

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



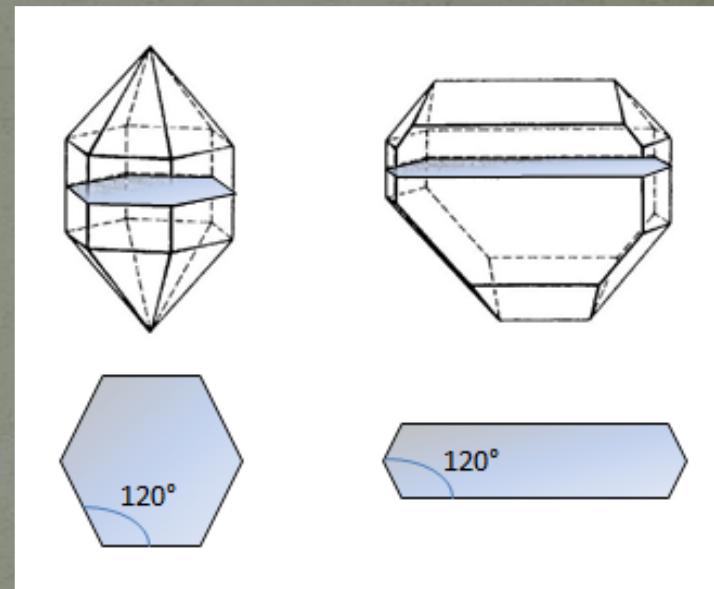
Nicolas Sténon
(1638-1686)



J.-B. Romé de l'Isle
(1736-1790)

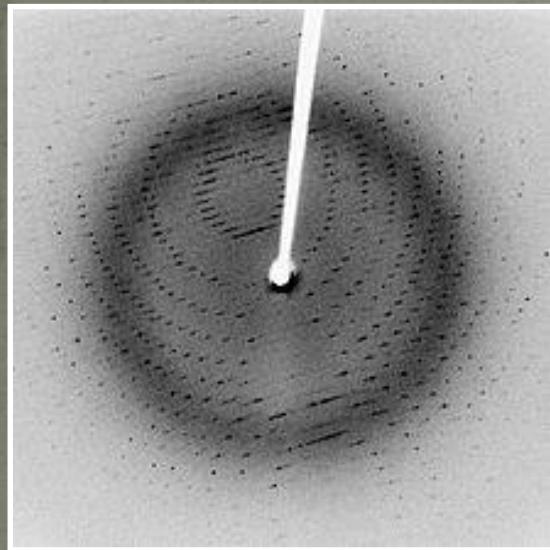


«Peu importe dans quelle mesure les faces d'un cristal peuvent varier dans leur taille ou dans leur forme; l'angle interfacial reste constant, pourvu que les mesures soient effectuées à la même température ».

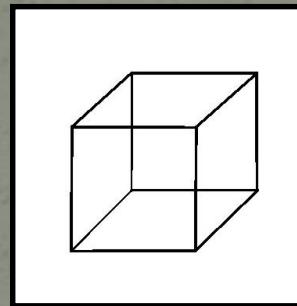
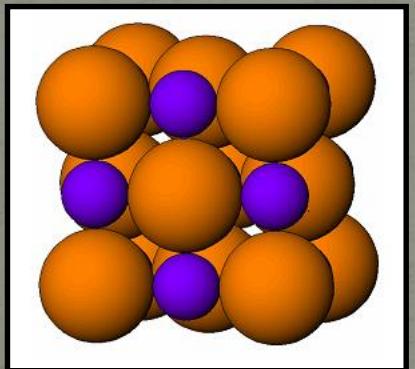


La structure interne des cristaux

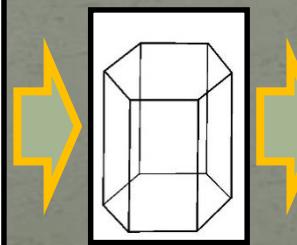
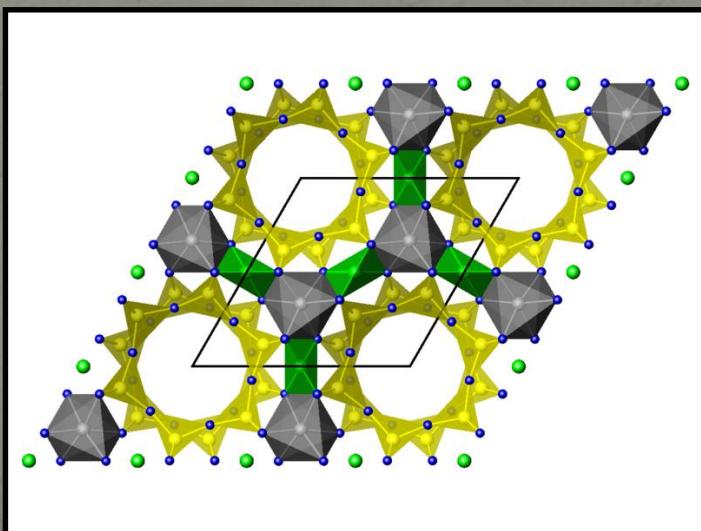
Les faces du cristal sont le reflet de l'arrangement périodique tridimensionnel des atomes



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



Halite, NaCl, Système cubique



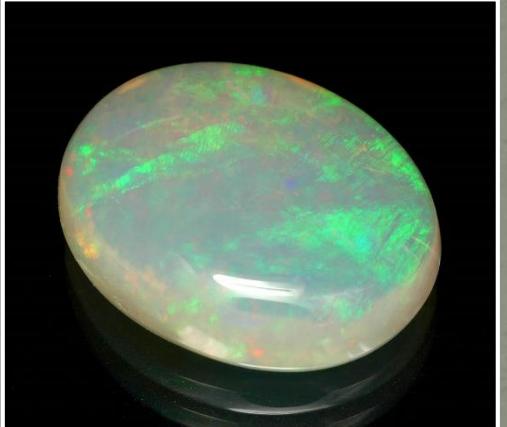
Béryl, $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$, syst. hexagonal

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.



Rubis



Saphir

Les « pierres précieuses »

Diamant



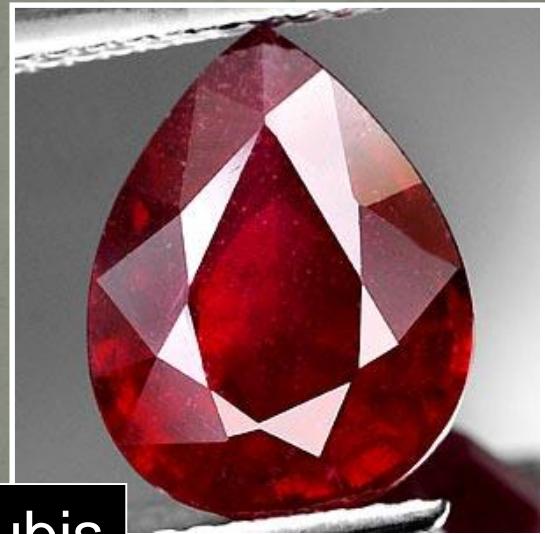
Saphir



Emeraude



Rubis



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

Table 15.1
GEM MINERALS*

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

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

Tourmaline



Améthyste

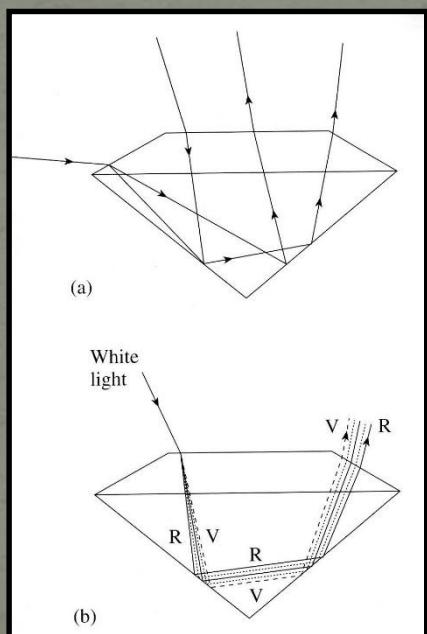
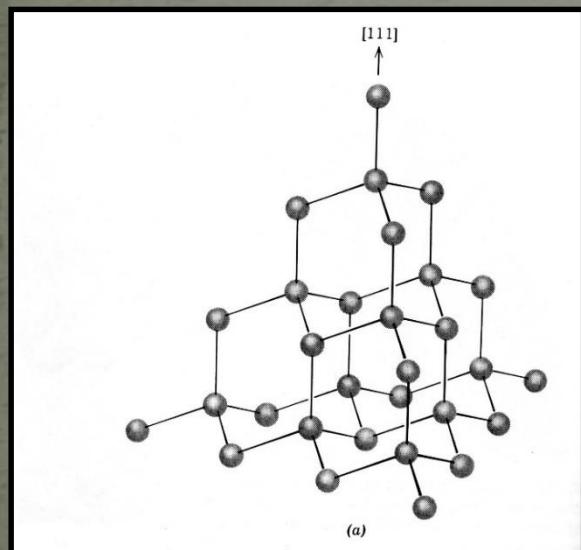


Aigue-marine



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. ^a	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

« Hope »



« Koh-i-Noor »



Qualité des diamants (règle des 4C)

Le poids (Carat)



7.00 carats
12.4mm



6.00 carats
11.7mm

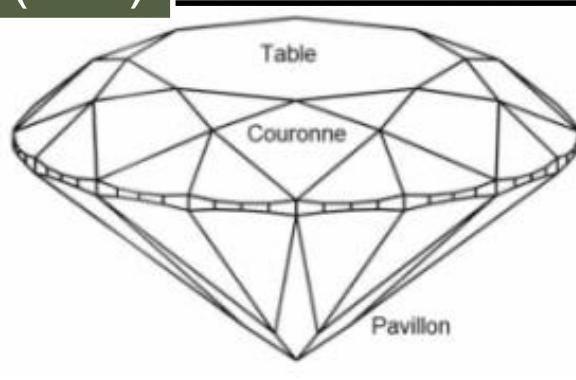


5.00 carats
11mm



4.00 carats
10.2mm

La taille (Cut)

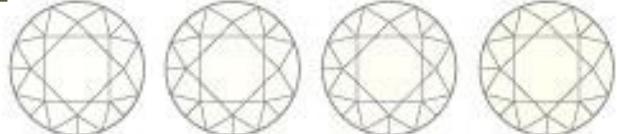


La couleur (Colour)



D E F

COLORLESS



G H I J

NEAR COLORLESS



K L M

YELLOW TINGE

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 : Al_2O_3
- Système cristallin : Rhomboédrique
- Propriétés physiques : Plans de débitage {0001} et {101} ; **dureté 9** ; densité 4,02 ; éclat adamantin à vitreux ; $\text{Ne} = 1,760$, $\text{NO} = 1,769$, U-.



Saphirs

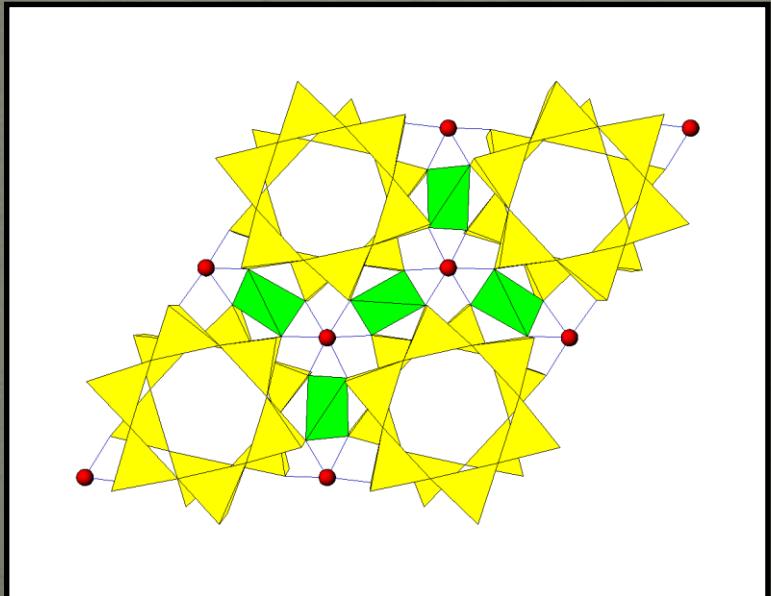


Rubis



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 ; $\text{Ne} = 1,557-1,599$, $\text{No} = 1,560-1,602$, U-.



