

Mémoire de stage pour l'obtention
du Diplôme Universitaire de Gemmologie

Les gemmes de la châsse d'Ambazac ou châsse de Saint Étienne de Muret

Sous la direction M. Gérard Panczer
Professeur à l'Université Lyon 1



Mémoire présenté par Anne Fonfrege

2017-2018

Remerciements

Je tiens à remercier le Professeur Gérard Panczer pour ses explications et ses conseils.

Je tiens également à remercier M. Nicolas Vedelago, conservateur régional adjoint des monuments historiques de Limoges pour son autorisation et son aide dans ma recherche documentaire.

Je souhaite dire aussi un grand merci aux membres du conseil municipal d'Ambazac (adjoint au maire chargé de la culture M. Jean-Marc Serpier) et les employés de la mairie pour leur intérêt et leur gentillesse au cours des travaux à Ambazac.

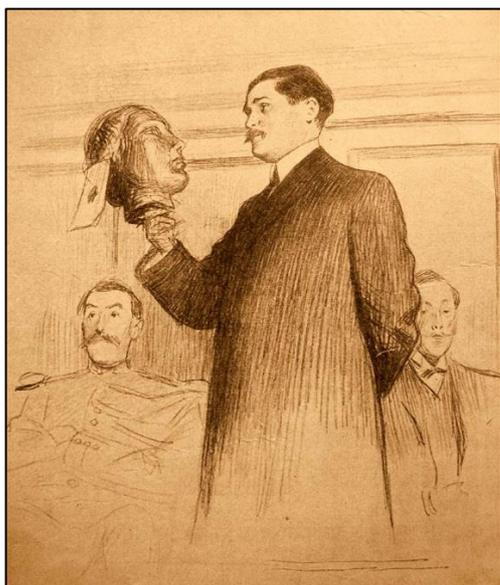
Je veux également remercier mes collègues du DU pour leurs conseils, leur amitié et leur bonne humeur pendant toute cette année.

Et enfin et surtout je tiens à remercier également toute ma famille pour son soutien indéfectible durant cette aventure...

Du côté de la falaise, point de lucarne. Mais, du côté de la mer, comme nul regard indiscret n'était à craindre, deux baies vitrées s'ouvraient, par où la lumière entrait abondamment. Le sol était couvert d'un plancher de bois rare, à dessins concentriques. Contre les murs, des vitrines, quelques tableaux.

*Les perles de mes collections, dit Lupin. Tout ce que tu as vu jusque-là est à vendre. Des objets s'en vont, d'autres arrivent. C'est le métier. Ici, dans ce sanctuaire, tout est sacré. Rien que du choix, de l'essentiel, le meilleur du meilleur, de l'inappréciable. Regarde ces bijoux, Beautrelet, amulettes chaldéennes, colliers égyptiens, bracelets celtiques, chaînes arabes... Regarde ces statuette, Beautrelet, cette Vénus grecque, cet Apollon de Corinthe... Regarde ces Tanagras, Beautrelet ! Tous les vrais Tanagras sont ici. Hors de cette vitrine, il n'y en a pas un seul au monde qui soit authentique. Quelle jouissance de se dire cela ! Beautrelet, tu te rappelles les pilleurs d'églises dans le Midi, la bande Thomas et compagnie – des agents à moi, soit dit en passant –, eh bien ! voici **la chasse d'Ambazac**, la véritable, Beautrelet !*

Maurice Leblanc, *L'Aiguille creuse*, 1909



Jean Thomas lors de son procès. Dessin paru dans *L'illustration* (BFM Limoges).

TABLE DES MATIÈRES

Introduction	9
Problématique.....	9
Contexte historique	9
Le culte des reliques.....	9
L'ordre de Grandmont en Limousin	10
Le trésor de Grandmont et les émaux de Limoges	10
La châsse d'Ambazac.....	11
Les circonstances de sa fabrication	11
La châsse d'Ambazac et le « gang des Auvergnats ».....	11
Les caractéristiques de la châsse d'Ambazac	13
Les inventaires faisant mention de la châsse	15
Les différentes restaurations de la châsse	16
La description des gemmes réalisée par Ernest Rupin en 1890	16
L'expertise gemmologique réalisée par Materia Viva en 2016	18
Méthodes et techniques analytiques	22
Observation à l'œil nu et avec éclairage UV	22
Spectrométrie Raman avec deux sources d'excitation laser à 785 nm et 532 nm	23
Spectrométrie par XRF portable	25
Les décors et pierres présents sur la châsse (Résultats).....	25
Les différentes formes du quartz	25
Le quartz à forte cristallinité : le cristal de roche (quartz) et l'améthyste	28
Le quartz microcristallin : la calcédoine.....	30
Les perles de nacre	31
Les « bézoards » ou terres cuites glaçurées.....	34
Les « bézoards » non glaçurés.....	35
Les « bézoards » glaçurés.....	36
Les verres	38
Les fondants :	44
Les éléments chromogènes et opacifiants :.....	47
Bilan	49
Discussion des résultats.....	49
L'étonnante abondance du cristal de roche et des verres sur la châsse.....	49
Les compositions des verres et leur authenticité.....	50
Des pierres remplacées par Ernest Rupin ?.....	52
La vraie nature des Bézoards	52

Des perles de nacre de provenance locale ?.....	54
Un reliquaire réalisé à la hâte ?.....	54
Matérialité de l'œuvre et liens avec les écrits sacrés	54
Conclusions et perspectives.....	56
La châsse d'Ambazac : un objet singulier parmi les reliquaires limousins.....	56
Un seul atelier d'orfèvrerie ?	56
Les grès du Trias du bassin de Brive : matériaux supports d'objets glaçurés ?	57
Références bibliographiques	58
Table des Illustration	61
Annexes	65

INTRODUCTION

PROBLÉMATIQUE

La châsse d'Ambazac ou châsse de Saint Etienne de Muret est l'une des sept châsses qui faisaient partie du trésor de l'Abbaye de Grandmont. Seule restée intacte à ce jour, cette œuvre émaillée et sertie de pierres gemmes est l'une des fiertés du patrimoine limousin. Ce reliquaire, à l'histoire rocambolésque, a été récemment exposée au *Metropolitan Museum of Art* de New York (U.S.A.) du 26 septembre 2016 au 8 janvier 2017 (Exposition *Jerusalem*, Guigue, 2017). Pour cette occasion, la châsse d'Ambazac a subi une restauration intégrale menée par le laboratoire de conservation–restauration *Materia Viva* de Toulouse (Brocard-Rosa *et al.*, 2016). Une identification des pierres gemmes qui ornent la châsse a été proposée pour la première fois par les restauratrices avec l'assistance de M. Christian SERVELLE, ingénieur d'étude au Service Régional de l'Archéologie de la région Midi-Pyrénées et M. Alain BENHAMOU, bijoutier à Toulouse. Même si cette identification s'est faite avec le concours de spécialistes, il convient qu'elle soit désormais confortée par des analyses approfondies grâce à des instruments plus spécifiques.

Questions scientifiques :

Il convient de préciser les questions scientifiques abordées au cours de ce travail.

- Quelle est la vraie nature de toutes les pierres gemmes qui ornent la châsse ?
- Peut-on retracer une source probable de certaines de ces pierres et mettre en évidence de possibles remplacements ?
- Peut-on établir un lien entre la châsse d'Ambazac et d'autres objets faisant partie du trésor de Grandmont ?
- Peut-on lier la matérialité de l'œuvre à l'écrit sacré ?

