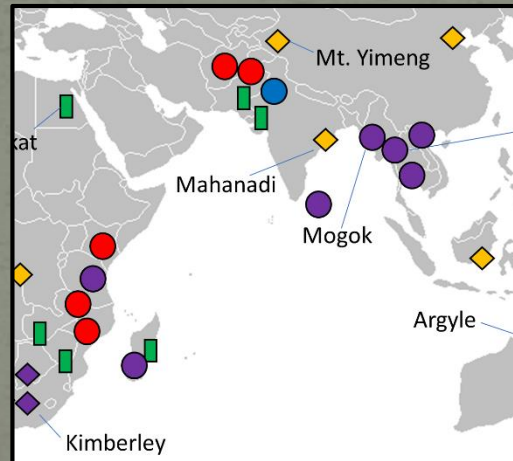


# Les gisements de rubis et saphirs

Birmanie  
Mozambique  
Madagascar

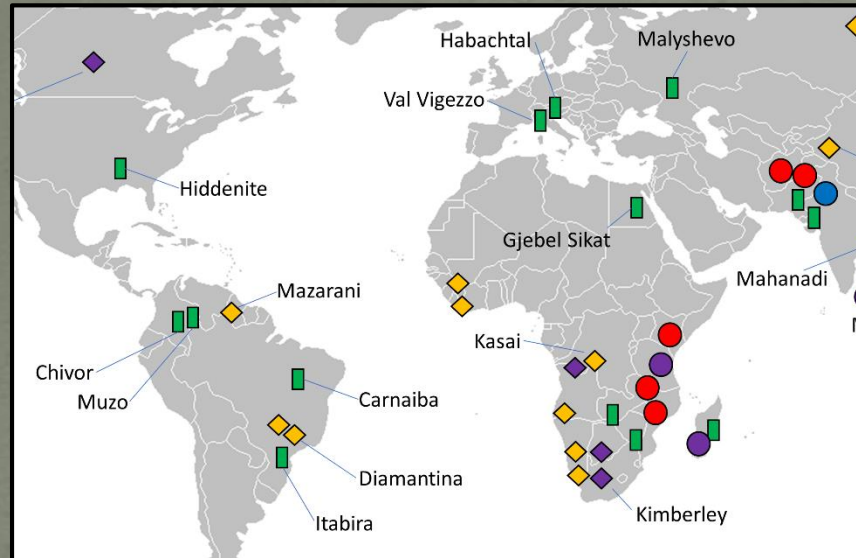
- Marbres métamorphiques
- Roches métamorphiques recristallisées

Ceylan  
Birmanie  
Cambodge  
Madagascar





# Les gisements d'émeraude



Emeraude, Russie



Emeraude, Habachtal



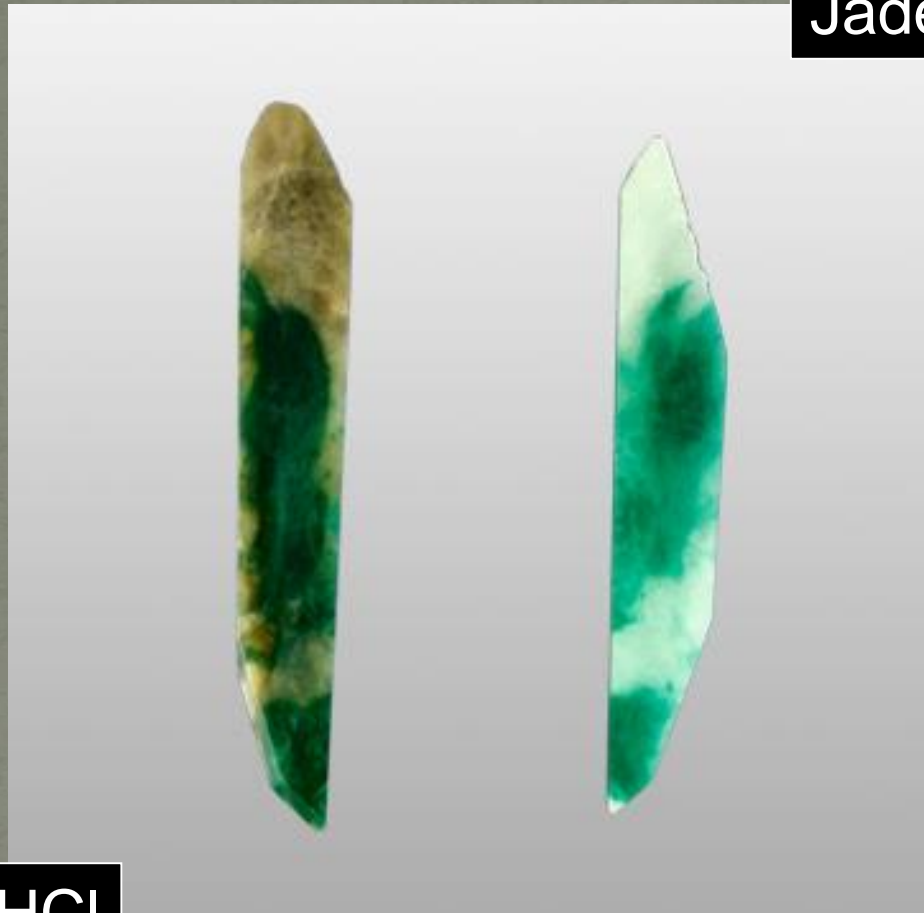
Emeraude, Colombie

- Micaschistes
- Veines de carbonates dans des schistes graphitiques



# Blanchiment

Jade



HCl

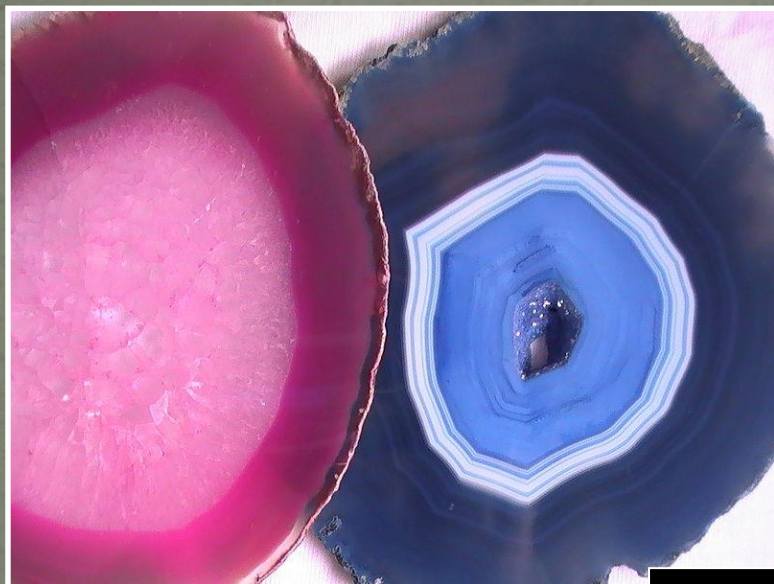
Perles



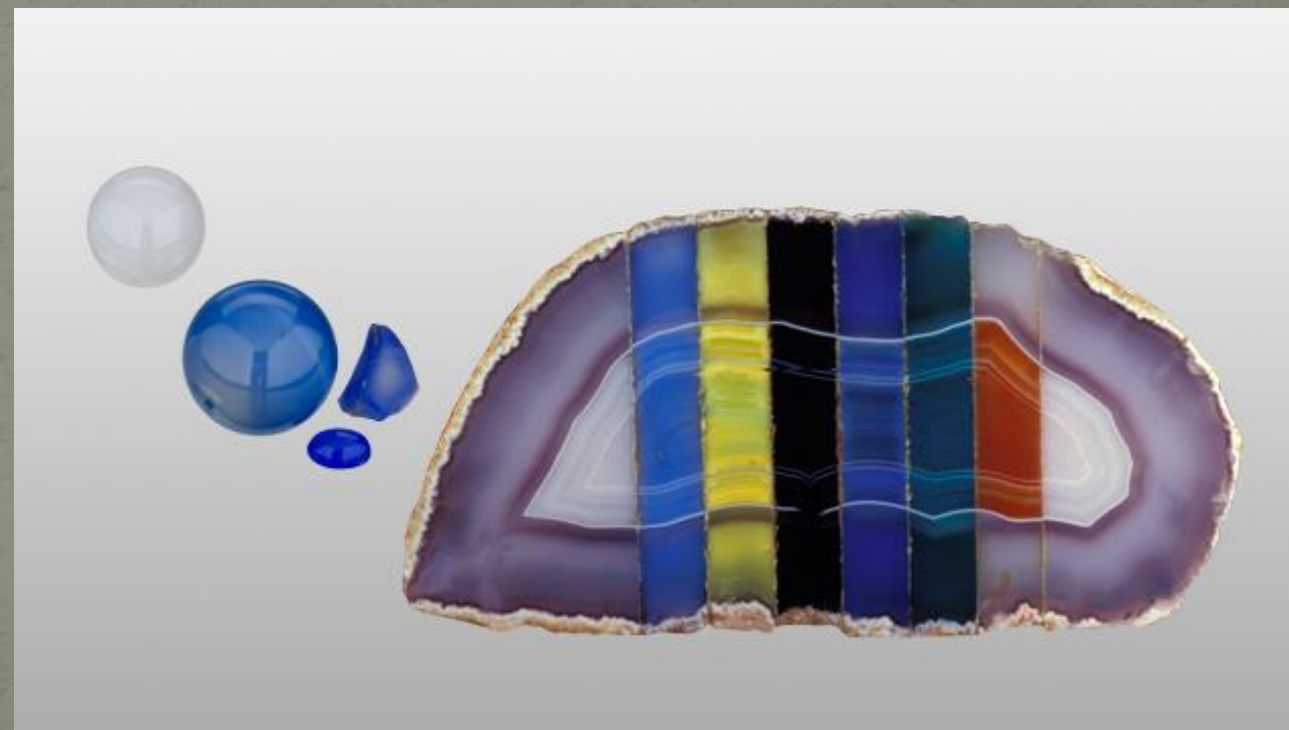
H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>



