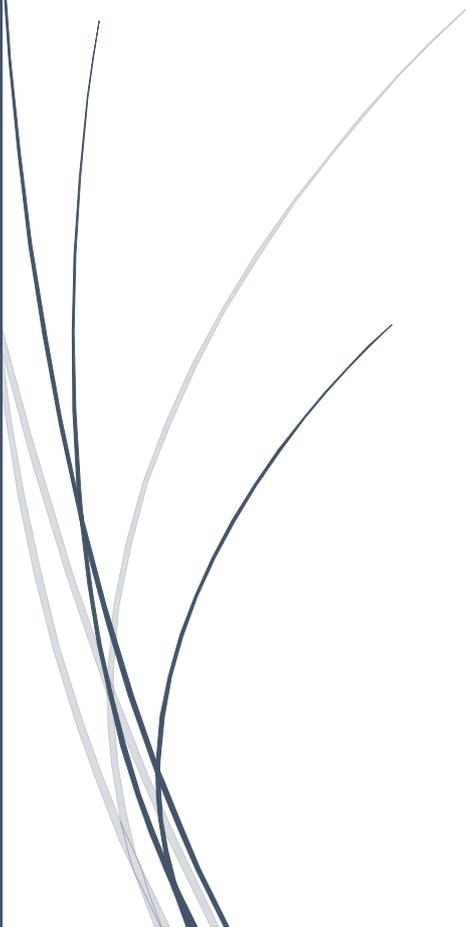




14/06/2022

Expertise des émeraudes des bijoux des trésors de Vaise et des Lazariste Musée Lugdunum (Lyon)



REYNARD ERIC

Table des matières

I-	Introduction	2
II-	Trésor de Vaise.....	2
III-	Trésors des lazaristes	6
IV-	Techniques de caractérisation	10
1-	Trinoculaire et Microscope USB	11
2-	Analyseur de Fluorescence (XRF)	11
3-	Spectrométrie d'absorption optique.....	12
V-	Résultats.....	13
1-	Emeraudes.....	13
a.	Observations.....	13
b.	Spectre d'absorption	13
c.	XRF.....	14
2-	Alliages métalliques.....	15
VI-	Interprétation et discussion	16
VII-	Conclusion.....	20
	Références bibliographiques.....	21

I- Introduction

L'objet de cette expertise est l'identification, la caractérisation et dans la mesure du possible l'identification de l'origine géographiques des gemmes (grenats et émeraudes) sertis sur 12 bijoux des trésors de Vaise, des Lazaristes et de la Saône présentés au Musée Lugdunum gallo-romain de Lyon. Cette expertise a eu lieu le 9 mai 2002 pendant une journée sur le site du musée. Elle a été conduite à l'aide de spectrométries portable non invasives (Raman, absorption optique, fluorescence X...). Les bijoux sont sertis d'émeraudes et de grenats antiques et constitue donc des références inestimables pour la compréhension de l'orfèvrerie gallo-romaines (Besson, 2007) mais également pour l'identification des routes commerciales entre les sites d'extraction et de mise en forme (Cano, 2022). Des études préalables des gemmes ont été menée en 1994 par G. Panczer et M. Boudeulle, au sein du Laboratoire de Physico-Chimie des Matériaux Luminescent (LPCML UMR5620) de l'université Claude Bernard de Lyon, ainsi qu'en 2012 dans le cadre du stage de Clotilde Feydieu (Diplôme universitaire de Gemmologie de Lyon). Cette dernière étude contribue donc à une meilleure connaissance de ces gemmes en particulier grâce à leur analyse élémentaire par fluorescence X (XRF).

II- Trésor de Vaise

Le trésor de Vaise (Figure 1) a été découvert en 1992, sur une villa gallo-romaine au sein de la Zone d'aménagement concerté de Charavay, au nord de Lyon. Il est daté du III^{ème} siècle après J.-C. (Metzger, 1994 ; Cano, 2022).



FIGURE 1 APERÇU DU TRÉSOR DE VAISE (ARGENTERIE ET ORFÈVRERIE) (AUBIN ET AL., 1999)..

Numero inventaire	Trésor de Vaise			
	Bijoux		Nombres d'éméraires	Notre numérotation
INV 93 1 201 6	pendants d'oreille		2	V1-EM1 V1-EM2
INV 93 1 201 7	pendants d'oreille		3	V2-EM3 V2-EM4 V2-EM5
INV 93 1 201 4	pendants d'oreille		1	V3-EM6
INV 93 1 201 5	pendants d'oreille		1	V4-EM7
INV 93 1 201 3	collier		9	V5-EM8 V5-EM9 V5-EM9 V5-EM10 V5-EM11 V5-EM12 V5-EM13 V5-EM14 V5-EM15 V5-EM16

TABLEAU 1. INVENTAIRE DES BIJOUX ANALYSÉS DU TRÉSOR DE VAISE

1- Collier

Inv. 93 1 201 3,

Or et émeraudes ; Long 40 cm ; poids : 36,6 g.

Le bijou, est constitué d'une alternance de 9 perles d'émeraude (béryl) et de 8 maillons d'or en forme de double nœud (Besson, 2007). Les perles d'émeraude en forme de prismes hexagonaux bruts polis, de longueur irrégulière, sont percées de part en part et enfilées sur de petits fils d'or repliés en boucle aux extrémités (Figure 2). Les maillons en double nœud de type communément appelé nœud d'Héraclès sont constitués de petits tubes d'or repliés pour obtenir la forme désirée et rassemblés à leurs extrémités dans des sortes de manchons à bout plat où viennent s'accrocher les fils supportant les émeraudes



FIGURE 2. COLLIER DU TRÉSOR DE VAISE INV 93 1 201 3

2- Pendants d'oreilles

Inv. 93 1 201 6 et 7

Or, émeraude, perle et pâte de verre ; Hauteur. 2,9 cm environ : largeur plaque carrée 1,7 cm. 17 Poids 3,8 g et 3,4 g. L'extrémité d'une pendeloque manque sur un des pendants (Figure 3). Ces pendants d'oreilles à crochet de suspension sont des bijoux composites (Besson, 2007). Trois pendeloques parallèles sont constituées de petites bâtes carrées en or garnies de pâtes de verre auxquelles sont soudés trois granules d'or avec fil de suspension maintenant deux prismes d'émeraude encadrant une perle. Les parallèles ne manquent pas pour ces types de pendants d'oreilles. On peut en citer une paire dans le trésor des Lazaristes (Comarmond, 1844, n° 17, 18 pl. I). On notera en particulier la forme de la barre transversale entre le carré supérieur et les pendeloques et la disposition des perles et des pierres de couleur.



FIGURE 3 PENDANTS D'OREILLES À PERLES, PÂTE DE VERRE ET ÉMERAUDES (TRÉSOR DE VAISE ; INV. 93 1 201 6 ET 7 ; HAUTEUR 2,9 CM) (PHOTO : G. PANCZER). ET DESSIN DE BESSON (2007).

3- Pendants d'oreilles

En Or, grenat, émeraude et perle. Haut 3,6 cm env. ; diam. Élément supérieur 1,4 cm. Poids : 3,2 g l'une. Ces pendants d'oreilles à crochet de suspension sont constitués de plusieurs éléments. Sur l'un des bijoux, la perle, cassée, laisse apparaître le fil d'or. À une bête carrée disposée sur la pointe et garnie d'un grenat taillé en pyramide, sont fixées trois petites pendeloques, une émeraude centrale encadrée de deux perles, toutes maintenues par de petits fils d'or repliés sur eux-mêmes à la base des pendeloques (Figure 4) v. 93 1 201 4 et 5



FIGURE 4 PENDANTS D'OREILLES A PERLES, GRENATS ET EMERAUDES (TRESOR DE VAISE INV. 93 1 201 4 ET 5 ; HAUTEUR 3,6 CM) (PHOTO : G. PANCZER). DESSIN DE BESSON (2007).