Emeraude



Aigue-marine

Le groupe du béryl



Héliodore



Pezzottaite



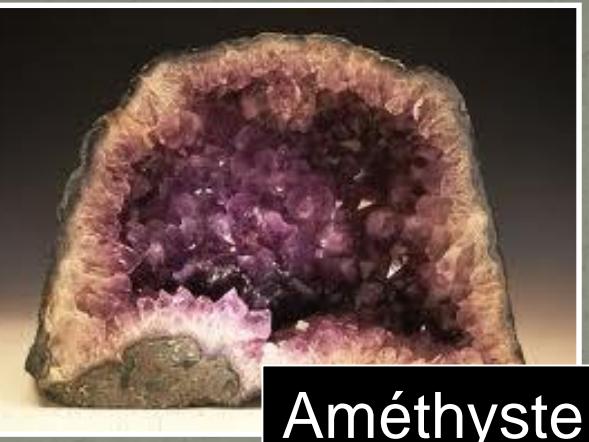
Morganite

Les variétés de quartz

- Formule chimique : SiO_2
- Système cristallin : Rhomboédrique

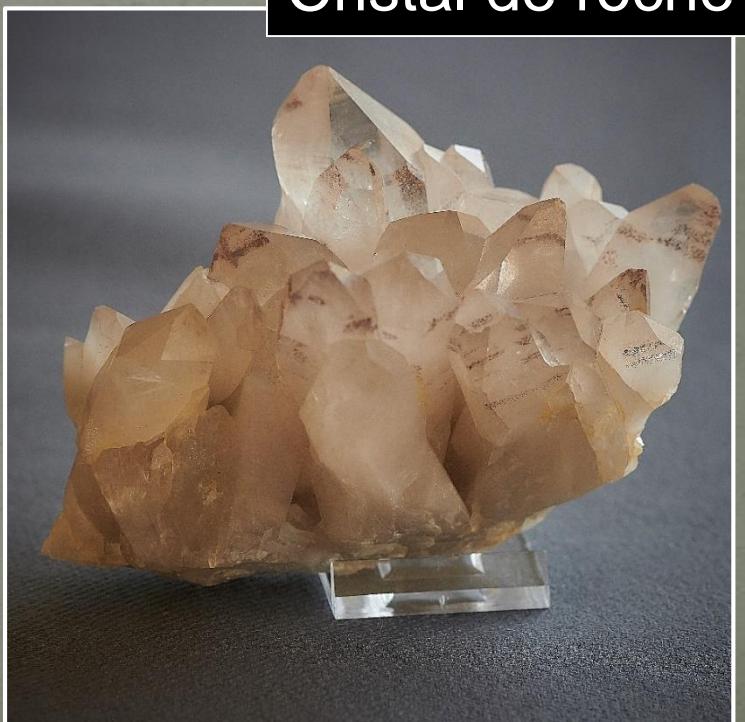


Quartz fumé



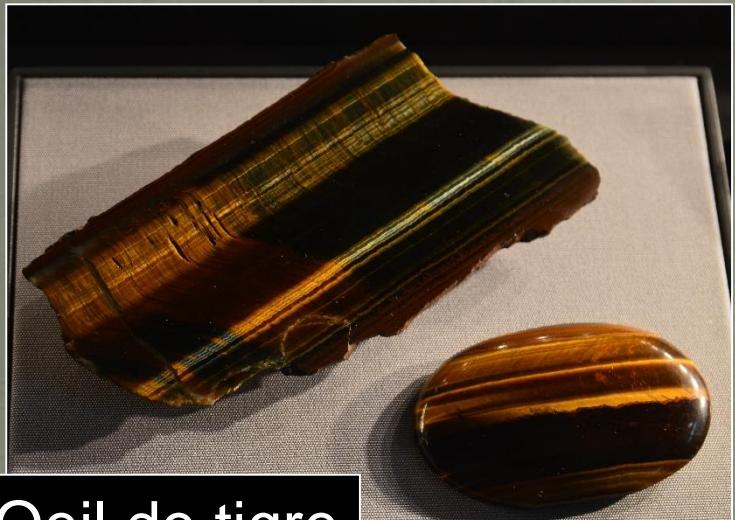
Améthyste

Citrine



Cristal de roche

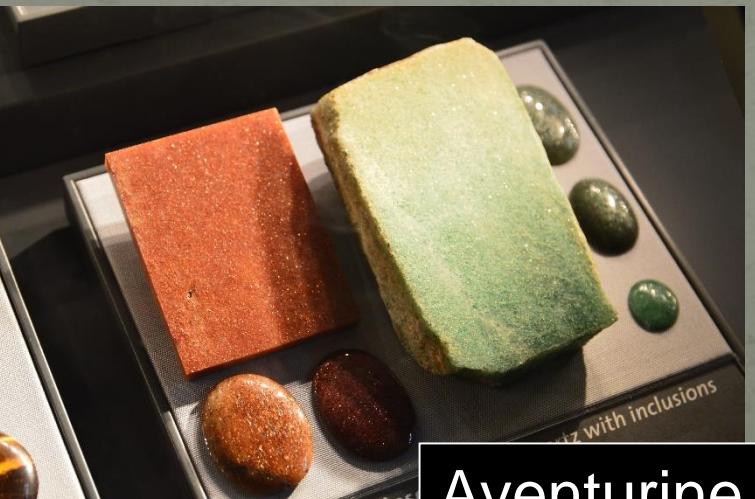
Les variétés de quartz



Oeil de tigre



Cheveux de Vénus



Aventurine



Quartz hématoïde

Calcédoine et opale

Agate



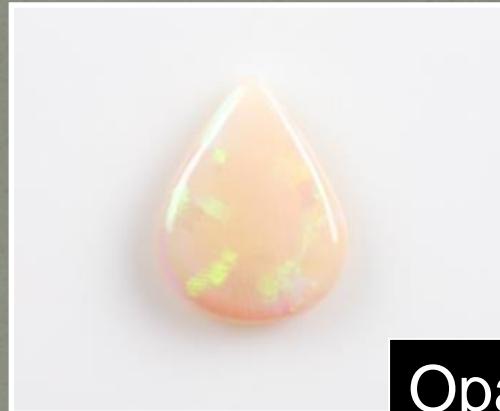
Cornaline



Chrysoprase



Onyx



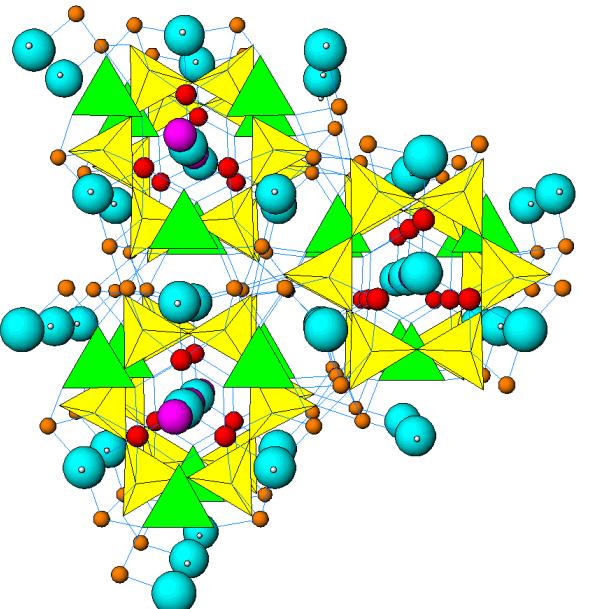
Opale noble



Opale de feu

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: $\text{Na}(\text{Li},\text{Al})_3\ldots$



Schorl



Dravite

L'elbaïte multicolore



Elbaïte



Tourmaline « Paraiba »



Le groupe des grenats

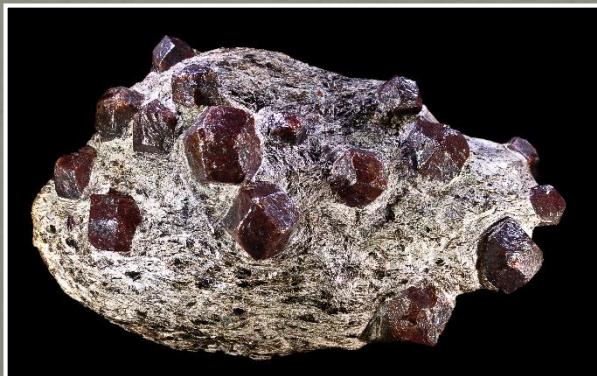
- Formule chimique : $R^{2+}_3 R^{3+}_2 [SiO_4]_3$
- Système cristallin : Cubique