# Bains colorants



Agate





# Remplissage de fractures

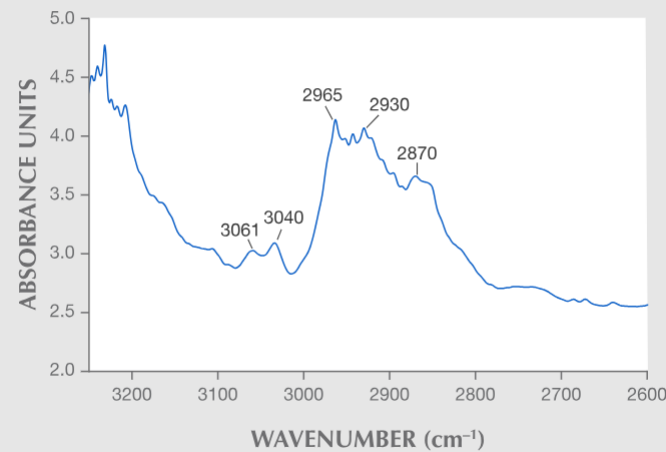
**Emeraude**



**UV-light**



**IR SPECTRUM**



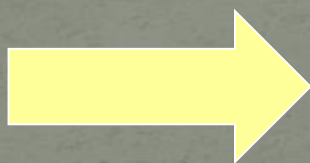
- Huiles
- Résine epoxy



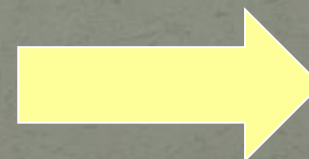
# Chauffage



Topaze



Améthyste



Citrine



# Chauffage



Aigue-marine

Tanzanite

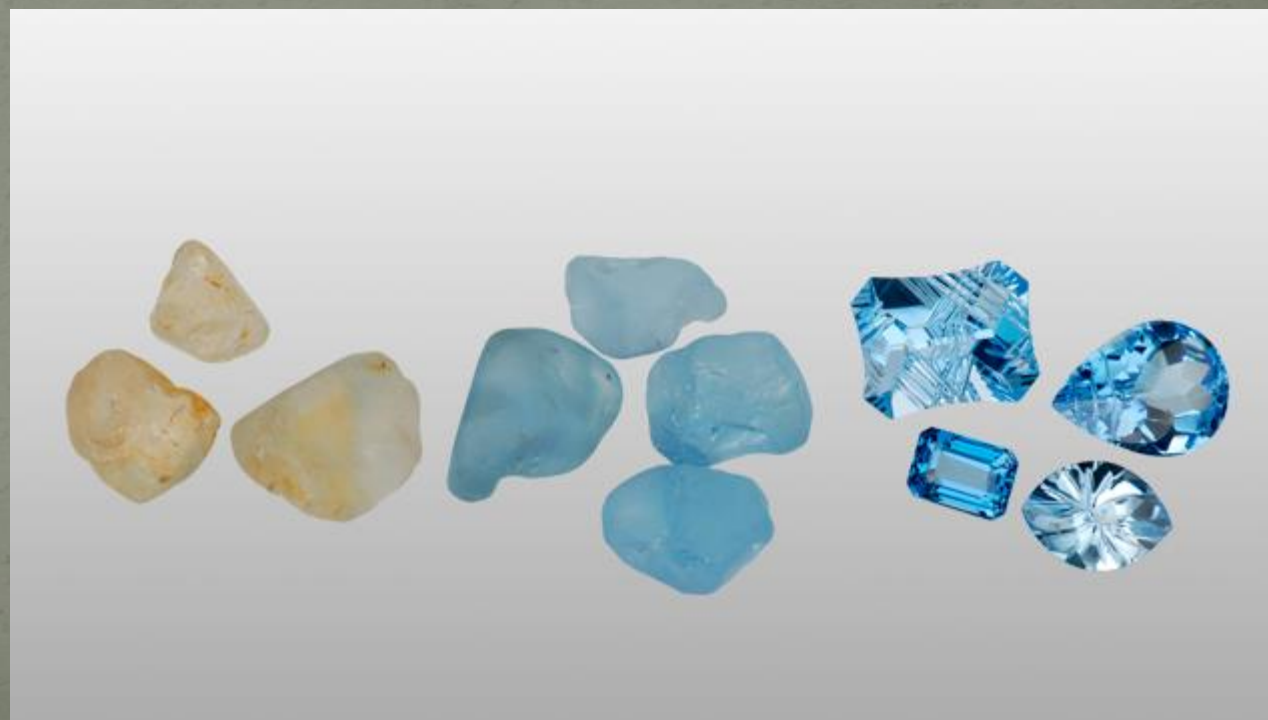




# Irradiation

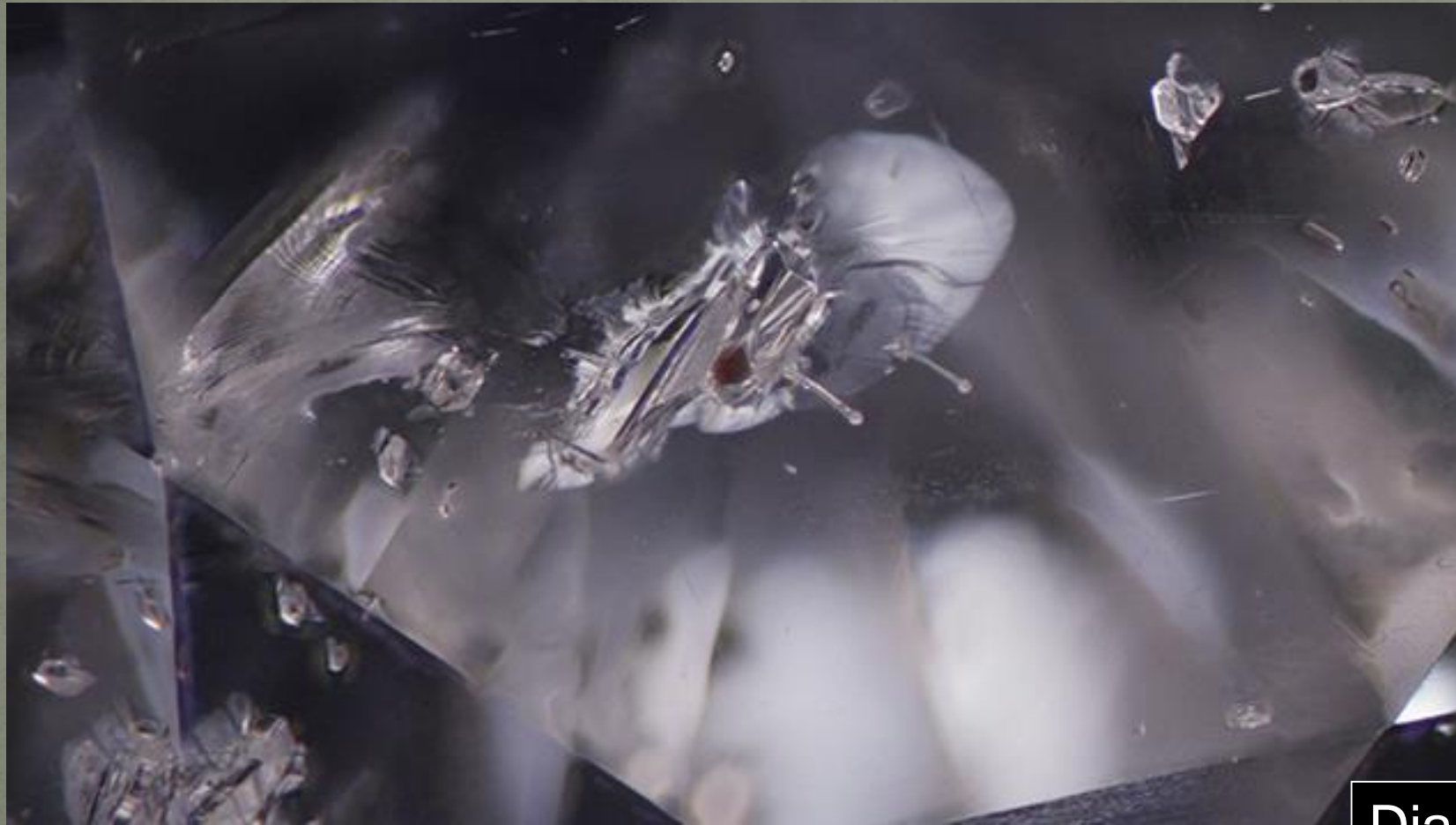


Topaze





## « Laser drilling »



Diamants

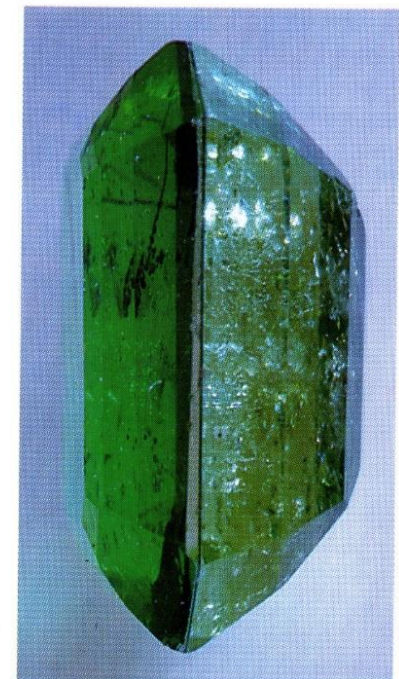
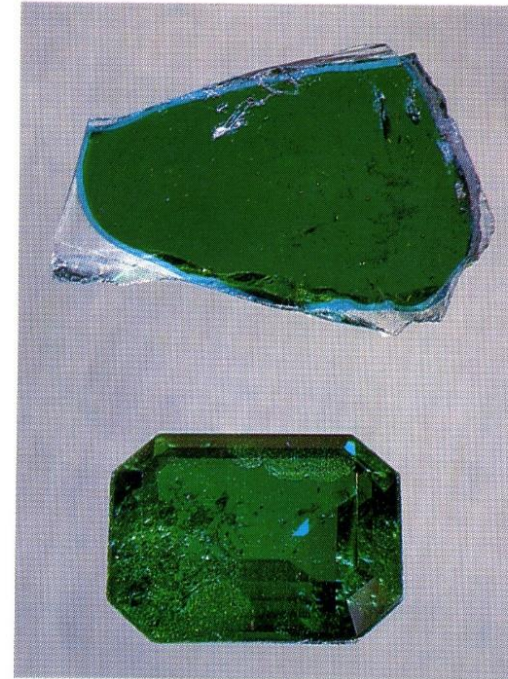