III- Trésors des lazaristes

Le trésor des Lazaristes (Figure 5) a été découvert en 1841, dans l'ancienne propriété de l'ordre religieux du même nom, sur la colline de Fourvière à Lyon. Les bijoux du trésor des Lazaristes sont datés comme le trésor de Vaise du III^{ème} siècle après J.-C (Comarmond, 1844 ; Metzger, 1994 ; Giuliani et al., 2001) (Figure 8).



FIGURE 5 TRESOR DES LAZARISTES

Numero inventaire	Trésor des Lazaristes		
	Bijoux	Nombres d'émérides	Notre numérotation
FRV 1479	pendants d'oreille	2	LZ1-EM1 LZ1-EM2
FRV 1480	pendants d'oreille		LZ2-EM3 LZ2-EM4
FRV 1477	pendants d'oreille	3	LZ3-EM5 LZ3-EM6 LZ3-EM7
FRV 1478	pendants d'oreille		LZ4-EM8 LZ4-EM9 LZ4-EM10
FRV 1483	Pendeloque frontale	2	LZ5-EM11 LZ5-EM12
FRV 1468	Bague	1	LZ-BAGUE

TABLEAU 2. INVENTAIRE DES BIJOUX ANALYSÉS DU TRÉSOR DES LAZARISTES

1- Pendants d'oreilles

FRV 1479 et 1480

Or, émeraude, Dimension h 59,7mm Ardillon soudé sur les bandes transversales fixées au cadre approximativement carré et présentant une émeraude percée maintenue par deux griffes. À l'opposé, un pendentif présente un fil ouvragé sur lequel est suspendue une émeraude hexagonale (Figure 6).



FIGURE 6 PAIRS DE PENDANT D'OREILLE À DEUX ÉMERAUDES (TRÉSOR DES LAZARISTES ; INV. FRV1479 ET 1480 ; HAUTEUR 6,0 CM)

(PHOTO : G. PANCZER). ET DESSIN DE BESSON (2007).

2- Pendants d'oreilles

FRV 1477 et 1478

Or émeraude perle de nacre pierres ou verres rouge, Dimension h 49.1 L 13.94 mm Pendant d'oreille constitué d'un cadre plus ou moins carré au-dessus d'une barrette horizontale à laquelle sont suspendus trois pendentifs composés chacun d'un fil ouvragé avec un serti clos et une perle enfilée. Les deux perles en émeraudes vertes encadrent la perle de nacre centrale (Figure 7).



FIGURE 7 PAIRE DE PENDANT D'OREILLE À PERLE ET TROIS ÉMERAUDES (TRÉSOR DES LAZARISTES ; INV. FRV1477 ET 1478 ; HAUTEUR 4,9 CM).

NB. L'ÉMERAUDE ANALYSÉE PAR SONDE IONIQUE PAR GIULIANI ET AL. EST L'ÉMERAUDE DE DROITE DU PENDANT DE DROITE INV. FRV1478 (PHOTO : G. PANCZER) ET DESSIN DE BESSON (2007).

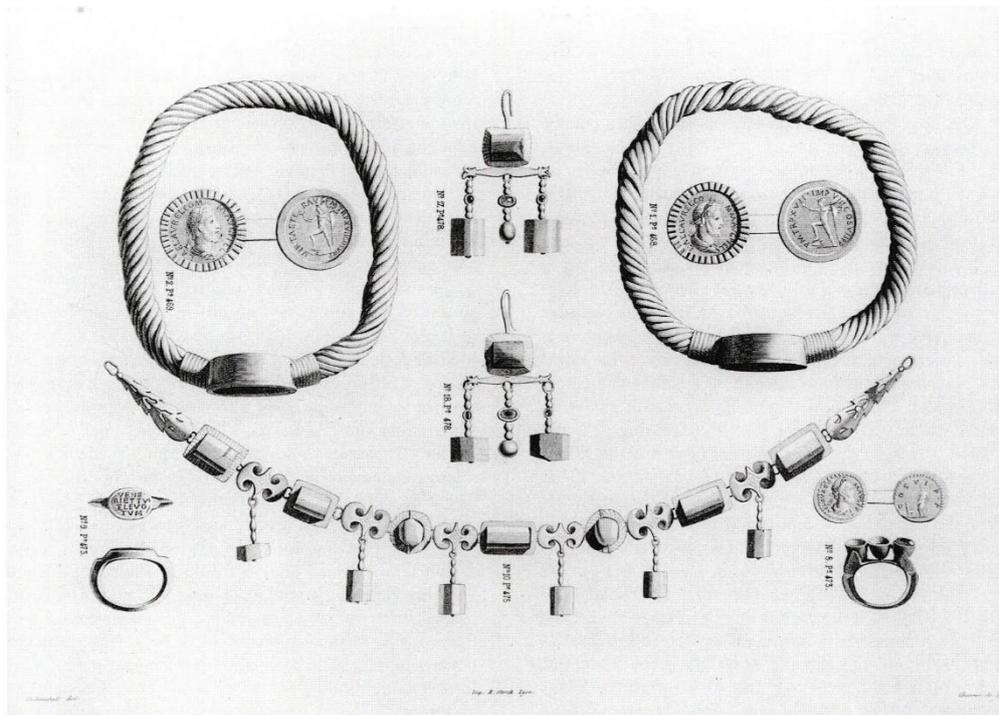


FIGURE 8 BIJOUX DU TRÉSOR DES LAZARISTES.
PLANCHE DESSINÉE (COMARMOND, 1844) MONTRANT LA PAIRE DE PENDANTS D'OREILLE (FIGURE 7 ; INV. FRV1477
ET 1478) ET LA BAGUE (FIGURE 10 ; INV. FRV 1468).

3- Pendeloque frontale

FRV 1483

Or grenat émeraude

Cette pendeloque frontale (Inv. FRV 1483) est constituée d'une chaîne en or en mailles tressées dont une extrémité se termine par une pierre rouge (grenat) en serti clos et deux pierres vertes (émeraudes) en pendentif (89,64 mm de longueur, 14,68 mm de largeur et pèse 17,6 g) (Figure 9).



FIGURE 9. PENDELOQUE DE TÊTE À GRENAT ET ÉMERAUDES
(TRÉSOR DES LAZARISTE ; INV. FRV1483 ; LARGEUR 1,5 CM) (PHOTO : G. PANCZER).

4- Bague.

A1468

Or émeraude

Bague ovale constituée d'une tige creuse et de section triangulaire. Elle comporte trois chatons qui recevaient des émeraudes (dont deux sont manquantes) (Figure 10).



FIGURE 10. BAGUE À ÉMERAUDE (TRÉSOR DES LAZARISTE FRV 1468) (PHOTO : G. PANCZER)..

IV- Techniques de caractérisation

La formule structurale de l'émeraude est donc : $(\text{Be}^{2+}, \text{Fe}^{2+})_3(\text{Al}^{3+}, \text{Cr}^{3+}, \text{V}^{3+})_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$.