Spessartine, $Mn_3Al_2[SiO_4]_3$



Almandin, $Fe_3Al_2[SiO_4]_3$



Pyrope, $Mg_3Al_2[SiO_4]_3$



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



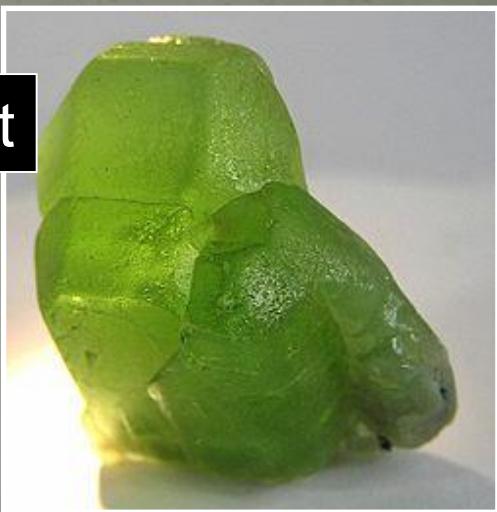
Spinelle et périclite



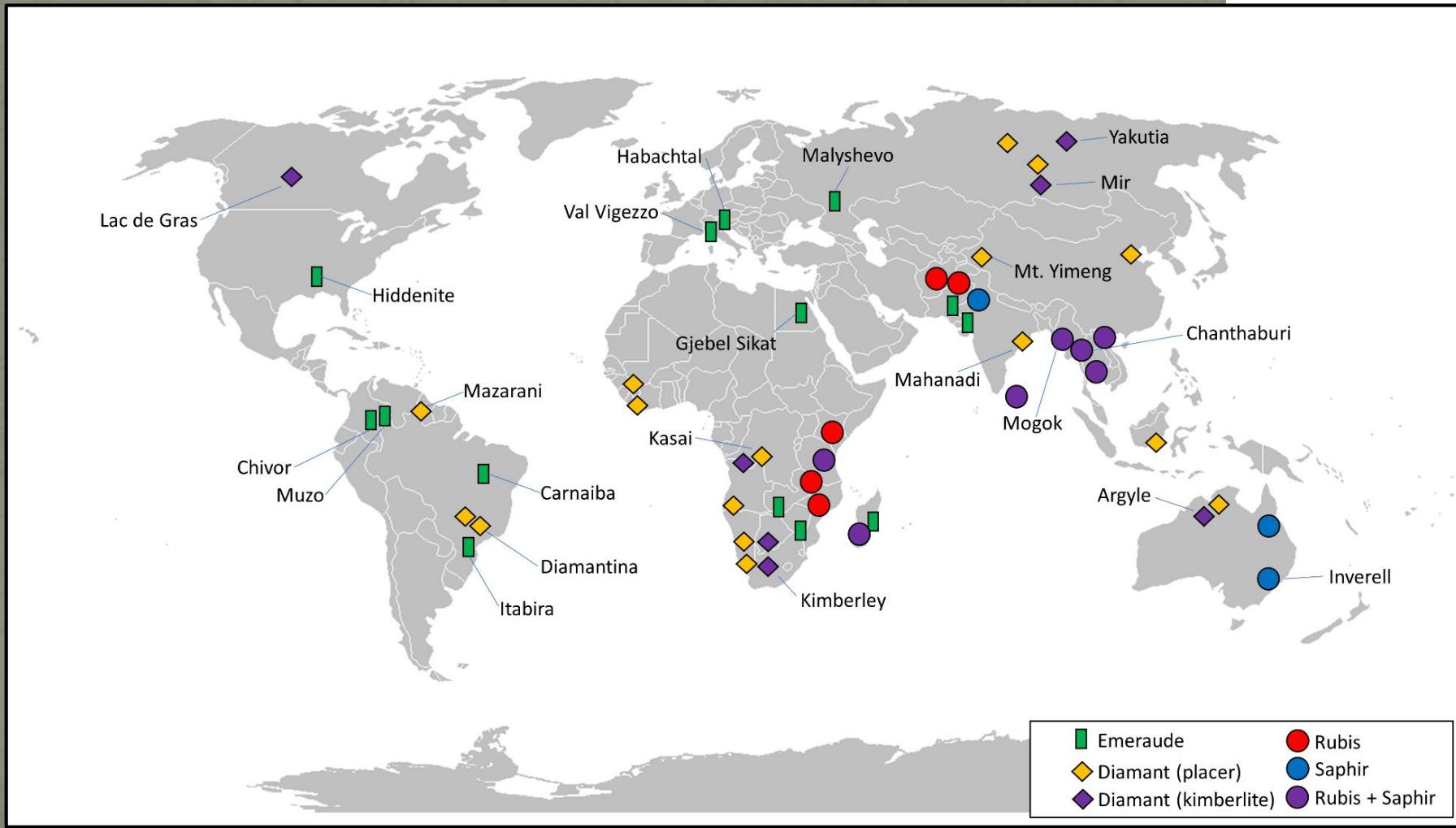
Spinelle



Péridot



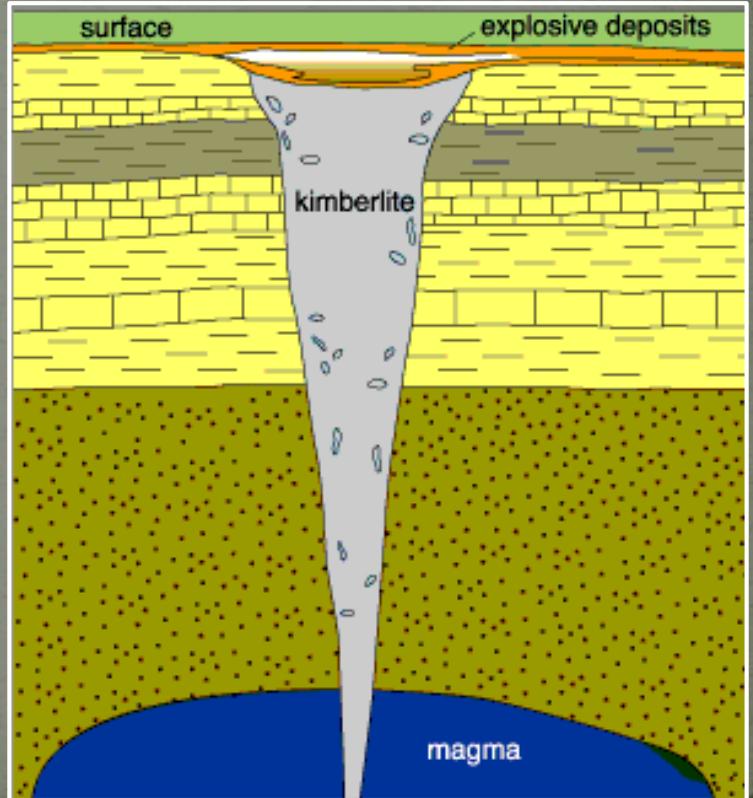
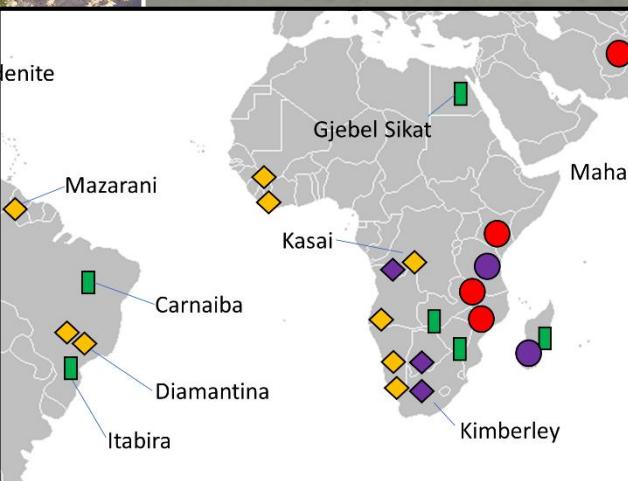
Les gisements de pierres précieuses



Formation du diamant: les kimberlites



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



Les pegmatites granitiques



Spodumène



Aigue-marine



Elbaïte



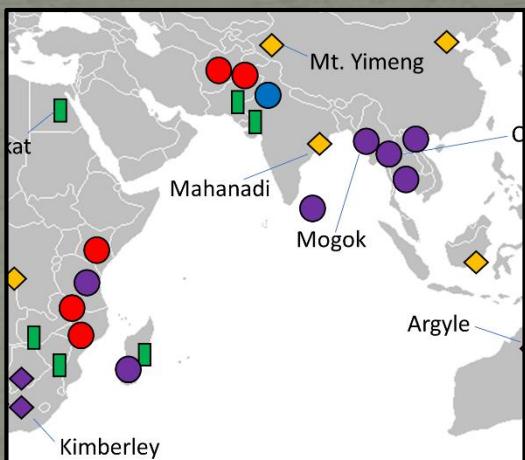
Topaze

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

Les gisements de rubis et saphirs

Birmanie
Mozambique
Madagascar

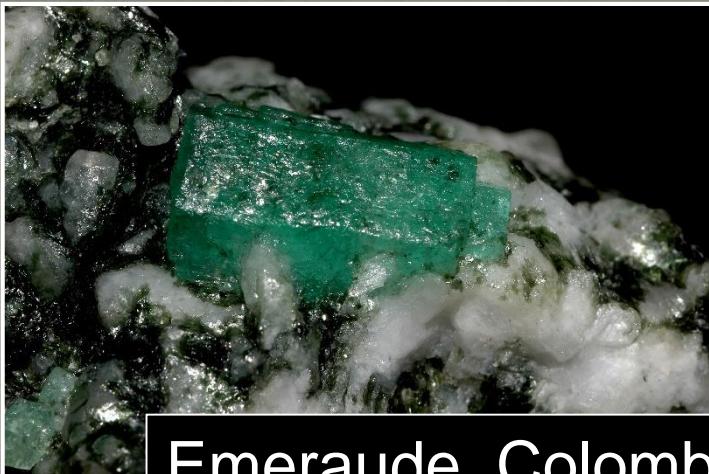
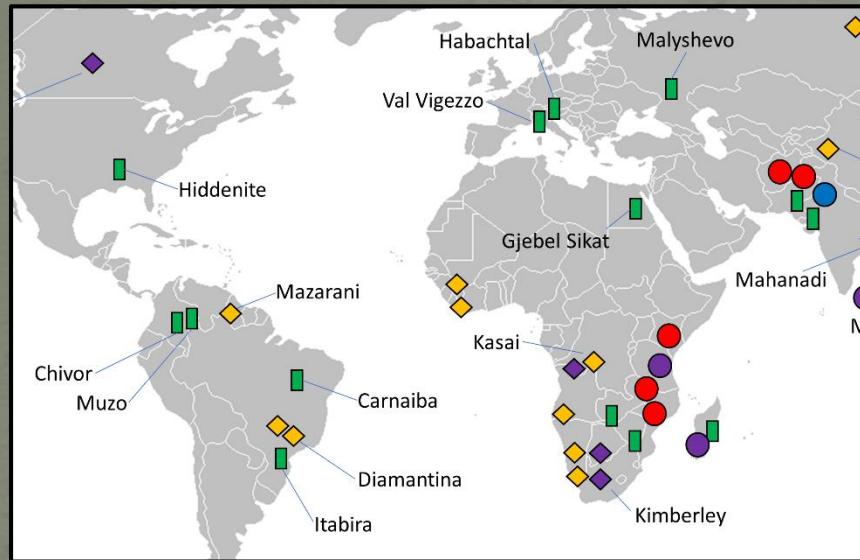
- Marbres métamorphiques
- Roches métamorphiques recristallisées



Ceylan
Birmanie
Cambodge
Madagascar



Les gisements d'émeraude



Emeraude, Colombie

Emeraude, Russie



Emeraude, Habachtal



- Micaschistes
- Veines de carbonates dans des schistes graphitiques

Blanchiment



Jade

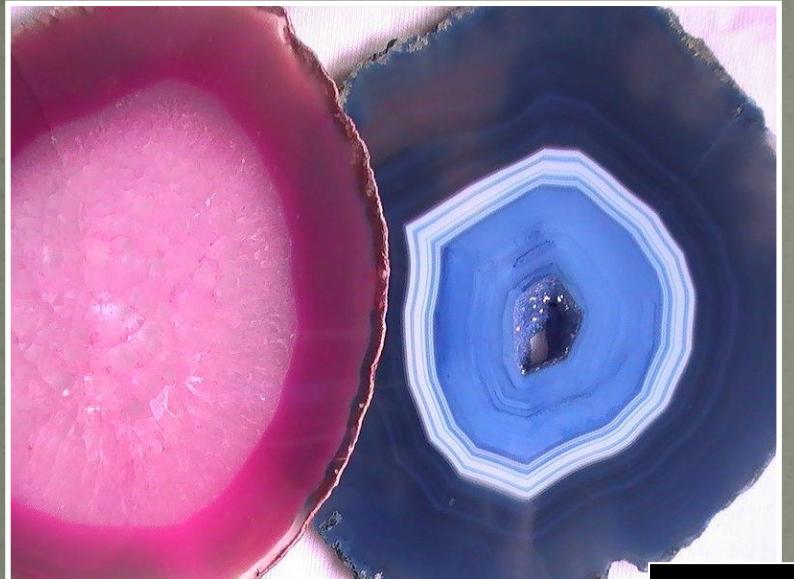
HCl

H_2O_2

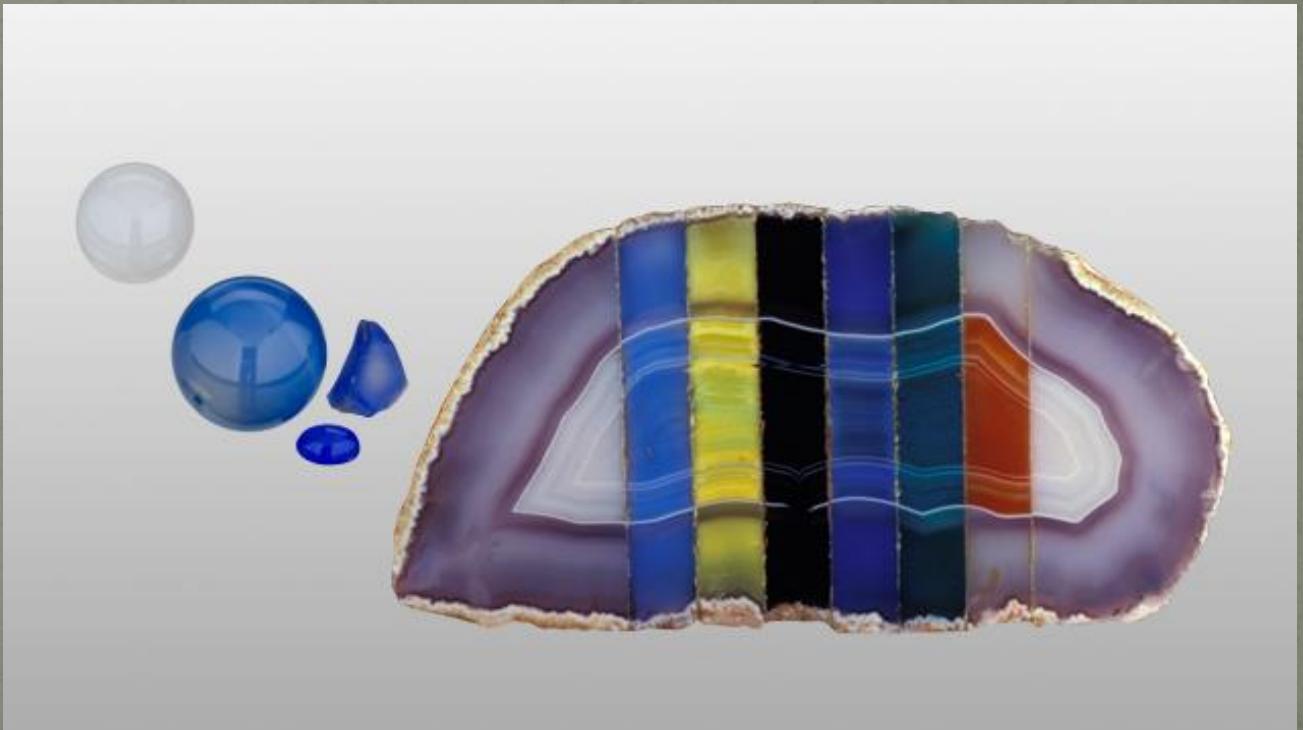


Perles

Bains colorants

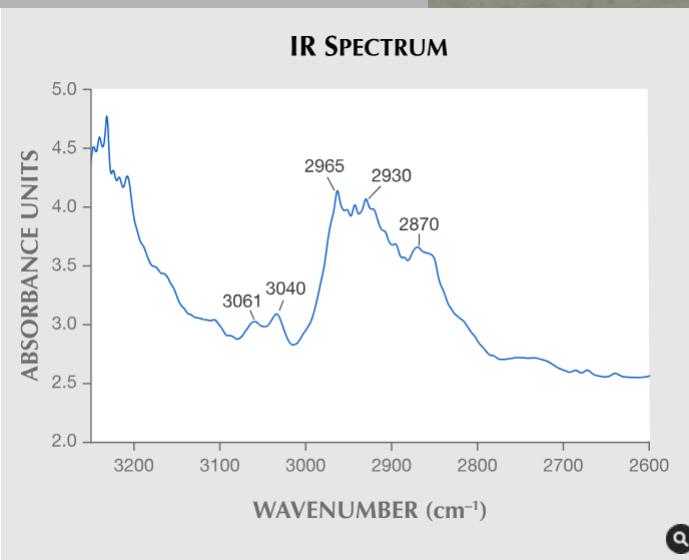


Agate



Remplissage de fractures

Emeraude

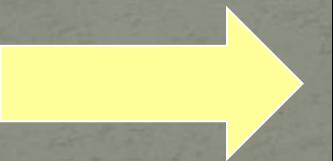


- Huiles
- Résine epoxy

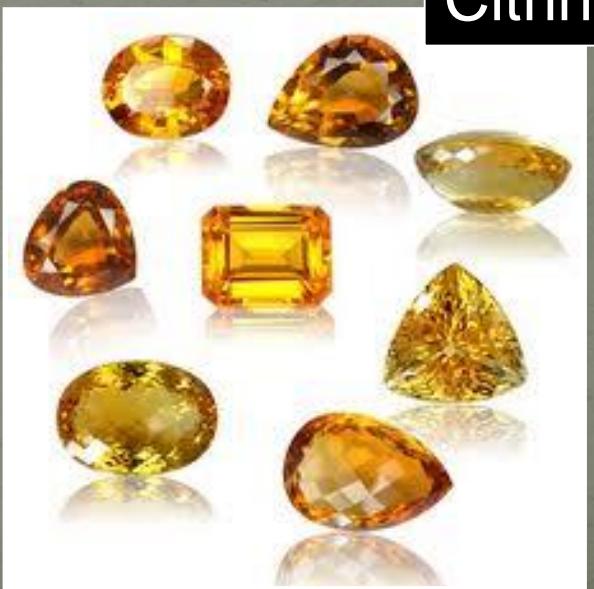
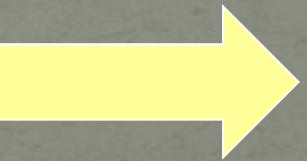
Chauffage