## Doublets et triplets



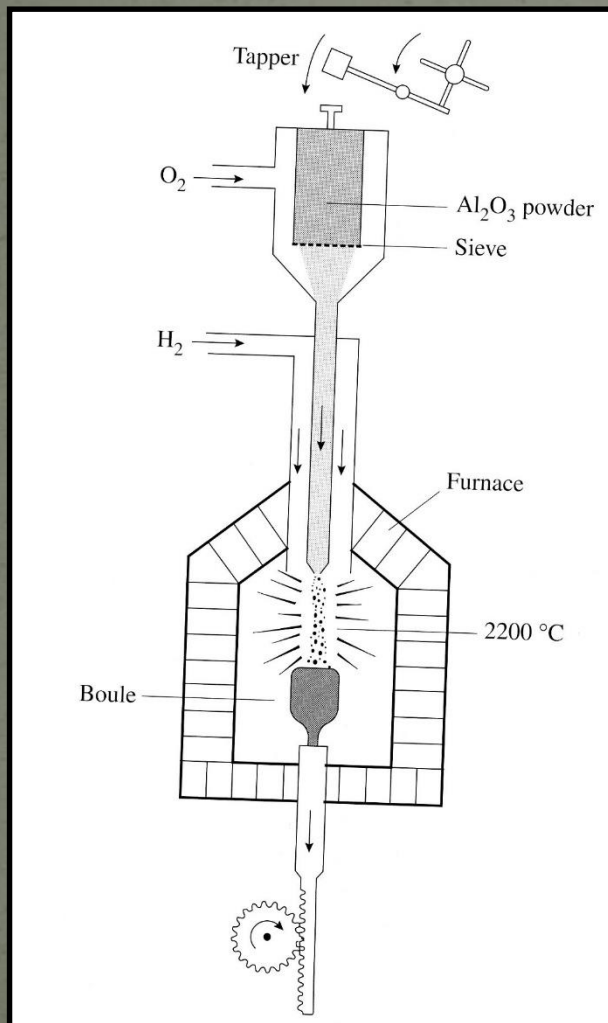
Grenat – Verre coloré

Quartz – Verre coloré - Quartz





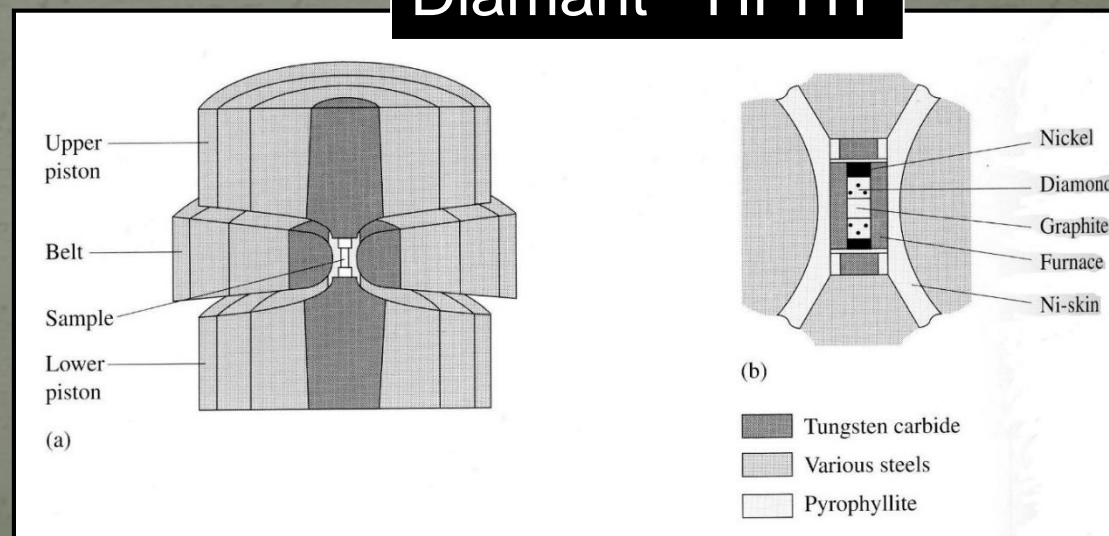
# Méthodes de synthèse



Corindons  
« Verneuil »



Diamant - HPHT





# Partie II: Gemmes et verroteries dans l'ornementation de reliquaires médiévaux



1. Présentation des reliquaires
2. Méthodes d'analyse
3. Les gemmes et leurs origines
4. Les verroteries, datation, méthodes de coloration
5. Discussions

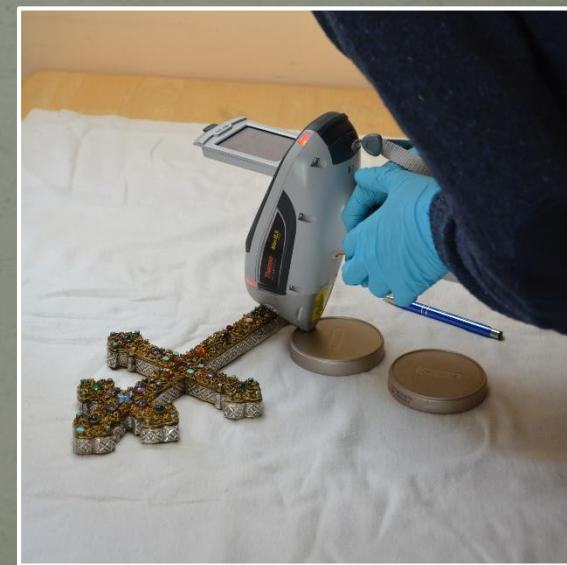


# La croix de Liège



- Croix à double traverse
- 34 cm de longueur
- Découverte en 1914 dans un coffre de la Cathédrale

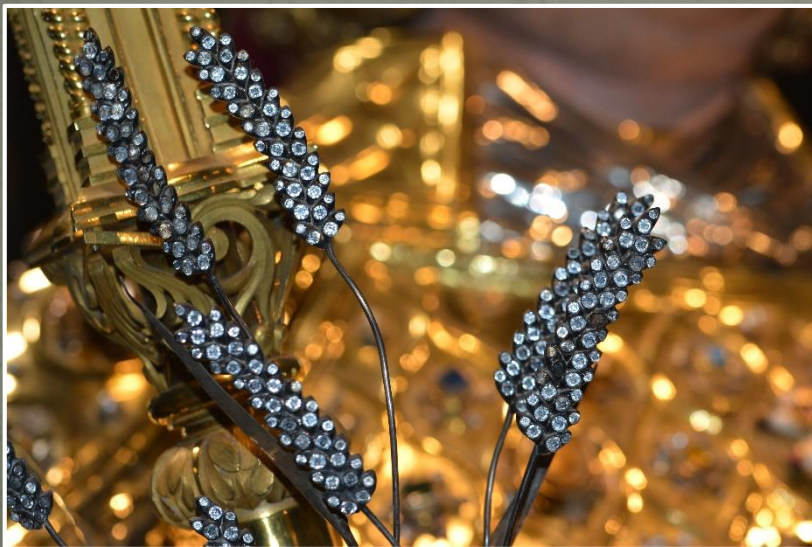
- Filigranes similaires aux œuvres de Hugo d'Oignies
- Vers 1200-1220
- Décorée de 56 gemmes, verroteries et perles





# Le buste-reliquaire de St Lambert

- Réalisé par Hans von Reutlingen
- Inauguré en 1512
- Hauteur 1,59 mètres
- Contient le crâne de St Lambert