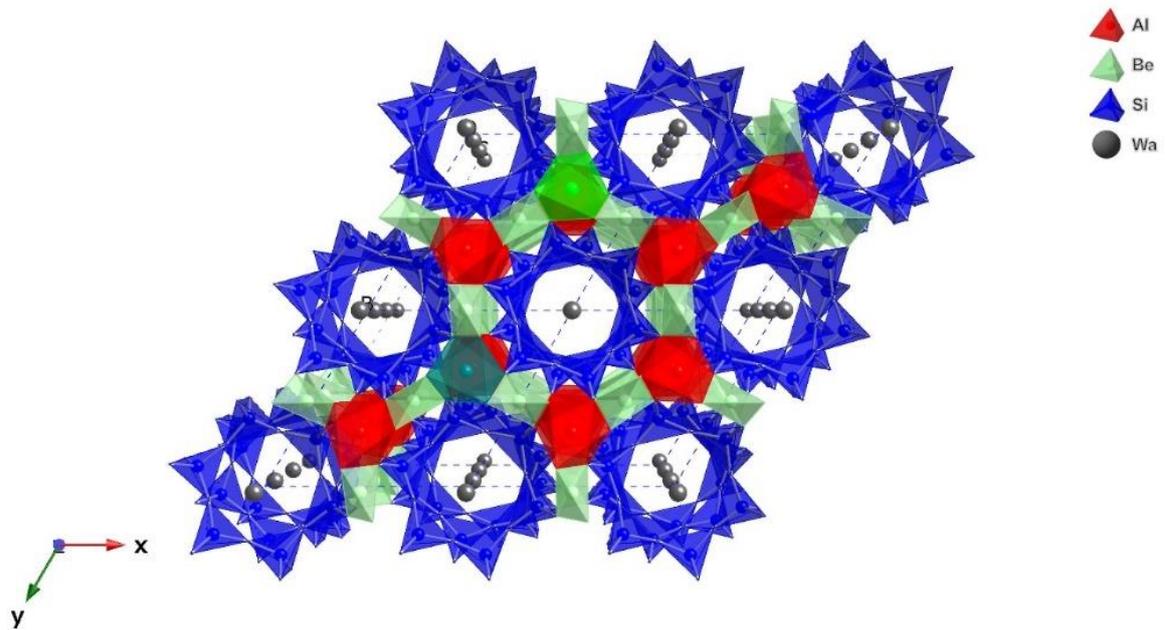


FIGURE 11. STRUCTURE ATOMIQUE DU BÉRYL (AL ROUGE COORDINANCE 6 ; GROUPEMENT TÉTRAÉDRIQUE [SiO4] EN BLEU).

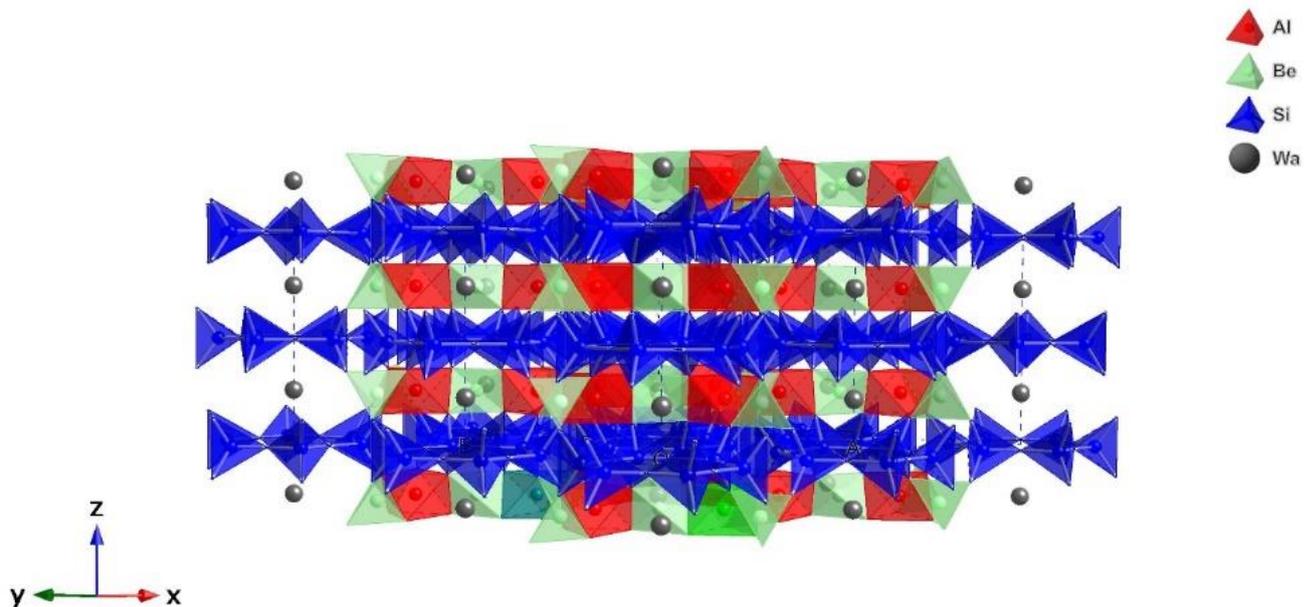


FIGURE 12 STRUCTURE ATOMIQUE DU BÉRYL (AL ROUGE COORDINANCE 6 ; GROUPEMENT TÉTRAÉDRIQUE [SiO4] EN BLEU FONCÉ), PARALLÈLE À L'AXE C (PLAN (010)).

1- Trinoculaire et Microscope USB

Une trinoculaire Zeiss Stemi 2000 muni d'une caméra Axiocam 105 color (éclairage LED en champ sombre ou en réflexion) ainsi qu'un microscope Q-scope compact USB (avec éclairage annulaire polarisable) permet d'obtenir des photos macroscopiques des échantillons de leur serti et de potentiellement observer les inclusions dans les gemmes



FIGURE 13 . DÉTAILS DES ÉMERAUDES DE DIFFÉRENTS BIJOUX ;
EN HAUT : COLLIER TRÉSOR DE VAISE ; INV. 93 1 201 3) ; EN BAS À GAUCHE : PENDANT, TRÉSOR DE VAISE (INV. 93 1 201 7) ; EN BAS À DROITE : PENDANT, TRÉSOR DE VAISE INV. 93 1 201 4 ET 5 (PHOTOS : G. PANCZER)

2- Analyseur de Fluorescence (XRF)

La fluorescence X (X-ray fluorescence XRF) permet l'analyse chimique élémentaire sur site de tout type de matériaux inorganiques sans préparation particulière, composés d'éléments de numéro atomique $Z > 11$ (à partir du magnésium). Cette méthode d'analyse élémentaire non destructive est basée sur l'énergie de rayons X émis lors de l'interaction de rayons X incidents avec les électrons de cœur des atomes du matériau.

La résolution spatiale est de 3 mm et le temps d'analyse de 120 s. Le mode « Minerais » a été utilisé après une calibration préalable sur les standards NIST610 and 612 de compositions connues. La précision est variable selon les éléments et la matrice analysée. Elle est également fortement dépendante de la forme des échantillons : les meilleurs résultats seront obtenus pour une surface plane (pierres facettées) et seront moins précis pour les pierres à surface incurvée (cabochon).

Les éléments majeurs des gemmes et des alliages métalliques précieux sont exprimés en % en poids de l'élément ou d'oxyde. Les éléments traces des gemmes en ppm (partie par million).

L'appareil utilisé est un analyseur XRF Thermo Niton XL3t 980 GOLDD+ (puissance de 2 W, anode Ag) monté sur un trépied permettant une orientation de l'analyseur et une mesure à distance sécurisée. L'appareil utilisé est un analyseur XRF Thermo Niton XL3t 980 GOLDD+ (puissance de 2 W, anode Ag), monté sur un trépied permettant une orientation de l'analyseur et une mesure à distance sécurisée.