Topaze



Améthyste



Citrine

Chaudage



Aigue-marine

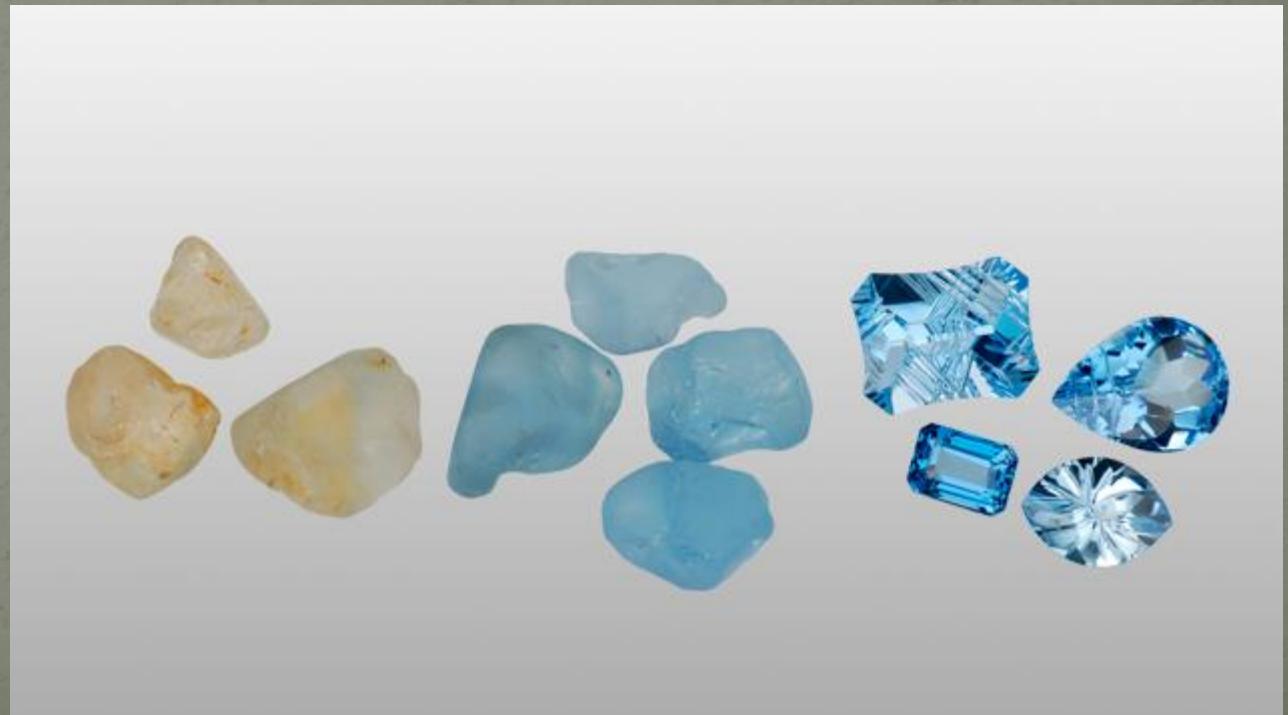
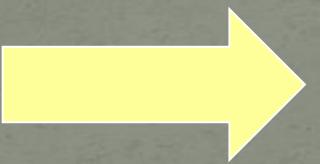
Tanzanite



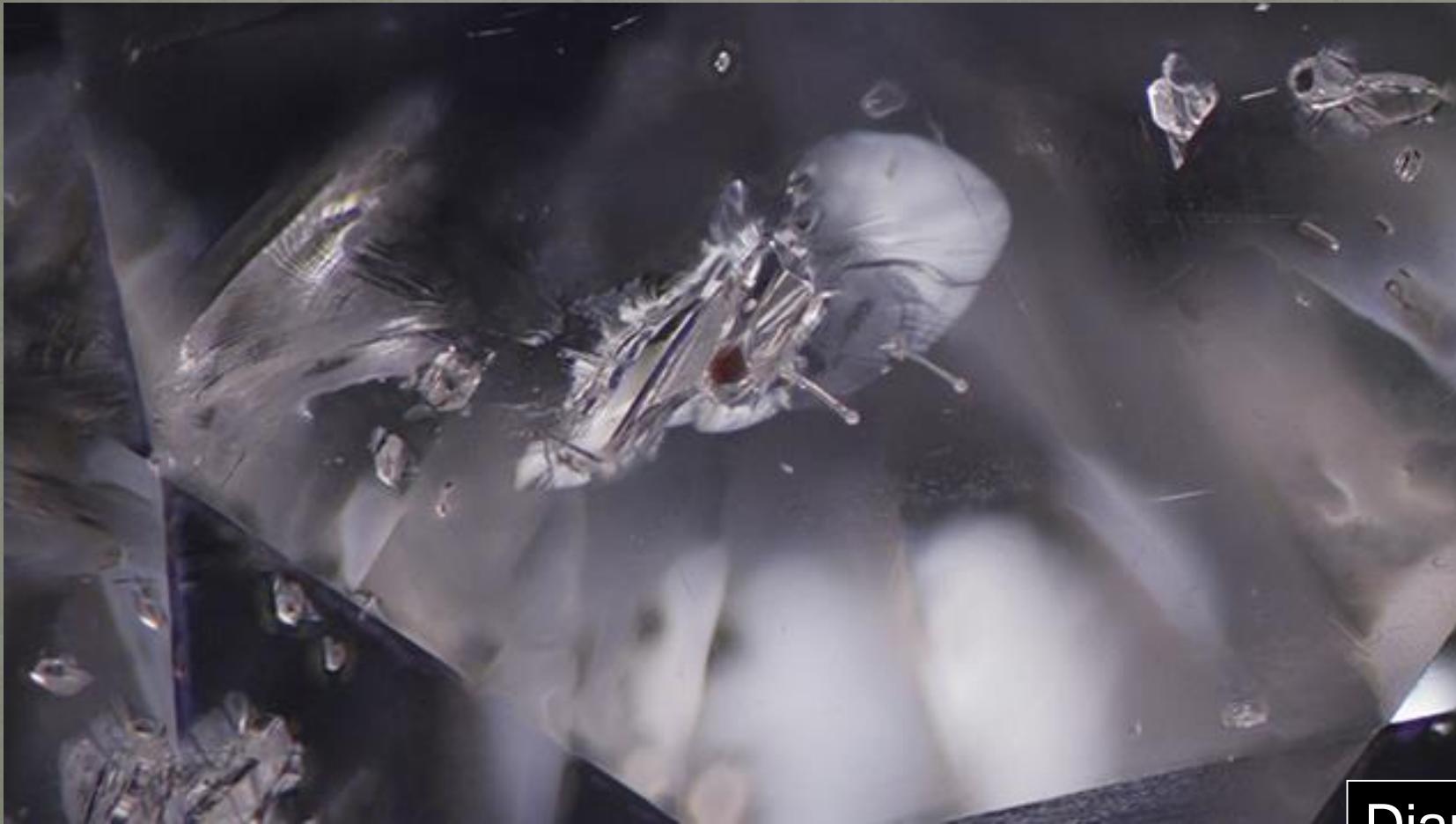
Irradiation



Topaze



« Laser drilling »



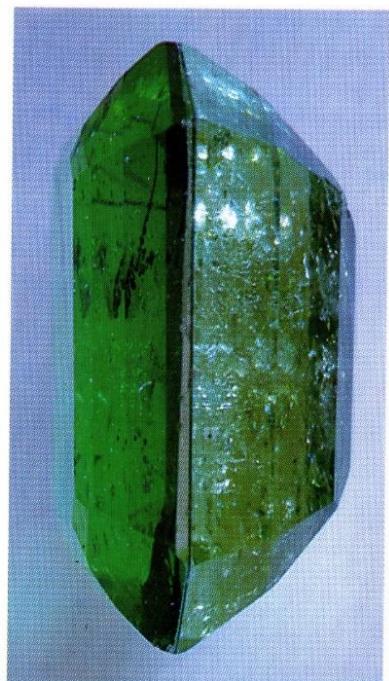
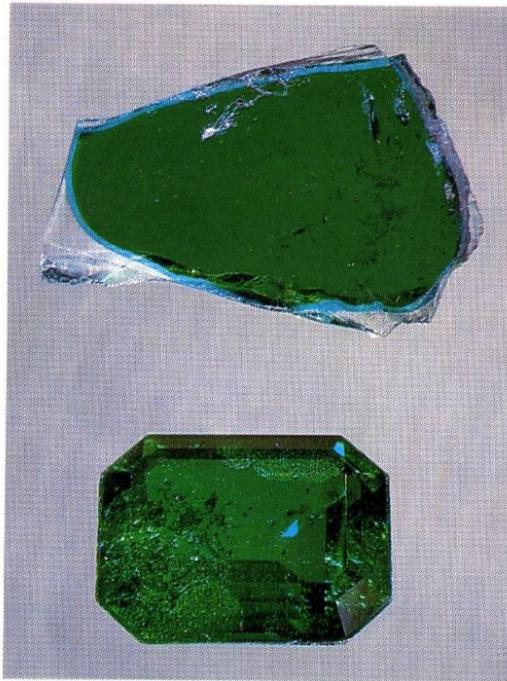
Diamants

Doublets et triplets

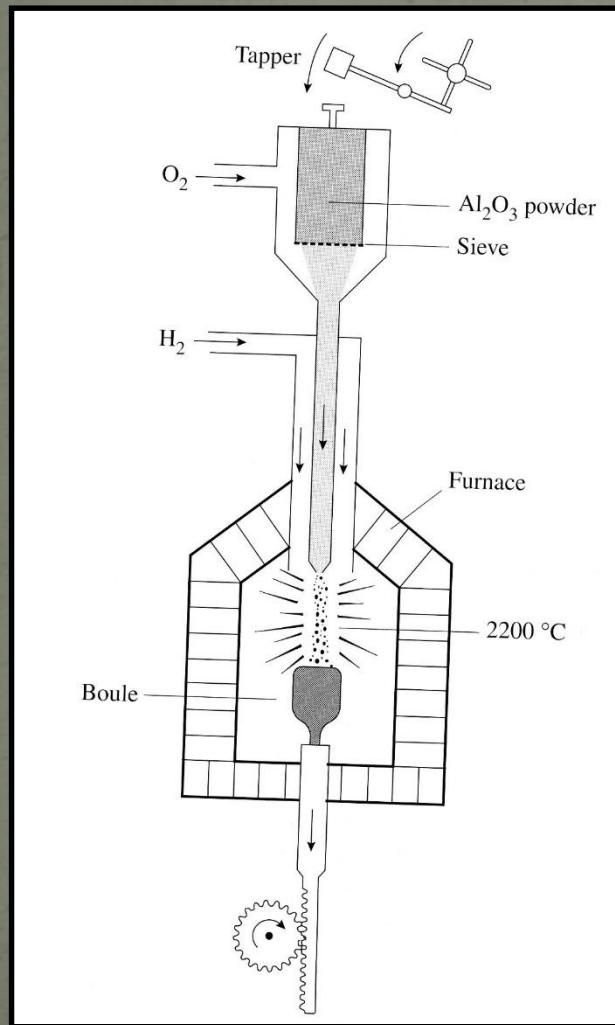


Grenat – Verre coloré

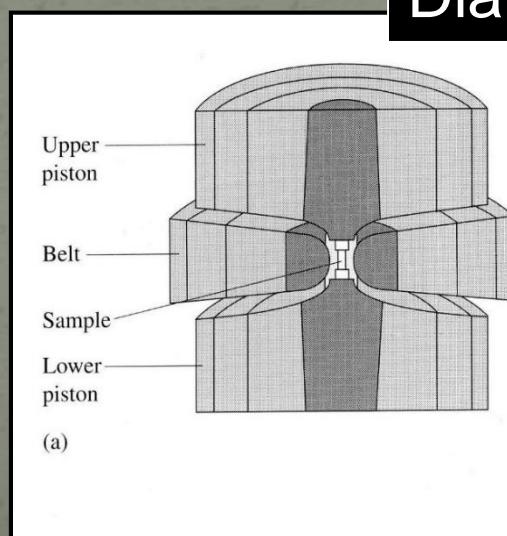
Quartz – Verre coloré - Quartz



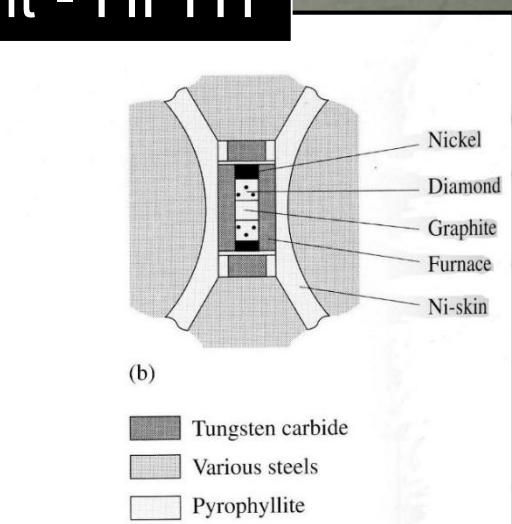
Méthodes de synthèse



Corindons
« Verneuil »



