

Les gemmes de la Croix de Castelnau-de-Montmiral du XIVe siècle
Rapport gemmologique



Andrea Pazery,

DUG de gemmologie sous la responsabilité du Pr Gérard Panczer

Avec le soutien de L'École des Arts Joailliers, Paris

Juin 2024

TABLE DES MATIERES

I.	Introduction	4
II.	Protocole d'étude	5
III.	Techniques analytiques	6
A.	Imagerie.....	6
B.	Spectrométries.....	7
1.	Spectrométrie Raman	7
2.	Spectrométrie de fluorescence X (XRF)	8
IV.	Résultats	10
A.	Les types de taille.....	10
Les camées et intailles.....	10	
Les tailles des gemmes	13	
B.	Identification minéralogique des Pierres serties	14
1.	Les gemmes de la famille du quartz	14
2.	Les gemmes de la famille du corindon (saphirs)	19
3.	Les grenats.....	22
4.	Les carbonates (calcite).....	24
5.	Les phosphates	25
6.	Les verres.....	26
C.	Bilan des gemmes	28
D.	Alliages.....	32
E.	Les restaurations.....	34
Conclusion	37	
Pierres présentes et manquantes.....	37	
Identification des pierres actuelles.....	37	
Restaurations.....	39	
Expositions récentes	39	
Bibliographie.....	40	

Je tiens à remercier le Pr Gérard Panczer qui m'a offert la chance de participer à cet important projet et de m'a offert de son temps, l'École des Arts Joailliers pour son soutien prestigieux, mes amis gemmologues de tous horizons, notamment ceux du DUG de l'université Claude Bernard Lyon 1, ma famille et tous ceux qui m'ont aidée à la réalisation de ce travail.

La croix de Castelnau-de-Montmiral est une croix reliquaire constituée d'une âme de bois recouverte de plaques d'orfèvrerie agrémentées d'ornements de métaux précieux et de gemmes. Staurothèque, car recueillant un morceau de la Croix de Jésus Christ sous son cabochon central, elle renferme également en son sein les reliques des douze apôtres. Elle est conservée à l'église Notre-Dame de l'Assomption de Castelnau-de-Montmiral (Tarn).

Face à l'incertitude de ses origines et aux rumeurs de sa provenance byzantine, Emile Molinier (1857-1906) conservateur au Louvre, estime que son style et son poids place sa confection au XIIIe ou XIVe siècle probablement à Paris (Samaran, 1901) en opposition à une origine byzantine. Isabelle Bardiès-Fronti, actuelle conservatrice générale du patrimoine au musée de Cluny, Paris, y apporte un éclaircissement important : « Elle témoigne de l'adoption dans le midi des innovations des orfèvres parisiens du début du XIVe (...) » (Bardiès-Fronti, « Voyage dans la cristal », 2023).

D'autres croyances populaires attribuent la croix à la lignée des comtes d'Armagnac, prétendant que d'origine byzantine, elle serait un cadeau du pape Jean XXII, puis qu'elle aurait été offerte à l'Eglise par Charles comte d'Armagnac et comte et seigneur de Montmiral avant sa mort en 1497 (Plantié 1821), ou par Arnaud de Trian (1280-1350). Il ne semble rien en être.

Effectivement, la restauration en 2001 des comptes consulaires de Castelnau-de-Montmiral permet à Annie Charnay, directrice des archives départementales du Tarn, de conclure que la croix appartenait à la communauté de Castelnau-de-Montmiral : en 1341, alors qu'elle est encore en cours de réalisation, ses orfèvres albigeois sont arrêtés pour délit monétaire et la croix mise sous séquestre par le roi. Les consuls paient le séquestre, et font insculper les poinçons par Labastide de l'évêque. Ils mandatent Me Hot de Montcoti, orfèvre à Toulouse, qui achève la croix à Castelnau. Les reliques y sont placées en décembre 1341.

Des questions restent cependant en suspens : Arnaud de Trian, neveu du pape Jean XXII, vicomte de Talard et seigneur de Castelnau-de-Montmiral y a-t-il néanmoins contribué financièrement ? La question est légitime, car on peut se demander d'où la communauté de Castelnau-de-Montmiral détenait les reliques et un si grand nombre de gemmes. D'autant que les seigneurs de Montmiral semblent se servir de la croix pour se financer, comme le suggère le premier inventaire commandité par Jean IV afin de mettre en gage l'objet. L'année suivante, il réitère d'ailleurs pour financer la dot de sa sœur (Samaran, 1901).

A la Révolution, la croix est enterrée dans un silo creusé au pied des murs du château pour être mise en sécurité, puis redécouverte dit-on, par un cochon cherchant sa nourriture.

Victime de pillages successifs, de restaurations plus ou moins heureuses, et certainement démontée plusieurs fois, on constate des disparitions et d'importants changements de position des sertis, des ornements et des gemmes sur les diverses représentations que les siècles nous en ont transmis.

Les inventaires successifs plus ou moins descriptifs et complets nous permettent de mettre en lumière et de confirmer de nombreux changements d'aspect au fil du temps. « Le premier inventaire de 1425 établi sous Jean IV mentionne 30 saphirs, 27 « valays », 26 émeraudes

et 111 perles, au total 194 pierres. Aujourd'hui 310 pierres couvrent la croix, de plus 52 manquent au recto et 92 au verso, car il y a 144 alvéoles vides ». (Samaran, 1901)

Encore jamais analysée par spectrométries de laboratoire, l'objet de cette étude est de lever le voile sur la nature des pierres présentes, sur leur nombre et de tenter d'identifier les pierres de remplacement et celles d'origine. Elle comprend également la détermination des alliages des métaux précieux présents.

II. PROTOCOLE D'ETUDE

L'expertise gemmologique, a été menée dans les locaux de Materia Viva, les 27 et 28 juin 2023 à Toulouse.

La Croix imposante mesure 82 cm de hauteur (presque 1 m en comptant le pied), 58,5 cm de large et 3,5 cm de profondeur. Son poids (pied compris, hors socle en bois) est de 6 kg 93 gr (Samaran, 1901).

Le nombre de pierres manquantes est de : 217 (avers : 112 ; revers : 105). Le nombre de pierres présentes est de : 251 (avers : 120 ; revers : 131).

Un descriptif plus détaillé est proposé en page 28.

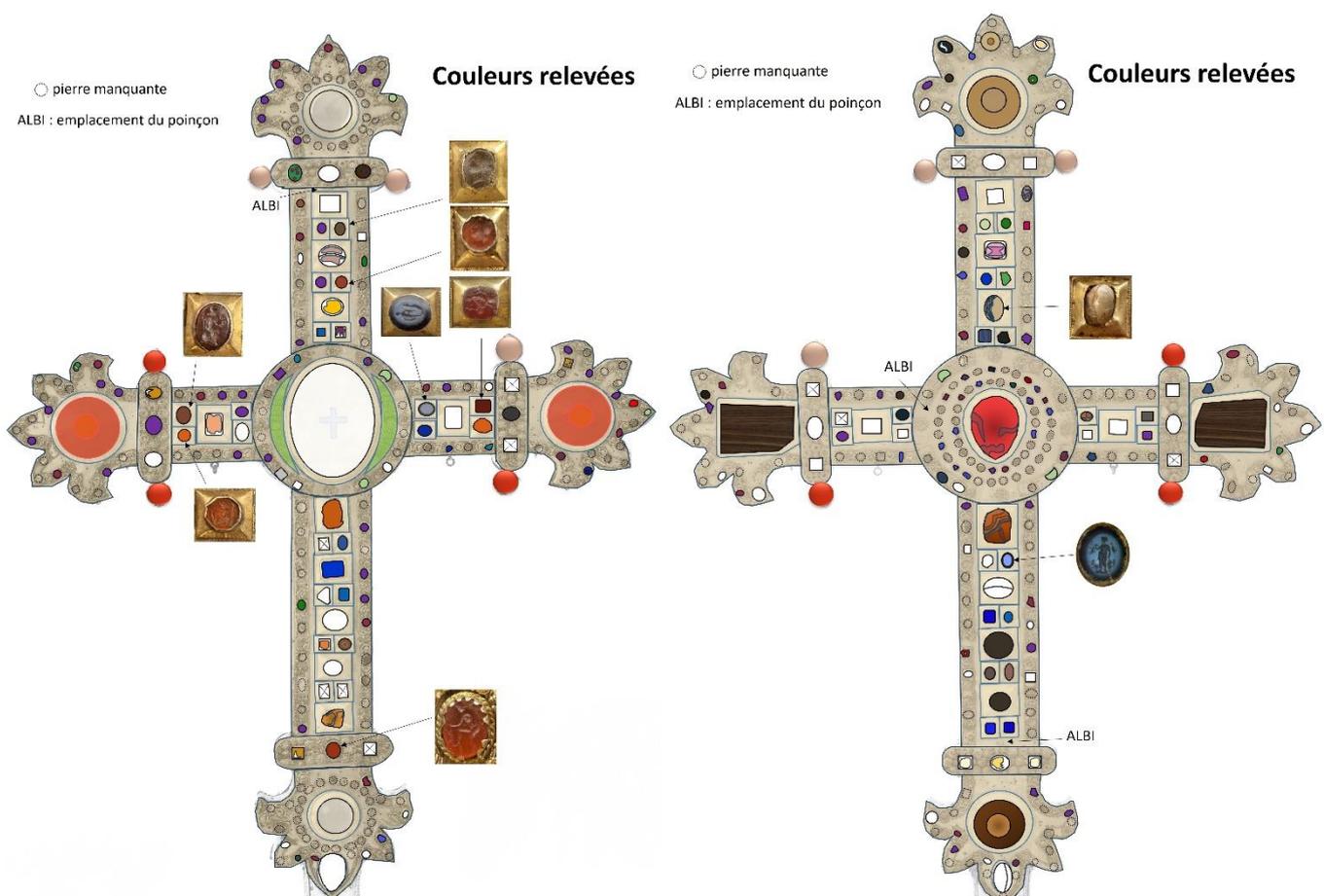


Figure 1. Couleurs des gemmes de la Croix de Castelnaud-de-Montmiral (avers et revers) ; Positionnement du camée (« véronique »), des intailles antiques et des pierres manquantes.

Une représentation grand format de ces figures est donnée en fin de rapport.

Le nombre de pierres manquantes a été précisément relevé sur chaque partie de la Croix (

Tableau 1).

Tableau 1. Nombre de pierres manquantes par parties de la Croix.

Nb pierres manquantes	Avers	Revers
Fleur de lys supérieur	27	7
Travée supérieure	5	4
Disque central	6	38
Travée gauche	4	4
Fleur de lys gauche	11	10
Travée droite	3	7
Fleur de lys droite	13	10
Travée inférieure	14	11
Fleur de lys inférieure	29	14
Total par face	112	105
Total croix	217	

III. TECHNIQUES ANALYTIQUES

A. IMAGERIE

Des photographies de vues générales et de détails ont été prise sous lumière blanche et sous illumination ultraviolette UV à l'aide d'une lampe Vilbert Lourmat (UV longs 365 et UV courts 254 nm ; 2x6 W). La fluorescence générée rend compte de la présence de composés (colle, résine, gomme laque, soudure à l'étain Sn...) ou d'éléments fluorescents dans certaines gemmes naturelles ou de synthèse (ex. fluorescence rouge du Cr³⁺ dans les corindons).

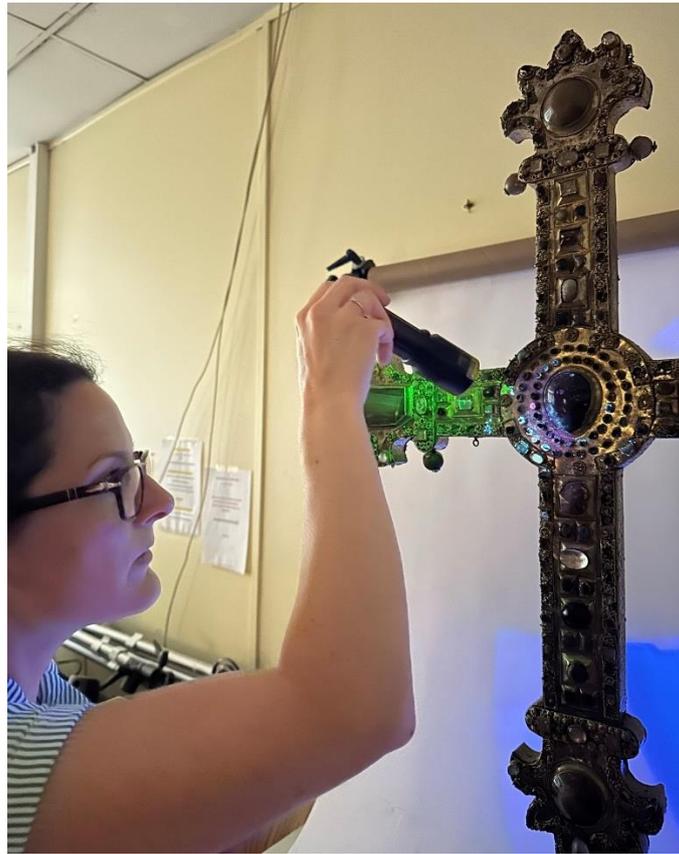


Figure 2. Observation de la fluorescence des gemmes, des résines et mastics sous éclairage UV 365 nm.