- Or et argent doré
- Orné de plus de 400 gemmes, verroteries et perles



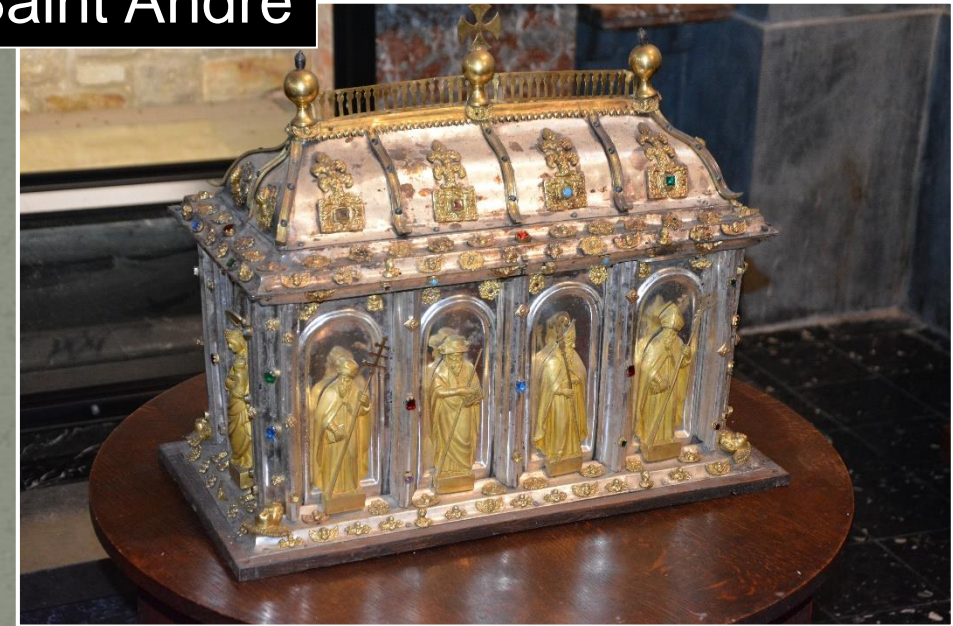
# Les châsses de Lierneux

Saint Symètre



- Œuvre mosane majeure
- Milieu du XIII<sup>ème</sup> siècle
- Argent et cuivre doré
- Ornée de 39 verroteries

Saint André



- Style baroque
- XVII<sup>ème</sup> siècle
- Laiton argenté
- Nombreuses verroteries



# La couronne de Namur



- Début du XIII<sup>ème</sup> siècle
- Abritait une relique des Saintes Epines
- Diamètre 25 cm, hauteur 6 cm

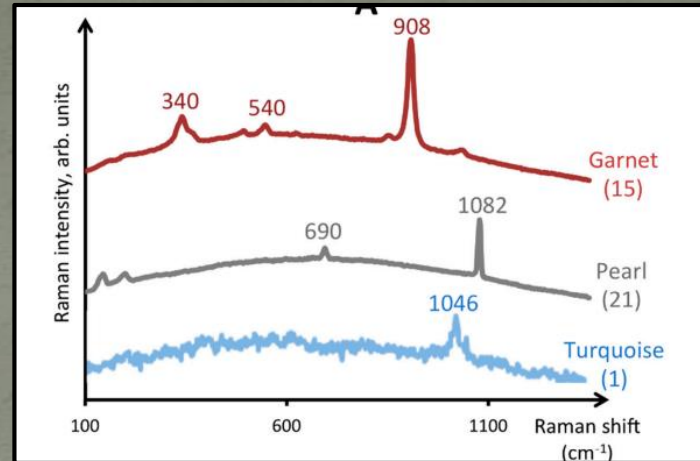
- Or massif
- Filigranes, petites fleurs, 400 gemmes et perles