Diamant - HPHT



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



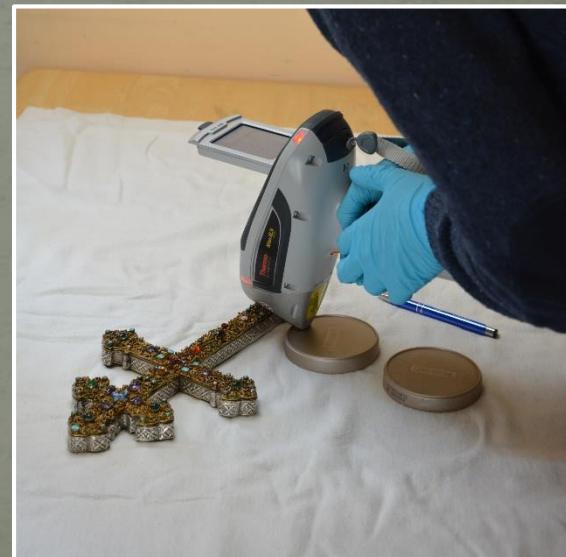
- 1. Présentation des reliquaires**
- 2. Méthodes d'analyse**
- 3. Les gemmes et leurs origines**
- 4. Les verroteries, datation, méthodes de coloration**
- 5. Discussions**

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

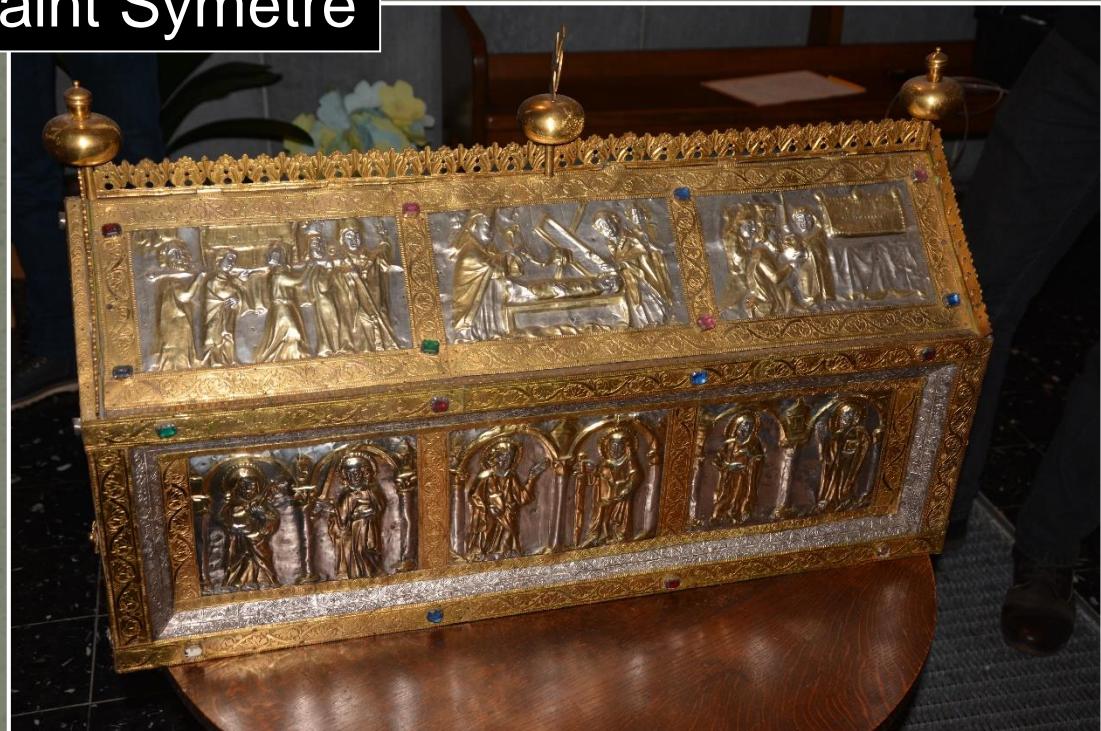
- Réalisé par Hans von Reutlingen
- Inauguré en 1512
- Hauteur 1,59 mètres
- Contient le crâne de St Lambert



- 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^{ème} siècle
- Argent et cuivre doré
- Ornée de 39 verroteries

Saint André



- Style baroque
- XVII^{ème} siècle
- Laiton argenté
- Nombreuses verroteries

La couronne de Namur



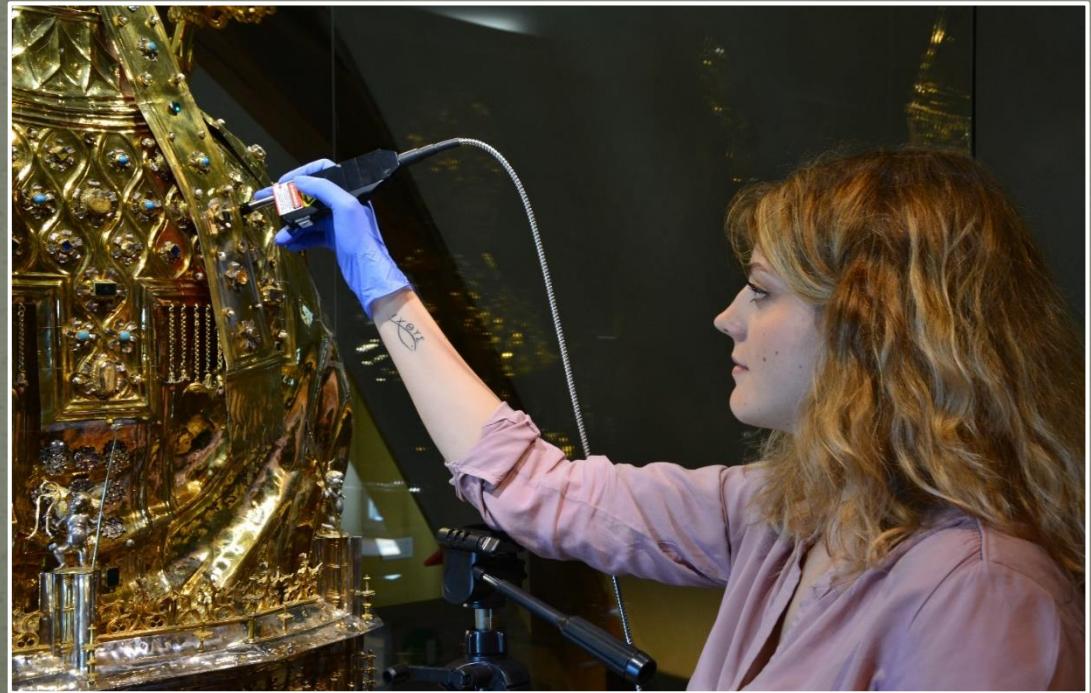
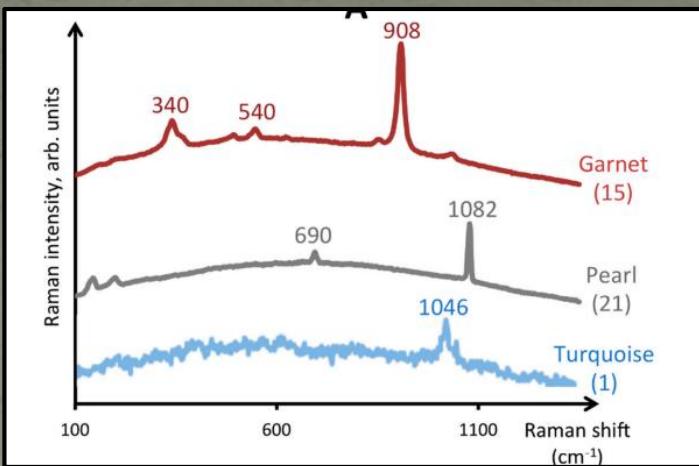
- Or massif
- Filigranes, petites fleurs, 400 gemmes et perles

- Début du XIII^{ème} siècle
- Abritait une relique des Saintes Epines
- Diamètre 25 cm, hauteur 6 cm

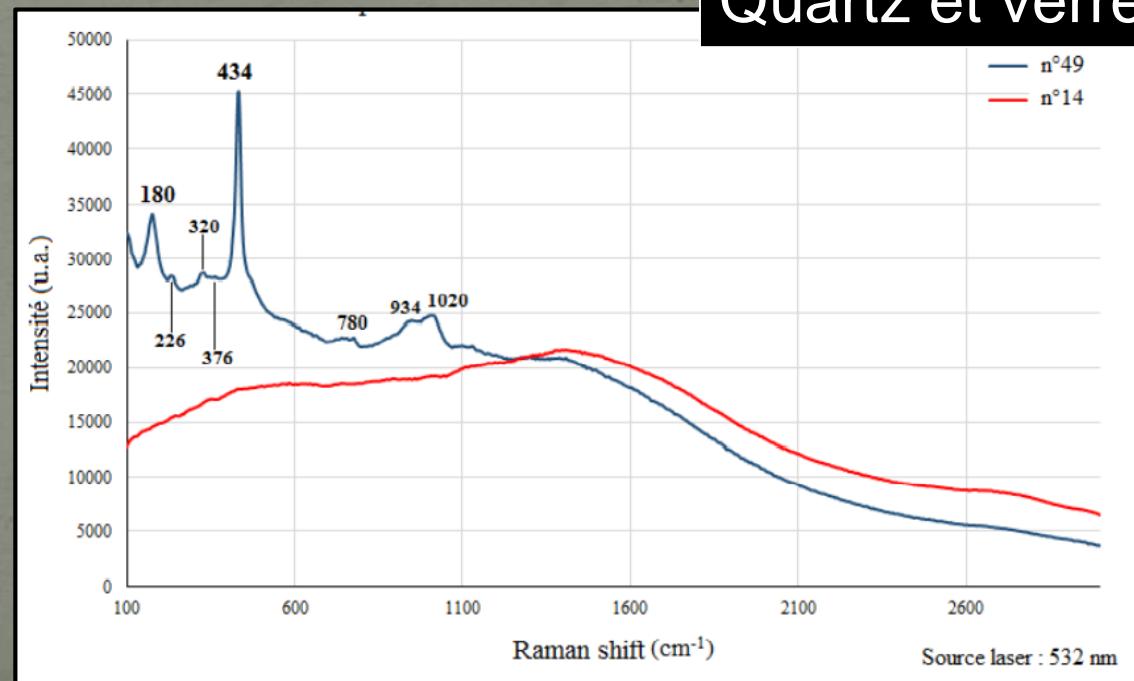


Spectrométrie Raman

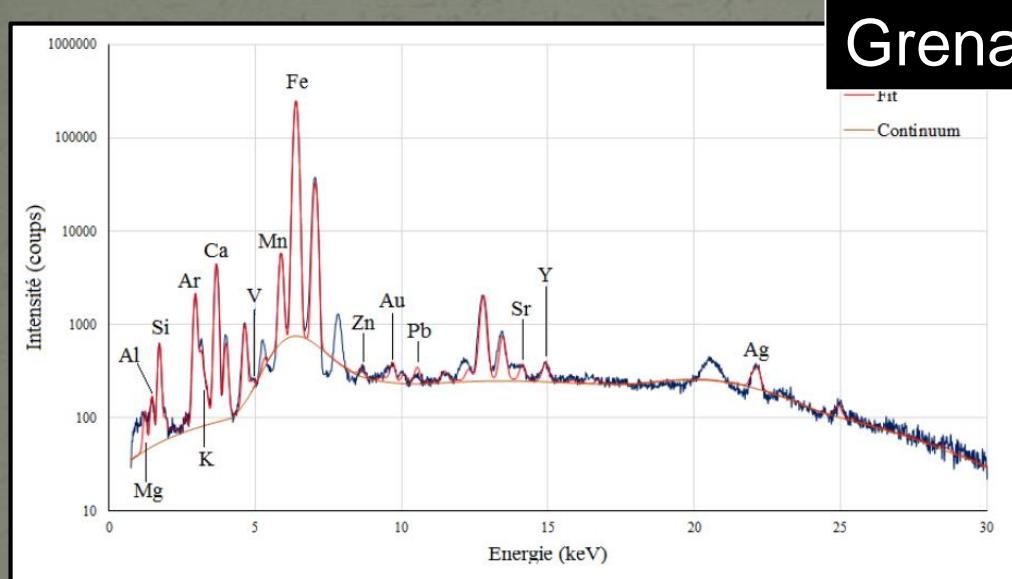
- Informations structurales
- Verre: large « bosse »
- Minéral: pics fins