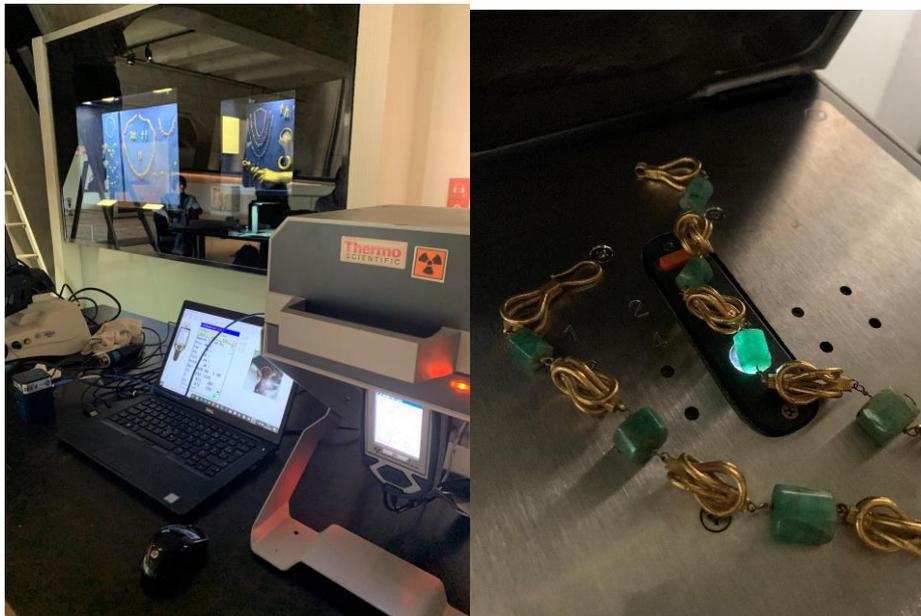


FIGURE 14. ANALYSE PAR FLUORESCENCE X (XRF) DES ÉMERAUDES DU COLLIER DU TRÉSOR DE VAISE (INV. 93 1 201 3) (PHOTO : G. PANCZER).

3- Spectrométrie d'absorption optique

La spectrométrie d'absorption permet d'enregistrer le spectre d'absorption et de déterminer les bandes et les raies d'absorption d'une gemme dans le domaine 250-1000 nm. Les échantillons étant massifs, les mesures ont été obtenues à l'aide d'une sphère en réflexion diffuse (Figure 15).

- Méthodes d'analyse des causes de la couleur
- Détection de traitements (produit organiques)
- Traçabilité (pour l'émeraude)

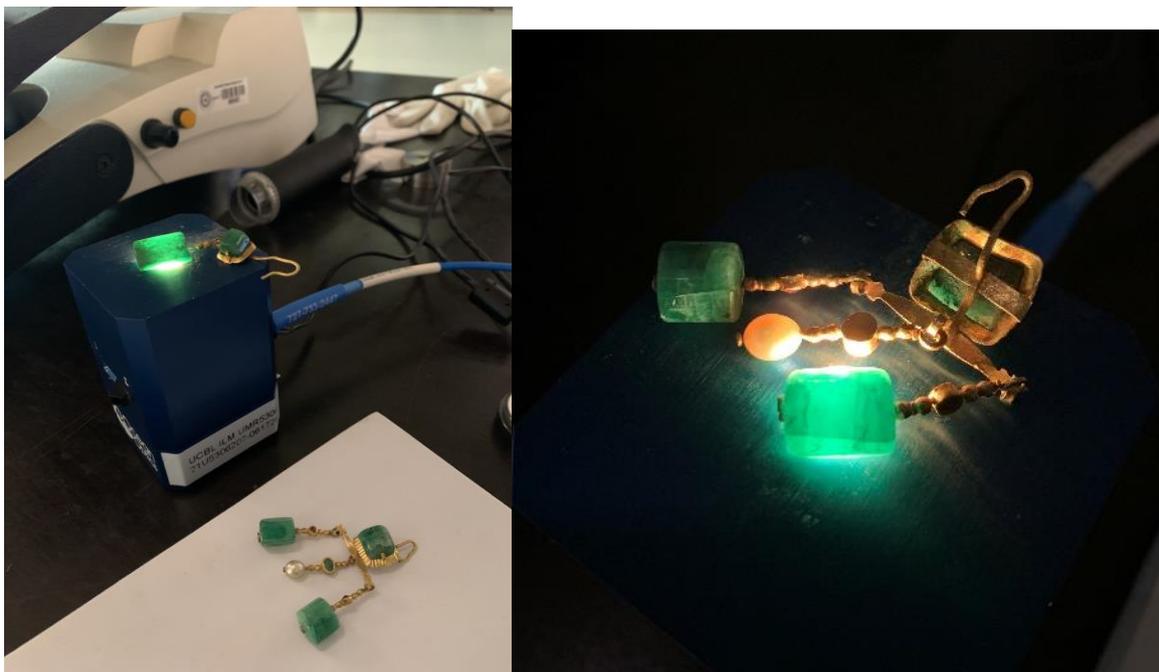


FIGURE 15 SPHÈRE EN RÉFLEXION DIFFUSE UTILISÉE POUR LA MESURE DES SPECTRES D'ABSORPTION OPTIQUE (PHOTO : G. PANCZER)

V- Résultats

1- Émeraudes

a. Observations

Les émeraudes sont des prismes hexagonaux bruts légèrement polis. Ils sont légèrement translucides sous éclairage en transmission. La présence de nombreuses craquelures affecte la transparence des émeraudes et n'a pas permis de mettre en évidence des inclusions caractéristiques

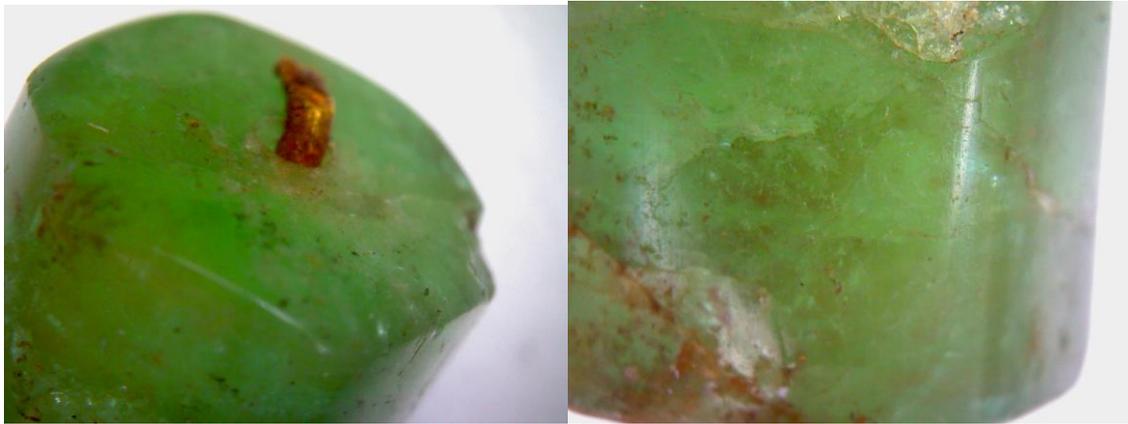


FIGURE 16 DÉTAILS DES ÉMERAUDES TRANSLUCIDES DES PENDANTS D'OREILLE MONTRANT DE NOMBREUSES CRAQUELURE ET SANS INCLUSION VISIBLE (PHOTO : G. PANCZER)