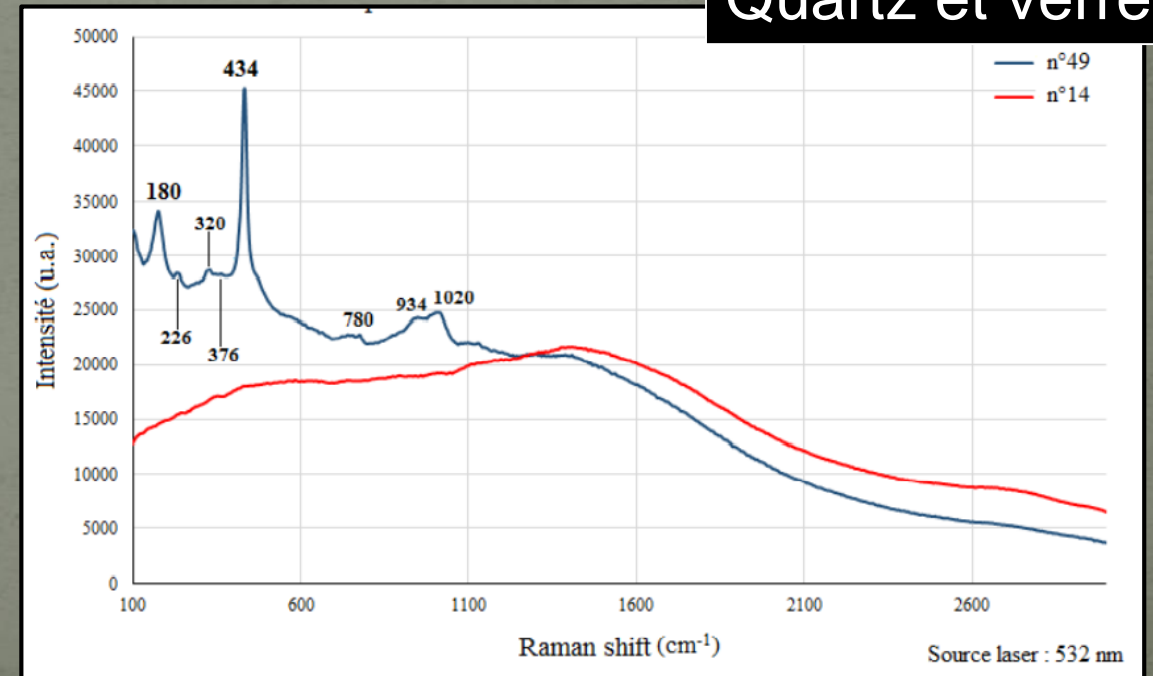


# Spectrométrie Raman

- Informations structurales
- Verre: large « bosse »
- Minéral: pics fins

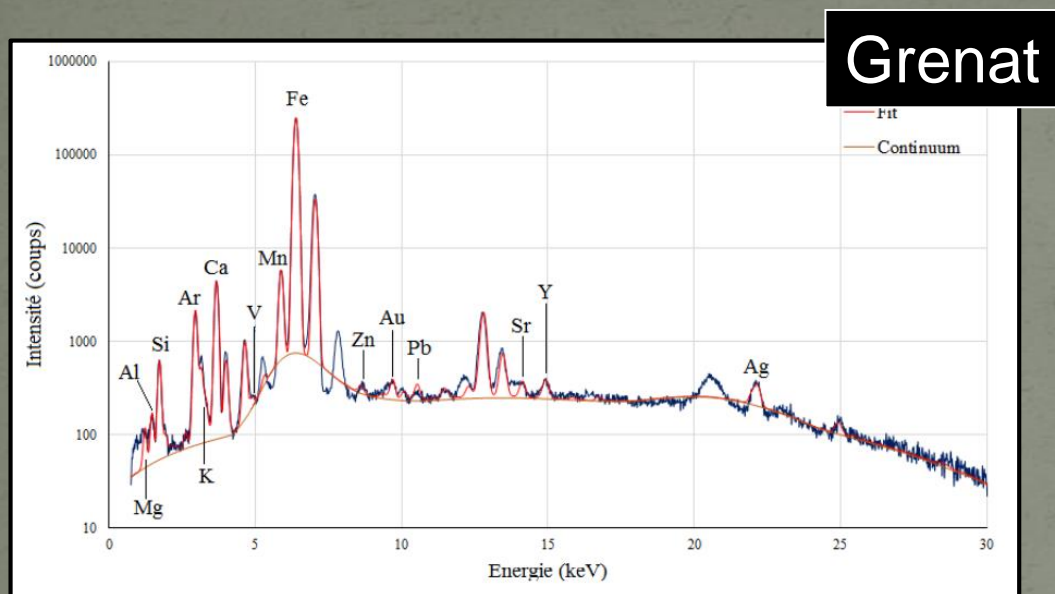


## Quartz et verre

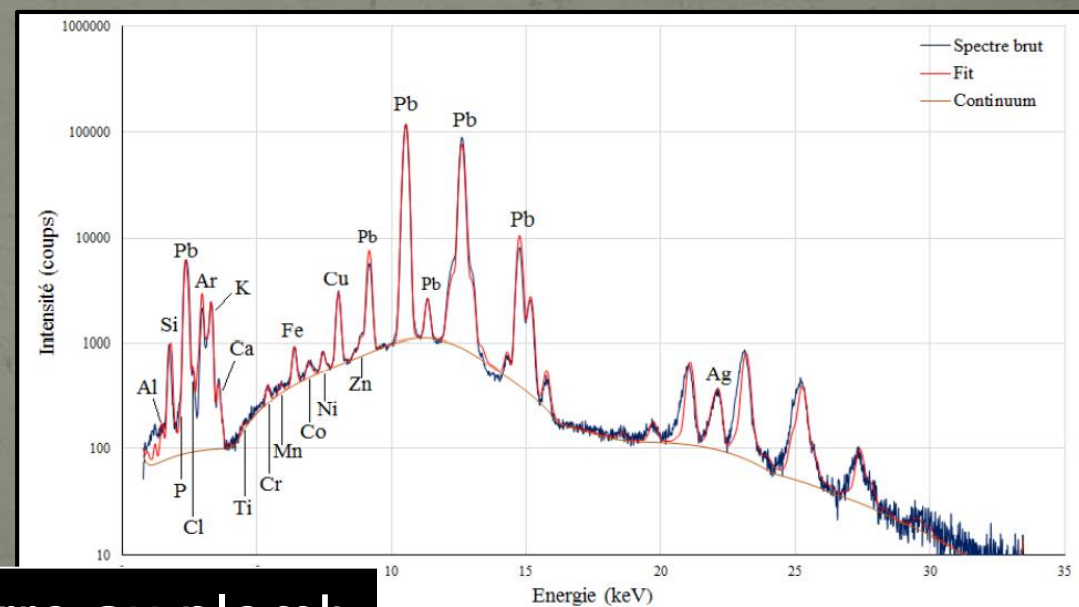




# Spectrométrie de fluorescence X



- Détermination des éléments chimiques majeurs et en traces



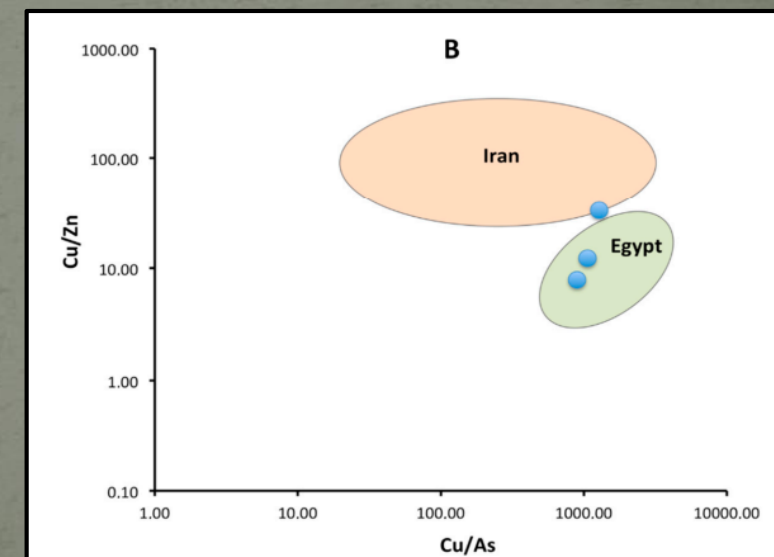
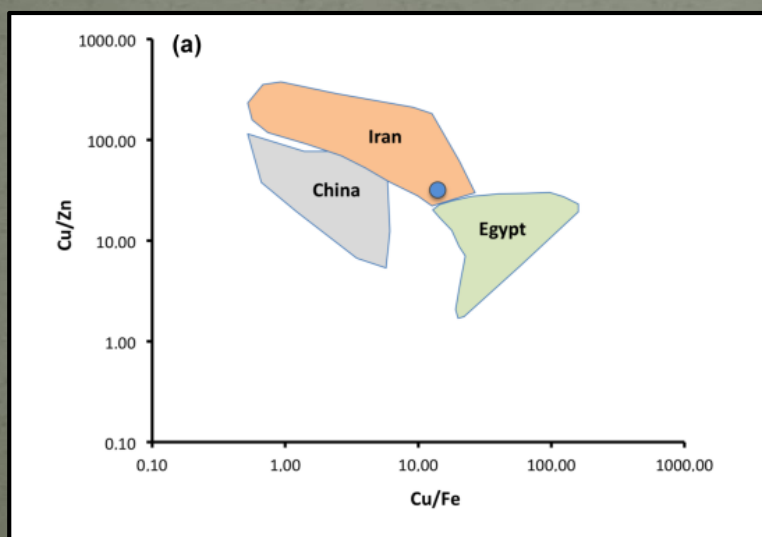
Verre au plomb



# Turquoise

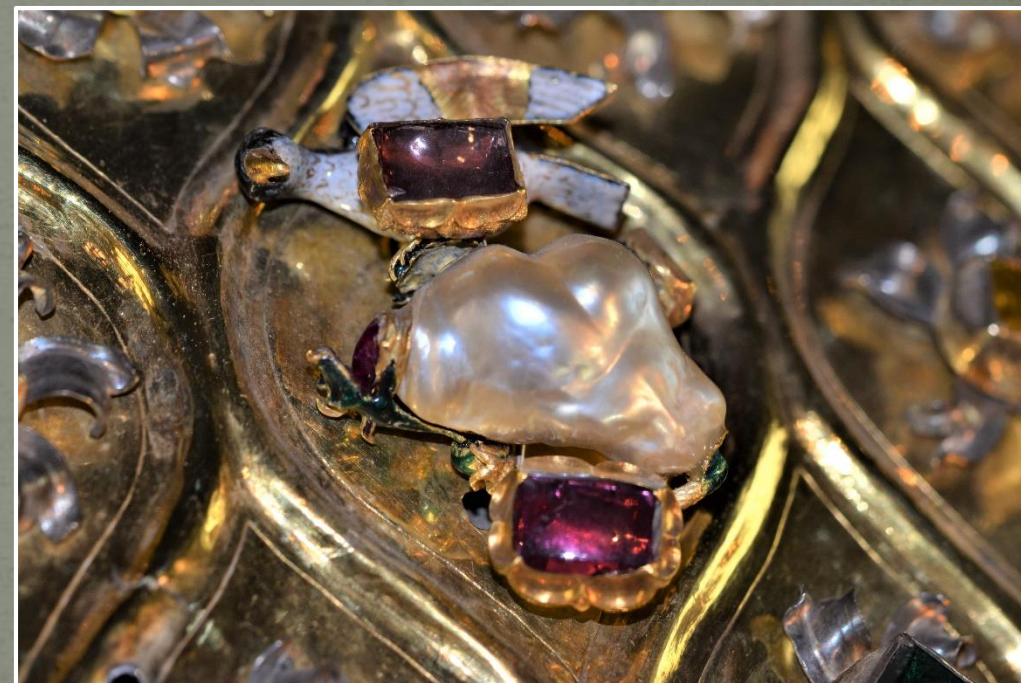


- Couronne de Namur: Iran
- Croix de Liège: Egypte





# Perles

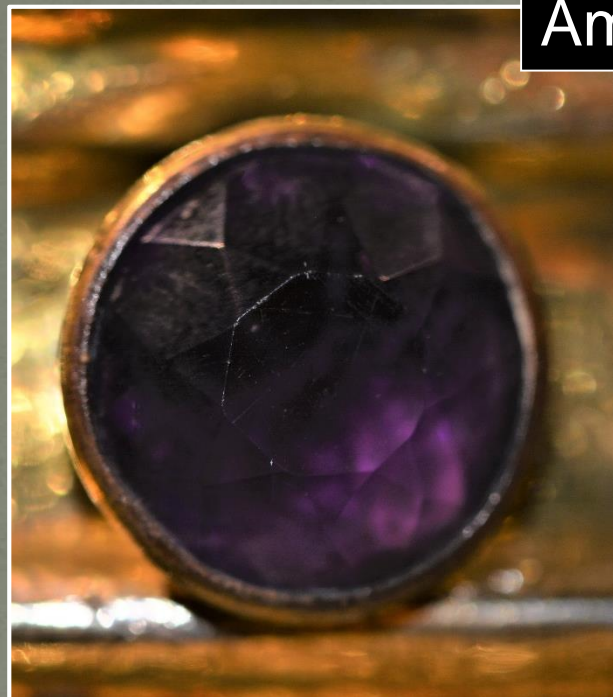


- Faibles concentrations en Sr (290 – 750 ppm)
- Perles d'eau douce (Europe)

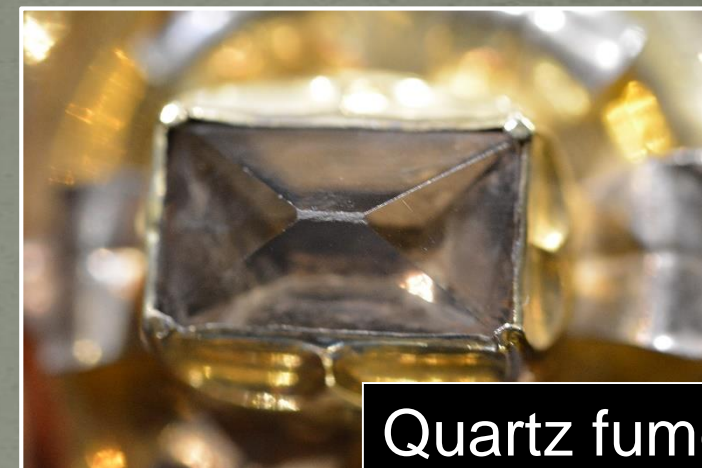


# Variétés de quartz

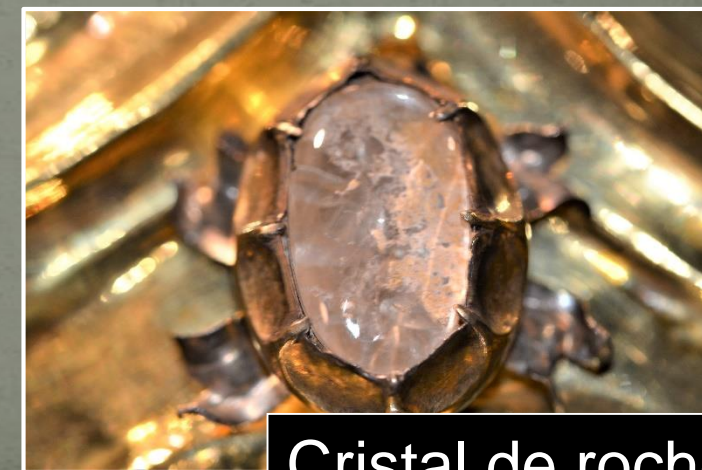
Améthyste



- Peu d'éléments en traces
- Nombreux gisements
- Détermination d'origine difficile