Un microscope Q-scope Euromex 2.0 Mpixel usb avec polariseur a été utilisé pour effectuer des photographies macro de haute résolution de chaque pierre sertie et permettant ainsi de visualiser les structures externes et internes (type de taille, fractures, éclats...).

B. SPECTROMETRIES

1. SPECTROMETRIE RAMAN

La spectrométrie Raman est une méthode analytique optique non destructive basée sur la diffusion inélastique de la lumière sur un matériau cristallisé ou non, organique ou minéral. Elle permet de mettre en évidence les vibrations des groupements atomiques ou moléculaires de la structure du matériau. Cette signature structurale permet d'identifier la nature du matériau analysé. Cependant la fluorescence pouvant parfois être générée peut masquer le signal Raman. L'utilisation de différentes excitations laser permet de sélectionner l'excitation ne générant pas ou peu de fluorescence.

Deux spectromètres Raman portables ont été utilisés (Figure 3) :

- Un Raman portable Ocean Optics R 3000HR (**Figure 3**) avec sonde fibre optique et excitation laser 785 nm (proche infrarouge) de 250 mW permettant de couvrir une gamme spectrale de 200 à 2700 cm^{-1} avec une résolution spectrale de 4 cm^{-1} .
- Un Raman portable Ocean Optics 532 nm avec sonde fibre optique et excitation laser 532 nm (vert) de 50 mW permettant de couvrir une gamme spectrale de 100 à 1800 cm^{-1} avec une résolution spectrale de 2 cm^{-1} .



Figure 3. Analyse Raman portable Ocean Optics R 3000HR (excitation laser 785 nm) des gemmes de la Croix de Castelnau-de-Montmiral.

2. SPECTROMETRIE DE FLUORESCENCE X (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. Le temps d'analyse est de 150 s. La précision est variable selon les éléments et la matrice analysée. Le mode « Minerais » a été utilisée après une calibration préalable sur les standards NIST610 and 612 de compositions connues. Les éléments majeurs sont exprimés en % en poids de l'élément ou de l'oxyde. Les éléments traces en ppm (partie par million).



Figure 4. Analyse par fluorescence X (XRF) des gemmes et des alliages métalliques de la Croix de Castelnaud-Montmiral.

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 4).

IV. RESULTATS

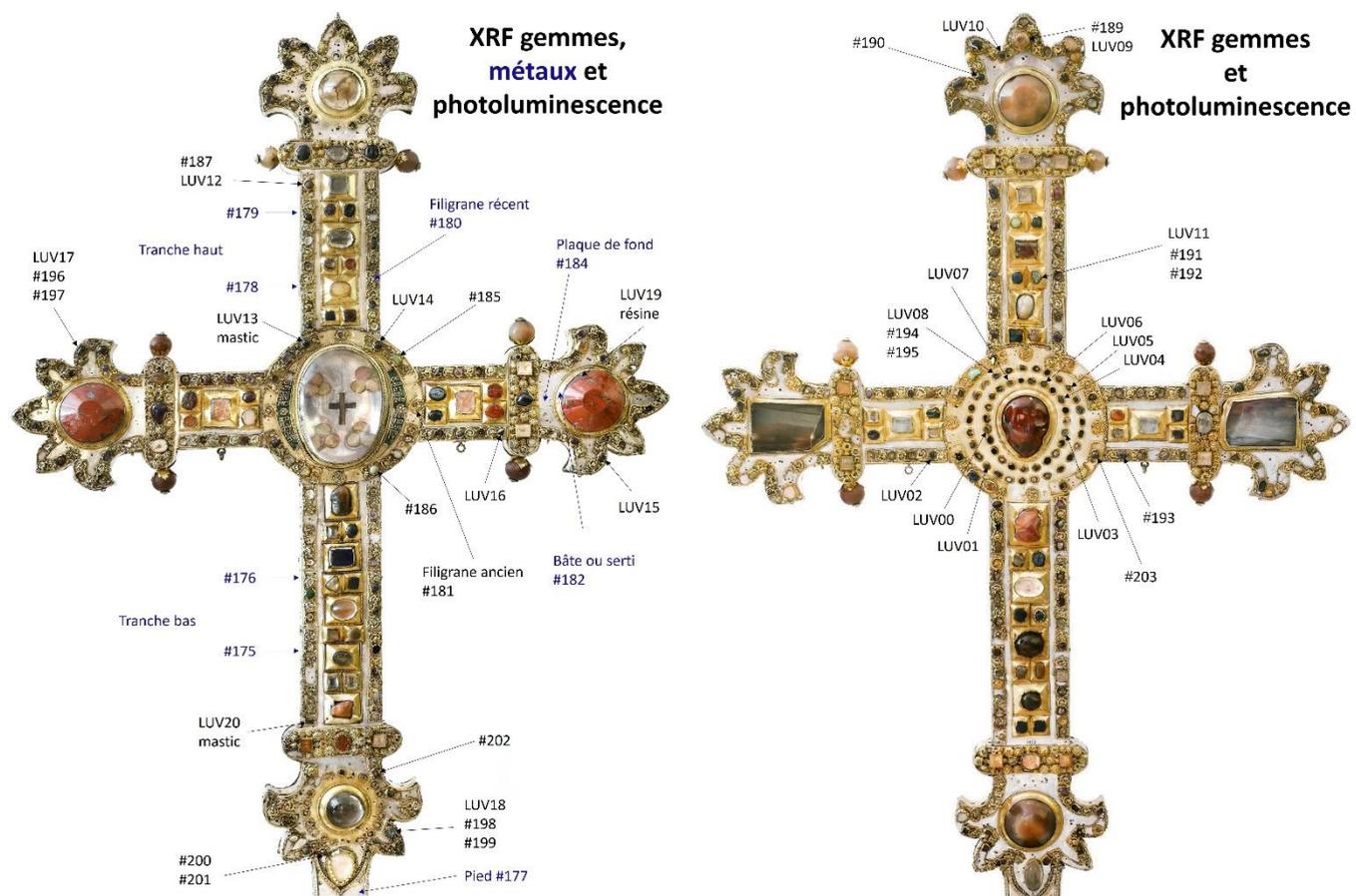


Figure 5. Positionnement des points d'analyse XRF et de photoluminescence sur la Croix de Castelnaud-de-Montmiral (avers et revers) ©Jean-François Peiré pour Materia Viva, 2023.

A. LES TYPES DE TAILLE

LES CAMEES ET INTAILLES

La dénomination du camée et des intailles est basée sur la nomenclature des silices cryptocristallines (**Tableau 2**).



Figure 6. Photo de détail du camée (« véronique » du Christ barbu) en sardonyx (ou agate) de la travée supérieure (revers) de la Croix de Castelnau-de-Montmiral.

La « véronique » est constitué de sardonyx (ou agate) bigarrée (Figure 6).

Les intailles sont en onyx (Figure 7, Figure 8), en cornaline (Figure 8b, Figure 9b, Figure 10b), en sardoine (Figure 9a, Figure 10a).



Figure 7. Photos de détail des intailles en onyx (silice cryptocristalline) : a) chasseur et b) guerrier.

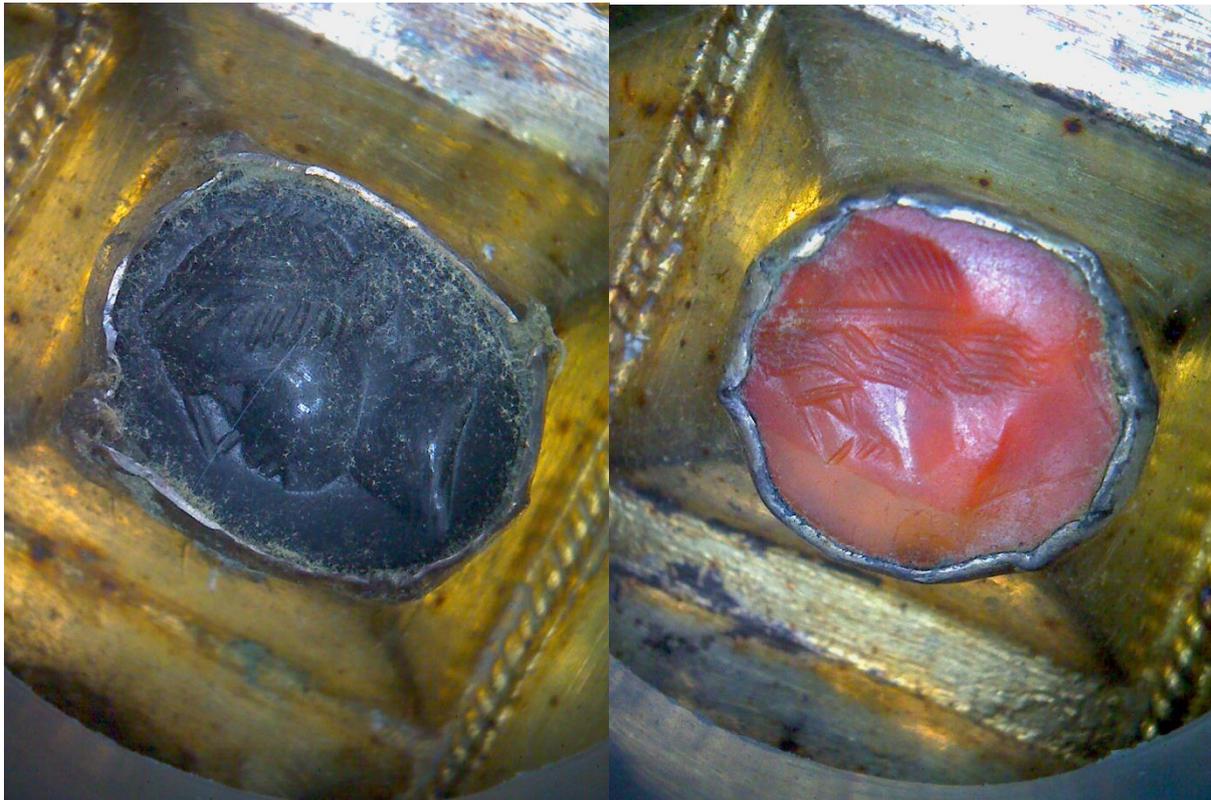


Figure 8. Photos de détail des intailles (têtes de femme) a) en calcédoine onyx gris sombre et b) en cornaline (silice cryptocristalline).



Figure 9. Photos de détail des intailles en cornaline a) Diomède et b) Faune.



Figure 10. Photos de détail des intailles a) Rome en sardoine et b) femme casquée en cornaline.

LES TAILLES DES GEMMES

La plupart des petites pierres sont brutes, polies (roulées) et serties telles quelles. Certaines sont taillées en cabochon ovale.

Les pierres en cristal de roche sont soit taillées, soit 1) en disque en cabochon ovale ou rectangle simple, 2) en pain de sucre à deux pans, 3) facettées à quatre pans, ou 4) en pyramide (**Figure 11**).

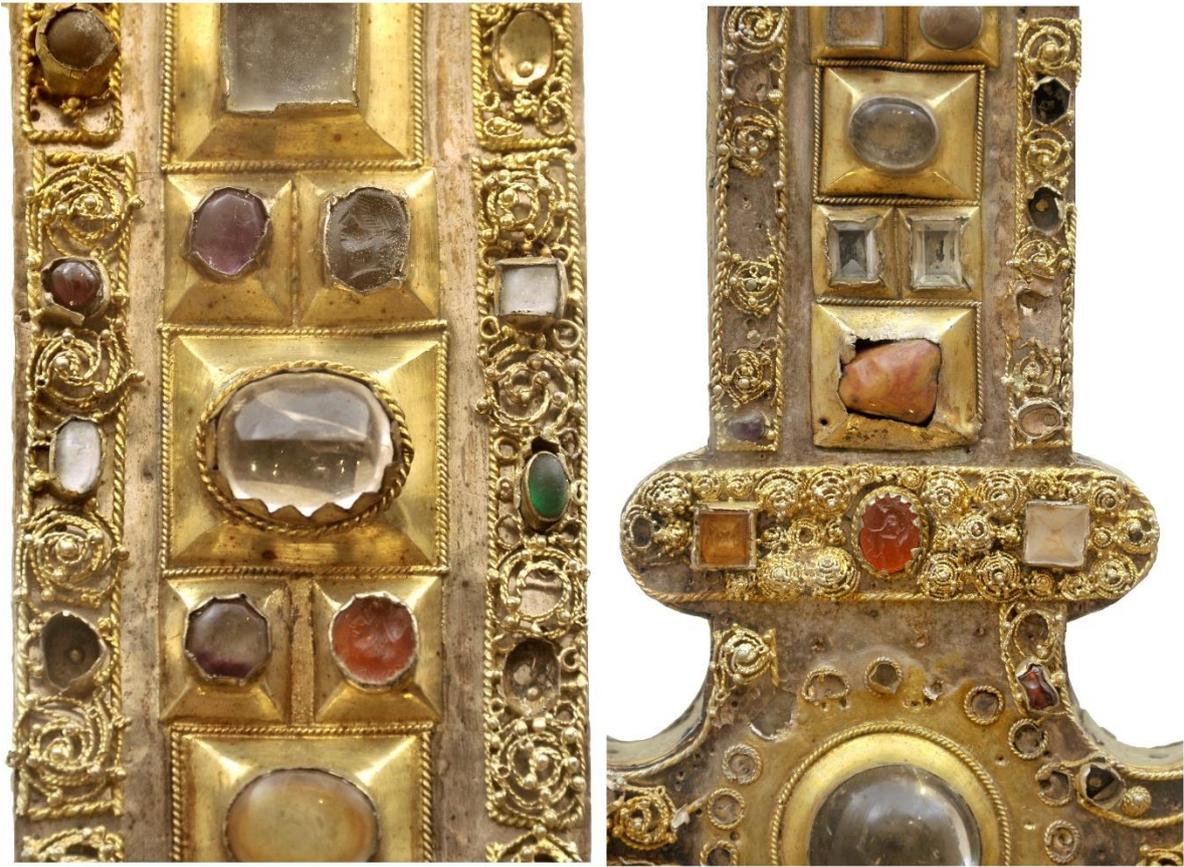


Figure 11. Détail de la travée supérieure (avers) et de la travée inférieure (avers) montrant différents types de taille (cabochon, cabochon à deux pans, pyramide à quatre pans, taille rectangle avec table) (photos : Jean-François Peiré, DRAC, 2012).