Quartz et verre



Spectrométrie de fluorescence X

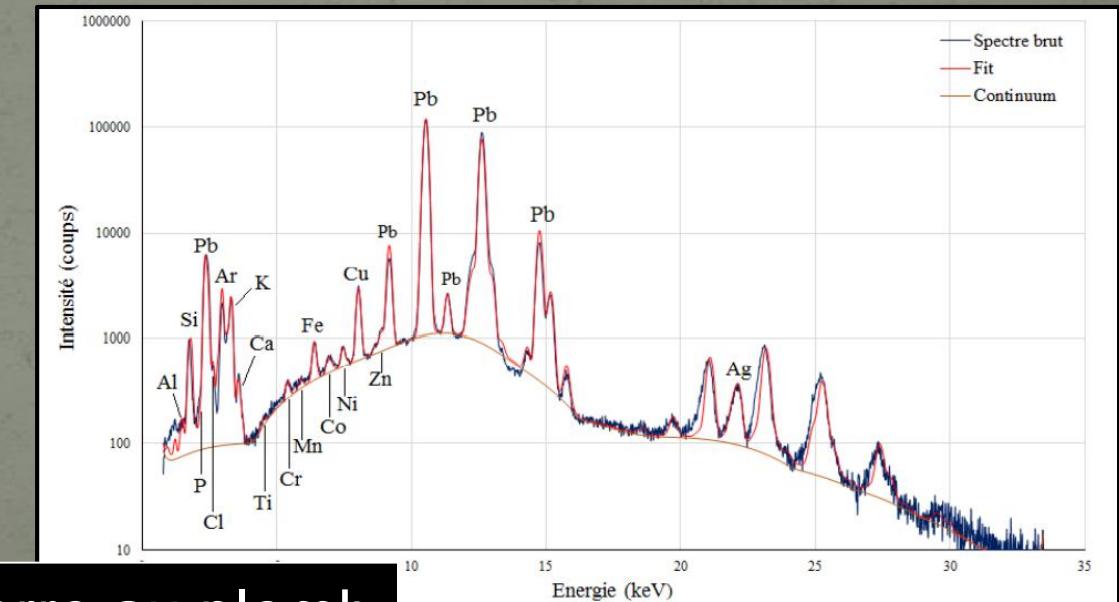


Grenat

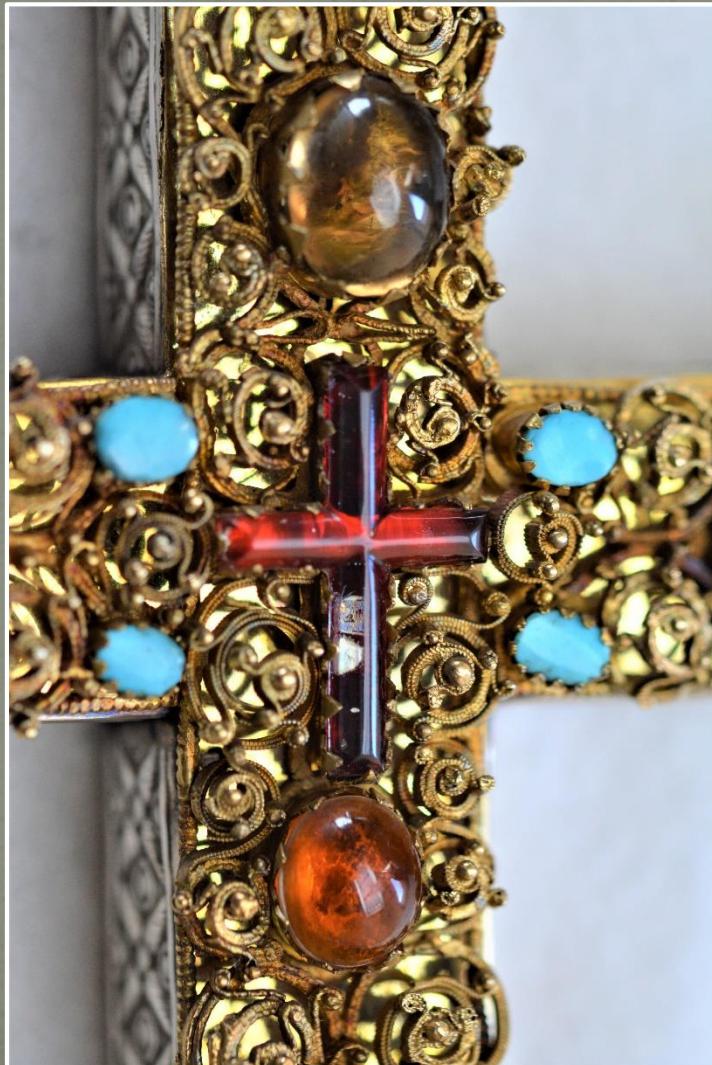
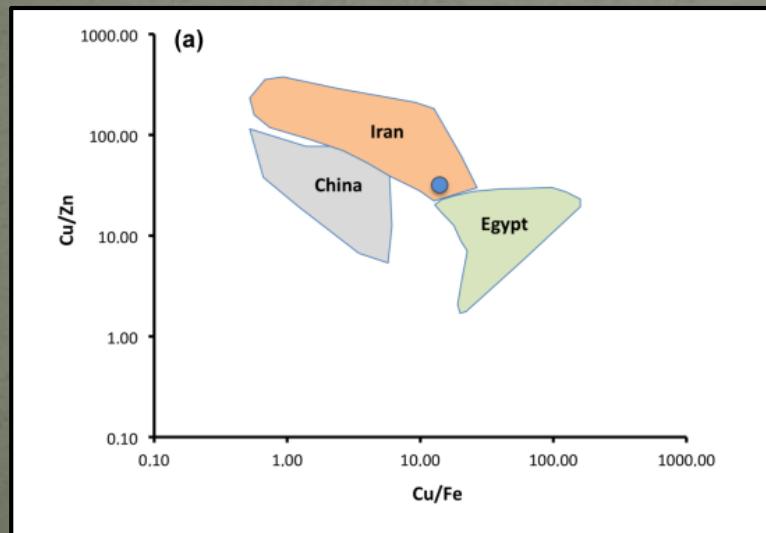
- Détermination des éléments chimiques majeurs et en traces