CONTEXTE HISTORIQUE

LE CULTES DES RELIQUES

En Europe, le Moyen Âge s'étend du V^e au XV^e siècle. Cette période est subdivisée en trois grandes époques : le Haut Moyen Âge du VI^e au X^e siècle, le Moyen Âge central ou classique du XI^e au XIII^e siècle et, enfin, le Moyen Âge tardif ou Bas Moyen Âge du XIV^e au XV^e siècle. C'est pendant le Moyen Âge central que s'opèrent de profonds changements sociétaux et politiques en relation avec une forte augmentation de la population grâce, notamment, à des innovations techniques (pratiques agricoles qui permirent d'améliorer les rendements), un climat favorable et une absence d'invasions. Plus de 90 % de la population reste composée de paysans et ces derniers se regroupent en petites communautés appelées seigneuries. Pendant cette même période se développe un véritable culte des reliques, l'un des traits fondamentaux de la civilisation chrétienne médiévale. Ces reliques (parties du corps de la personne vénérée, tout objet lui ayant appartenu ou sanctifié par son contact) sont généralement enfermées dans des reliquaires qui peuvent prendre différentes formes. La forme la plus ancienne est la châsse qui rappelle le cercueil ou le sarcophage. Le plus souvent les reliques sont préservées dans des boîtes ou des coffrets ce qui facilite leur transport. Elles ne contiennent

généralement que des reliques fragmentaires et de petite taille. Si les reliquaires paléochrétiens ou byzantins (du III^e au VI^e siècle) sont en pierre ou en marbre, les reliquaires médiévaux sont en métal argenté ou doré, parfois enrichis d'émaux, de perles de verre ou de nacre, de pierres précieuses ou semi-précieuses. Ils sont alors de véritables œuvres d'art représentatives du savoir-faire des orfèvres, des techniques de taille et de façonnage des pierres ou, encore, de la synthèse des émaux et des verres de l'époque (Cannella, 2006).

En raison de leur caractère sacré, les reliques représentent un enjeu de pouvoir, de prestige et de gloire pour les rois, les seigneurs et le clergé qui instrumentalisent le culte des saints à l'époque. Les reliques servent à la construction politique des seigneuries et à leur façonnement identitaire. Elles sont des moyens de cohésion sociale par exemple en Bretagne, en Flandre, en Normandie et en Aquitaine où elles permettent de renforcer les liens au sein des familles dirigeantes ou entretiennent l'amitié quand elles sont offertes en tant que cadeaux. Elles permettent surtout de tisser un réseau de relations sociales dans l'ensemble de la population grâce aux processions et aux pèlerinages. Elles occupent ainsi une place centrale au sein de la société.

L'ORDRE DE GRANDMONT EN LIMOUSIN

À la fin du XI^e siècle et au début du XII^e siècle, sous l'impulsion de la papauté (sièges de Léon IX et Grégoire VII), l'église fait l'objet d'un grand mouvement de réforme qui porte le nom de « réforme grégorienne ». Cette dernière impulse un renouveau religieux avec notamment l'émergence de congrégations. Dans ces communautés, la vie des moines, moniales, religieux ou religieuses est organisée par une règle (travail manuel, maintien dans la pauvreté ou l'austérité par exemple). Dans les contrées où elles s'implantent, elles représentent des centres de culture et d'éducation (des écoles sont notamment ouvertes). Ces congrégations peuvent posséder des biens très importants. La tenue de registres (inventaires appelés polyptyques) par les moines nous laisse entrevoir leur étendue. Par exemple, le polyptyque de l'Abbaye de Saint-Bertin (située dans le département du Pas-de-Calais) rédigé vers 844-859 décrit ces possessions (Ganshof *et al.*, 1975) : domaine de plus de 650 ha, des revenus liés aux paiements de redevances, meubles, objets d'art, etc. Ces biens sont issus de dons faits par les pèlerins ou encore les seigneurs, car les religieux, par leurs prières, représentent des intercesseurs qui ouvrent les portes du Ciel. Beaucoup de ces congrégations furent instables et disparurent rapidement au cours du temps. L'histoire a surtout retenu le nom de celles qui ont perduré comme par exemple l'Ordre des Chartreux fondé par Bruno de Cologne en 1084 ou encore l'Ordre des Cisterciens fondé par Saint Bernard en 1098.

C'est au cours de cette même période qu'est fondé en Limousin en 1076 l'Ordre de Grandmont par Etienne de Muret, et qui perdurera jusqu'à sa dissolution en 1772. Cet ordre présente deux originalités par rapport aux autres : il est composé d'ermites, au départ voués à la pauvreté, puis réunis ensuite dans des cellules et des abbayes. Son expansion sera extraordinairement rapide au point de s'étendre jusqu'en Espagne et en Angleterre. Il aura notamment bénéficié de la protection de la Maison Royale d'Angleterre sous Henri II Plantagenêt (époux d'Aliénor d'Aquitaine ; Lanthonie, 1979).

LE TRÉSOR DE GRANDMONT ET LES ÉMAUX DE LIMOGES

Cet ordre monastique original, où chacun fait vœu d'une pauvreté rigoureuse, est paradoxal par : (1) la possession d'un vaste domaine territorial qui s'étend sur plus de la moitié de l'Aquitaine et (2) la présence d'un grand nombre d'objets émaillés bien documentés : le trésor de Grandmont (Erlande-Brandenburg, 1977 ; Gaborit, 1976, 1995 ;

Lanthonie, 1979). La grande majorité des pièces de ce trésor provient de donations. En effet, jusqu'au règne Saint Louis (Louis IX, 1214-1270), tout testament, pour être valable, devait contenir un legs pieux (Lanthonie, 1979).

Beaucoup de ces pièces ont été détruites pendant la Révolution Française en 1791, notamment en raison de la vente d'une partie du rétable, de grandes croix et de l'une des châsses comme vieux cuivre par M^{gr} d'Argentré, évêque de Limoges, au fondeur Coutaud (François-Souchal, 1963), certaines nous sont heureusement parvenues. Les inventaires successifs et les descriptions permettent de retracer notamment la composition de l'autel majeur de Grandmont. On estime qu'il était constitué d'un *antependium* constitué de 6 plaques de cuivre (parement d'autel destiné à le décorer ou à masquer la table) orné d'un Christ entouré des apôtres et de sept châsses posées sur un *retable* (décor sculpté ou peint placé en arrière de l'autel). L'ensemble de ces objets semble avoir été exécuté entre 1181 et 1269 (Gaborit, 1976 ; Gaborit, 1995 ; Erlande-Brandenburg, 1977 ; Lanthonie, 1979). Deux des plaques faisant parties du retable sont aujourd'hui exposées au Musée de Cluny à Paris. Six des plaques de l'*antependium* sont conservés dans différents musées de Paris (Louvre, Petit Palais), de Florence (Musée Bargello), de New York (Metropolitan Museum) et de Saint-Pétersbourg (Musée de l'Hermitage). La seule châsse demeurée intacte est celle de Saint Etienne de Muret qui se trouve en l'église d'Ambazac (la statuette des Billanges, conservée au musée Jacquemart-André à Chaalis dans l'Oise, pourrait avoir fait partie d'une deuxième châsse de Saint Etienne de Muret).

Les pièces de ce trésor sont des témoins d'une technique unique de travail de l'émail (émail champlevé) qui s'est développée du milieu du XII^e siècle à Limoges pour disparaître au XIV^e siècle (vers 1346 avec le dernier reliquaire de Saint Ferreolus réalisé par Aymeric Chrétien). On recense à travers le monde un petit nombre d'objets émaillés selon la méthode champlevé avec 12 000 pièces conservées (on estime que ce nombre a pu s'élever à plus de 120 000 objets ; Gauthier, 1972 ; Taburet-Delahaye, 1995). Le trésor de Grandmont rassemble une part non négligeable de ces objets.

LA CHÂSSE D'AMBAZAC

LES CIRCONSTANCES DE SA FABRICATION

C'est entre 1188 et 1200 qu'elle aurait été conçue hâtivement pour servir, dans un premier temps, à recueillir les reliques de Saint Etienne de Muret qui vient d'être canonisé (procès de canonisation du 21 mars 1189 par le Pape Clément III). Vers 1250-1260, une nouvelle châsse de plus grande taille aurait été réalisée pour le saint ; la châsse d'Ambazac aurait alors été réutilisée pour abriter les reliques de Saint Macaire, sans doute vers 1269 (Guibert, 1888 ; Rupin, 1890 ; Gaborit, 1976).

En 1790, les pièces du trésor de Grandmont encore préservées furent distribuées par M^{gr} d'Argentré (évêque de Limoges) aux églises du diocèse de Limoges (Texier, 1853). Une dalmatique (tunique à manches larges en forme de croix portée par le diacre lors des différentes cérémonies religieuses) et un fragment d'os de Saint Etienne de Muret renfermés dans la châsse de Saint Macaire sont ainsi confiés à la paroisse d'Ambazac.

LA CHÂSSE D'AMBAZAC ET LE « GANG DES AUVERGNATS »

La châsse d'Ambazac a connu une histoire rocambolesque au début du XX^e siècle. Elle eut un grand retentissement, jusqu'à un niveau international.