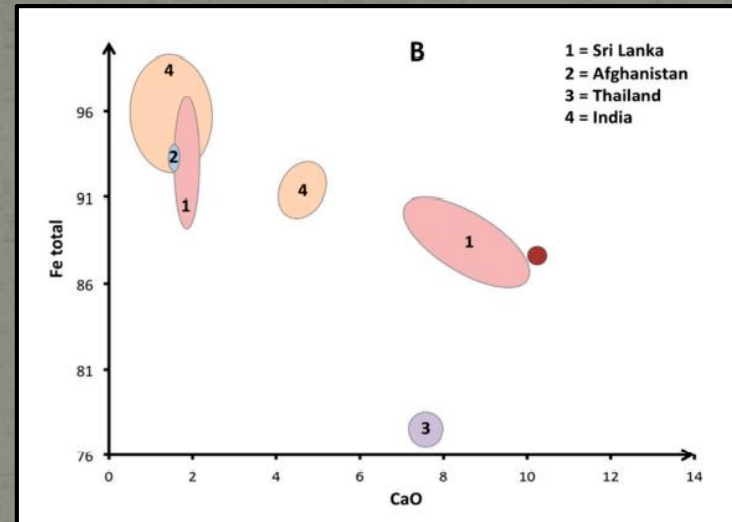
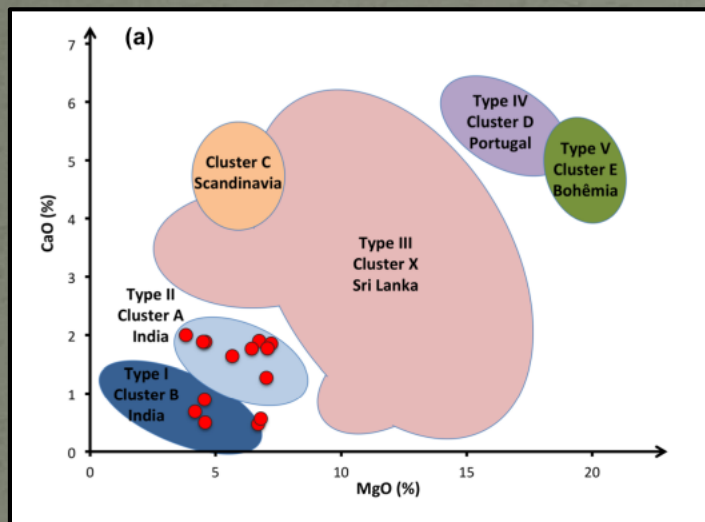
Quartz fumé



Cristal de roche



# Grenats

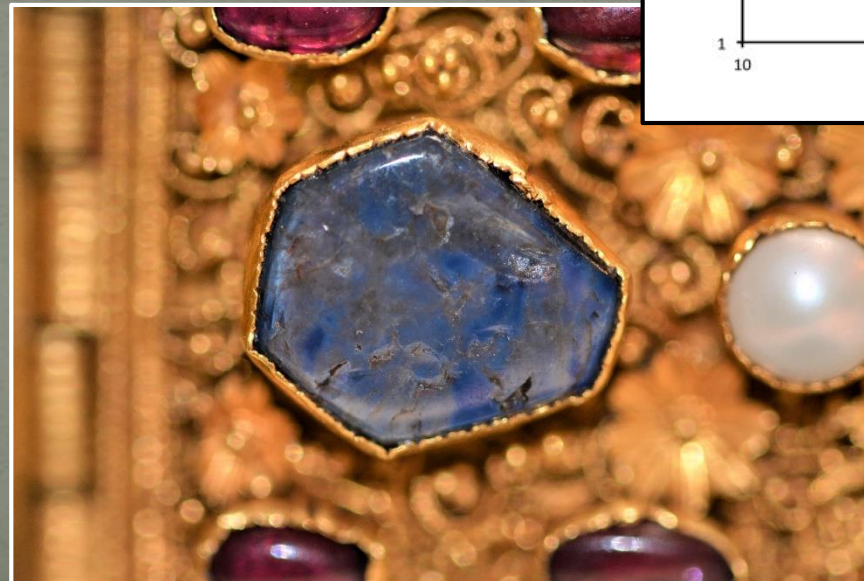
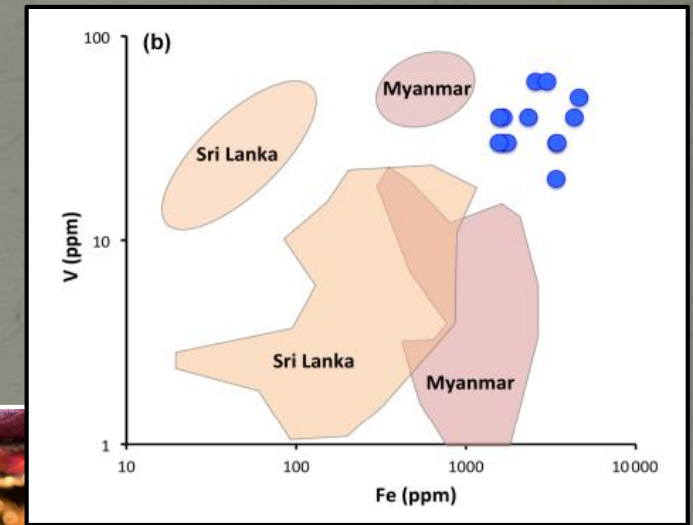