b. Spectre d'absorption

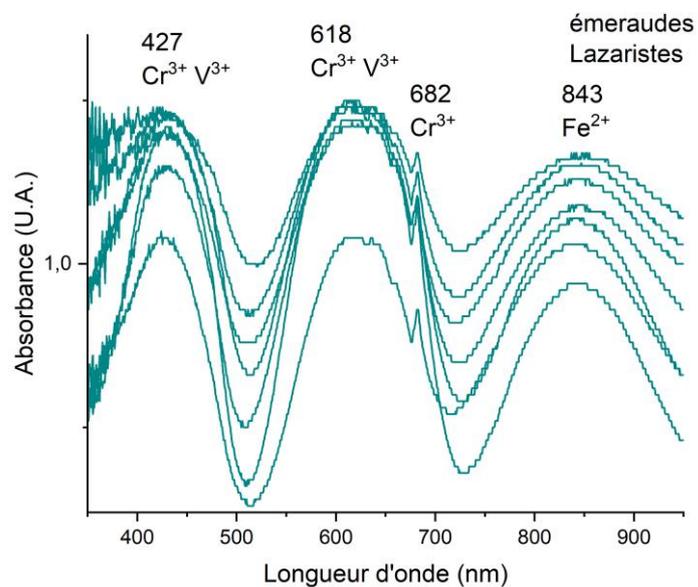


FIGURE 17 SPECTRE ABSORPTION DES ÉMERAUDES DU TRÉSOR DE VAISE (FIGURE 2, FIGURE 3, FIGURE 4)

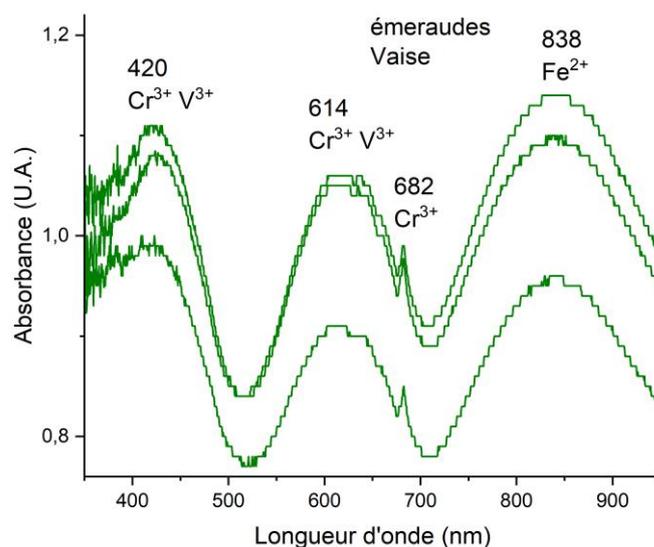


FIGURE 18. SPECTRES ABSORPTION DES ÉMERAUDES DU TRÉSOR DES LAZARISTES (FIGURE 6, FIGURE 7)

Les spectres d'absorption des émeraudes (Figure 18 ; Figure 19) permettent de mettre en évidence le chrome trivalent Cr³⁺ et le vanadium V³⁺ responsables de la couleur verte (émeraude). Ils absorbent le bleu et l'orange et transmet le vert (520 nm) et le proche infrarouge (730 nm). On peut noter que les émeraudes des bijoux du trésor de Vaise présentent une absorption en Fe plus importante que celles du trésor des Lazaristes.

c. XRF

L'analyse par fluorescence X permet de quantifier de façon semi-quantitative les éléments traces des gemmes. Celles-ci peuvent être des traceurs des conditions de formation et donc des gisements. Les résultats de chaque point d'analyses d'émeraudes sont donnés via le Tableau 3... (annexe 1).

Ppm	Trésor de Vaise		Trésor des Lazaristes		Autriche (Habachtal)		Egypte (Zabara)		Pakistan (Swat)	
Source	Cette étude		Cette étude		Calligaro (2000)	Auriscchio (2018)	Calligaro (2000)	Auriscchio (2018)	Calligaro (2000)	Auriscchio (2018)
Nb de points	15	SD	14	SD	13	3				
Technique d'Analyse	XRF		XRF		PIXE	EPMA	PIXE	EPMA	PIXE	EPMA
Fe	3687	(285)	3475	(502)	4000	3316	4600	6024	6230	10390
Cr	1004	(40)	1455	(63)	1390	945	2600	3224	5930	6635
V	188	(28)	235	(40)	170	145	330	300	320	433
Ti	92	(66)	71	(66)	30	4	7	60	10	40
Rb	17	(3)	19	(4)	18	n.m.	24	14	6	3
n.m. = non mesuré										

TABLEAU 1 TABLEAU DES MOYENNES EN ÉLÉMENTS TRACES (PPM) DES ÉMERAUDES ANALYSÉES COMPARÉES À CELLES DE CALLIGARO (2000) ET AURISICCHIO (2018) (SD : DÉVIATION STANDARD ; N.M. NON MESURÉ).

Les teneurs en éléments traces des émeraudes de cette étude (Vaise et Lazaristes) sont proches de celles d'émeraudes de référence d'Autriche et d'Egypte (Calligaro, 2000 ; Auriscchio, 2018). Cependant les teneurs en vanadium V (Vaise : 188 ± 28 ppm ; Lazaristes : 235 ± 40 ppm) et en rubidium Rb (Vaise : 17 ± 3 ppm ; Lazaristes : 19 ± 4 ppm) sont plus proches de celles du gisement d'Habachtal (V : 170 ppm ; Rb : 18 ppm) que celles de Zabara (Egypte) ou de Swat (Pakistan) (Tableau 3).

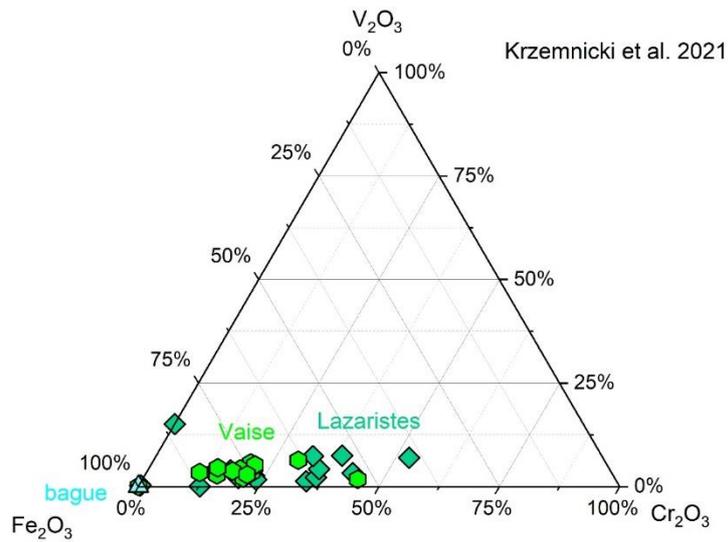


FIGURE 19. DIAGRAMME $Fe_2O_3 - V_2O_3 - Cr_2O_3$ (% OXYDE) DES ÉMERAUDES DES TRÉSORS DE VAISE ET DES LAZARISTES.

2- Alliages métalliques

Lors de cette étude nous avons aussi analyser les alliages métalliques des bijoux.