Au mois de septembre 1907, un photographe de Limoges, M. Delhoume, se rend dans le bourg pour photographier la châsse (qui est encore aujourd'hui conservée dans l'église) afin d'illustrer un article sur les émaux. Accompagné du curé, l'abbé Paillet, il découvre que la châsse a disparu (site internet <http://www2.culture.gouv.fr/culture/inventai/itiinv/ambazac/levol.html>, consulté le 7/11/2018). Sa valeur était estimée à l'époque à 300 000 francs, soit 6 millions d'euros actuels. L'enquête révélera que la châsse d'Ambazac a été volée par les frères Thomas (Jean et François Thomas), deux tonneliers clermontois. Ils ont eu pour complices Antoine Faure, ancien ouvrier Michelin, et Michel Dufay, un « sculpteur-antiquaire » (Gondeau, 2016). Ces quatre personnes étaient déjà bien connues depuis plusieurs années pour être des pilliers d'églises.

Afin de rendre méconnaissable la châsse et pouvoir la revendre plus facilement, Jean Thomas procéda à des modifications. Il arracha la colombe présente sur la crête ainsi que les deux acrotères en forme de boule placées aux extrémités.

Les acrotères et la colombe ont été retrouvés au cours d'une perquisition au domicile des frères Thomas, mais le destin du reste de la châsse demeurait inconnu.

En effet, ne trouvant pas d'acheteur en France, Jean Thomas est parti entretemps en Angleterre pour vendre le reliquaire. Les antiquaires anglais n'en voulant pas, ces derniers étant effrayés par la notoriété de la pièce, il la consigna et en confia les clés à l'un d'entre eux.

Les frères Thomas et leurs complices ont été arrêtés au mois d'octobre 1907. Ils furent jugés à Limoges du 27 février au 3 mars 1908 (Figure 1). Jean Thomas fut condamné à six ans de travaux forcés au bagne de Saint-Laurent du Maroni (Guyane) et ses complices, à deux années d'emprisonnement.



Figure 1. Photographie représentant les frères Thomas accompagné d'un de leur complice Antoine Faure lors de leur procès qui s'est déroulé à Limoges en 1908 (source : <https://lamontagne.fr/clermont-ferrand/vie-pratique-consommation/2016/09/01/>).

La châsse de Saint-Etienne de Muret fut finalement retrouvée à Londres en 1910 et rejoignit alors l'église d'Ambazac.

LES CARACTÉRISTIQUES DE LA CHÂSSE D'AMBAZAC

Par sa taille, la châsse d'Ambazac est la seconde du trésor de Grandmont et de toutes celles conservées aujourd'hui en Limousin.

Elle mesure 73,5 cm de long, 26 cm de large et 63 cm de haut. Elle est constituée de plaques de cuivre dorées, martelées ou repoussées. Les plaques sont fixées sur un support en bois de chêne (appelée âme), sont travaillées, présentent une très grande variété de motifs et sont ornées de fins filigranes d'or et d'émaux. Les faces de la châsse sont ornées de pierres toutes taillées en cabochon parfois de très grande taille (jusqu'à 5,5 cm de long pour certaines). De toutes les œuvres limousines, c'est elle qui en rassemble le plus grand nombre.

Elle présente deux étages munis de trois transepts aux toits saillants. L'étage inférieur est de forme parallélépipédique et repose sur quatre pieds. Il est surmonté d'un second étage relié au précédent par un toit à quatre versants décorés d'un motif imitant un tuilage. Cet étage supérieur se termine par un toit en bâtière (à deux versants opposés). L'ensemble est couronné d'une crête pourvue de deux acrotères en forme de boule aux extrémités. Au milieu, se trouve un oiseau ressemblant à une colombe prête à ouvrir ses ailes. Les pignons (faces latérales) présentent les mêmes divisions du décor. Le pignon droit (vue de face de la châsse) correspond à une porte articulée sur deux gonds (cf. Figure 2 ; site internet : <https://www.limousin-medieval.com/chasses-reliquaires>, consulté le 7/11/2018). La croix située au centre de la face avant de la châsse correspond à la Croix de Grandmont caractérisée par quatre branches d'égale longueur (Lanthonie, 1979). L'émail (dont la couleur dominante est le bleu) est employé sur toutes les faces de la châsse, soit pour la ponctuation décorative des surfaces en caissons distincts, soit pour imiter certains matériaux comme les vitraux sur les pignons des transepts latéraux (site internet : <https://www.limousin-medieval.com/chasses-reliquaires>, consulté le 7/11/2018). La châsse d'Ambazac, tout comme cinq autres des châsses du grand autel de Grandmont, semble avoir été conçue pour être vue seulement sur l'un de ses côtés (Gaborit, 1976). Elle se caractérise en effet par une face principale richement décorée alors que le revers et les côtés sont beaucoup moins ornés (Figures 3 et 4).



Figure 2. Photographie de la face avant de la châsse d'Ambazac. La règle au bas de l'image mesure 30 cm (cliché A. Fonfrege).



Figure 3. Photographie de la face arrière de la châsse d'Ambazac. Le couvercle de l'objectif de l'appareil photographique mesure 5,5 cm de diamètre (cliché A. Fonfrege).



Figure 4. Photographies des faces latérales de la châsse d'Ambazac. Le couvercle de l'objectif de l'appareil photographique mesure 5,5 cm de diamètre (cliché A. Fonfrege).

LES INVENTAIRES FAISANT MENTION DE LA CHÂSSE

Le plus ancien inventaire du trésor de Grandmont mentionnant la châsse d'Ambazac date de 1472. Pas moins de treize autres inventaires ont été dressés entre 1496 et 1791. Malheureusement, les descriptions les plus précises concernent davantage les petits fragments de reliques qui sont encore conservées dans les châsses que les décors de ces dernières.

Le frère Pardoux de la Garde (religieux du XVI^e siècle et auteur du *Recueil des antiquités de Grandmont*) réalise une première description de la châsse : « *Est une aultre chasse de cuyvre doré esmaillé bien faicte ouvrée, toute garnye de petite pierrerie dans laquelle repose le corps de Saint Machaire* » (cité par Guibert, 1888 et François-Souchal, 1963). Dans un inventaire des reliques réalisé en 1666, il est dit que la châsse de Saint Macaire est « *de mêmes matières et figure* » que celle de Saint Etienne, mais « *plus petite, enrichie de quantité de grosses pierres et sans personnages* » (Guibert, 1888). Martial de Lépine, subdélégué de l'Intendant (dans son ouvrage *Inventaire* en 1771) décrit la châsse entre 1733 et 1738 : « *la seconde sur la droite a environ deux piés et est aussi de cuivre emaillé avec quelques christaux et petites pierres* » (Guibert, 1888 ; François-Souchal, 1963). En 1790, M. Sicelier, supérieur du grand séminaire de Limoges fut chargé d'établir un inventaire des reliques. Le procès-verbal dressé à cette occasion décrit ainsi la châsse : « *Plus, nous avons trouvé, aussi sur le plancher, devant la croisée de ladite chambre, une grande châsse en bois, en dos d'âne, couverte de cuivre doré et émaillé, extrêmement*

ornée et enrichie de pierres précieuses, de cristaux, etc. dont il manque pourtant plusieurs » (Guibert, 1888). Dans un article publié dans le numéro des *Nouvelles ecclésiastiques* du 14 août 1789, M^{gr} d'Argentré est accusé d'avoir emporté la châsse à Paris alors qu'il se rendait aux Etats Généraux, livre la description suivante de la châsse : « une châsse provenant de Grandmont enrichie de pierreries et valant 40 000 livres » (Guibert, 1888).

Tous ces inventaires font ainsi mention de la châsse d'Ambazac, mais nous sommes rapidement limités par les descriptions bien trop concises concernant les pierres de l'ornementation.

LES DIFFÉRENTES RESTAURATIONS DE LA CHÂSSE

Les multiples inventaires mentionnant la châsse depuis 1496, n'apportant finalement que peu de détails sur les gemmes. Nous allons à présent nous pencher sur les restaurations successives dont l'œuvre a fait l'objet, essentiellement depuis la fin du XIX^e siècle. En effet, les rapports de restauration accompagnés de photographies sont des sources documentaires intéressantes pour discuter du remplacement des gemmes. Nous nous attarderons ici sur les restaurations réalisées par Ernest Rupin en 1890, puis par le laboratoire *Materia Viva* de Toulouse en 2016.