Figure 12. Pierre rouge (verre) facettée sommairement à quatre pans.

B. IDENTIFICATION MINÉRALOGIQUE DES PIERRES SERTIES

1. LES GEMMES DE LA FAMILLE DU QUARTZ

On peut distinguer les quartz microcristallins SiO_2 - c'est-à-dire les monocristaux de type cristal de roche (incolore), quartz fumé (nuances brunâtres) et améthyste (violet) - et les silices microcristallines, constituées de micro-quartz SiO_2 souvent accompagné de moganite, un polymorphe du quartz (de même composition mais de structure cristalline différente).

LES QUARTZ MONOCRISTALLINS (CRISTAL DE ROCHE, AMETHYSTE, CITRINE, QUARTZ FUME



Figure 13. Améthyste et cristal de roche (à quatre rainurages concaves).

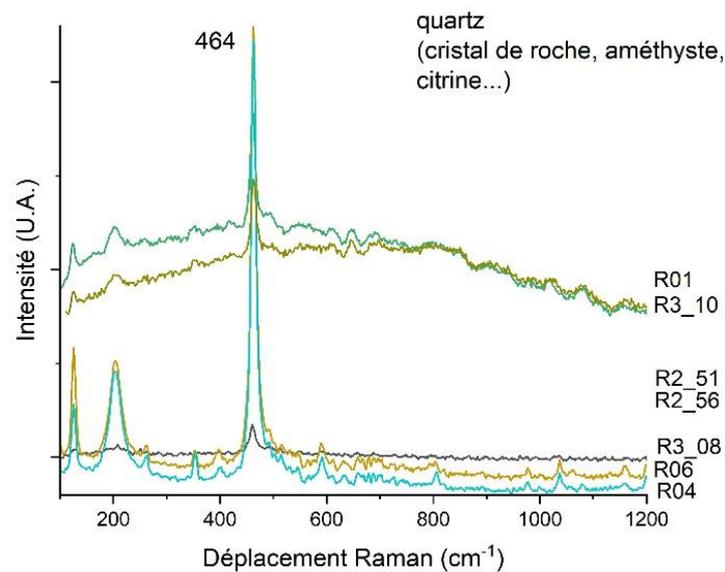


Figure 14. Spectres Raman des quartz monocristallins (cristal de roche et améthyste) (Exc. 785 nm).

De nombreux cristaux de roche (quartz incolores) semblent être montés sur paillon coloré ou sur un fond contenant tramé (Figure 15, Figure 16 et Figure 17a). Certains de ces « paillons » confèrent à ces pierres une couleur. Un certain nombre montre une fluorescence (Figure 17b).



Figure 15. Un fond coloré s'aperçoit par transparence sous ce cristal de roche au poli irrégulier.

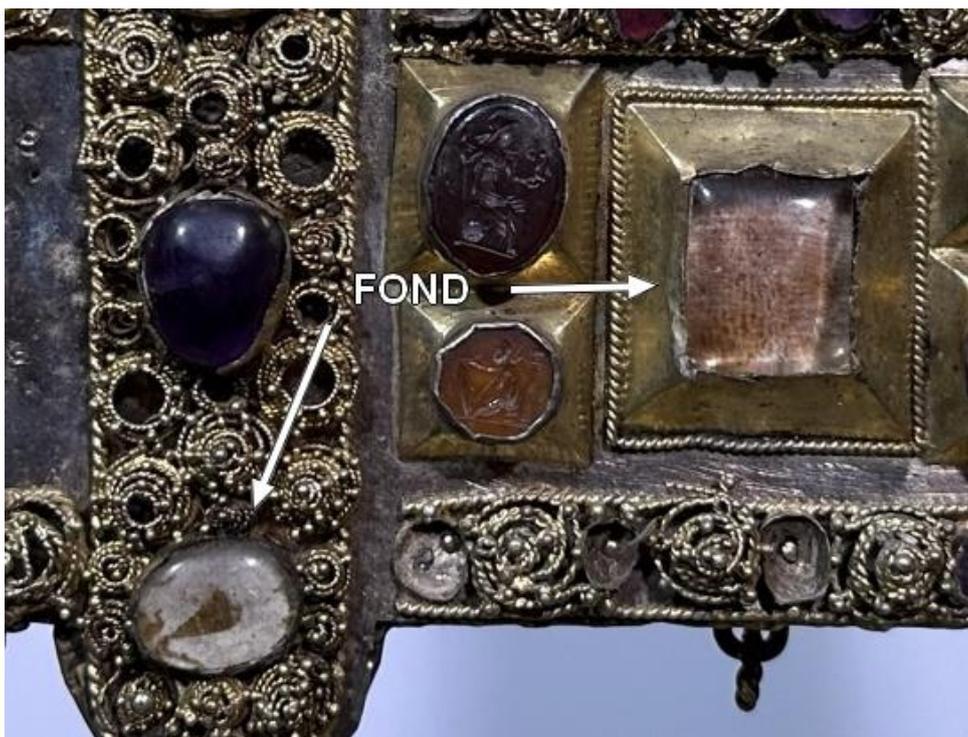


Figure 16. Un motif et une trame colorée (paillons ?) apparaissent sous certains cristaux de roches.

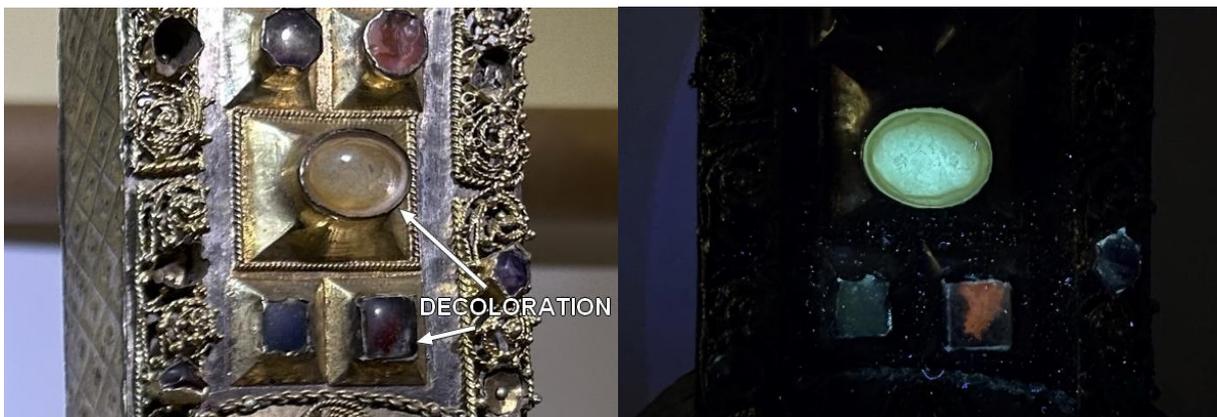


Figure 17. a) Une décoloration est très nettement visible sur la pierre jaune et sur la pierre bordeaux.
b) La partie jaune délimitée réagit sous UV longs.

LES SILICES MICROCRISTALLISEES

La nomenclature des silices microcristallines est présentée **Tableau 2**. Elle est basée non seulement sur leur translucidité (calcédoine fibreuse) ou leur opacité (calcédoine granulaire) mais aussi sur leur couleur.

Tableau 2. Nomenclature des silices cryptocristallines (Hart, 1927 ; Akhavan, 2005 ; Kostov, 2006 et Gliozzo, 2019).

Quartz crypto cristallin	
Calcédoine fibreuse (<u>translucide</u>)	Calcédoine granulaire (<u>opaque</u>)
Agate (calcédoine rubanée translucide)	Chert (roche) Silex (nodulaire)
Onyx (Variété d'agate avec alternance noir, blanc, gris)	Jaspe héliotrope (ou sanguin) (Jaspe verdâtre tacheté de rouge)
Sardoine ou Sarde (Brun rougeâtre translucide)	Jaspe (Rouge-brun opaque)
Sardonyx (Variété d'agate avec alternance brun, blanc)	Plasma (Verdâtre opaque)
Cornaline (Orangé translucide)	
Chrysoprase (Vert vif translucide)	



Figure 18. Détail d'un cabochon en jaspe héliotrope (sombre tacheté de rouge).



Figure 19. Détails des grandes calcédoines de la Croix, au revers : a) disque central « cœur » en jaspe rouge et b) sardoine et perles ocre ; à l'avert : c) jaspe rouge en cône tronqué ; d) sardonyx grise ou agate rectangulaire (photos : Jean-François Peiré, DRAC, 2012).

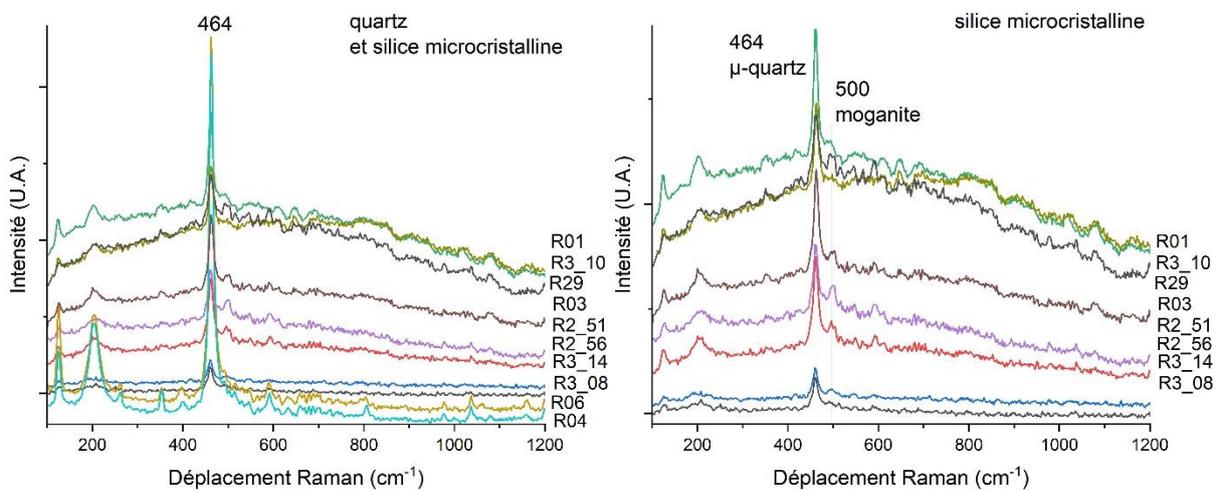


Figure 20. Spectre Raman des silices micro à cryptocristalline, avec ou sans moganite (500 cm^{-1}) (Exc. 785 nm).

2. LES GEMMES DE LA FAMILLE DU CORINDON (SAPHIRS)

Les corindons Al_2O_3 présents sur la Croix sont principalement des saphirs bleus à bleu violacés (Fe^{2+} , Ti^{4+} : Al_2O_3) (**Figure 21a**, **Figure 22**, **Figure 23**) mais également verts à vert-jaunes (**Figure 21b**). Aucun rubis rouge (Cr^{3+} : Al_2O_3) n'a été identifié. Les saphirs de la croix présentent en général suffisamment de chrome trivalent pour être visualisés par leur fluorescence rouge sous illumination UV à 365 nm (**Figure 22**, **Figure 23**, **Figure 24** et **Figure 25**).