Le résultat est que les alliages sont des alliages d'or (75%) avec maximum 25% d'argent, et très peu de cuivre. (Figure 12 et 13)

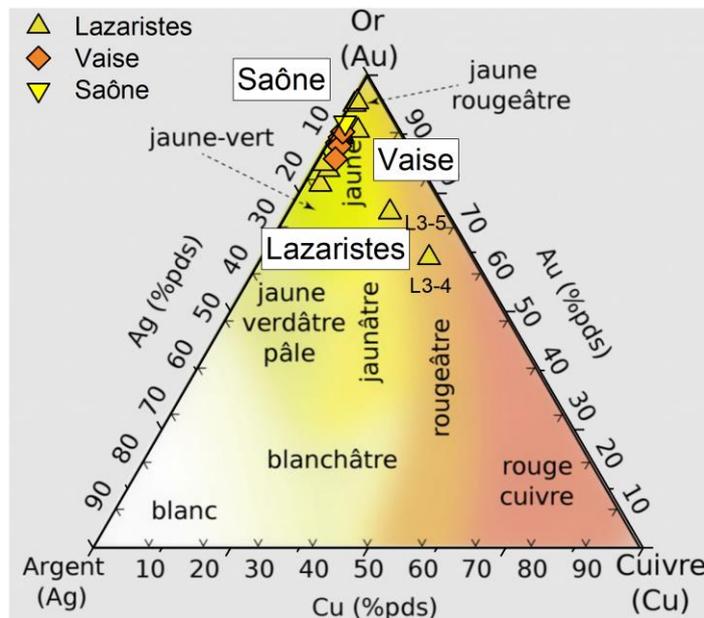


FIGURE 20 DIAGRAMME % Au-Ag-Cu :RÉSULTAT ANALYSE ALLIAGE MÉTALLIQUE

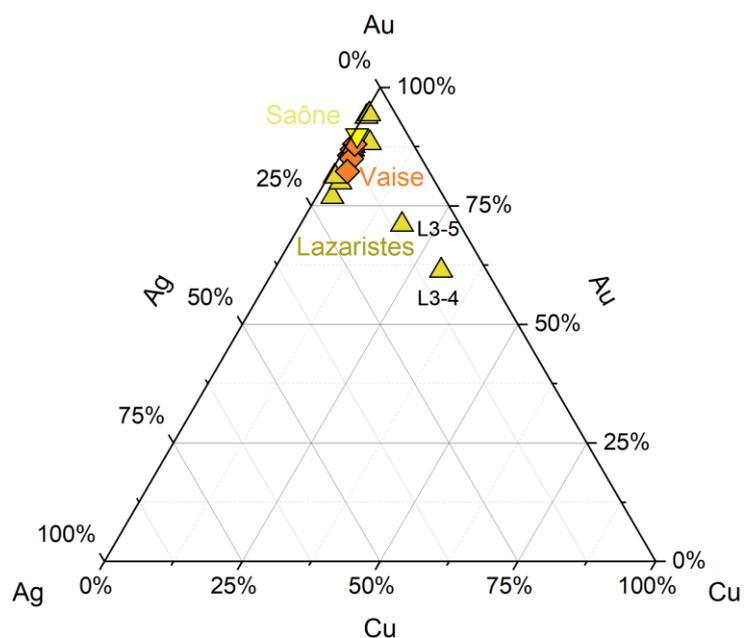


FIGURE 21. DIAGRAMME AU-AG-CU (%) ET POSITIONNEMENT DES ALLIAGES MÉTALLIQUES DES BIJOUX ANALYSÉS.

VI- Interprétation et discussion

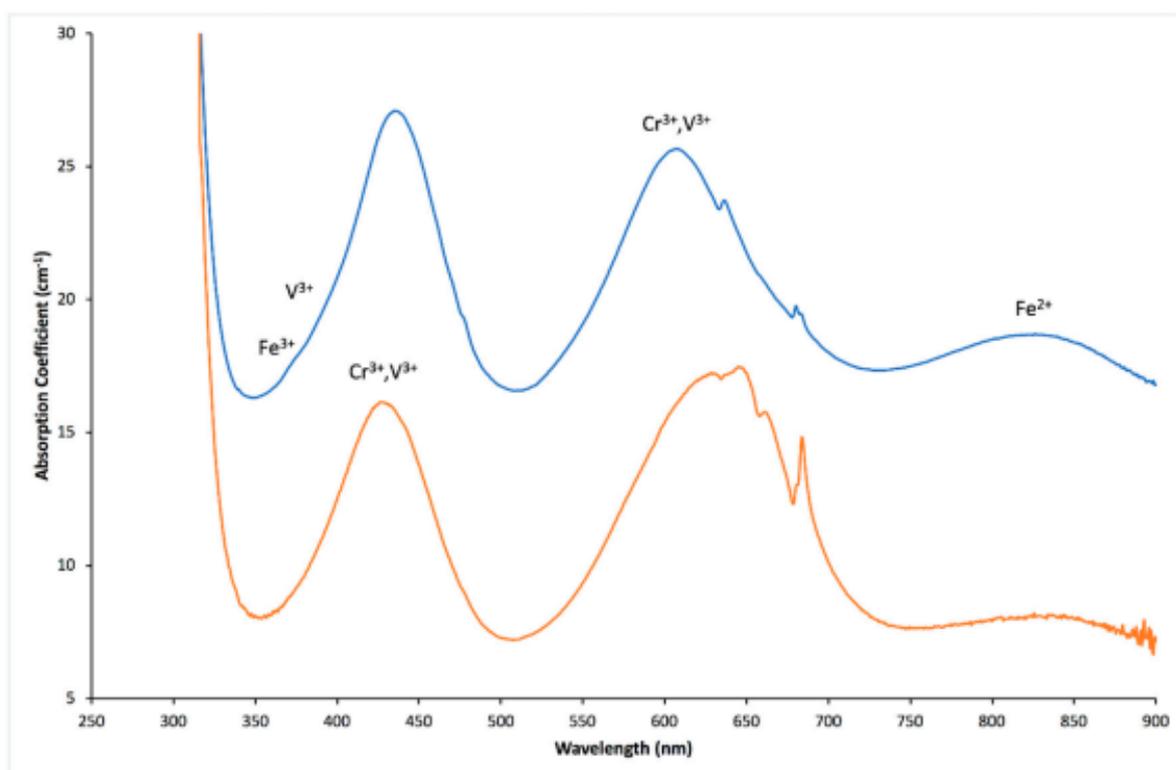


FIGURE 22 SPECTRE ABSORPTION ÉMERAUDE D'AFGHANISTAN KARAMPELAS 2019

Spectre absorption différent de celui d'Afghanistan chrome supérieur au fer

Les notre sont à peu près identiques figure 17 et figure 18

Les teneurs moyennes en éléments traces des émeraudes des différents trésors sont comparées avec celles des données de Aurisicchio et al. (2018), de (Calligaro et al., 2000) et Krzemnicki et al. (2021) (Figure 22). **Une origine colombienne peut être aisément éliminée ainsi qu'une origine afghane, comme attendu des données historiques d'exploitation.** Les interprétations tirées de ces comparaisons doivent être prises avec recul car ce sont des moyennes (de grandes variations de teneurs peuvent être présentes dans un même gisement). De plus, elles comparent des analyses ICPMS (Aurisicchio et al., 2018), PIXE/PIGE (Calligaro et al., 2000) et XRF (cette étude).

Placées dans un diagramme V/Cr vs Fe, les valeurs des émeraudes de Lugdunum se positionnent entre les émeraudes d'Afghanistan (Krzemnicki et al., 2021) et **se superposent à celles d'Habachtal (Autriche), de Zabara- Sikait (Egypte) et d'Oural (Russie) (Calligaro et al., 2000 ; Aurisicchio et al., 2018)** (Figure 23, Figure 24). Il n'est donc pour ces éléments discriminants pas possible de différencier ces trois origines géologiques. Les gisements d'Oural n'étaient cependant pas exploités à l'époque gallo-romaine. Une incertitude reste donc quant à une origine autrichienne ou égyptienne (Figure 24).