LA DESCRIPTION DES GEMMES RÉALISÉE PAR ERNEST RUPIN EN 1890

Dans son ouvrage *L'œuvre de Limoges* (1890), Ernest Rupin décrit les gemmes présentes sur la châsse. Il évoque la présence de 282 pierres précieuses et pâtes de verre, parmi lesquelles il compte trois intailles et trente-six bézoards glacés de bleu de différentes nuances. Il fait également mention de pierres en cristal de roche taillé en cabochon.

Il décrit de manière précise les intailles présentes sur la châsse. Elles représentent le Génie de la Fortune sacrifiant sur un autel, une tête de cheval marin avec un triton et un vieillard assis parlant à un jeune homme debout devant lui. Il n'écarte pas le fait que ces intailles aient pu être d'origine. En effet, les souverains pontifes et évêques n'ont jamais proscrit l'usage des camées et intailles à figures profanes pour embellir les trésors des églises.

En plus de ces descriptions, les clichés photographiques d'Ernest Rupin nous permettent de voir qu'un certain nombre de pierres sont déjà manquantes à cette époque (Figure 5) : Aa03¹ et Ac28 sur la face avant, la pierre Ca07 sur la face gauche et la pierre Da10 sur la face droite comportant la porte (Figures A et B en annexe).

¹ Les numéros des pierres correspondent à l'indexation établie pour la présente étude.

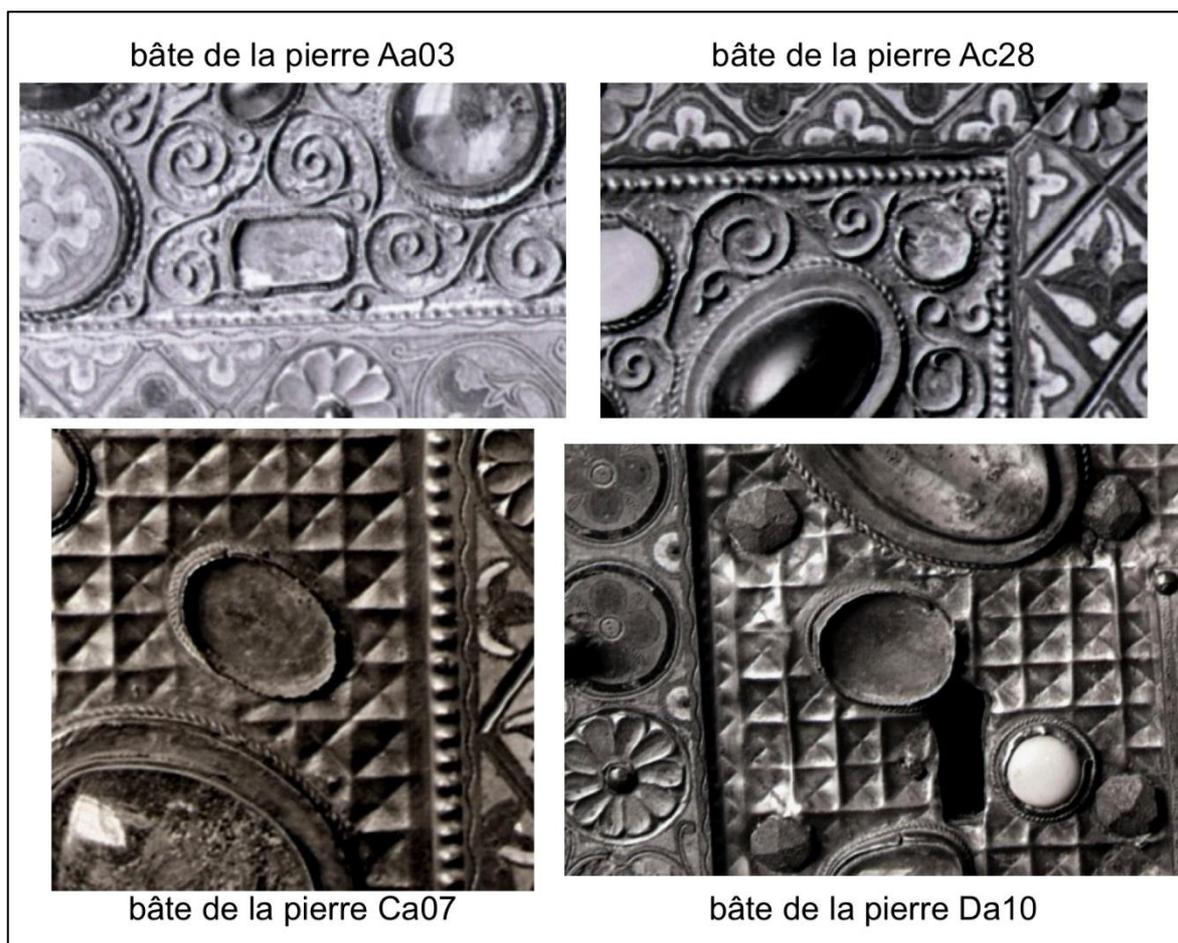


Figure 5. Photographies des bâtes des pierres manquantes Aa03, Ac28, Ca07 et Da10 en 1890 au moment de la restauration de la châsse par Ernest Rupin.

Ernest Rupin s'attarde également plus particulièrement sur la justification de la présence sur la châsse (et d'une manière générale sur les objets liturgiques) de pierres qu'il appelle *bézoards*.

Par définition, les bézoards (du persan *pādzahr* signifiant « qui protège du poison ») sont des concrétions organiques de nature variée provenant d'aliments partiellement ou non digérés et présentes dans diverses régions du tube digestif (estomac, intestin, cæcum) des animaux ruminants ou non comme la vache, le cheval, la chèvre. On en trouve également chez l'être humain. On distingue par exemple les phytobézoards constitués de débris végétaux, ou encore les trichobézoards constitués de poils ou de cheveux.

Du X^e au XVIII^e siècle, la pierre de bézoard était considérée comme un objet précieux au point d'être portée en pendentif ou encore ornementée d'or (Figure 6 ; Gay, 1884). Au Moyen Âge, ils proviennent essentiellement d'Orient et plus particulièrement d'Inde ou de Perse (Bézoard oriental : *Lapis bezoardicus* ; Rupin, 1890). Ces concrétions de forme arrondie ont une surface lisse. Elles se composent de couches concentriques et peuvent être de teinte variable : vert, jaune, mais le plus souvent cendrée, noir ou rouge. On leur attribuait des propriétés médicinales puissantes comme anti-poison, anti-venin, antiseptique, curatif, ou encore la protection contre la peste... Si aujourd'hui le bézoard est tombé dans l'oubli, il était à l'époque très recherché et se payait au poids de l'or. Les orfèvres limousins n'hésitaient pas à l'appliquer sur les reliquaires au côté des intailles, perles de verres et pierres précieuses.



Figure 6. Bézoard avec monture dorée (11,6 cm de haut) datant du XVII^e siècle, conservé au *Kunsthistorisches Museum* de Vienne (Source : <http://archeologue.over-blog.com/article-cabinet-de-curiosites-fossiles-bezoard-et-sarcosuchus-imperator-43193443.html>, consulté le 21/11/ 2018).

L'EXPERTISE GEMMOLOGIQUE RÉALISÉE PAR MATERIA VIVA EN 2016

La dernière restauration de la châsse date de 2016. Elle a eu lieu juste avant son départ pour l'exposition *Jerusalem* au *Metropolitan Museum of Art* de New York (du 26 septembre 2016 au 8 janvier 2017 ; Guigue, 2017). Une expertise gemmologique a été réalisée à cette occasion avec la collaboration de M. Christian SERVELLE, ingénieur d'étude au Service Régional de l'Archéologie de la Région Midi-Pyrénées et M. Alain BENHAMOU, bijoutier à Toulouse. Elle s'est basée sur des techniques conventionnelles de gemmologie n'impliquant pas des déterminations physiques poussées.

De notre travail, il ressort que la châsse comporte 325 pierres au total : 249 sur la face avant, 18 sur la face arrière, 29 sur la face droite (celle portant la porte) et autant sur la face gauche. Parmi toutes ces pierres, 9 sont manquantes (5 sur la face avant, 1 sur la face droite et 3 sur la face gauche).