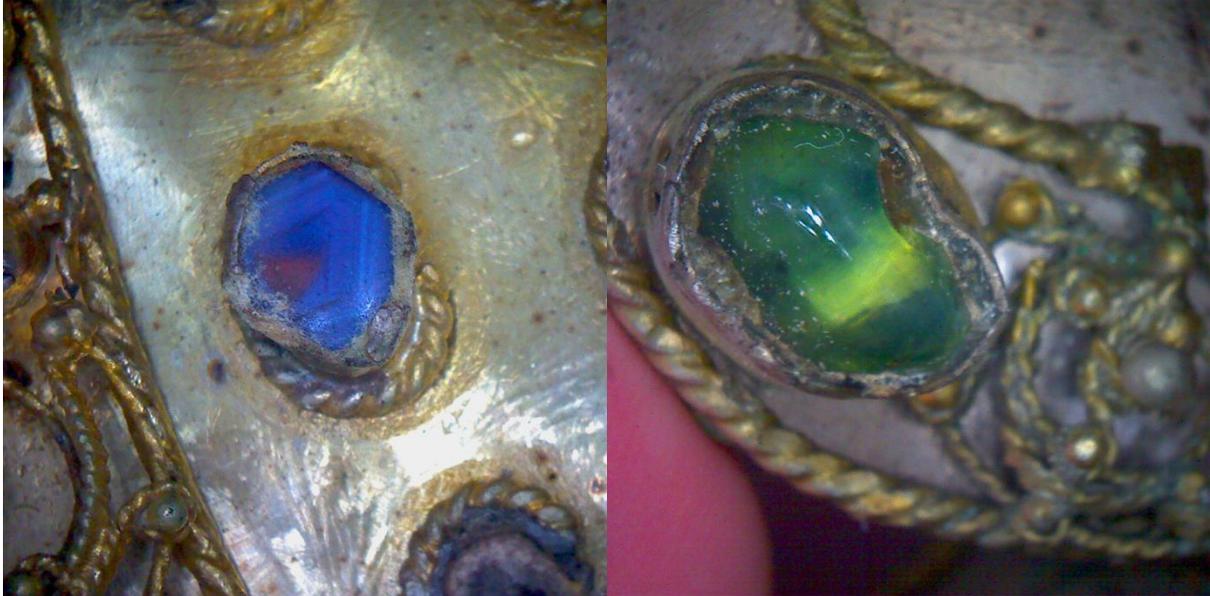


Figure 21. Photo de détail a) d'un saphir bleu à zones de croissance caractéristiques du corindon et cœur fluorescent rouge et b) saphir vert bicolore.



Figure 22. Photo de détail d'un saphir, fluorescent rouge sous illumination UV 365 nm.

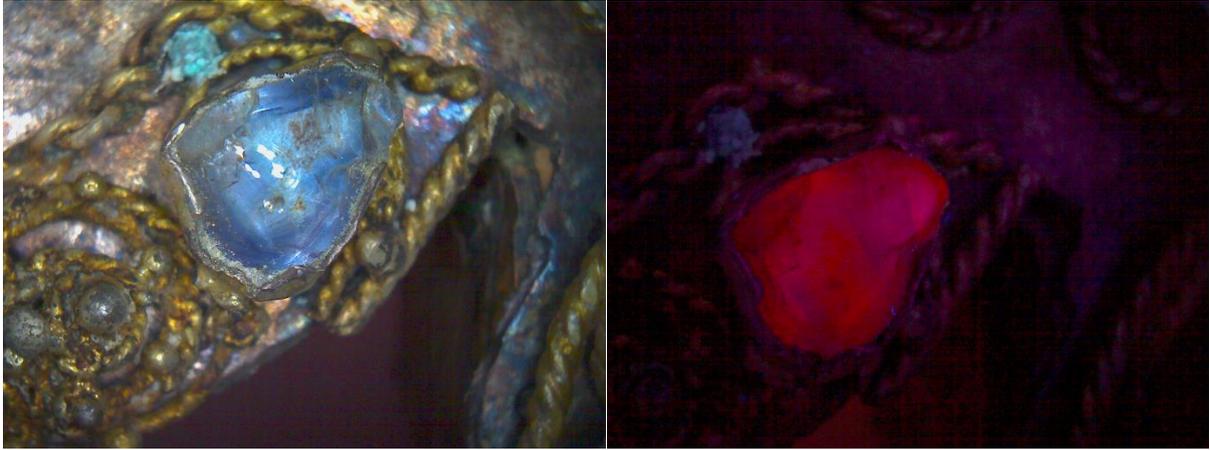


Figure 23. Photo de détail du saphir bleu clair R48, fluorescent rouge sous illumination UV 365 nm.



Figure 24. Fluorescence rouge des saphirs bleus (avers) sous illumination UV 365 nm. Les fluorescences blanchâtres correspondent aux traces de mastic colle de maintien.

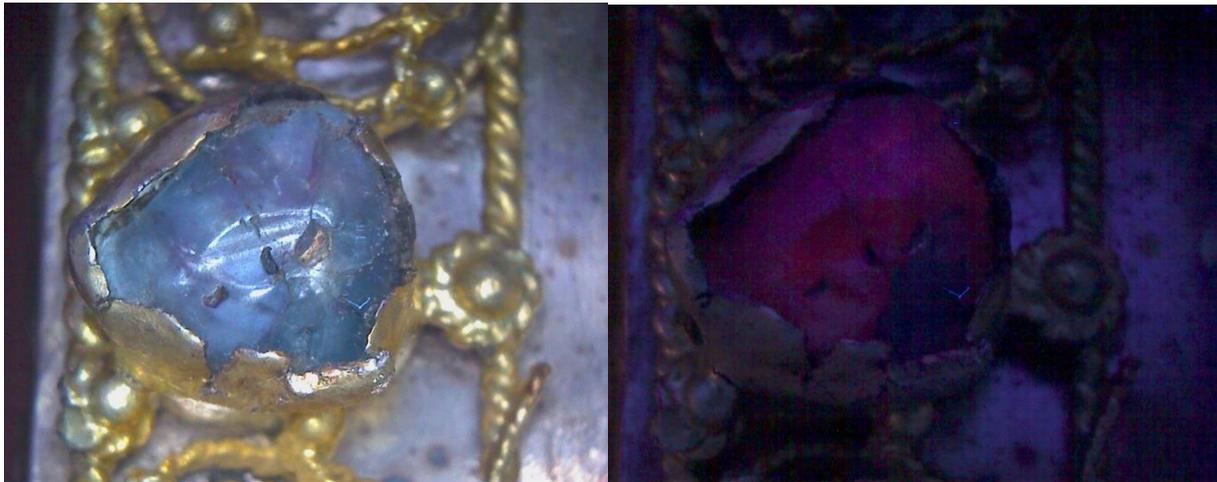


Figure 25. On remarque un rainage concave à la surface de cette pierre dont fluorescence est typique du Cr^{3+} dans le saphir.

Les spectres Raman de ces corindons sont de faible intensité, bruités et ne présentent qu'une petite raie à 415 cm^{-1} , caractéristique des vibrations des groupements $[\text{AlO}_6]$ de la structure corindon (Figure 26a). Cependant les spectres de photoluminescence permettent de mettre aisément en évidence l'intense fluorescence rouge à 694 nm caractéristiques du Cr^{3+} dans ces saphirs (Figure 26b) et donc de les identifier avec certitude. L'intensité de cette raie d'émission est plus ou moins proportionnelle à la teneur en chrome.

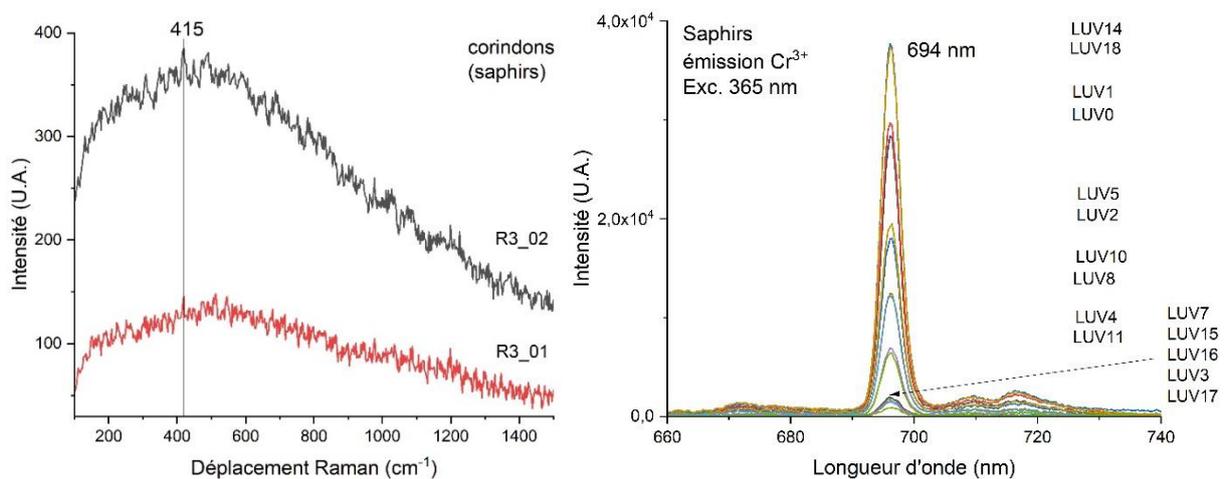
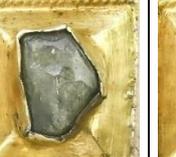


Figure 26. a) Spectres Raman de corindons bleus (saphirs) ; b) Spectres de photoluminescence du chrome Cr^{3+} des corindons bleus (saphirs) responsable de l'émission rouge à 694 nm (Exc. UV 365 nm).

Les teneurs en éléments-traces des divers saphirs identifiés sont présentées Tableau 3. Ils se caractérisent par des teneurs élevées en fer Fe, moyennes et variable en chrome Cr et faibles en gallium Ga, titane Ti et vanadium V.

Tableau 3. Composition en éléments-traces (ppm) des saphirs de la Croix de Castelnau-de-Montmiral.

N° d'analyse	#193	#198	#199	#191	#192	#195	#196
Photo							
ppm	saphir foncé	saphir clair	saphir clair	saphir vert-grisâtre	saphir vert-grisâtre	Saphir clair opaque au cœur rouge	saphir vert et jaune
Fe	7299	1058	947	5647	6394	1754	2229
Fe Error	285	158	135	358	273	183	256
Cr	373	<LOD	<LOD	1857	1153	73	<LOD
Cr Error	25			74	40	22	77
Ga	75	83	68	153	135	82	<LOD
Ga Error	14	19	14	28	18	18	47
Ti	367	109	170	<LOD	48	211	<LOD
Ti Error	42	65	34		29	53	200
V	41	<LOD	25	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
V Error	15		13				

3. LES GRENATS

Les petits grenats rouge sombre (**Figure 35, Figure 36**) ont été identifiés grâce à leur spectre Raman caractéristique (**Figure 27**) permettant de préciser qu'ils s'agit d'almandin-pyropes ($(\text{Fe, Mg})_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$).

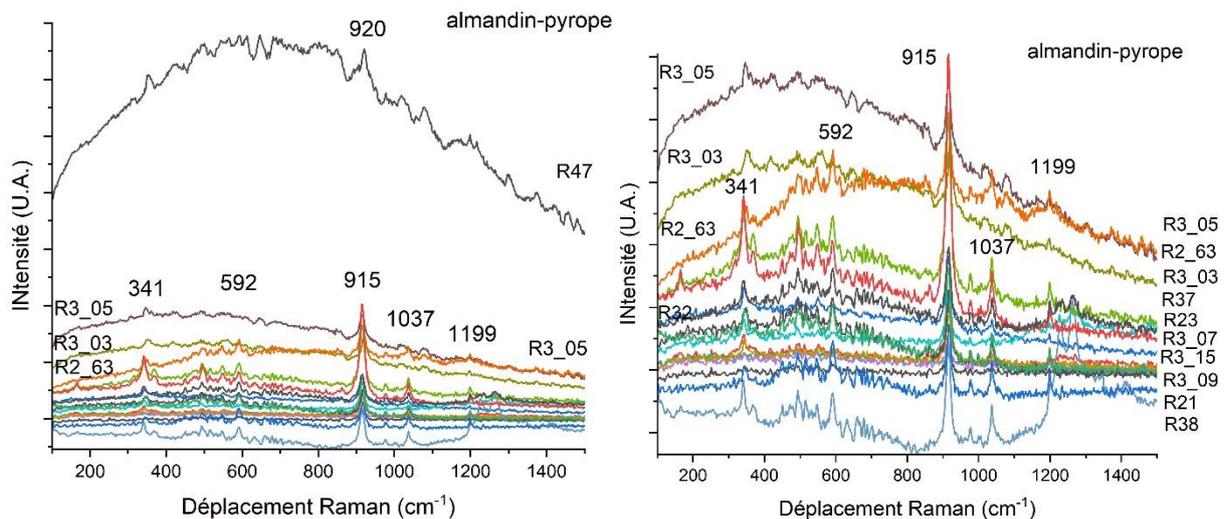


Figure 27. Spectres Raman des grenats de la Croix de Castelnau-de-Montmiral (Exc. 785 nm).

La composition en éléments-traces des grenats a permis de déterminer précisément les teneurs en Fe, Mg, Mn, Ca et Cr (**Tableau 4**).

Tableau 4. Composition en éléments-traces (ppm) des grenats de la Croix de Castelnaud-de-Montmiral.

N° d'analyse	#200	#201	#202	#203
Photo				
ppm	grenat	grenat	grenat	grenat
Fe	240144	237261	98957	191020
<i>Fe Error</i>	3801	3955	2607	4331
Mg	53892	64662	54625	<LOD
<i>Mg Error</i>	9748	10657	11235	
Mn	17913	17819	1450	4800
<i>Mn Error</i>	767	807	424	535
Ca	7477	7108	35504	7061
<i>Ca Error</i>	664	688	1624	702
Cr	944	878	329	312
<i>Cr Error</i>	80	83	65	65

Ces teneurs permettent de préciser leur position dans la série continue des grenats pyrospites (série des grenats alumineux) et de les positionner dans le diagramme ternaire **Figure 28**. On peut noter que les grenats sont bien des almandin-pyropes et que leurs compositions se superposent avec celles des grenats antiques originaires de **Ceylan (Sri Lanka)** (Calligaro & Perrin, 2019). L'analyse #203 n'est cependant pas représentative du fait que le magnésium Mg n'a pu être dosé. On peut noter qu'ils ne peuvent provenir de Bohême.