Le même type d'incertitude (Sikait, Habachtal ou Oural) a été montré dans le cas d'un collier en or à 19 primes d'émeraude d'Oplontis (Naples, Italie) (Aurisicchio et al., 2006)

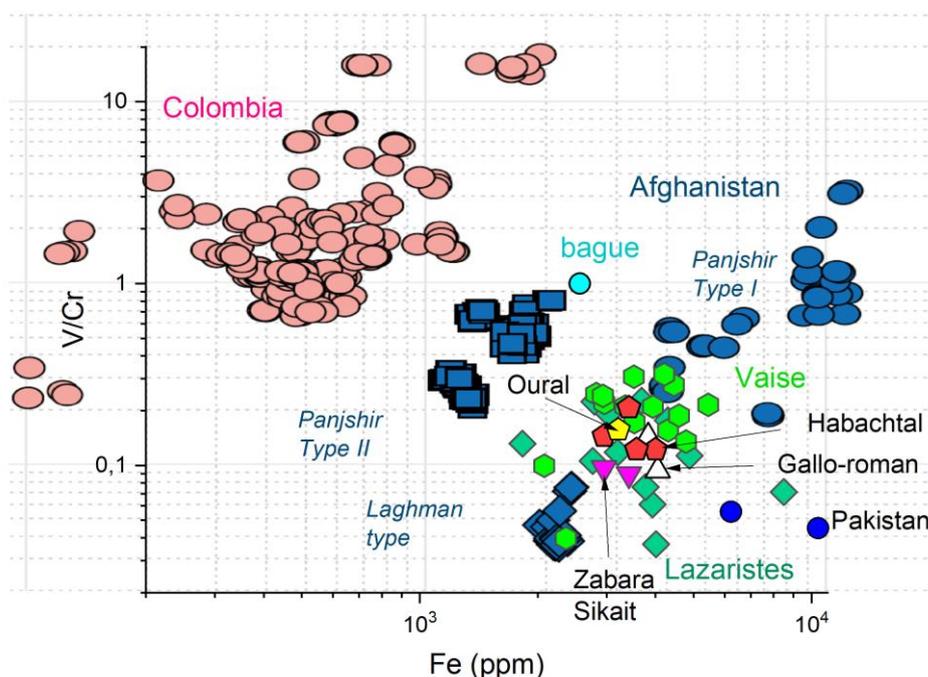


FIGURE 22 DIAGRAMME Fe vs V/Cr DES ÉMERAUDES DE CETTE ÉTUDE (XRF)

(VAISE : HEXAGONES ; LAZARISTE, LOSANGES ; BAGUE, CERCLE) COMPARÉES AUX DONNÉES DES ÉMERAUDES DE COLOMBIE (CERCLES ROSES) ET D'AFGHANISTAN (CARRÉS BLEUS) DE KRZEMNICKI ET AL. (2021) (LA-ICP-TOF-MS).

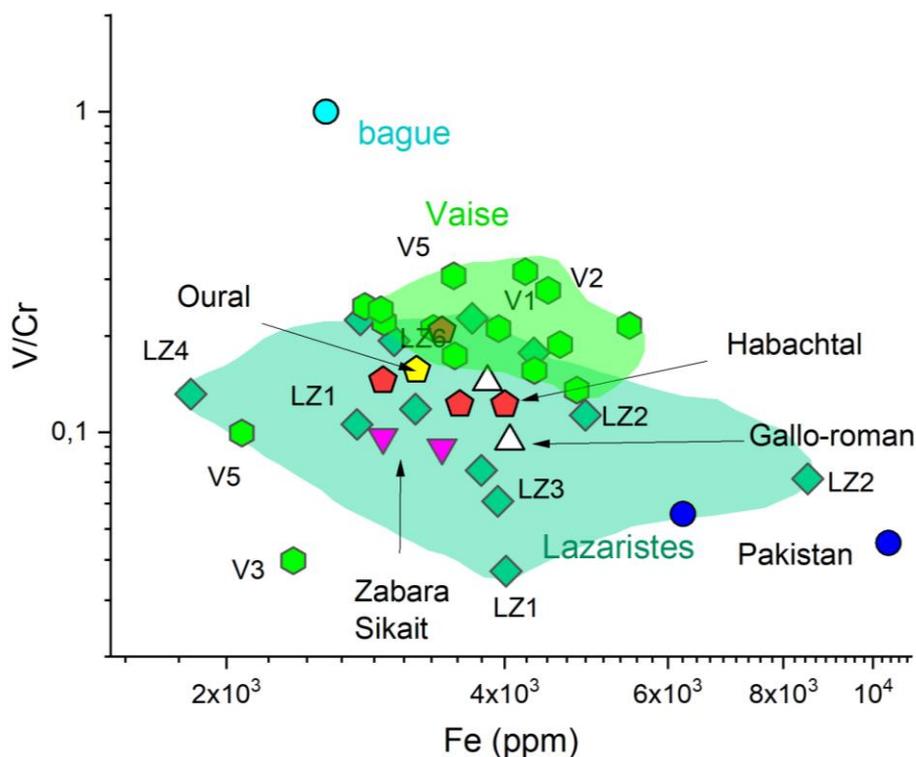


FIGURE 234 GRAPHE V/Cr VS Fe CENTRÉ SUR LES ÉMERAUDES DE CETTE ÉTUDE, COMPARÉES À CELLES D'HABACHTAL, D'OURAL, DE SIKAIT-ZABARA ET DU PAKISTAN (AURISICCHIO ET AL., 2018) ET D'ÉMERAUDES HISTORIQUES (CALLIGARO ET AL., 2000).

Les résultats de la bague sont peut-être erronés compte tenu de la difficulté à prendre les mesures (petite pierre en cabochon)

Lors d'une précédente étude par analyse isotopique par sonde ionique IMS 1270 à multicollecion au C.R.P.G. CNRS Vandœuvre par Giuliani et al. (2001) sur une des émeraude du pendent d'oreille du trésor des Lazaristes (Figure 7). Le rapport $\delta^{18}O/16O$ de cette émeraude ($6,8 \pm 0,02$ ‰) correspond à celles provenant d'Autriche (Habachtal) dont les valeurs sont $7,1 \pm 0,1$ ‰ (Figure 32 ; Giuliani et al., 1999, 2000 et 2001).