Depuis la restauration du reliquaire par Ernest Rupin en 1890, 5 autres pierres supplémentaires ont donc disparu : les pierres localisées en Ab45, Ab48 et Ak09 sur la face avant, les pierres Ca10 et Cb08 sur la face gauche. (Figure 7 et Figures A et C en annexe).



Figure 7. Photographies des bâtes des pierres manquantes en positions Ab45 et Ab48, Ak09 sur la face avant et des pierres Ca10 et Cb08 sur la face gauche, en 2016 au moment de la restauration de la châsse par le laboratoire de conservation-restauration *Materia Viva*.

Le total de 325 pierres (auquel il faut enlever 9 pierres manquantes) est bien plus élevé que celui évoqué par Ernest Rupin en 1890. Il ne faut donc pas exclure qu'au moins 38 pierres ont été remplacées depuis cette date.

Ce qui est le plus troublant est, qu'à l'exception des cinq pierres manquantes depuis 1890, les photographies prises par Ernest Rupin (Figure B en annexe) ne montrent quasiment aucun changement avec celles de 2016 réalisées par *Materia Viva* (Figure C en annexe). Les photographies réalisées par Ernest Rupin auraient-elles été prises juste après la restauration de la châsse ? Les pierres manquantes auraient-elles déjà été remplacées par des verres ? Dans ce cas, pour quelles raisons quatre pierres n'auraient-elles pas été remplacées à ce moment-là ?

Les résultats de la diagnose des pierres gemmes réalisée par *Materia Viva* sont rassemblés dans la figure D en annexe. 47 pierres au total n'avaient pas pu être déterminées (44 sur la face avant, 2 sur la face droite et 1 sur la face gauche). Le bilan de l'expertise de *Materia Viva* être résumé dans la Figure 8.

Les restauratrices proposent une nouvelle interprétation des éléments bleus décrits initialement comme des bézoards par Ernest Rupin (1890) comme étant plutôt des terres cuites glaçurées.

Une étude approfondie des intailles est réalisée avec la collaboration d'Hélène Guiraud. La première intaille (pierre numérotée Ab26, Figure 9), à trois couleurs est placée sur la face avant de la châsse. Elle est apparemment gravée d'une tête de cheval mais

qui ressemblerait en fait plutôt à une tête de lion en position inversée ou à une tête de sanglier. Elle estime que cette intaille de trois couleurs serait plutôt caractéristique de la fin de la première République et du début de l'Empire (aux alentours de 1800). Une seconde intaille est également présente sur la face avant de la châsse (pierre numérotée Ag11, Figure 9). Elle représente un vieillard assis mais l'élément vertical présent devant lui interprété comme un personnage debout par Ernest Rupin (1890) pourrait aussi représenter une stèle. Tout comme la précédente, la nature de cette intaille n'est pas précisée, mais elle pourrait être datée au I^{er} ou II^e siècle. Enfin, la dernière se trouve sur la face droite de la châsse (pierre numérotée Db07, Figure 9). Hélène Guiraud fait les mêmes interprétations qu'Ernest Rupin (1890) concernant les représentations (Génie de la Fortune avec un gouvernail et une corne d'abondance). Cette intaille serait un onyx nicolo et remonterait au I^{er} siècle de notre ère.

Figure 8. Nombre de gemmes et verres déterminés sur la châsse lors de sa restauration en 2016 par le laboratoire Materia Viva

Pierres identifiées	Face avant (A)	Face arrière (B)	Face droite (D)	Face gauche (C)
Améthyste	3 pierres (1,2%)			
Bézoard	33 pierres (13,2%)	1 pierre (5,5%)	5 pierres (17,2%)	1 pierre (3,5%)
Calcédoine	13 pierres (5,2%)		3 pierres (10,3%)	7 pierres (24,1%)
Cornaline	1 pierre (0,4%)		1 pierre (3,5%)	
Cristal de roche	28 pierres (11,2%)	9 pierres (50%)	8 pierres (27,6%)	5 pierres (17,2%)
Intaille	2 pierres (0,8%)		1 pierre (3,5%)	
Onyx				1 pierre (3,5%)
Opale	1 pierre (0,4%)			
Perle de nacre	6 perles (2,4%)			
Topaze fumée	13 pierres (5,2%)		1 pierre (3,5%)	
Turquoise	25 pierres (10%)	7 pierres (2,8%)	2 pierres (6,9%)	5 pierres (17,2%)
Verre	75 (30,1%)	1 (5,5%)	5 (17,2%)	6 (20,7%)
Pierres manquantes	5 (2%)	0	1 (3,5%)	3 (10,3%)
Pierres indéterminées	44 (17,7%)		2 (6,9%)	1 (3,5%)
TOTAL	249	18	29	29

Ainsi, parmi ces trois intailles, au moins deux seraient d'origine sur la châsse car d'âge plus ancien.

Deux pierres pourraient également avoir été réemployées pour décorer la châsse. C'est le cas des pierres Ab02 et Ca06 (Figure 10) qui présentent respectivement un

perçage (la pierre provenant certainement d'un ancien pendentif) et une taille singulière en forme de cône.



Figure 9. Intailles présentes sur les faces avant et droite de la châsse représentant respectivement, de haut en bas, une tête de cheval, un vieillard assis et le Génie de la Fortune.

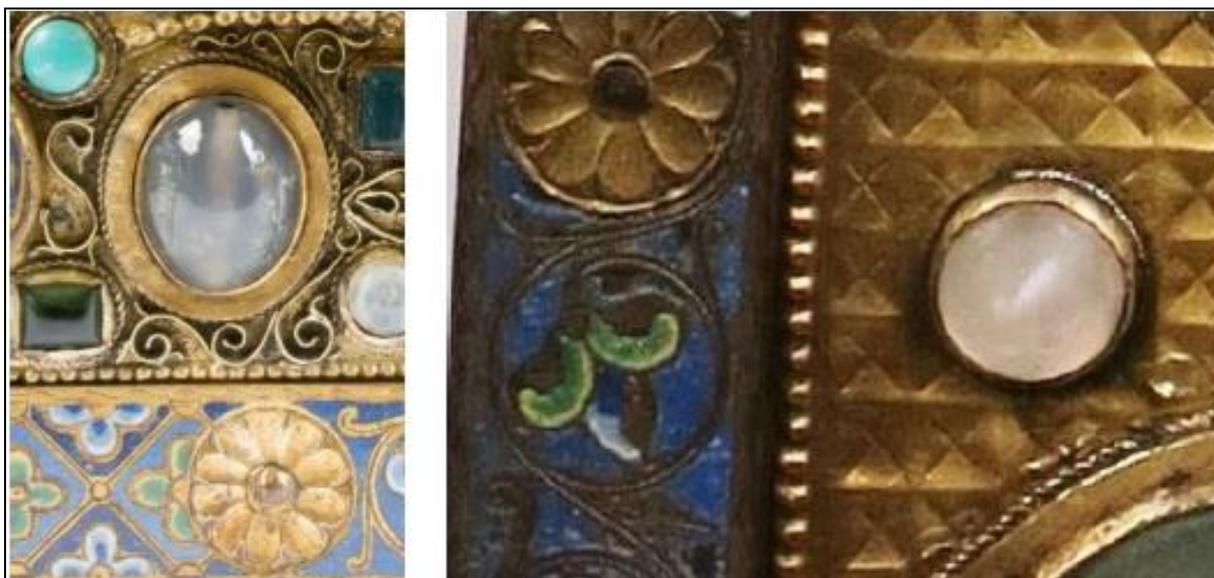


Figure 10. Pierres réemployées Ab02 et Ca06, identifiées comme des calcédoines, situées respectivement sur les faces avant et gauche de la châsse.

MÉTHODES ET TECHNIQUES ANALYTIQUES

Notre expertise gemmologique visait dont à résoudre encore plusieurs points, parmi lesquels :

- (1) confirmer ou infirmer les diagnoses des pierres et verres réalisées précédemment (verres, cristaux de roche, calcédoine, turquoise, améthyste, topaze, opale, cornaline, onyx, intailles) ;
- (2) déterminer précisément la nature des pierres bleues décrites comme des bézoards par Ernest Rupin ou comme des terres cuites glaçurées selon *Materia Viva* ;
- (3) déterminer les pierres qui n'avaient pas pu être identifiées en 2016.