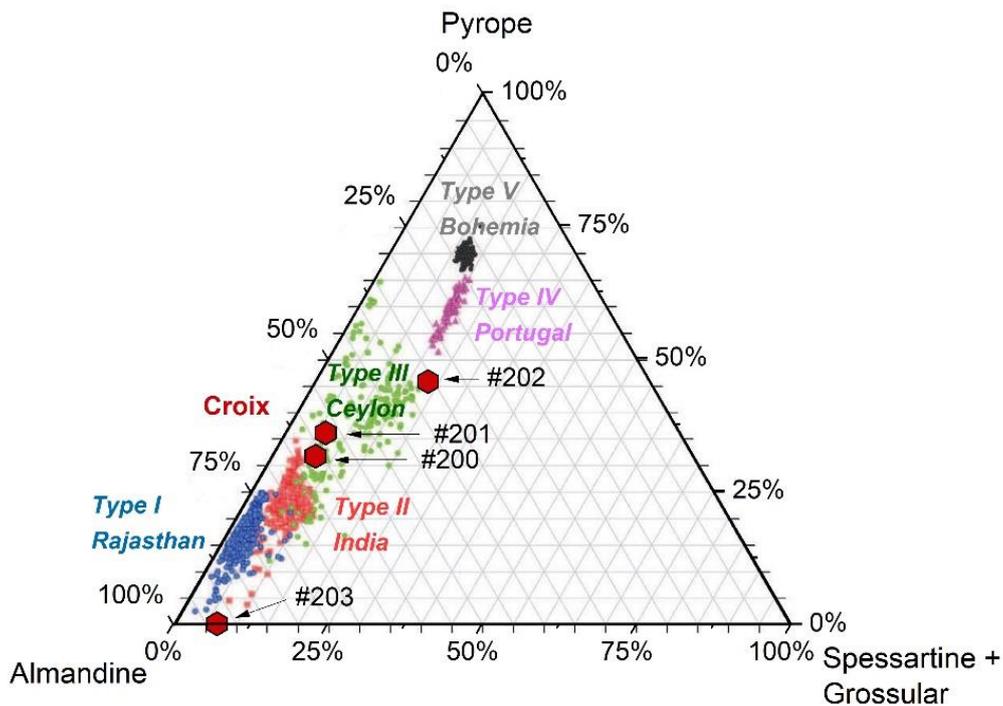


Figure 28. Positionnement des grenats analysés dans le diagramme ternaire Pyrope (Mg^{2+}) – Almandin (Fe^{2+}) – Spessartite (Mn^{2+}) + Grossulaire (Ca^{2+}).

4. LES CARBONATES (CALCITE)

Deux pierres présentent un spectre Raman de calcite (**Figure 29 b**). Il s'agit d'une perle sous les travées horizontales (**Figure 29 a**) constituées de calcaire microcristallin rougeâtre et de la pierre R43 (**Figure 29 c**). Cette dernière, à structure concentrique présente un spectre Raman de calcite. Il pourrait s'agir d'une « pisolithe » (piso : de la taille d'un pois, lithe : pierre) un calcaire concentrique, plus communément appelées « perles des cavernes », formées par le goutte-à-goutte des eaux de ruissellement tombant du plafond des cavités ou grottes calcaires. Les perles supérieures au-dessus des travées sont quant à elles en silice (calcédoine) de teinte plus claire.

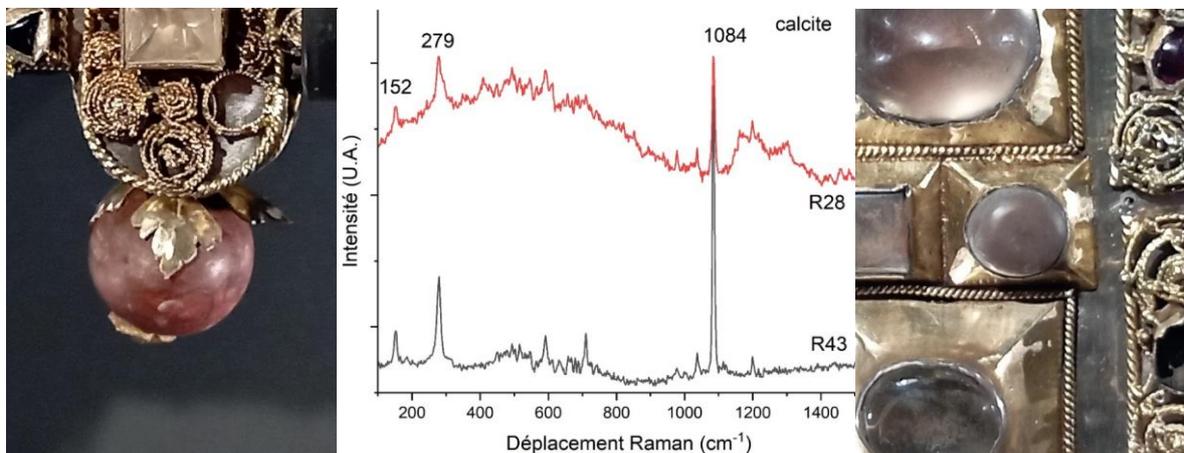


Figure 29. a) Perle R28. B) Spectres Raman de la calcite des carbonates de calcium (calcaires micritiques) perle R28 et pierre R43 (Exc. 785 nm). c) Pierre R43, probablement une pisolithe.

5. LES PHOSPHATES



Figure 30. Détails de, a) la pierre discoïde beige sommitale (#189) (revers, travée supérieure) et b) de la pierre en forme de « lune » de couleur vert turquoise (#185) (avers, disque central), présentant une composition phosphatée, © Materia Viva 2023

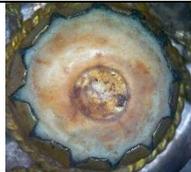


Figure 31. Fluorescent atypique orange – bleutée de la pierre discoïde beige sommitale (#189) (revers, travée supérieure).

La composition (qualitative) de ces pierres phosphatées est donnée dans le

Tableau 5.

Tableau 5. Composition chimique (ppm) des gemmes phosphatées de la Croix de Castelnau-de-Montmiral.

N° d'analyse	#185 « vert turquoise »	#187 « grise »	#189 « discoïde beige »
			
ppm	phosphate de fer ?	phosphate ?	phosphate ?
P	101858	97172	86744
<i>P Error</i>	1172	997	1005
Al	114600	<LOD	<LOD
<i>Al Error</i>	3312		
Ca	1150	359899	356582
<i>Ca Error</i>	196	4826	5213
Fe	11418	930	1680
<i>Fe Error</i>	342	170	231
Cu	322	506	513
<i>Cu Error</i>	40	69	75

La pierre vert turquoise (#185) en forme de « lune » a une composition proche de celle d'une turquoise $\text{CuAl}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

Les deux autres pierres (#187 et #189) semblent être en hydroxyapatite microcristalline $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$. Il pourrait s'agir d'odontolite (ivoire ou apatite fossile) non chauffées (Reiche *et al.*, 2001) bien que ne contenant pas de manganèse (Mn). La pierre #189 présente en effet l'aspect d'une vertèbre de poisson ou de vertébré (Figure 30)... ?

6. LES VERRES

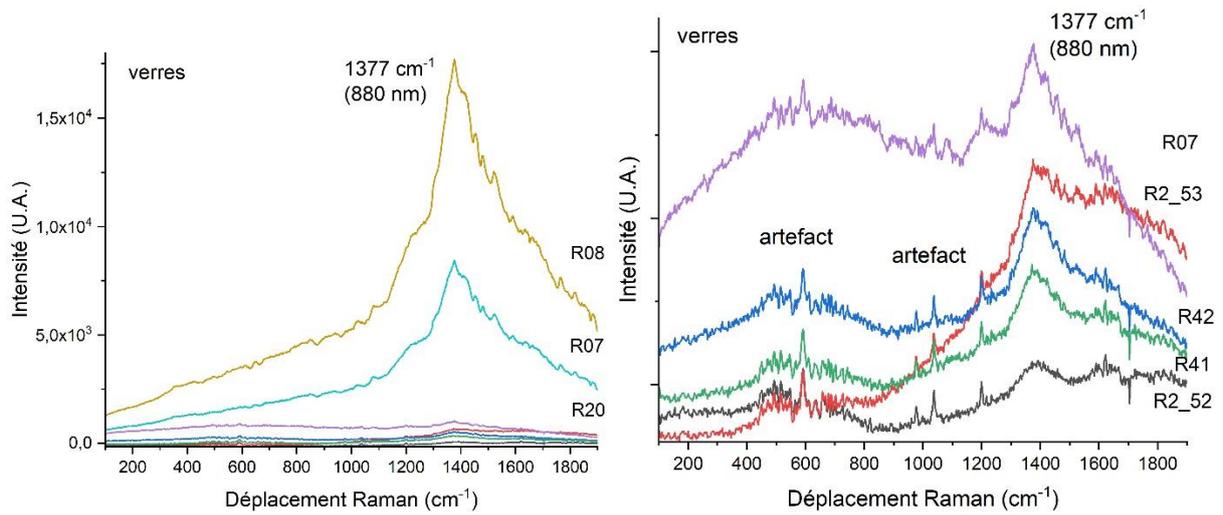


Figure 32. Spectres Raman des verres de la Croix de Castelnau-de-Montmiral (présentant une fluorescence à 880 nm) (Exc. 785 nm).



Figure 33. Détail de verres de la Croix de Castelnau-de-Montmiral : verre bicolore et pâte de verre bleu.

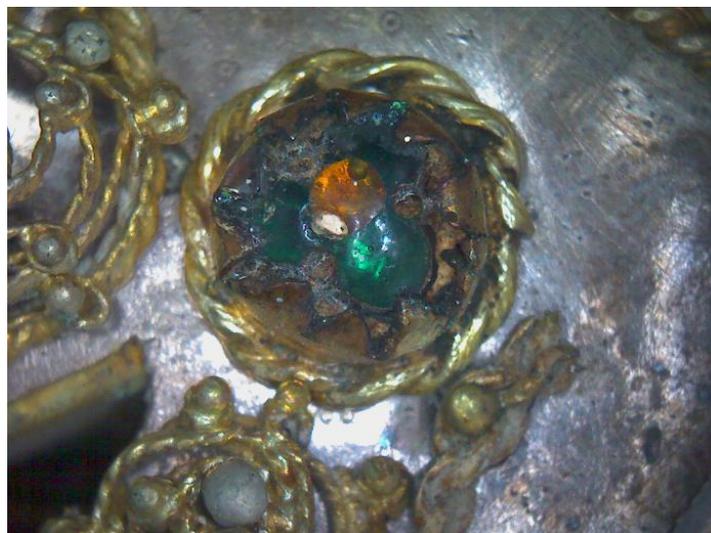


Figure 34. Détail de verre vert présentant plusieurs bulles.

C. BILAN DES GEMMES

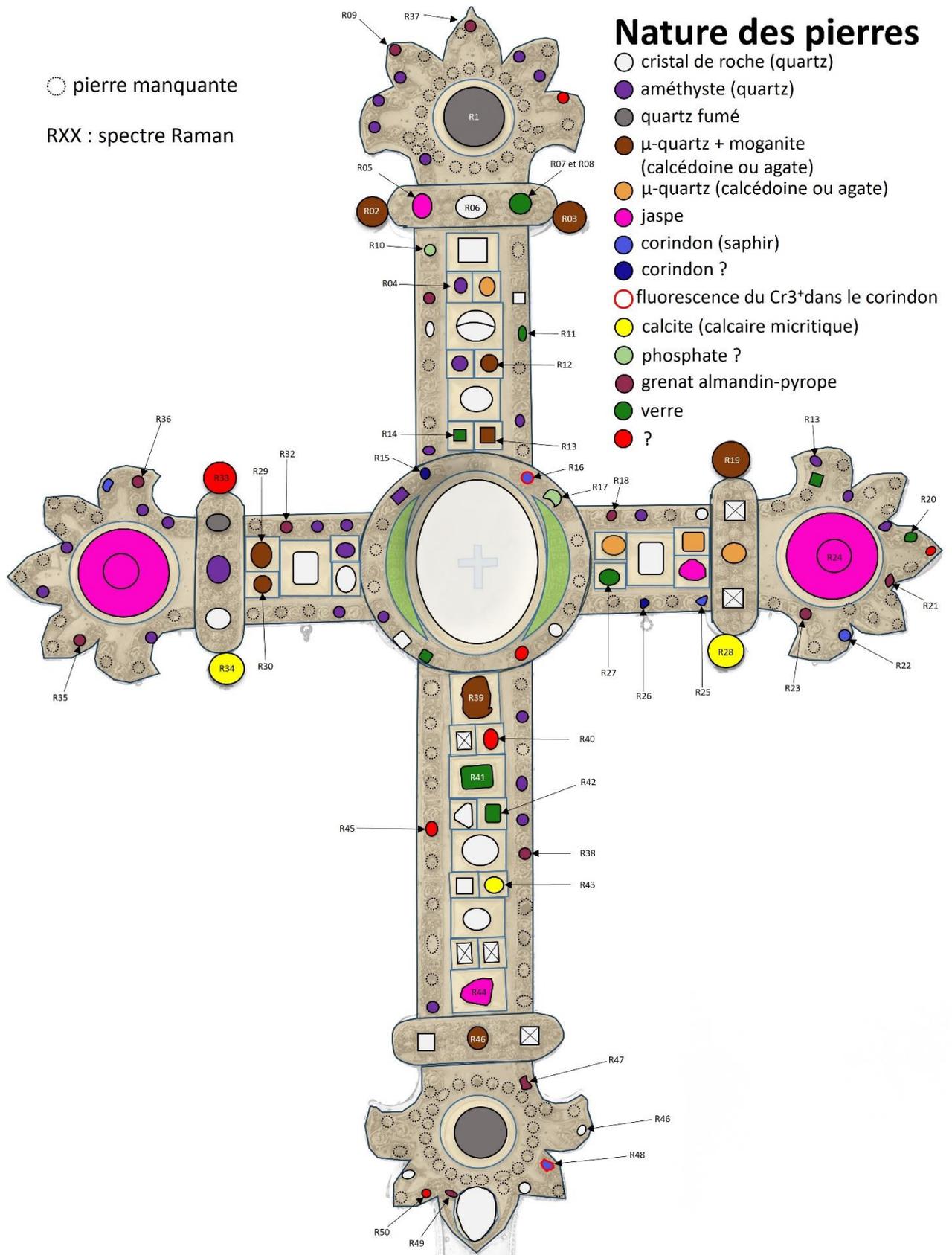


Figure 35. Identification de la nature minéralogique des gemmes de la Croix de Castelnaud-de-Montmiral (avers) et positionnement des points d'analyse Raman.