- Couronne de Namur: Inde
- Croix de Liège: Sri Lanka





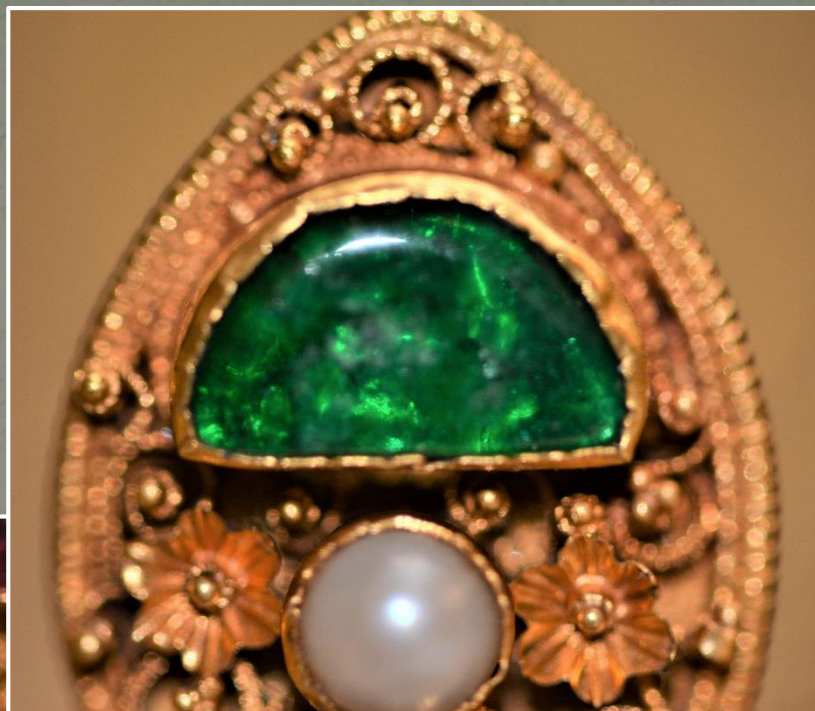
# Saphir



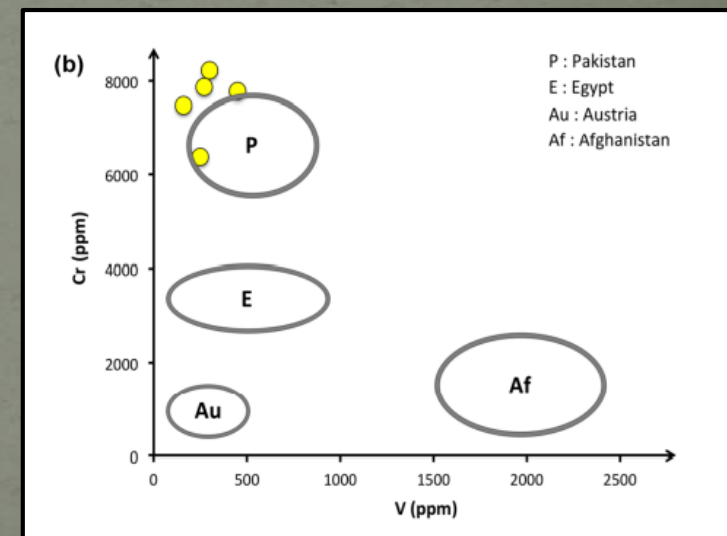
Origine:  
Myanmar



# Emeraude

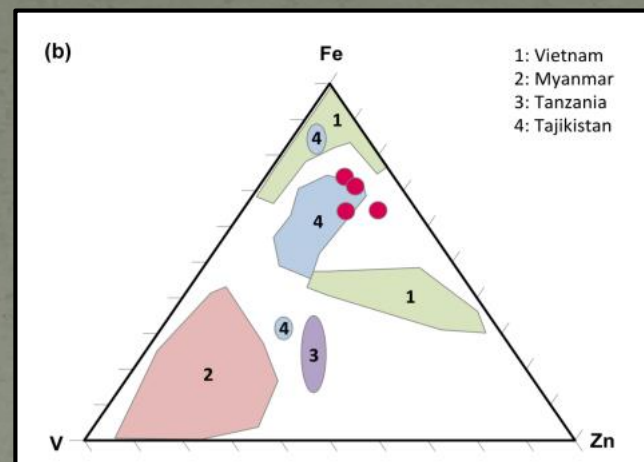


Origine:  
Pakistan





# Spinelle



Origine:  
Tajikistan  
ou  
Vietnam

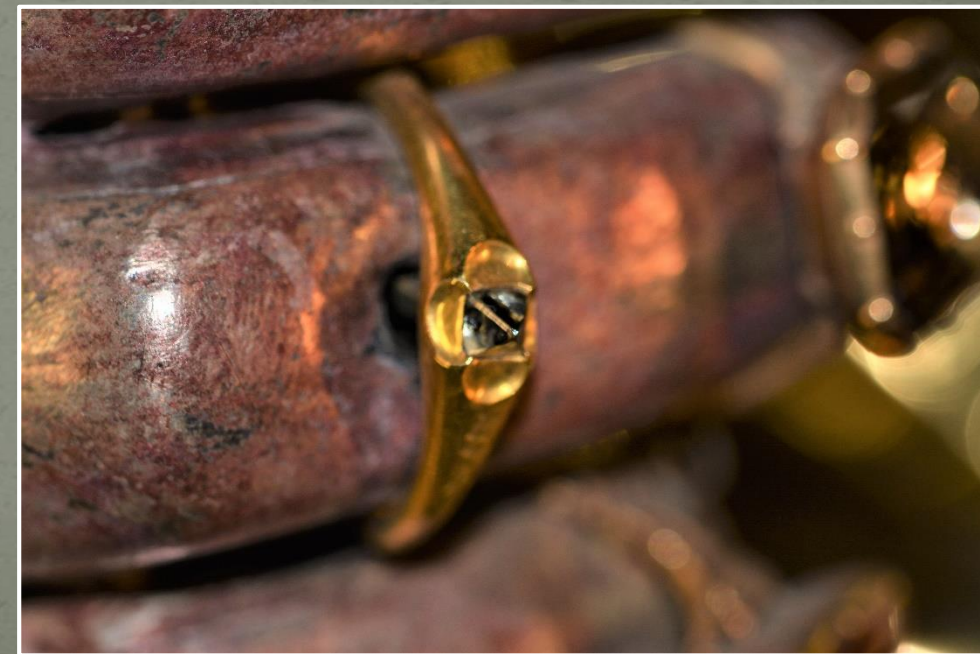




# Diamant

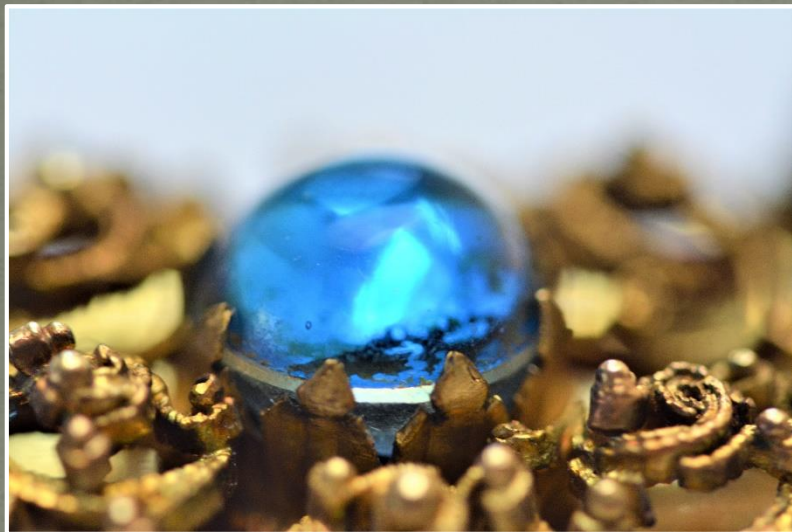


- Deux diamants bruts sur le Buste de St Lambert
- Peu d'éléments en traces
- Origine difficile à déterminer





# Verroteries – Croix de Liège

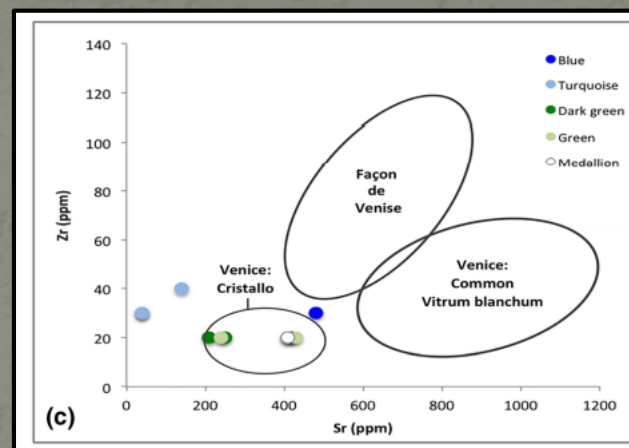


- Polissage en cabochons
- Vert = Cu, Fe
- Bleu = Co
- Verres calco-sodiques parfois riches en plomb



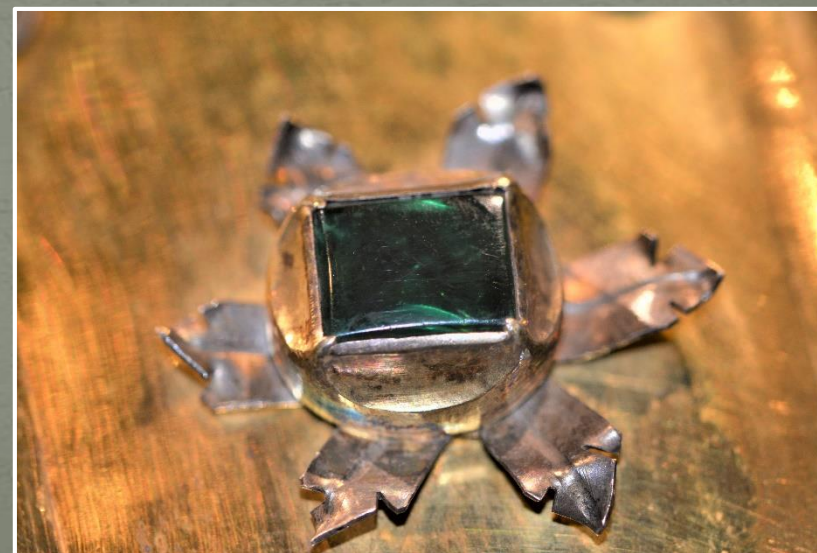


# Verroteries – Buste de St Lambert



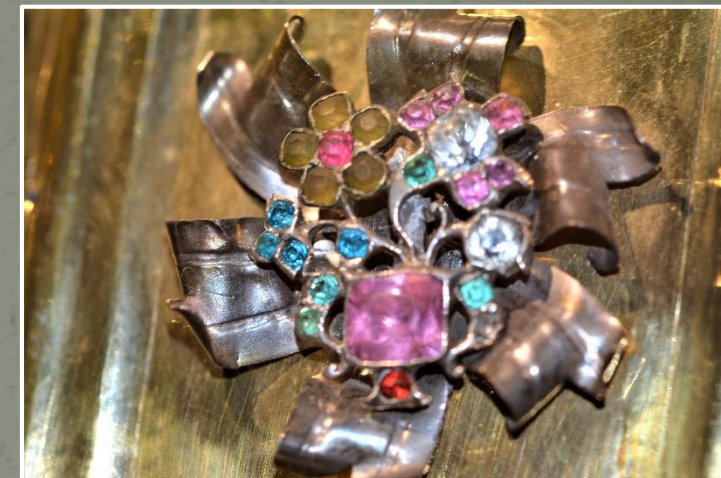
- Bleu = Co, Cu
- Vert = Fe, Cu

- Verres de composition semblable aux verres de Venise
- Sources historiques: achetés par Erard de la Marck à Venise en 1509

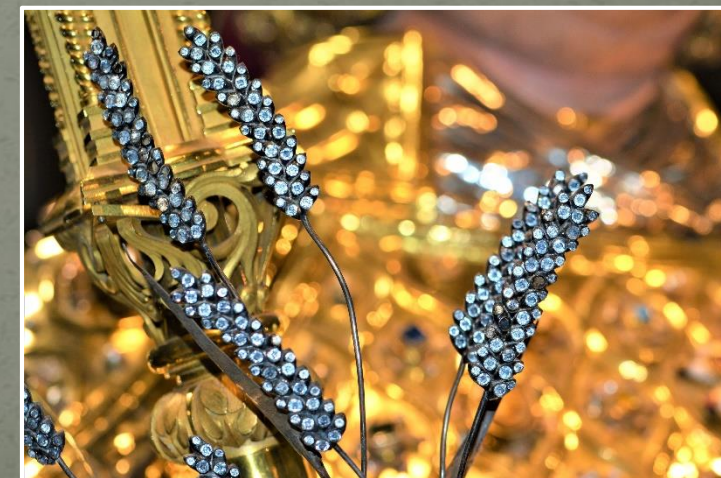




## Verroteries – Buste de St Lambert

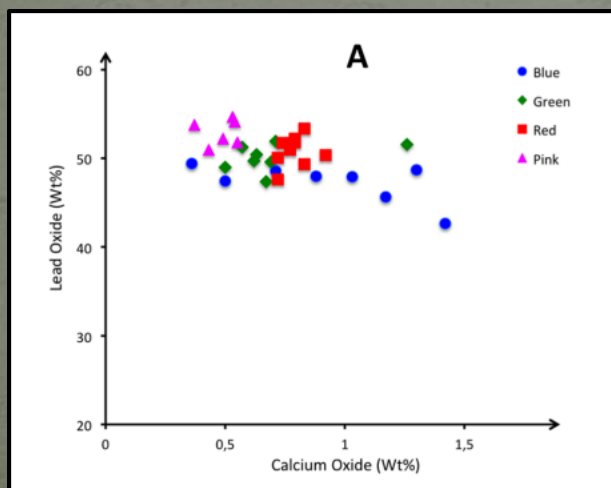


- Verre orange: très riche en Pb
- Plus récent (17-18<sup>ème</sup> siècles)
- Absent du dessin de Michel Natalis (1653)