Notre étude gemmologique de la châsse est basée sur différentes approches non destructrices utilisées successivement : une observation visuelle des pierres à la lumière blanche puis avec un éclairage sous lampe à ultra-violet dans un premier temps ; des analyses plus approfondies avec l'emploi d'un spectromètre Raman et d'un spectromètre XRF dans un second temps.

OBSERVATION À L'ŒIL NU ET AVEC ÉCLAIRAGE UV

L'observation à l'œil nu, sous lumière blanche, permet d'effectuer une première détermination gemmologique. Les couleurs des gemmes (même si elles ne représentent pas toujours un critère fiable), les inclusions, les bulles, les fractures sont des indices qui nous orientent vers une première diagnose.

L'utilisation d'un éclairage dans l'ultra-violet avec deux longueurs d'onde différentes (365 et 254 nm) nous permet de compléter les observations réalisées à l'œil nu.

En effet, sous lampe UV, certains minéraux peuvent présenter une fluorescence caractéristique. Le principe est le suivant : les rayonnements ultraviolets incidents vont

être en partie absorbés par l'échantillon. Les électrons de certains éléments chimiques du réseau cristallin (ou formant des impuretés) vont alors passer d'un état fondamental (ou état d'équilibre) à un état excité de plus haute énergie. Le retour à l'état fondamental de ces électrons sera accompagné d'une émission de photons. La fluorescence émise par le minéral est donc directement liée à ses propriétés : sa structure cristalline et ses éléments chimiques (éléments chromogènes comme les lanthanides par exemple).

On pourra ainsi réaliser une première diagnose en fonction de la couleur de fluorescence émise : par exemple, le rubis (corindon) présentera une fluorescence rouge (UV de 365 ou 254 nm) alors que la calcite (carbonate) émettra une fluorescence caractéristique de couleur rose ou bleu, pour des longueurs d'ondes respectives de 365 nm et 254 nm (site : <https://www.fluomin.org/uk/fiche.php?id=157>, consulté le 24/11/2018).

La fluorescence permet également d'observer les variations de concentrations en éléments chimiques dans le cristal au cours de sa croissance (zonations de compositions, Figure 11) ou encore de mettre en évidence des structures fluidales dans les verres. Cette dernière information est utile pour déterminer la technique utilisée par verriers pour façonner les perles de verre.

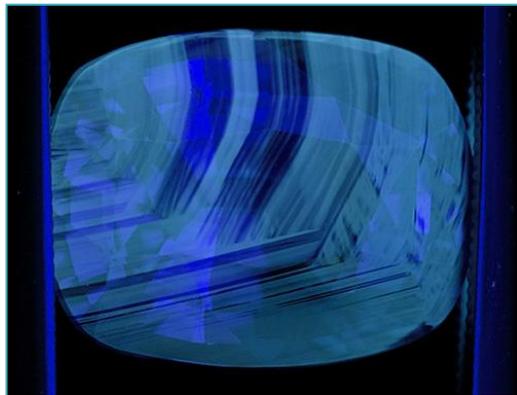


Figure 11. Zonations de compositions observées dans un saphir (traité thermiquement) en éclairage UV (source : http://www.ruby-sapphire.com/heat_seeker_uv_fluorescence.htm).

SPECTROMÉTRIE RAMAN AVEC DEUX SOURCES D'EXCITATION LASER À 785 NM ET 532 NM

Le spectromètre Raman permet d'analyser la structure des réseaux cristallins des gemmes et de déterminer le degré de polymérisation de matériaux amorphes comme les verres (Milleville *et al.*, 2003). Cette technique n'apporte pas d'information précise sur la composition chimique des pierres. En revanche, elle fournit des informations sur les substitutions à l'intérieur du réseau cristallin.

Cette méthode repose sur une interaction entre la matière et un rayonnement monochromatique. Le rayonnement laser possède une longueur d'onde précise). Ce dernier peut être de couleur bleu, rouge ou vert selon la longueur d'onde utilisée.

Sous l'action du rayonnement laser, la matière va réémettre une partie des rayonnements sous deux formes :

- par diffusion de Rayleigh (ou diffusion élastique, visible à l'œil nu) ; la matière va émettre le même rayonnement (avec la même longueur d'onde) que le rayon incident ;

- par diffusion Raman (ou diffusion inélastique, non perceptible à l'œil nu) ; la matière va émettre des rayonnements qui n'ont pas la même longueur d'onde que le rayon incident.

Le spectromètre possède des filtres qui ne vont sélectionner que les rayonnements réémis par diffusion Raman. L'appareil retranscrit ces rayonnements sous forme de spectres présentant des pics. Ces derniers, selon leur longueur d'onde et leur intensité, traduisent le comportement des liaisons interatomiques et leur densité respective dans la matière. Les liaisons entre les différents éléments chimiques du réseau cristallin (ou de la matière amorphe dans le cas des verres) entrent en vibration sous l'effet de l'excitation engendrée par le faisceau laser. Lorsque les liaisons d'un groupe XO_4 sont en état d'élongation symétrique, un pic ν_1 (*stretching symmetry*) s'individualise, lorsqu'elles sont en état d'élongation antisymétrique, on observe un pic ν_3 (*stretching antisymmetry*), en état de pliage symétrique, un pic ν_2 (*bending symmetry*) apparaît et, enfin, lorsqu'elles sont en état de pliage antisymétrique, un pic ν_4 (*bending antisymmetry*) se développe (Figure 12). Les différences de position d'un même pic (ν_1 , ν_2 , ν_3 ou ν_4) entre les différents spectres sont essentiellement dues à la nature de l'élément chimique présent au centre des tétraèdres (élément X du groupe XO_4) ou encore des degrés de distorsion des liaisons sous l'effet de l'environnement atomique (Nasdala *et al.*, 2004).

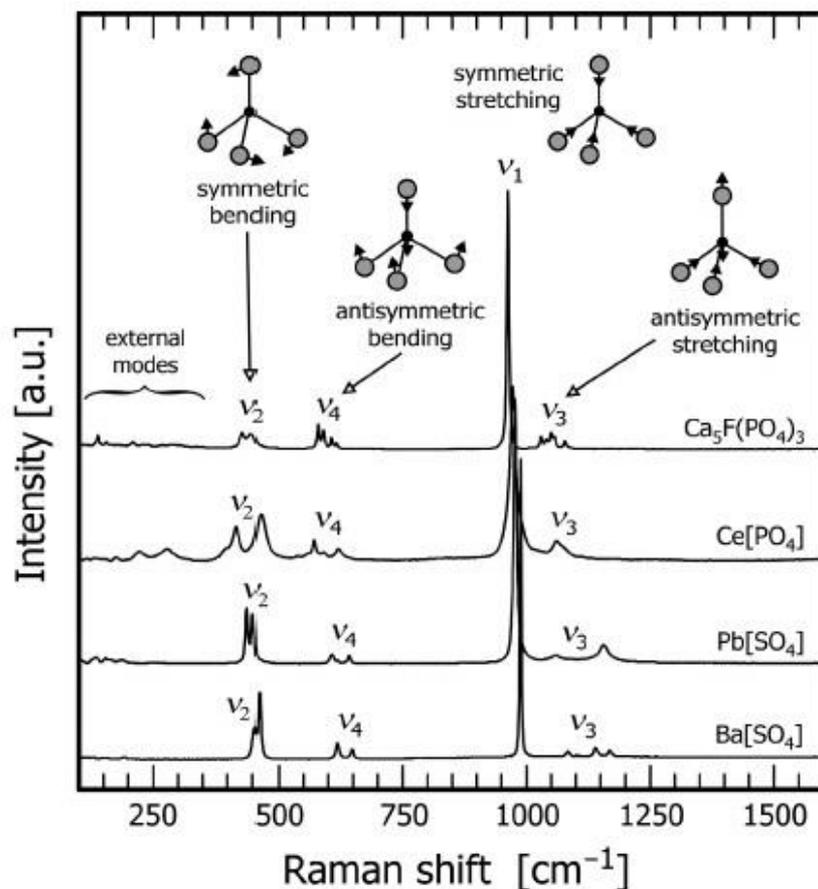


Figure 12. Spectres et modes de vibration Raman pour différentes phases minérales (apatite, monazite, anglesite et barite ; source : Source : https://www.univie.ac.at/Mineralogie/docs/Introduction_Raman.pdf ; Nasdala *et al.*, 2004). Voir explications dans le texte ci-dessus).