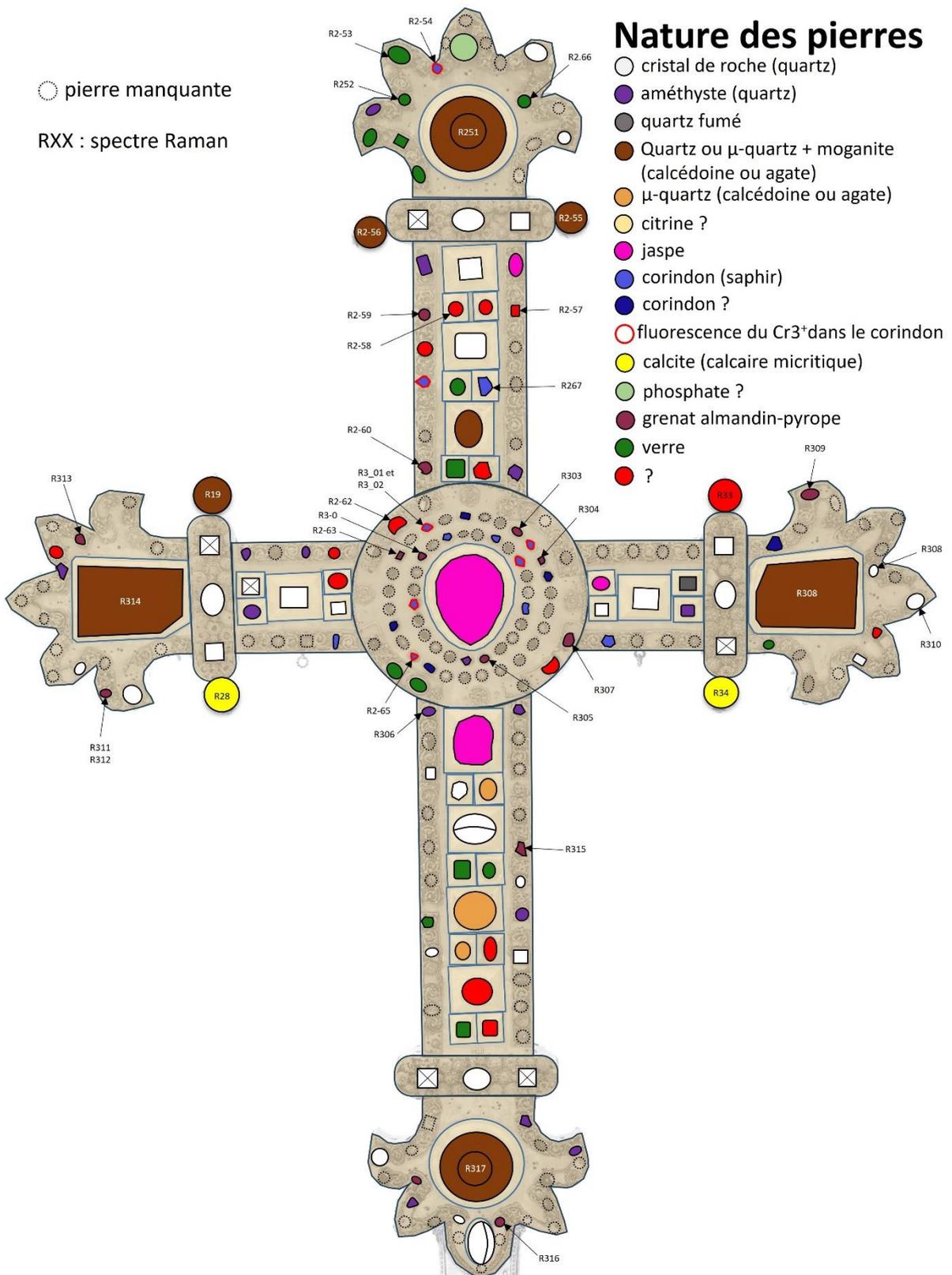


Figure 36. Identification de la nature minéralogique des gemmes de la Croix de Castelnau-de-Montmiral (revers) et positionnement des points d'analyse Raman.

Tableau 6. Bilan des pierres identifiées côté avers de la Croix.

Type	cristal de roche	quartz fumé	améthyste	grenat	verre	Calcédoine	jaspe	saphir (corindon) + incertain	phosphate (apatite, turquoise ?)	calcite (calcaire)	non identifié	Total	manque
Disque central	3	0	2	0	1	0	0	1 + 1	1	0	1	10	6
Fleur de lys sup.	0	1	6	2	0	0	0	0	0	0	1	10	27
Fleur de lys gauche	0	0	5	2	0	0	1	1	0	0	0	9	11
Fleur de lys droite	0	0	3	2	2	0	1	1	0	0	1	10	13
Fleur de lys inf.	4	1	0	2	0	0	0	1	0	0	1	9	29
Travée sup.	6	0	4	1	3	5	1	0	1	0	0	21	5
Travée gauche	3	1	5	1	0	2	0	0	0	1	1	14	4
Travée droite	4	0	1	1	1	4	1	1 + 1	0	1	0	15	3
Travée inf.	9	0	4	1	2	2	1	0	0	1	2	22	14
												120	112

Tableau 7. Bilan des pierres identifiées côté revers de la Croix.

Type	cristal de roche	quartz fumé	améthyste	grenat	verre	Calcédoine	jaspe	saphir (corindon) + incertain	phosphate (apatite, turquoise ?)	calcite (calcaire)	non identifié	Total	manque
Disque central	0	0	1	6	2	0	1	8 + 4	0	0	2	24	38
Fleur de lys sup.	2	0	1	0	6	1	0	1	1	0	0	12	7
Fleur de lys gauche	2	0	1	2	0	1	0	0	0	0	1	7	10
Fleur de lys droite	3	0	0	1	1	1	0	0 + 1	0	0	1	8	10
Fleur de lys inf.	3	0	3	2	0	1	0	0	0	0	0	9	14
Travée sup.	5	0	2	2	2	3	1	2	0	0	5	22	4
Travée gauche	6	0	3	0	0	1	0	1	0	1	2	14	4
Travée droite	5	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	11	7
Travée inf.	9	0	3	1	4	3	1	0	0	0	3	24	11
												131	105

Le nombre de pierres présentes s'élève à 120 à l'avert et 131 au revers, soit un total de **251 pierres présentes**.

Au moins 112 pierres sont manquantes sur l'avert, au moins 105 sur le revers. Soit un total d'au moins **217 pierres manquantes**.

D. ALLIAGES



Figure 37. Positionnement des filigranes en colimaçon analysés (avers) (photo : Jean-François Peiré, DRAC, 2012).



Figure 38. Détail de, a) tranche latérale de la travée supérieure (à motif « losangique ») ; b) la tranche latérale de la travée inférieure à motif de « fleurs de lys » (Jean Gourbeix, 1969).

Tableau 8. Composition des alliages d'or de la Croix de Castelnau-de-Montmiral (en %).

N° d'analyse	#175	#176	#178	#179	#180	#181	#182	#183	#184	#177
%	tranche inf.	tranche inf.	tranche sup.	tranche sup.	filigrane ancien	filigrane récent	bâte	bâte	plaque de fond	pied
Ag	42,9	46,2	76,9	79,3	48,3	27,8	40,4	47,4	94,3	95,6
Au	50,3	46,9	7,5	6,6	48,2	54,9	49,6	45,7	0,6	0,3
Cu	1,0	0,9	11,8	9,8	1,3	11,0	0,7	3,1	2,8	3,2
Fe	0,1	0,1	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	1,3	0,1	<LOD	<LOD

Les plaques métalliques en argent doré (revêtements de l'âme en bois) sur la tranche latérale du bas et du haut de la croix (Figure 38) ont des compositions moyennes différentes :

- Tranche latérale de la travée supérieure (à motif « losangique ») : **Ag 78,1 %**, Au 7,1 %, Cu 10,8 %.
- Tranche latérale de la travée inférieure (à motif de « fleurs de lys ») : **Ag 44,5 %**, **Au 48,6 %**, Cu 1%.

Le revêtement latéral des travées supérieures (à plus haute teneur en or) semble plus ancien que celui des travées inférieures.

Le pied est en argent : **Ag 95,6 %**, Cu 3,2 %

Les filigranes en colimaçon présentent des compositions différentes. Les colimaçons « récents » ont une teneur en or et cuivre plus élevée :

- Filigranes en colimaçon « anciens » aplatis : **Ag 48,3 %**, **Au 48,2 %**, Cu 1,3 %
- Filigranes en colimaçon « récents » en relief : Ag 27,8 %, **Au 54,9 %**, **Cu 11 %**

La plaque de fond (traverse) est composée d'argent (**Ag 94,3 %**, Cu 2,8 %) et les bâtes en moyenne **Ag 43,9 %**, **Au 47,7 %**

La tranche latérale du bas est également en argent doré mais le plaquage d'or est sans doute plus épais ou moins usé. Ceci explique sans doute la teneur en or plus élevée.

Tous les points d'analyse des métaux sont positionnés dans le diagramme ternaire, **Figure 39**.

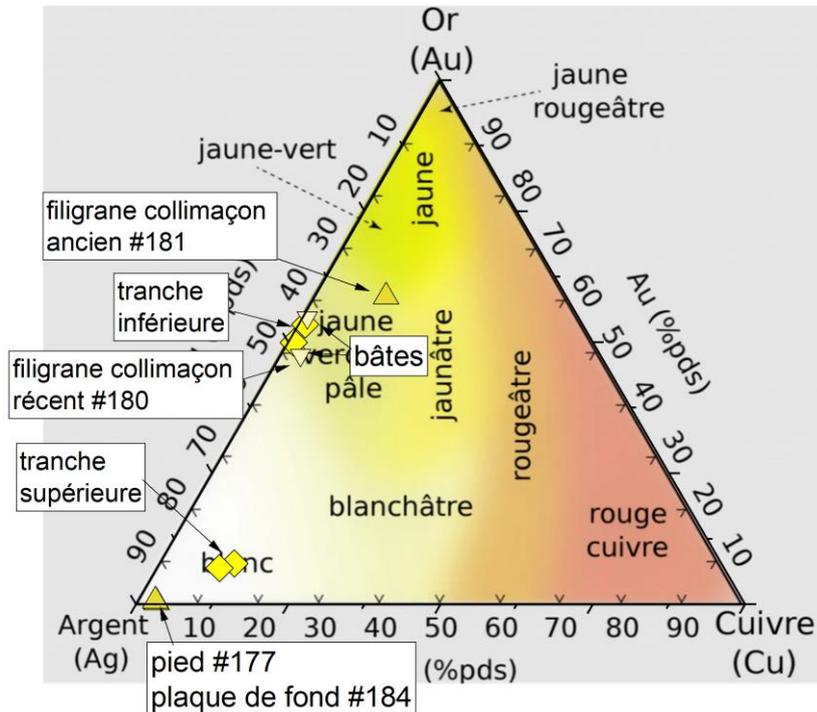


Figure 39. Composition des alliages d'or et d'argent de la Croix de Castelnau-de-Montmiral sur diagramme triangulaire Au-Ag-Cu.

E. LES RESTAURATIONS

Des traces de mastic colle qui présentent une fluorescence blancheâtre a été utilisé pour assurer le maintien de pierres branlantes dans leur sertis (**Figure 42**). De plus une résine colle utilisée abondamment mais de façon très discrète (sans doute en 1969 ?) pour la consolidation des jaspes rouges coniques des travées à l'avers (**Figure 40, Figure 41**).