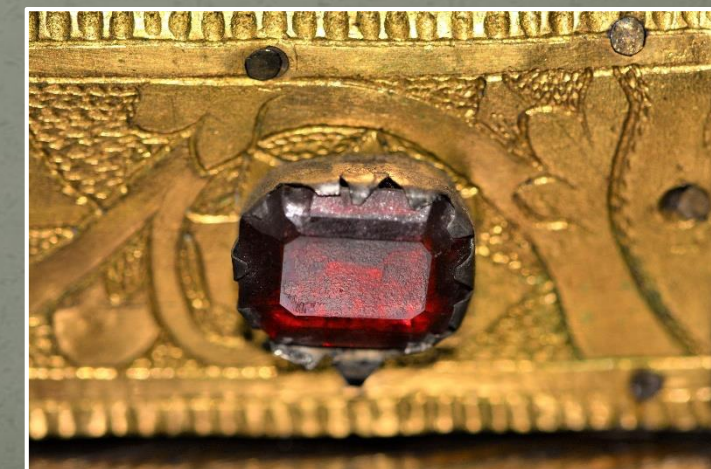




# Verroteries – Châsses de Lierneux

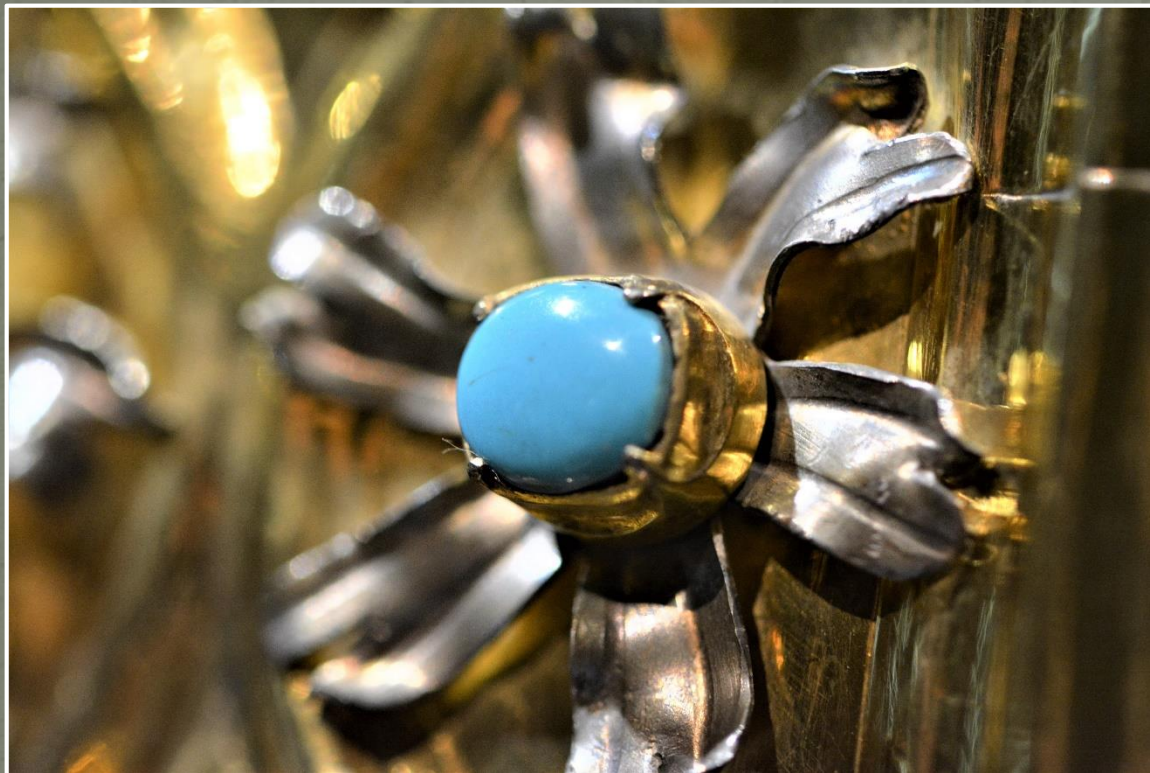


- Verres riches en plomb
- Rose = Mn
- Bleu = Co, Zn, Cu
- Vert = Fe, Cu
- Rouge = Cu





# Falsifications: fausses turquoises



- Verres opacifiés riches en Cu
- Spectres Raman caractéristiques de verres





## Falsifications: doublets



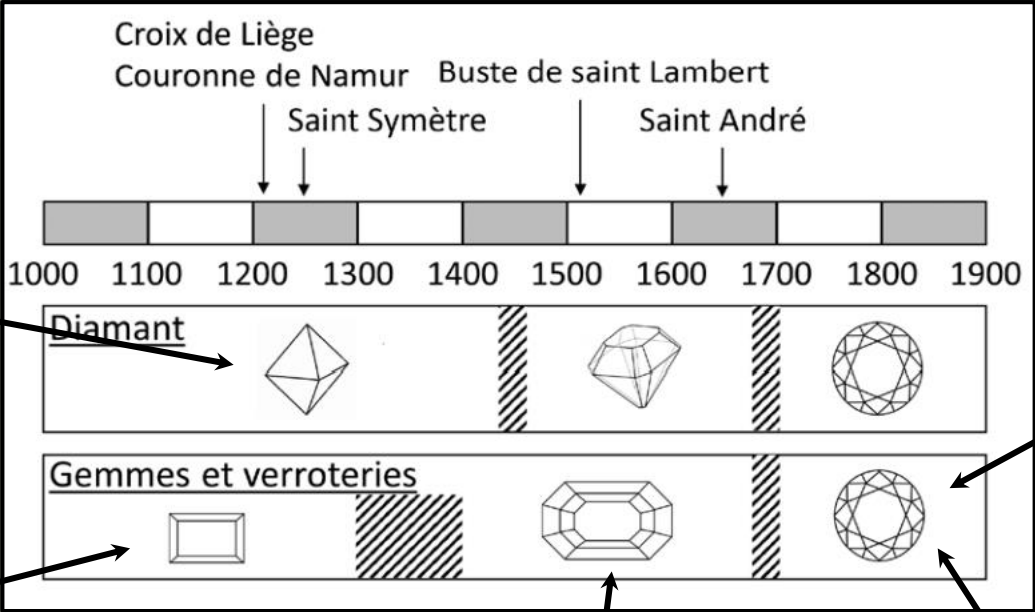
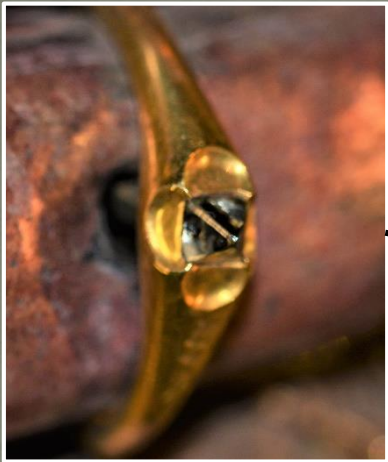
Quartz incolore / Verre rouge

Verre vert / Quartz incolore



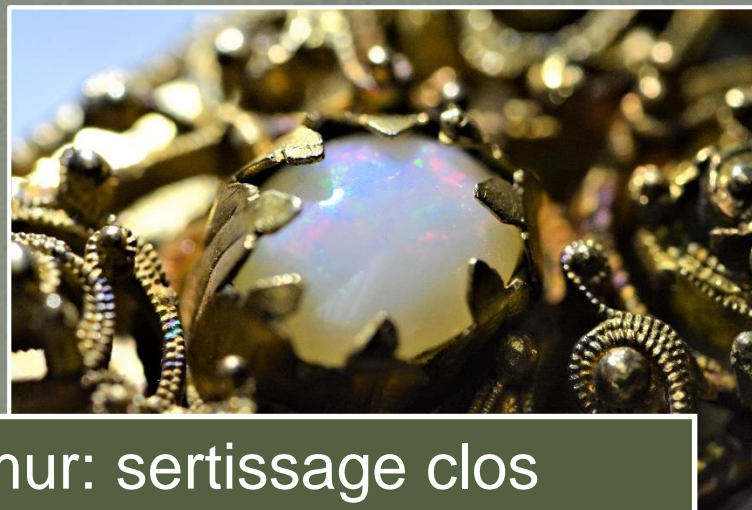
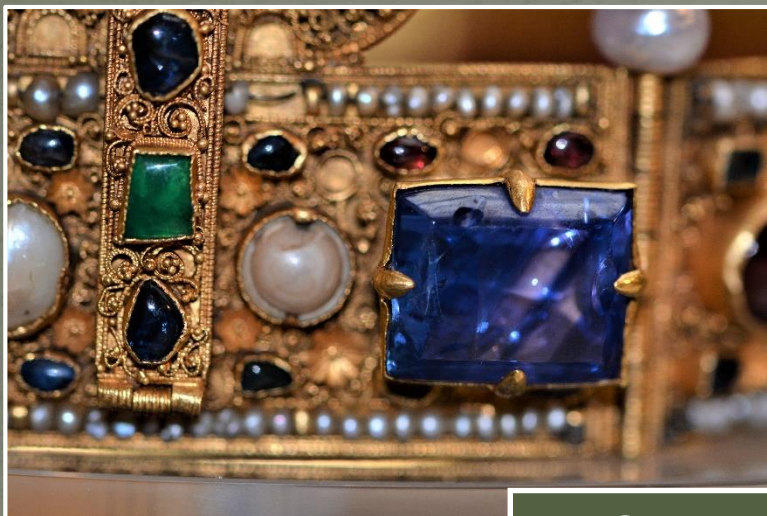


# Evolution des méthodes de taille





# Techniques de sertissage



- Couronne de Namur: sertissage clos
- Croix de Liège: sertissage à 8-10 griffes





# Techniques de sertissage



- Buste de St Lambert: 4 à 8 griffes
- Gemme généralement déposés sur 5-6 pétales en métal gris



Châsses de Lierneux:  
sertissages à 10-13 griffes



# Conclusions

- Des analyses gemmologiques ont été réalisées sur 5 reliquaires de grande valeur patrimoniale
- Les éléments en traces permettent de déterminer les provenances des turquoises, grenats, saphirs, émeraudes, et spinelles notamment
- Les compositions des verres fournissent une datation relative, ainsi que la détermination des agents colorants
- La description de ces objets améliore également nos connaissances des techniques de taille et des méthodes de sertissage