Les pics des spectres Raman peuvent être corrélés à la nature des minéraux analysés qui, chacun, présentent une signature spectrale caractéristique (les types de

liaisons sont fonction des structures cristallines) et la base de données RRUFF permet de réaliser des déterminations (Downs, 2006).

Certains échantillons pourront présenter une fluorescence pour un spectre laser précis. Cette fluorescence va venir se superposer au spectre Raman obtenu et rendre ainsi les pics difficiles à observer. Il est donc nécessaire d'utiliser des faisceaux lasers de différente longueur d'onde pour appliquer avantageusement cette méthode analytique.

Pour l'étude de la châsse d'Ambazac, nous avons utilisé deux spectromètres Raman (Raman R3000QE) possédant chacun un faisceau laser (d'un diamètre de 1 mm environ) et de longueurs d'onde respectives de 785 nm et de 532 nm.

SPECTROMÉTRIE PAR XRF PORTABLE

Cette méthode permet d'obtenir une analyse des éléments chimiques constitutifs des pierres. Elle fonctionne grâce à un faisceau incident de rayons X sur l'échantillon à analyser. Ces rayonnements très énergétiques vont interagir avec les éléments chimiques provoquant l'émission d'un rayonnement X de fluorescence. Ce dernier est collecté par un détecteur. Les caractéristiques du rayonnement X de fluorescence dépendent de la nature des éléments chimiques présents dans l'échantillon.

On peut ainsi déterminer une composition chimique précise (concentrations en % pour les éléments majeurs et en ppm pour les éléments en traces) des échantillons. Cependant, l'analyse est partielle car les éléments chimiques les plus légers (de numéro atomique < 11) sont très difficilement mesurables. Ainsi, dans le cas de la présente étude, le sodium, par exemple n'a pas pu être dosé. Les résultats obtenus sont exprimés en concentrations d'éléments purs. Il faut également considérer que la géométrie de la surface de l'échantillon peut être une source d'erreur. En effet, si elle n'est pas plane, une partie des rayons incidents peuvent être dispersée.

L'appareil utilisé pour notre expertise gemmologique est un spectromètre XRF de la marque Thermo Scientific Nikon™ XL3t Gold+ avec une calibration d'usine minerais multistandard. La durée de chaque analyse était de 150 secondes. L'analyse concerne un volume d'investigation semi-elliptique d'un diamètre de 3 mm environ et d'une profondeur pouvant atteindre 10 µm.

Pour l'exploitation des résultats, seules les valeurs analytiques montrant une erreur de mesure faible (inférieure à ±50 %) sont considérées comme fiables.

LES DÉCORS ET PIERRES PRÉSENTS SUR LA CHASSE (RÉSULTATS)

Grâce à l'emploi du spectromètre Raman, nous avons pu préciser la nature des gemmes qui ornent la châsse d'Ambazac. Les pierres gemmes identifiées appartiennent toutes au groupe du quartz (cristal de roche, améthyste et calcédoine). Nous avons également pu déterminer la présence de 5 perles de nacre et identifier un grand nombre de verres.

Avec le spectromètre XRF, nous avons procédé à l'analyse chimique des verres et des bézoards (cf. Tableaux de résultats en annexe).

LES DIFFÉRENTES FORMES DU QUARTZ

Le quartz possède une formule structurale très simple : SiO_2 . Selon les auteurs, le quartz pourra être classé parmi les oxydes (oxyde de silicium) ou bien parmi les silicates (groupe des tectosilicates). La charpente cristalline est cependant complexe : le silicium Si^{4+} (coordinance 4) occupe le centre d'un tétraèdre formé avec 4 atomes d'oxygène O^{2-} . À chaque sommet du tétraèdre, l'oxygène est commun avec un sommet du tétraèdre voisin (Figure 13 ; Bétékhtine, 1968 ; Fröhlich et Schubnel, 1991). Ainsi, les tétraèdes silicatés $(\text{SiO}_4)^{4-}$ du quartz sont totalement polymérisés.

La structure cristalline du quartz va cependant présenter différentes formes (minéral polymorphe) en fonction des conditions de pression et de température de cristallisation. Plus la température de formation sera basse, plus le degré de cristallisation du quartz sera faible. On obtiendra donc des formes bien cristallisées de haute température qui seront transparentes comme le cristal de roche ou bien des formes microcristallisées de basse température à structure fibreuse. Ces dernières seront alors translucides ou opaques comme la calcédoine, l'agate et l'onyx.

Le cristal de roche est un minéral ubiquiste car il peut se trouver dans les roches magmatiques, sédimentaires ou métamorphiques. Les plus gros cristaux se formeront dans les cavités (géodes) des roches magmatiques, les filons (pegmatites) ou les veines où circulent des fluides hydrothermaux. En contexte métamorphique, les cristaux se formeront par recristallisation (changement de cristallinité), lors de réactions métamorphiques (à l'état solide par diffusion des éléments chimiques) ou encore sous l'influence de la circulation de fluides riches en silice. Le quartz cristallise aux épontes de veines, fractures ou en bordure de cavités.

La calcédoine se présente généralement sous la forme de concrétions dans un contexte sédimentaire (cristallisation de gels de silice au cours du processus de diagenèse ou d'altération de la roche). Les agates et les onyx se forment dans des roches magmatiques effusives (basaltes, andésites, rhyolites). Ces minéraux cristallisent sous l'influence de circulations hydrothermales de fluides riches en silice.

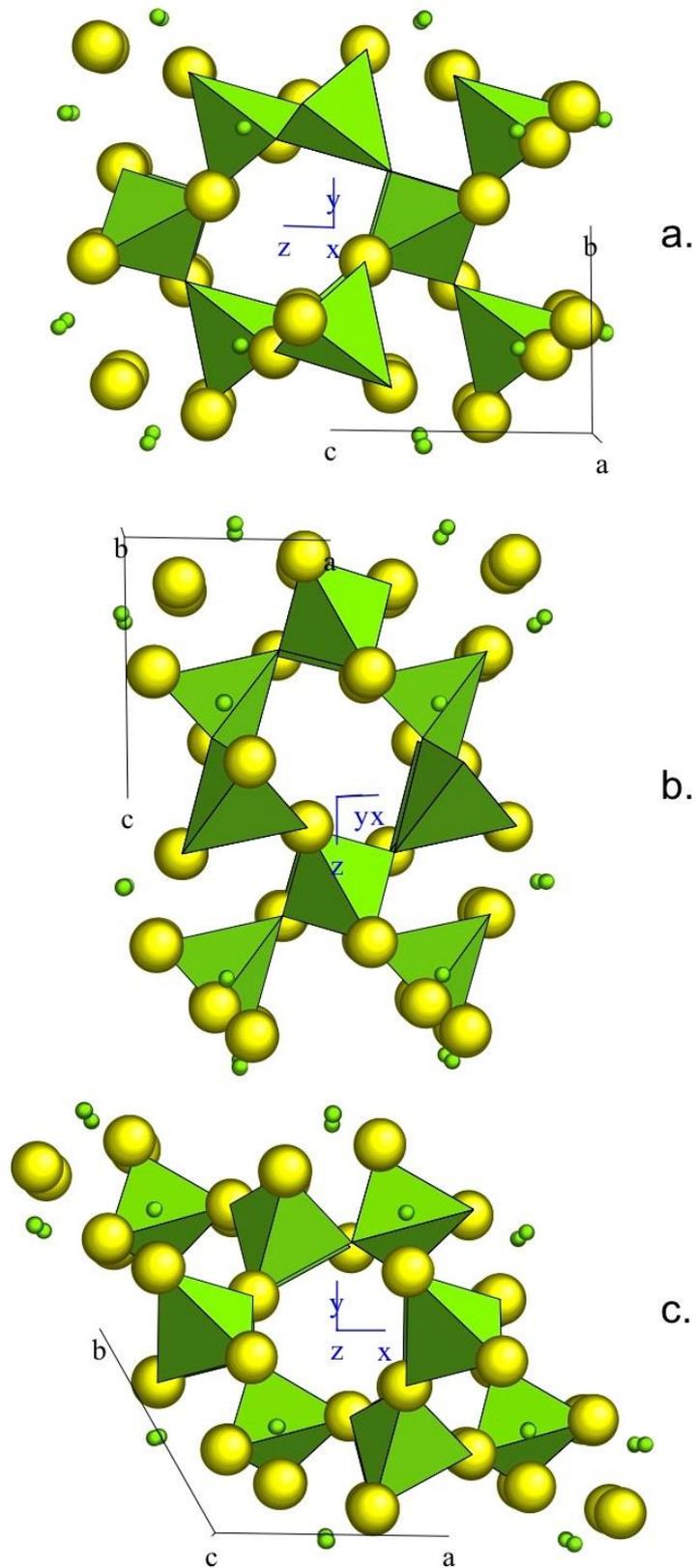


Figure 13. Représentation (logiciel caRINE®) du réseau cristallin du quartz (SiO_2) appartenant au système rhomboédrique (quartz de basse température ; Smith et Alexander, 1963). Les atomes de silicium sont de couleur verte, les atomes d'oxygène en jaune et les tétraèdres silicatés en vert. a : vue du réseau cristallin selon le plan (100). b : vue du réseau cristallin selon le plan (010). c : vue du réseau cristallin selon le plan (001).