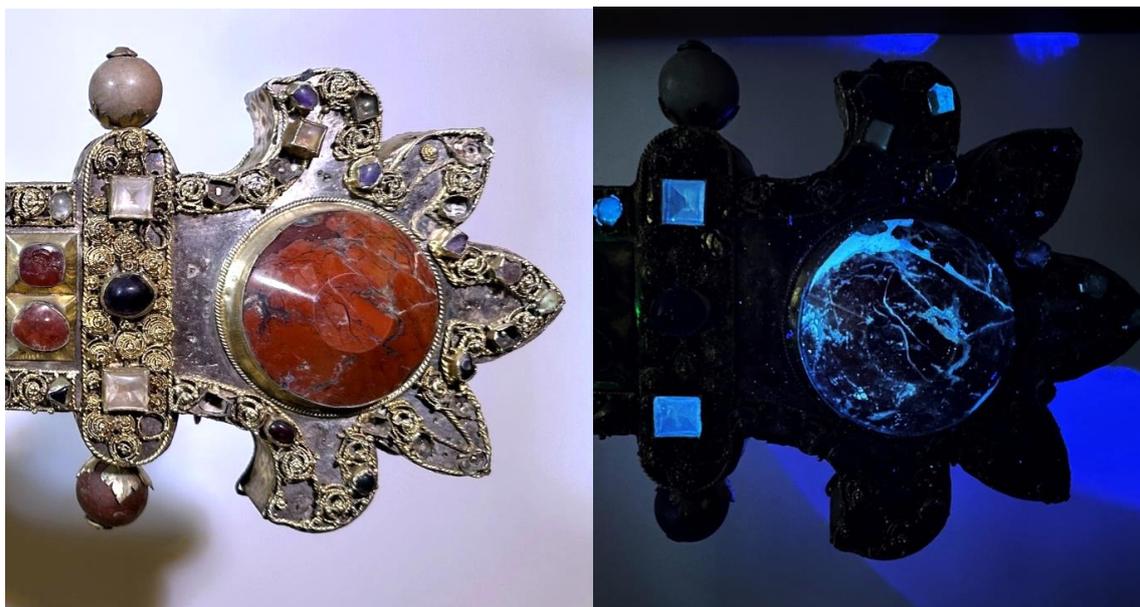


Figure 40. Visualisation des résines colle de restauration du jaspe conique de la croisée droite de la Croix de Castelnaud-de-Montmiral (avers) ; a) Lumière blanche et b) sous Exc. UV 365 nm.



Figure 41. Visualisation des résines colle de restauration du jaspe conique de la croisée gauche de la Croix de Castelnaud-de-Montmiral (avers) ; a) Lumière blanche et b) sous Exc. UV 365 nm.

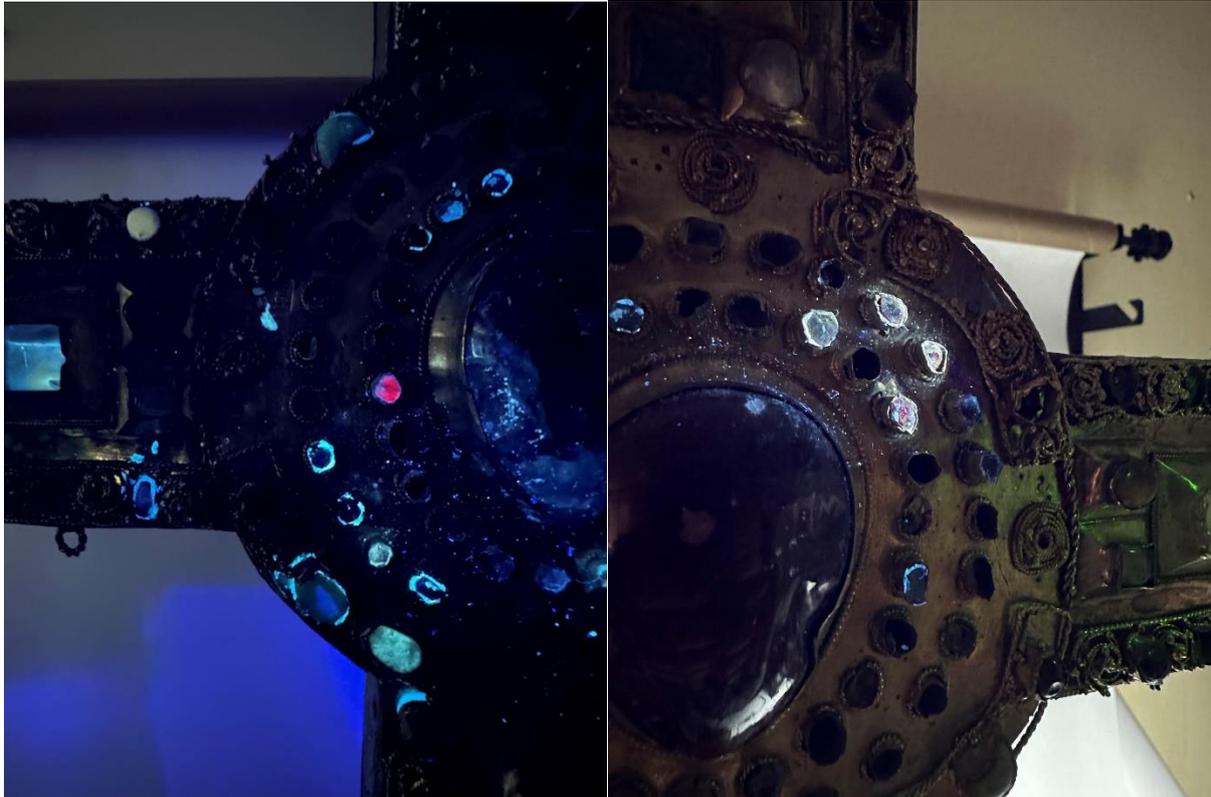


Figure 42. Fluorescence blanchâtre (sous illumination UV) des mastics de fixation utilisés lors des restaurations.

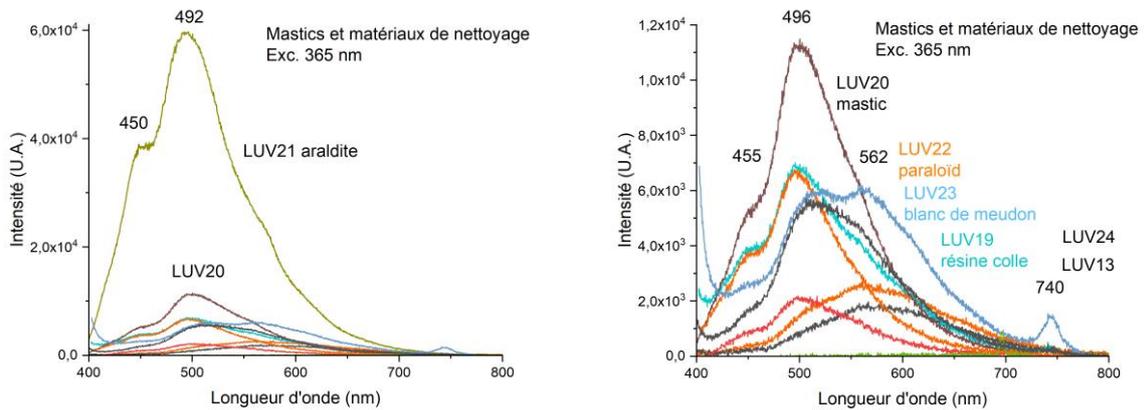


Figure 43. Spectres de photoluminescence des mastics de fixation et de la résine colle, comparés à des références (Araldite, Paraloïd et blanc de Meudon) (exc. UV 365 nm).

Les spectres de fluorescence des mastics et de la résine colle (cônes tronqués) de la Croix ont été comparés **Figure 43** à ceux de références préparées par Minera Viva (Araldite - époxy, Paraloïd - résine acrylique et blanc de Meudon - craie). La résine colle est de nature très proche de celle de la résine acrylique Paraloïd, et le mastic colle de celle de l'époxy Araldite.

CONCLUSION

PIERRES PRESENTES ET MANQUANTES

Nous avons noté que **217** emplacements de pierres étaient lacunaires (112 à l'avert et 105 au revers) et que **251** pierres étaient aujourd'hui présentes sur la Croix (**120** à l'avert et **131** au revers).

Or, l'acte de 1425 (d'après Samaran, 1901), mentionne que « **52** [pierres manquent] au recto et **92** au verso, car il y a **144** alvéoles vides ». Il précise comme Serbat (1905) que **310** pierres étaient serties sur la Croix en 1901 et 1905.

On peut donc en déduire que **59 pierres ont été perdues entre 1901 et aujourd'hui** et ceci malgré le remplacement de pierres au cours des restaurations.

La croix a en effet été restaurée en juin **1900** au cours de laquelle un morceau de parchemin rond fut découvert, mentionnant une réparation faite en **1690** (Samaran, 1901 ; Bilotta, 2012).

En **1969**, toutes les pierres ont été examinées par le Service Public du Contrôle des pierres précieuses de la Chambre de Commerce de Paris [l'actuel Laboratoire français de Gemmologie] (courrier P. Preschez, 21/10/1969). Lors de la restauration, il y eut suppression d'ornements tardifs, **remplacement de verroteries par des cabochons de cristal** (Commission nationale des monuments historiques, 1969). En effet « Après le vol de pierreries sur la croix-reliquaire constaté au moment du prêt de l'objet à l'exposition des « Trésors des églises de France » en 1965, il fut décidé de combler les manques **des plus grosses bêtes** en y plaçant des **cabochons de cristal de roche neuf**, sur l'avis de Jean Taralon » (Dor, 2021).

IDENTIFICATION DES PIERRES ACTUELLES

L'acte de 1425 (Samaran, 1901) le plus précis quant à la nature des gemmes, mentionne des saphirs, des « valays » (pour balais, expression venant de la provenance historique des spinelles, le Badakchan en Afghanistan), des émeraudes et des perles. Est indiqué également la présence de diverses variétés de silice cristalline (cristal de roche), à cryptocristalline (agate rouge, onyx gris et sardonix).

Si l'on considère fiable cet acte, les gemmes d'origines potentiellement présentes à l'origine sur la Croix étaient des :

- Saphirs (Fe, Ti) : Al_2O_3
- Spinelles « valays » (Cr) : MgAl_2O_4
- Émeraudes, béryls (Cr, V) : $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$
- Perles, nacre : CaCO_3
- Silice, quartz (cristal de roche, agate rouge, onyx gris et sardonix)

Or les gemmes et nombre de pierres identifiées lors de cette expertise (

Tableau 6. Bilan des pierres identifiées côté avers de la Croix.

et Tableau 8 ; Figure 35 et Figure 36) sont :

- **Cristal de roche (63)**
- **Quartz fumé : (4)**
- **Améthyste (45)**
- **Saphirs (18)**
- **Possibles saphirs : (7)**
- **Grenats (26)**
- **Calcédoines (24)**
- **Jaspes : (9)**
- **Calcaires micritiques (5)**
- **Phosphate (apatite, turquoise ?) (3)**
- **Verres (24)**
- **Calcite (calcaire micritique) : (5)**
- Pierres non identifiées avec certitude (sans doute calcédoines ou verres) (22)

On peut noter qu'**aucun spinelle, émeraude ou perle fine n'a été identifié** lors de cette étude. Ces gemmes - si elles ont un jour été réellement serties sur la Croix - ont toutes disparues.

On peut considérer que :

- 1) Les petits **saphirs** sont fort probablement d'origine de la fabrication de la Croix (1341) ;
- 2) Les **intailles** en sardoine, sardonix, onyx, cornaline et jaspe sont représentées et décrites par Alexandre Du Mège en 1858 ainsi que par Samaran (1901) et Desazars de Montgailhard (1904). Il est cependant très probable qu'elles soient des réemplois datant de la fabrication de la Croix (1341).
- 3) Les **grands jaspes** coniques tronqués (travées avers), les **grandes calcédoines** ou agates rectangulaires (travées avers) sont également sans doute d'origine, car signalées dans l'acte de 1425.
- 4) Le « **cœur** » en **jaspe rouge** ainsi que la « **véronique** » en **sardonix ou agate** figurant le Christ barbu (tous deux au revers) sont également d'origine car contribuant à la symbolique primitive du reliquaire.
- 5) Les petites **améthystes et grenats** n'apparaissent pas dans l'Acte de 1425. Cependant ils sont sans doute d'origine ou des ajouts anciens (1680 ?), ainsi que les rares pierres phosphatées qui sont peut-être des odontolites (Reiche et al., 2001) utilisées au Moyen-Âge.
- 6) La composition des grenats almandin-pyrope correspond à celles des grenats antiques **originaires de Ceylan** (Sri Lanka) et aucunement à ceux de Bohème.
- 7) À part le grand disque-loupe en cristal de roche (quartz) à l'avers, les plus grosses des 63 pierres facettées de type **cristal de roche** à quatre pans (avec ou sans table) ou à deux pans, **sont fort probablement des ajouts tardifs** de la restauration de 1969 en « remplacement de verroteries » (Commission nationale des monuments historiques, 1969).
- 8) Les **verres** de différentes couleurs sont sans doute des restes de verroterie, mis en place de façon précoce sur la Croix, et non remplacés en 1969.