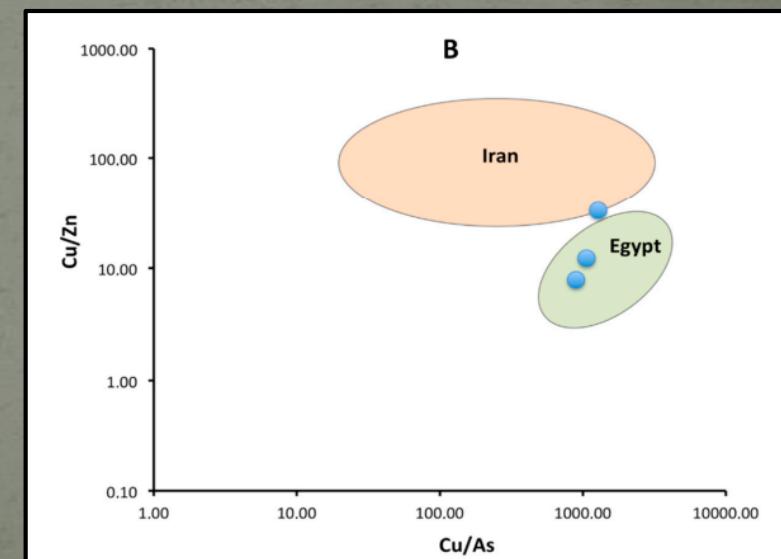
Verre au plomb



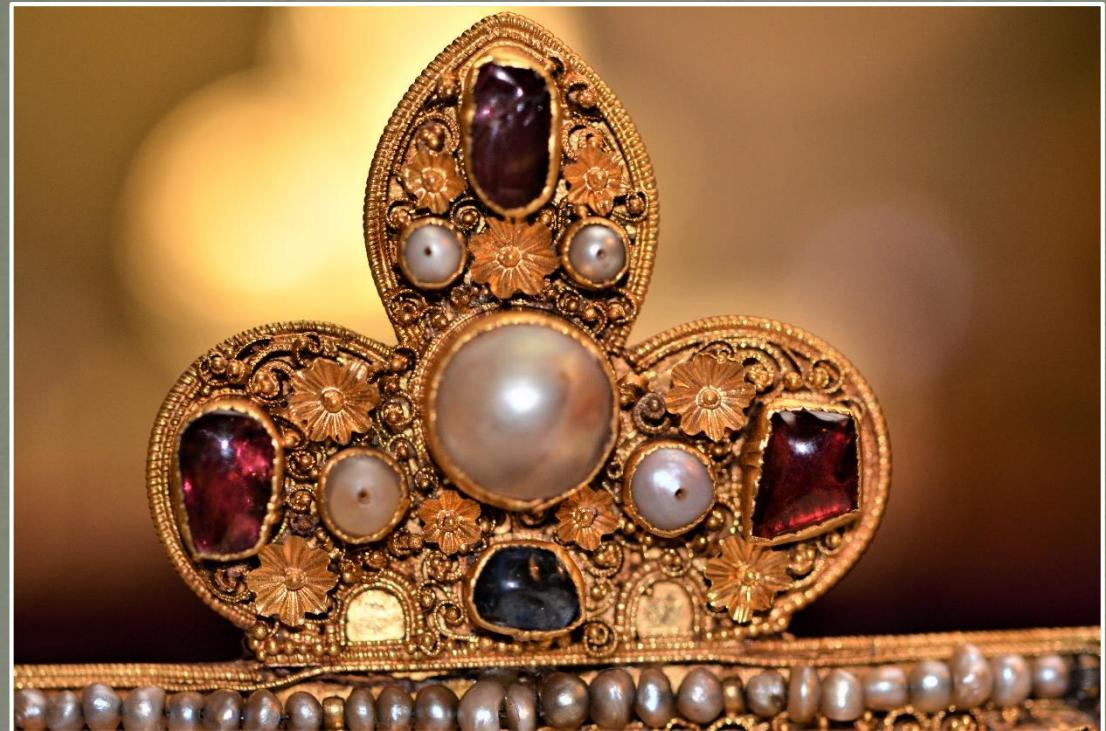
Turquoise



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



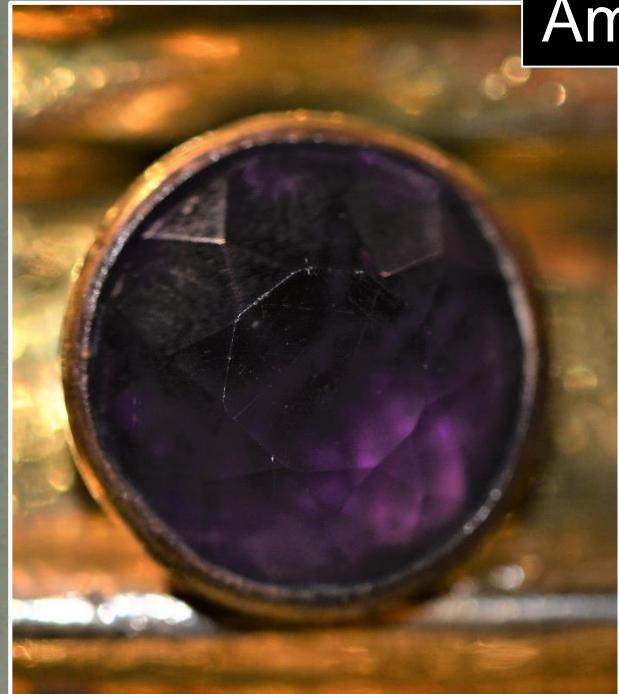
Perles



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



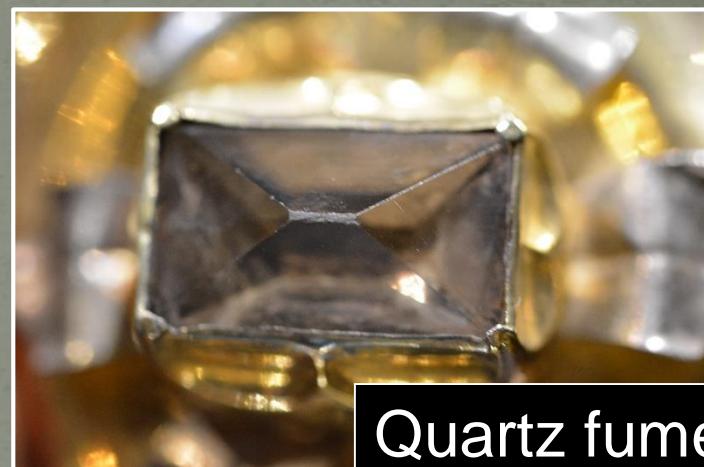
Variétés de quartz



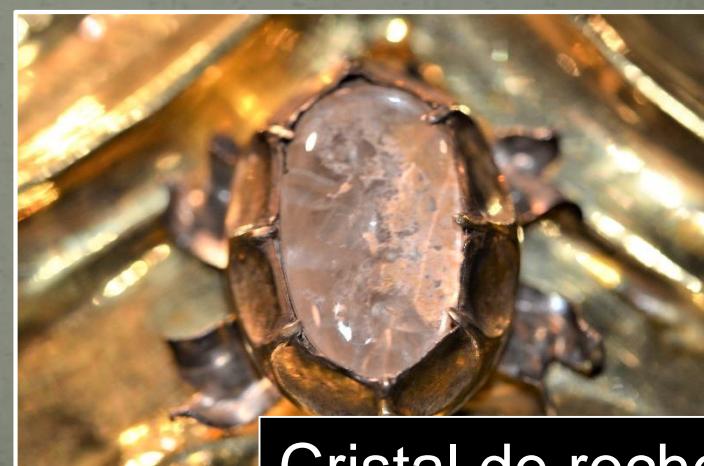
Améthyste



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

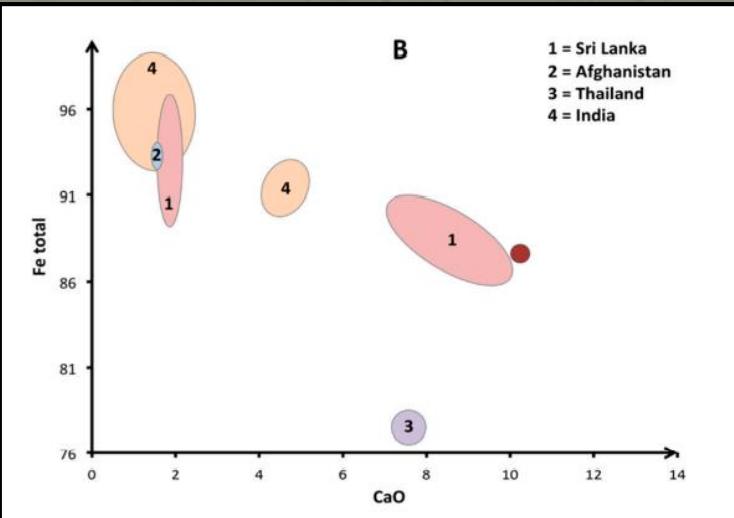
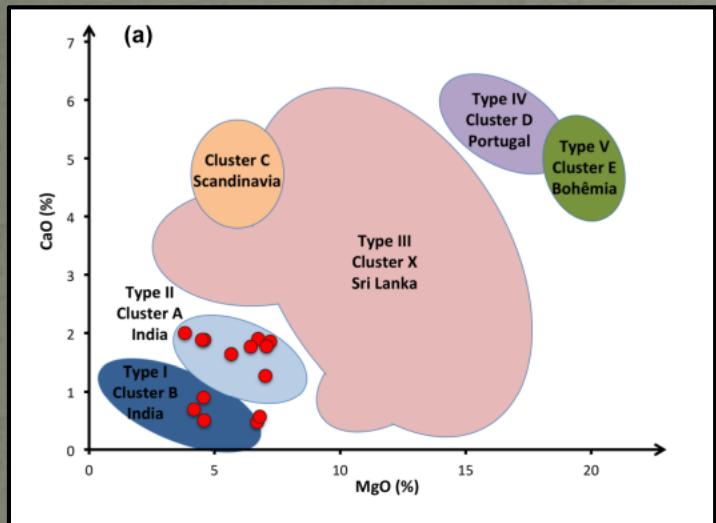