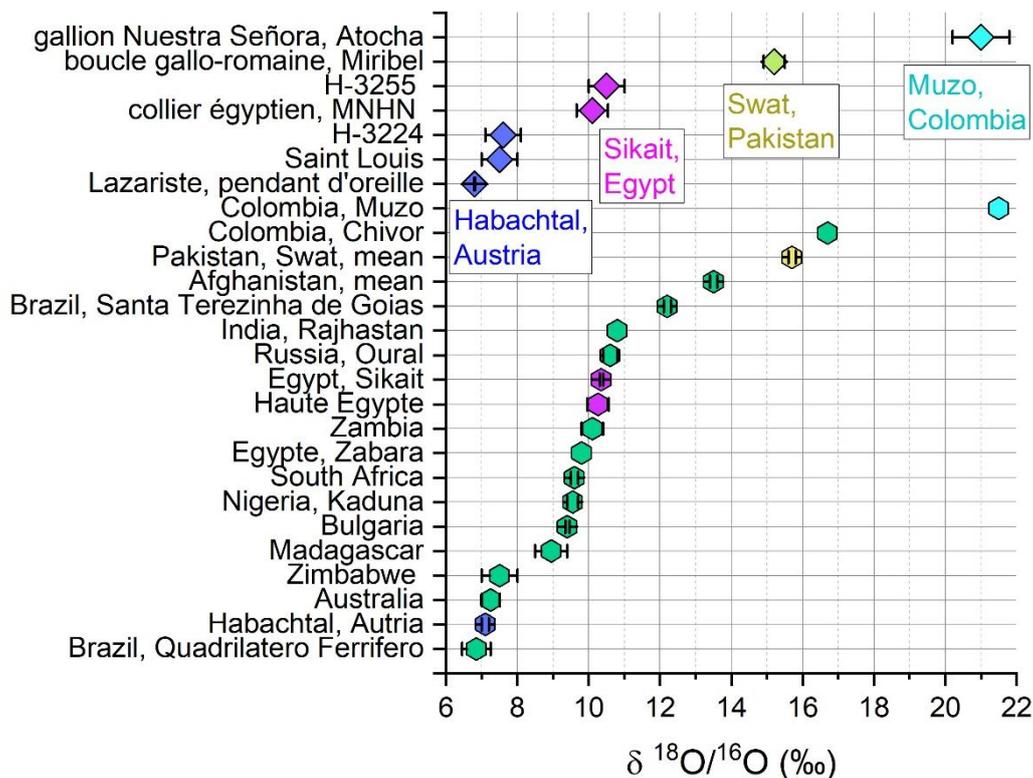


FIGURE 25 REPRÉSENTATION SYNTHÉTIQUE DES RAPPORTS 180/160 (‰) DOSÉS SUR PLUSIEURS ÉMERAUDES DE GISEMENTS DIFFÉRENTS (HEXAGONES) ET D'ÉMERAUDES HISTORIQUES (LOSANGES) DONT UNE ÉMERAUDE DU TRÉSOR DES LAZARISTES (D'APRÈS GIULIANI ET AL., 1999, 2000 ET 2001).

Cette origine autrichienne déterminée par analyse isotopique est cohérente avec les teneurs en éléments traces de cette étude. En effet, comme il a été montré, les teneurs en vanadium V et en rubidium Rb sont plus proches de celles du gisement d'Habachtal que celle celles de Zabara (Égypte) ou de Swat (Pakistan) (Tableau 3)

Les émeraudes de Lugdunum sont donc de même origine que l'émeraude de Saint Louis ($\delta 18O/16O : 7,5 \pm 0,5 \text{ ‰}$; Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris) et de l'émeraude H-3224 ($\delta 18O/16O : 7,6 \pm 0,5 \text{ ‰}$), une des deux émeraudes décrites par l'abbé Hauy en 1806 (Giuliani et al., 1999, 2000 et 2001)

VII- Conclusion

Les pierres gemmes sertis sur les bijoux des trésors de Vaise, des Lazaristes et de la Saône sont toutes des gemmes naturelles authentiques et en aucune façon des simulants. 27 Les émeraudes sont toutes des prismes hexagonaux naturels polis, percés et enfilés sur fils d'or, à part la bague sur laquelle les émeraudes sont taillées en cabochon et serties. L'analyse des éléments traces permet de proposer que ces émeraudes sont d'origine d'Habachtal en Autriche. Les teneurs en vanadium V et en rubidium Rb sont plus proches de celles du gisement d'Habachtal que celles de Zabara (Égypte) ou de Swat (Pakistan). Cette origine autrichienne est cohérente avec l'analyse isotopique d'une des émeraudes. Les grenats sont soit taillés en cabochons et sertis, soit percés et enfilés sur fils d'or. Ce sont des grenats almandins, $\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$, à almandins-pyropes, $\text{Fe,Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ (avec une contribution de moins de 20% du pôle spessartite $\text{Mn}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$). Il est notable qu'aucun grenat ne correspond à des grenats européens (Portugal ou Bohême). Les analyses élémentaires montrent que les grenats des bijoux du trésor de Vaise sont fort probablement originaires de Ceylan (Sri Lanka). Les grenats des Lazaristes sont originaires d'Inde ou de Ceylan. Les grenats du collier de Saône sont quant à eux originaires du Rajasthan (NW Inde). Les grenats des trésors de Lugdunum bien que d'apparence similaire sont donc originaires soit de Ceylan, soit d'Inde. Les alliages d'or des bijoux sont composés d'or à 84% (20 K or) avec moins de 20% d'argent

Cette origine autrichienne déterminée par analyse isotopique est cohérente avec les teneurs en éléments traces de cette étude. En effet, comme il a été montré, les teneurs en vanadium V et en rubidium Rb sont plus proches de celles du gisement d'Habachtal que celles de Zabara (Égypte) ou de Swat (Pakistan) (Tableau 3). Les émeraudes de Lugdunum sont donc de même origine que l'émeraude de Saint Louis ($\delta^{18\text{O}/16\text{O}} : 7,5 \pm 0,5 \text{ ‰}$; Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris) et de l'émeraude H-3224 ($\delta^{18\text{O}/16\text{O}} : 7,6 \pm 0,5 \text{ ‰}$), une des deux émeraudes décrites par l'abbé Hauy en 1806 (Giuliani et al., 1999, 2000 et 2001)

Références bibliographiques

- Auriscchio C., Conte A.M., Medeghini L., Ottolini L., De Vito C. (2018) Major and trace element geochemistry of emerald from several deposits: Implications for genetic models and classification schemes. *Ore Geology Reviews*, Vol. 94, pp. 351–366.
- Auriscchio C., Corami A., Ehrman S., Graziani G., Nunziante Cesaro S. (2006) The emerald and gold necklace from Oplontis, Vesuvian Area, Naples, Italy. *Journal of Archaeological Science*, 33, 5, 725-734.
- Besson C. (2007) La bijouterie gallo-romaine en or : recherches sur les techniques de fabrication et essais de typologies. sous la direction de François Baratte, Université Paris 4, 2554 pages.
- Cano, D. (2022) Le trésor de Vaise et les émeraudes antiques dans les collections gallo-romaines du musée de Lugdunum.
- Comarmond, A. (1844) : Description de l'écrin d'une dame romaine trouvé à Lyon en 1841, Paris-Lyon.
- Giuliani G, Chaussidon M, Schubnel H-J, Piat DH, Rollion-Bard C, France-Lanord C, Giard D, de Narvaez D, Rondeau B (1999) Historique des gisements d'émeraude et identification des émeraudes anciennes (1ère partie). *Revue de Gemmologie A.F.G.*, n°138/139, 22-23.
- Giuliani G, Chaussidon M, Schubnel H-J, Piat DH, Rollion-Bard C, France-Lanord C, Giard D, de Narvaez D, Rondeau B (2000) Oxygen isotopes and emerald trade routes since Antiquity. *Science*, 287, 631-633.
- Giuliani G., Chaussidon M., France-Lanord C., Savay Guerraz H., Chiappero P.J., Schubnel H.J., Gavrilenko E., Schwarz D. (2001). L'exploitation des mines d'émeraude d'Autriche et de la Haute-Egypte à l'époque gallo-romaine : mythe ou réalité ? *Revue de Gemmologie A.F.G.*, 143, p. 20-24.
- Karampelas S., Al-Shaybani B., Mohamed F., Sangsawong S. and Al-Alawi A. (2019) Emeralds from the Most Important Occurrences: Chemical and Spectroscopic Data. *Minerals*, 9, 561.
- Metzger, C. (1999) Les bijoux du trésor de Vaise. In : Le trésor de Vaise à Lyon (Rhône), Gérard Aubin, François Baratte, Jean-Paul Lascoux et Catherine Metzger Eds., Alpara, 1-21.