RESTAURATIONS

Nous avons mis en évidence des traces de **mastic colle** qui présente une fluorescence blanchâtre et qui a été utilisée pour assurer le maintien de pierres branlantes dans leur sertis. De plus une **résine colle** a été utilisée abondamment mais de façon très discrète (sans doute en 1969) pour la consolidation des jaspes rouges coniques des travées à l'avvers.

EXPOSITIONS RECENTES

Depuis le commencement de cette étude, la Croix de Castelnau-de-Montmiral a été montrée dans le cadre de l'exposition « Voyage dans le cristal » (du 26 septembre 2023 au 14 janvier 2024) au Musée de Cluny avec le soutien de L'École des Arts Joailliers (**Figure 44**). Lors de cette exposition, le cristal de roche a été mis à l'honneur : « *Depuis toujours et dans toutes les civilisations, le cristal de roche a fasciné. On lui a attribué de nombreuses vertus de protection, mais aussi des pouvoirs spirituels et magiques. Sa transparence en a fait un outil privilégié d'observation... mais aussi un produit de luxe.* »



Figure 44. La Croix de Castelnau-de-Montmiral dans l'exposition Voyage dans le cristal au musée de Cluny fin 2023

Il a cependant été montré que les grands cristaux de roche sertis sur la Croix sont fort probablement des ajouts tardifs et sans doute ne datant pas du Moyen-Âge...

Actuellement, la croix de Castelnau-de-Montmiral est mise à l'honneur comme pièce maîtresse dans le trésor d'Albi exposé à la cathédrale, accompagnée d'un premier travail d'identification gemmologique résultant de cette étude (**Figure 45**). Elle y sera visible jusqu'au 31 août 2024.



Figure 45. Exposition de la Croix de Castelnau-de-Montmiral dans le trésor de la cathédrale d'Albi durant l'été 2024.

BIBLIOGRAPHIE

- Akhavan A.C. (2005) Types of quartz. http://www.quartzpage.de/gen_types.html
- Bardiès-Fronti I. (2023) Voyage dans le cristal, Ed. de la Réunion des musées nationaux – Grand Palais, 178-179.
- Bilotta M.A. (2012) Croix-Reliquaire de la Vraie Croix, In : *Le Parement d'autel des Cordeliers de Toulouse : anatomie d'un chef d'œuvre du XIVe siècle*, Ed. M. A. Bilotta, M.-P. Chaumet-Sarkissian, Paris, 122-123.
- Calligaro, T. & Périn, P. 2019. Le commerce des grenats à l'époque mérovingienne. In : *Les archéologues face à l'économie, Archéopages*, 109-120.
- Commission nationale des monuments historiques (1969) MH, commission supérieure du 13 octobre 1969.

- Desazars de Montgailhard, M.L. (1904) Classements parmi les monuments historiques. *Revue des Pyrénées - France méridionale – Espagne septentrionale, Association pyrénéenne et Union des sociétés savantes du Midi*, Éditeur E. Privat (Toulouse), XVI, 190-193.
- Dor A. (2021) Les « Toulouse » en Occitanie : histoire de la restauration des objets de trésors. *Histoire de la conservation-restauration et actualité de la recherche*, Oct. 2021, Charenton-le-Pont, France.
- Du Mège A. (1858) Archéologie pyrénéenne, antiquités religieuses, historiques, militaires, artistiques, domestiques et sépulcrales d'une portion de la Narbonnaise, et de l'Aquitaine, nommée plus tard Novempopulanie. Tome 1, 670 p.
- Gliozzo E. (2019) Variations on the silica theme: Classification and provenance from Pliny to current supplies. *EMU Notes in Mineralogy*, 20, Chapter 2, 13–85.
- Hart G. (1927) The nomenclature of silica. *American Mineralogist*, 12, 383-395.
- Reiche I., Vignaud C., Champagnon B., Panczer G., Brouder C., Morin G., Solé V. A. & Charlet L. (2001) From Mastodon Ivory to Gemstone: The origin of turquoise color in odontolite. M., *American Mineralogist*, 86, 1519–1524.
- Samaran C. (1901) La croix précieuse des comtes d'Armagnac conservée à Castelnau-de-Montmiral (Tarn). *Revue de Gascogne : bulletin mensuel du Comité d'histoire et d'archéologie de la province ecclésiastique d'Auch*, Société historique de Gascogne, 457-469.

Base de données en ligne :

Plateforme ouverte du patrimoine <https://www.pop.culture.gouv.fr/notice/palissy/PM81000096>

Remerciements pour leur assistance à

Typhaine Brocard-Rosa, Restauratrice métal à Matéria Viva, Toulouse.

Ariane Dor, Conservatrice du patrimoine, Conservation régionale des monuments historiques, DRAC Occitanie, Toulouse.

Jean-François Peiré, DRAC Occitanie, Toulouse.

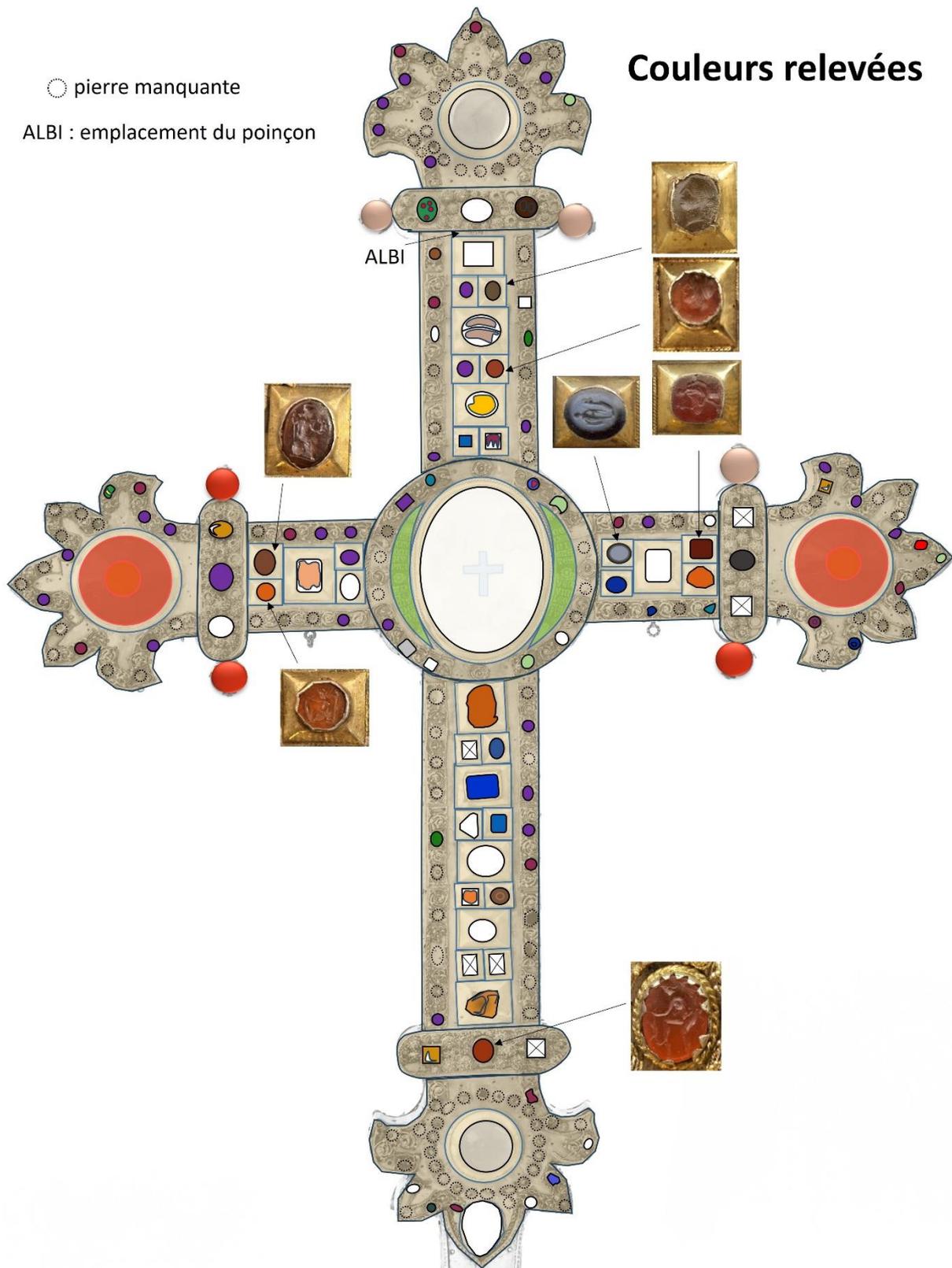
Virginie Massol-Kremer, Chargée de la conservation et des archives figurées, Conservatrice des antiquités et objets d'art du Tarn, Archives départementales du Tarn.

Jean Le Pottier, Conservateur départemental des antiquités et objets d'art, Albi.

Isabelle Bardies-Fronty, Conservatrice en chef au Musée de Cluny, musée national du Moyen Âge, Paris.

○ pierre manquante
 ALBI : emplacement du poinçon

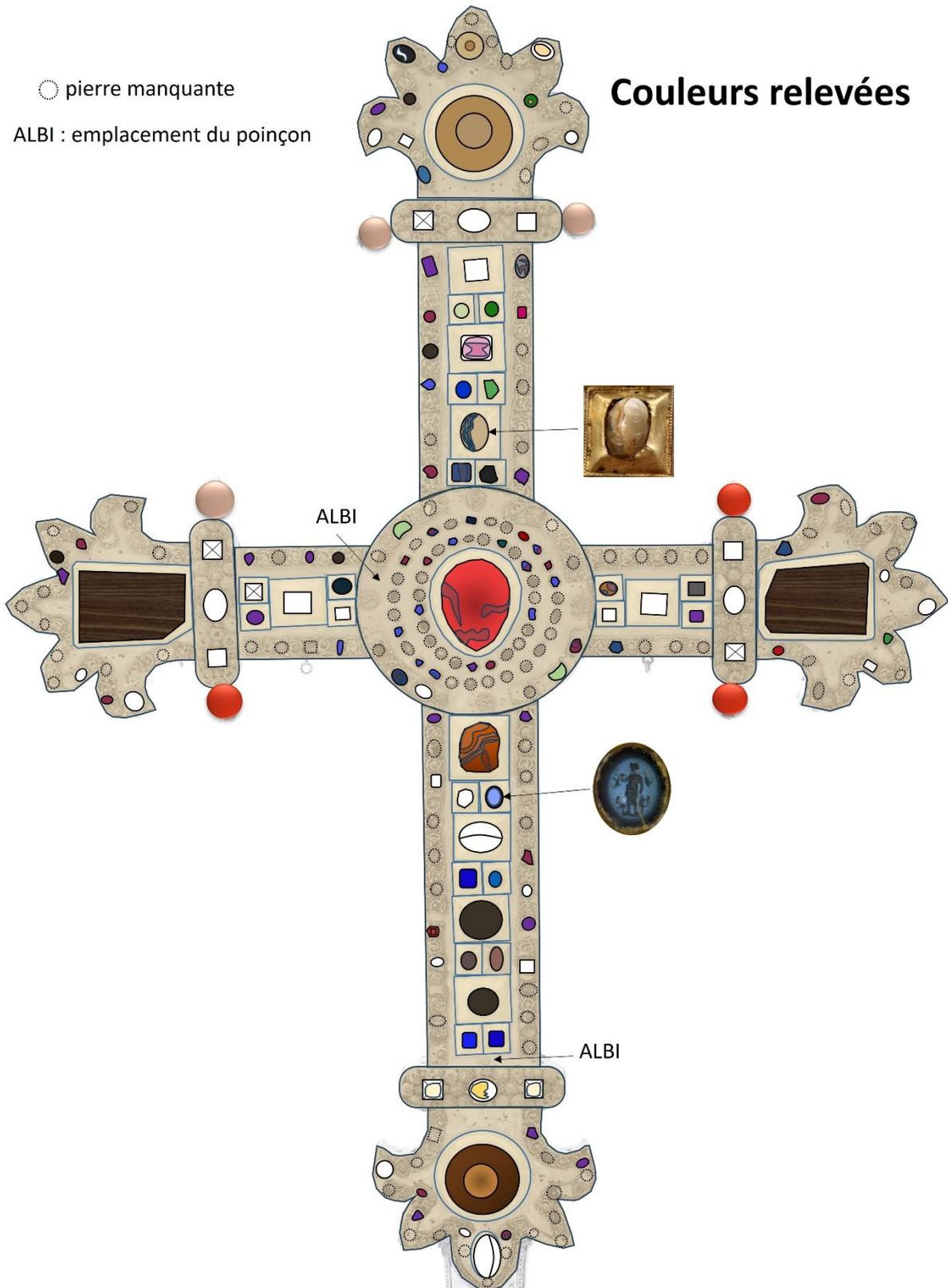
Couleurs relevées



Couleurs des gemmes de la Croix de Castelnau-de-Montmiral (avers) ; Positionnement du camée (« véronique »), des intailles antiques et des pierres manquantes.

○ pierre manquante
ALBI : emplacement du poinçon

Couleurs relevées



Couleurs des gemmes de la Croix de Castelnau-de-Montmiral (revers) ; Positionnement du camée (« véronique »), des intailles antiques et des pierres manquantes.