Quartz fumé



Cristal de roche

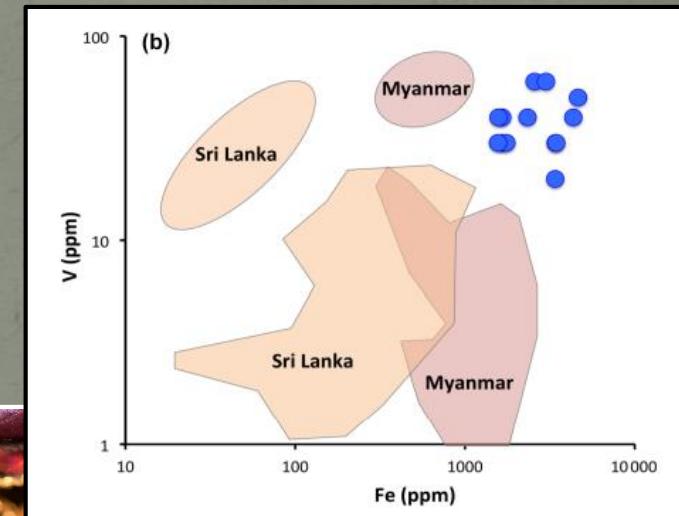
Grenats



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

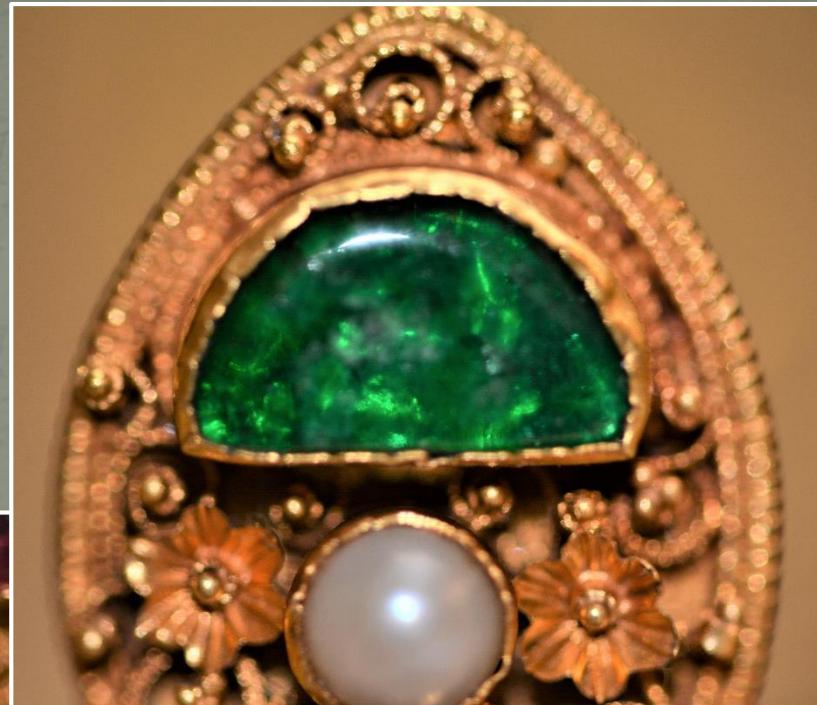


Saphir

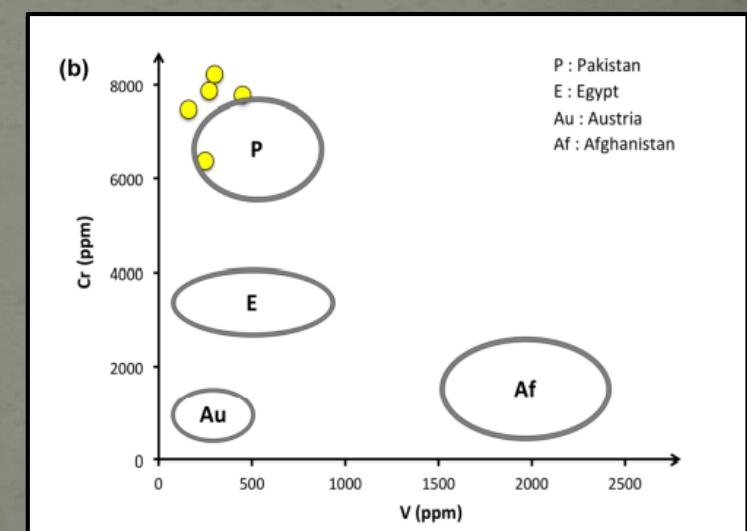


Origine:
Myanmar

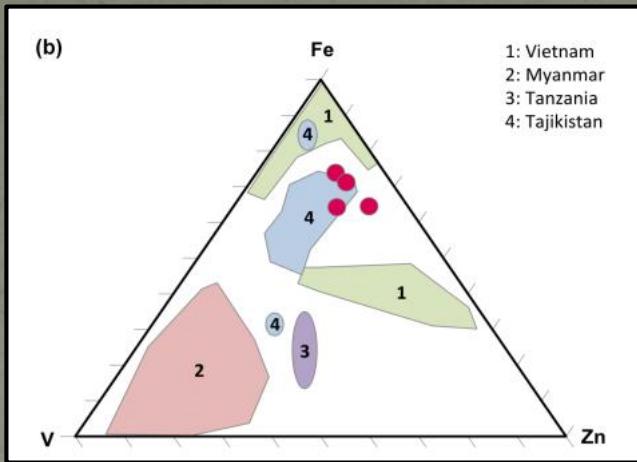
Emeraude



Origine:
Pakistan



Spinelle



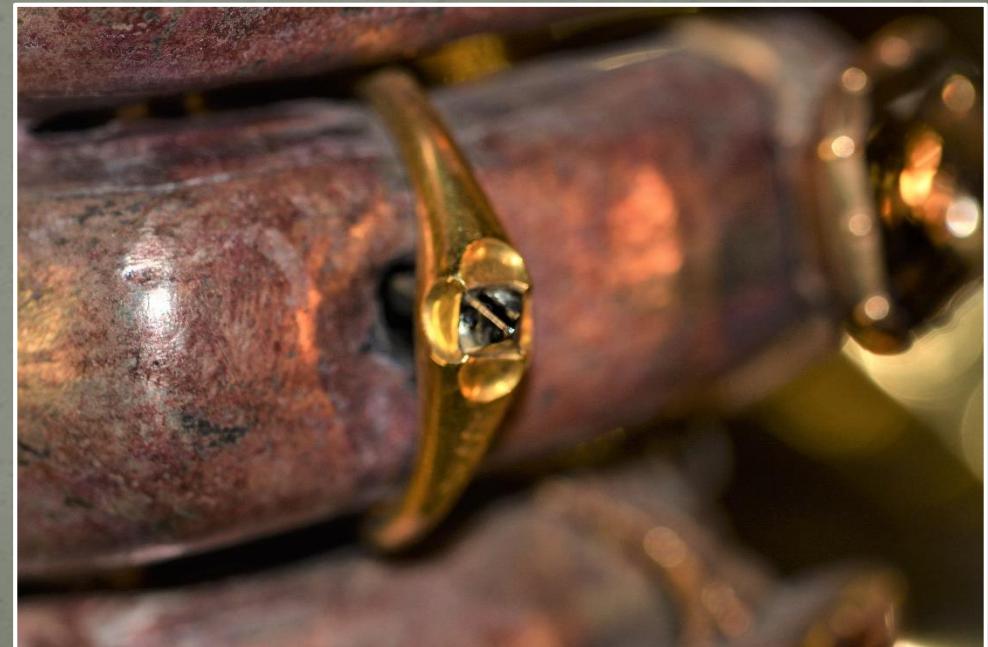
Origine:
Tajikistan
ou
Vietnam



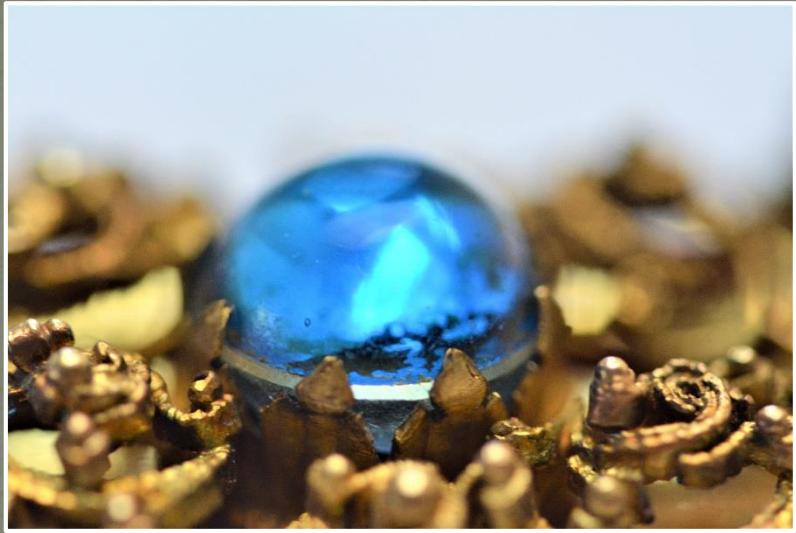
Diamant



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



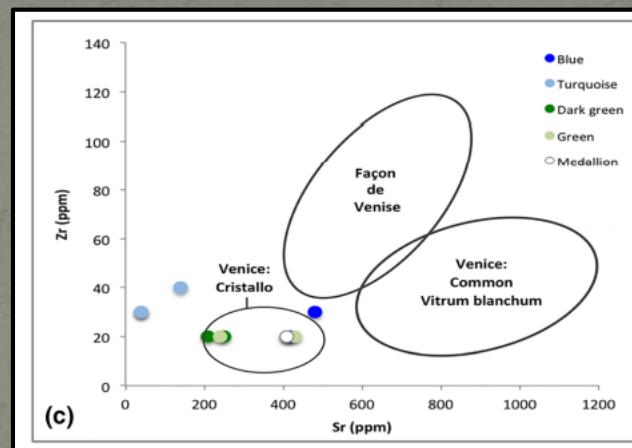
Verroteries – Croix de Liège



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

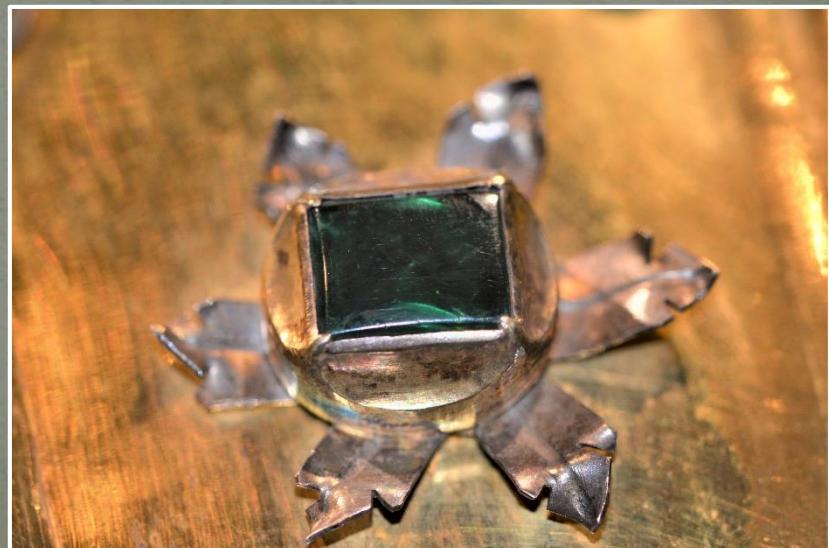


Verroteries – Buste de St Lambert



- 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

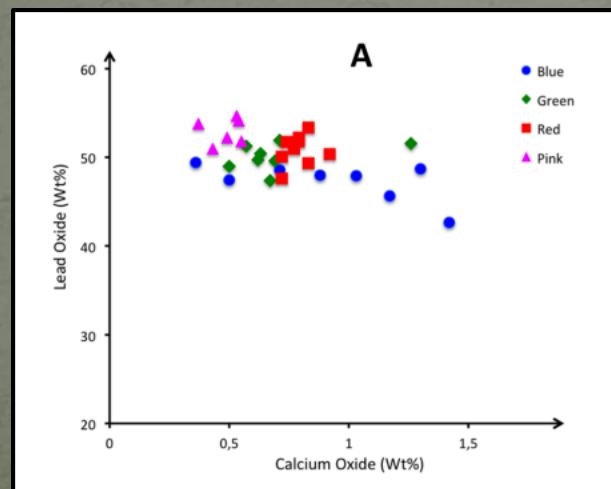
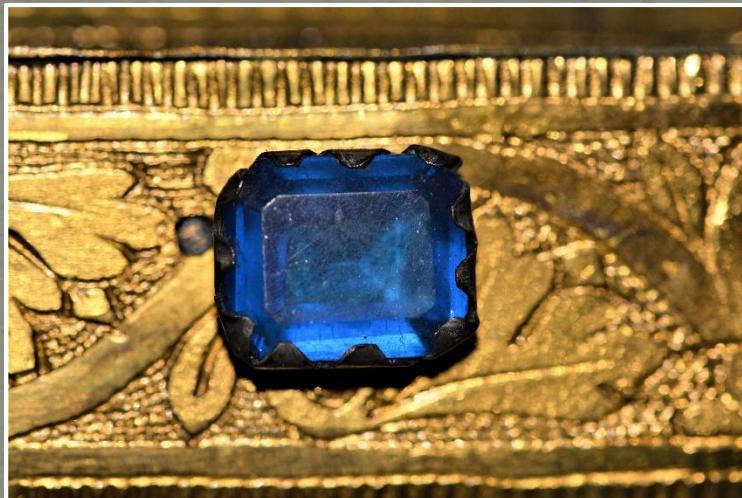


Verroteries – Buste de St Lambert

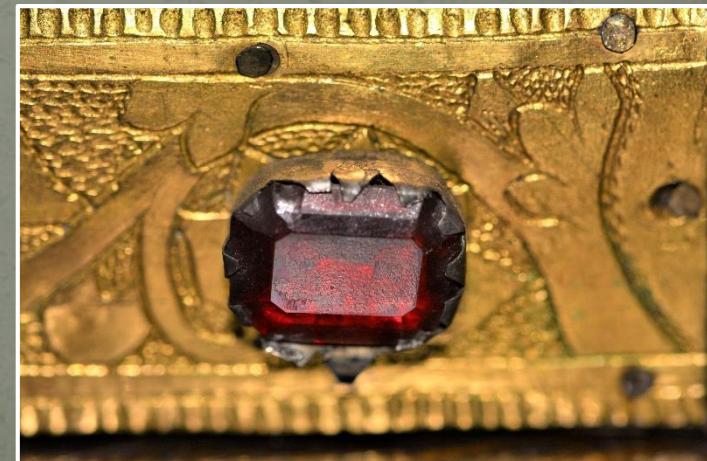


- Verre orange: très riche en Pb
- Plus récent (17-18^{ème} siècles)
- Absent du dessin de Michel Natalis (1653)

Verroteries – Châsses de Lierneux



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

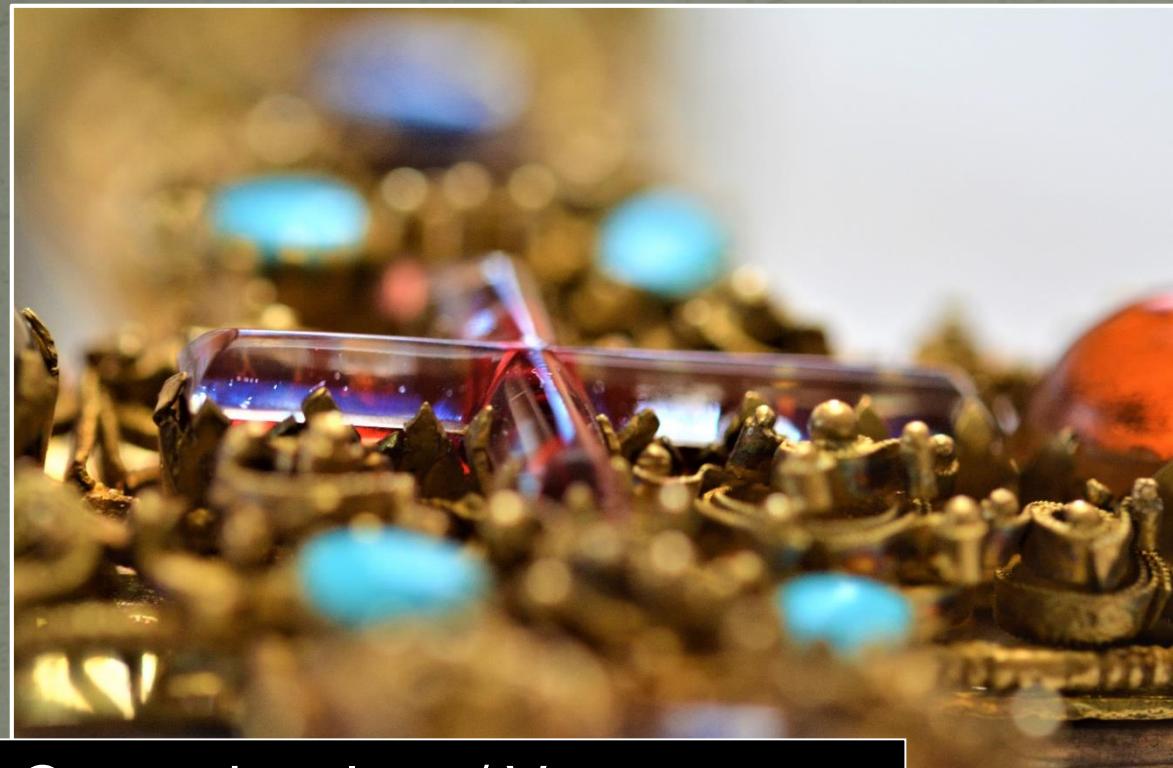


Falsifications: fausses turquoises



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

Falsifications: doublets

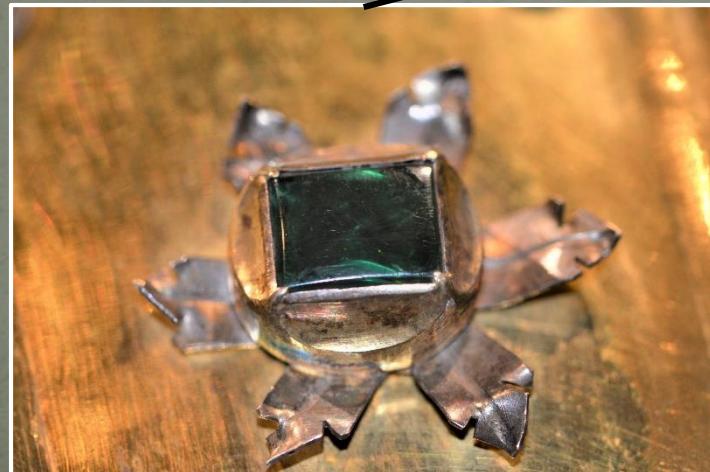
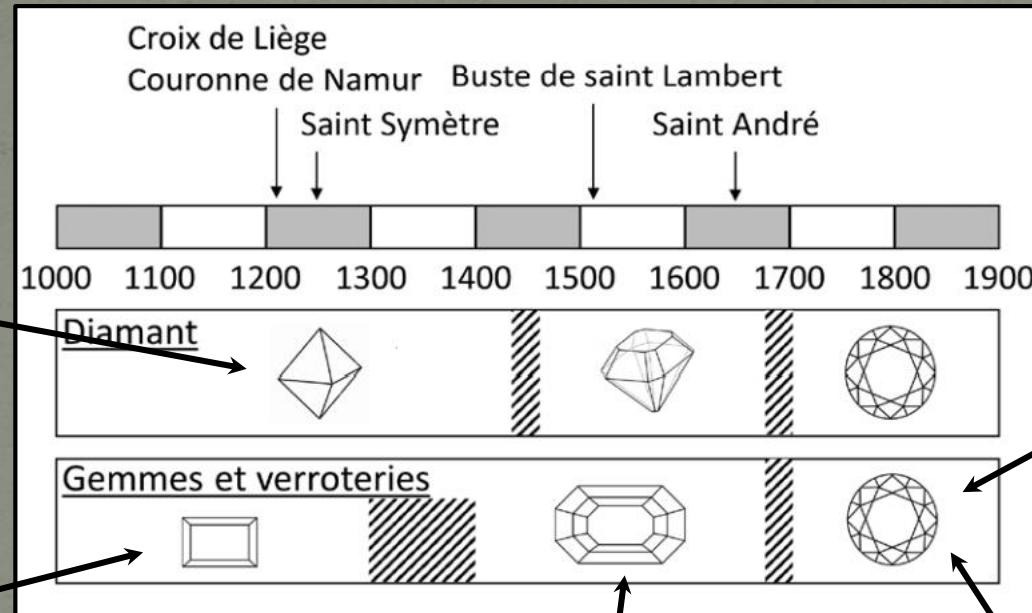


Quartz incolore / Verre rouge

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