La châsse comprend au total 45 pierres en cristal de roche (incolore hyalin, cf. Figure E en annexe). On trouve 26 pierres sur la face avant, 9 pierres sur la face arrière, 7 pierres sur la face droite et 3 sur la face gauche.

Ce sont les pierres qui présentent les dimensions les plus importantes sur la châsse. Elles sont taillées en forme de cabochon avec une longueur allant de 1,7 cm à 5,5 cm. Les cabochons les plus imposants sont taillés avec deux pans alors que les cabochons de petite taille n'en présentent pas (Figure 14).



Figure 14. Photographies de pierres en cristal de roche présentes sur la face avant de la châsse. La pierre de gauche est taillée en simple cabochon (pierre Aa17, taille : 1,7 cm) et la pierre de droite est un cabochon de grande taille à deux pans (pierre Ae09, grand axe : 3,6 cm).

Eclairées sous lampe UV, les pierres en cristal de roche ne présentent aucune fluorescence.

Le spectre Raman du quartz se caractérise par ici par trois pics situés à 128 cm^{-1} , 206 cm^{-1} et 465 cm^{-1} , respectivement, avec une source d'excitation laser de 785 nm (Figure 15). Ce dernier pic à 465 cm^{-1} correspond aux liaisons Si-O-Si en mode d'étirement symétrique (*stretching symmetry* ν_1 ; Sharma *et al.*, 2006).

Trois améthystes (quartz-améthyste) sont également présentes sur la face avant de la châsse (pierres Af27, Af28 et Ag06 ; Figure 16). Elles sont taillées en cabochon et leurs dimensions restent modestes comparées aux cristaux de roche : de 0,8 à 1,7 cm de long.

L'améthyste est une variété de quartz présentant une coloration rose à violet. Cette coloration particulière du quartz est liée à des substitutions tétraédriques dans le réseau cristallin : Si^{4+} ponctuellement substitué par Fe^{3+} . Cette substitution (d'un cation par un autre de degré d'oxydation inférieur) est suivie par l'éjection d'un électron provenant d'un anion adjacent, l'oxygène (O^{2-}), qui possèdera un électron qui ne sera pas mis en valence avec le cation Fe^{3+} . Cet électron pourra être arraché sous l'effet de la lumière et naviguer à des niveaux d'énergie supérieurs. Ces sauts d'électrons sont à l'origine de la coloration en absorbant certaines ondes de la lumière blanche. Pour l'améthyste, ces sauts d'électrons sont à l'origine de la couleur violette.

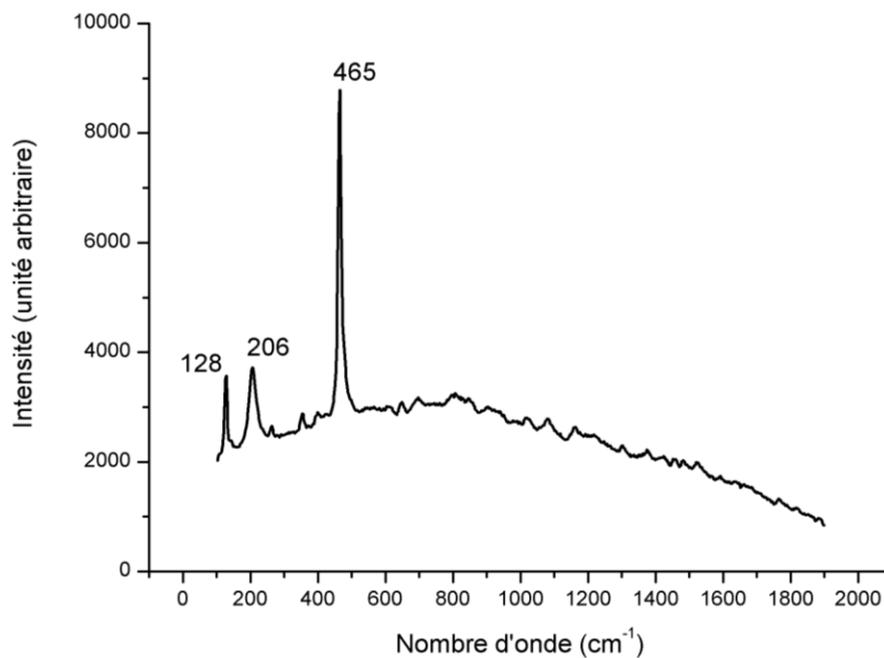


Figure 15. Spectre Raman caractéristique du cristal de roche (quartz, pierre Aa09) avec une source d'excitation laser de 785 nm.



Figure 16. Photographie d'une améthyste (pierre Af27) présente sur la face avant de la châsse. La longueur du cabochon est de 8 mm environ.

L'intensité de cette couleur violette est fonction du taux de substitution des éléments Si^{4+} par Fe^{3+} dans le cristal : plus il y a de substitutions dans le réseau cristallin et plus la

Pierre présente une coloration violette. À l'inverse, s'il y a peu de Fe^{3+} dans le cristal, la couleur sera rose.

LE QUARTZ MICROCRISTALLIN : LA CALCÉDOINE

La calcédoine est une variété de quartz microcristallin qui peut éventuellement présenter une hydratation élevée, pouvant atteindre 10 % (composition chimique notée alors $(SiO_2)_x (nH_2O)$).

La calcédoine peut présenter différentes couleurs. Chaque variété de couleur a sa propre dénomination (cf. tableau ci-dessous).

Couleur de la calcédoine	Dénomination courante
gris laiteux, noir bleuâtre,	saphirine
jaune, rouge, orange	sardoine
marron, brune	cornaline
verte	plasma
vert pomme	chrysoprase
verte à taches rouges	héliotrope

Certaines variétés de calcédoine seront constituées de couches très fines concentriques ou planes et superposées. Elles pourront être chacune de différentes couleurs. Ces variétés seront alors appelées Agates ou Onyx. On peut ainsi obtenir différentes combinaisons de teintes avec par exemple : noir et blanc (onyx arabe), brun et blanc (sardonyx), rouge et blanc (carnéolonyx).

La châsse d'Ambazac présente au total 17 pierres en calcédoine parmi lesquelles nous trouvons :

- 14 pierres en calcédoine blanche translucide situées sur la face avant et les faces latérales de la châsse ;
- l'intaille Ag11, située sur la face avant, en calcédoine de couleur grise bleuâtre (calcédoine saphirine) ;
- l'intaille Db 07, située sur la face droite, en calcédoine de couleur gris-noir (onyx nicolo identifié par les restauratrices de *Materia Viva*) ;
- la pierre Cb01, située sur la face gauche, en calcédoine de couleur brune rayée de blanc (sardonyx identifié par les restauratrices de *Materia Viva*).

Les pierres en calcédoine blanche translucide sont taillées exclusivement en cabochon. Comme le mentionnent les restauratrices de *Matéria Viva* dans leur rapport, certaines pierres ont fait l'objet d'un réemploi (pierres Ab02 et Ca06, Figure 10).

La calcédoine, qu'elle soit blanche translucide ou rayée de blanc et de brun comme le sardonyx, présente un spectre Raman (Figures 17 et 18) comparable à celui du quartz (Figure 15) sous une source d'excitation laser de 785 nm.

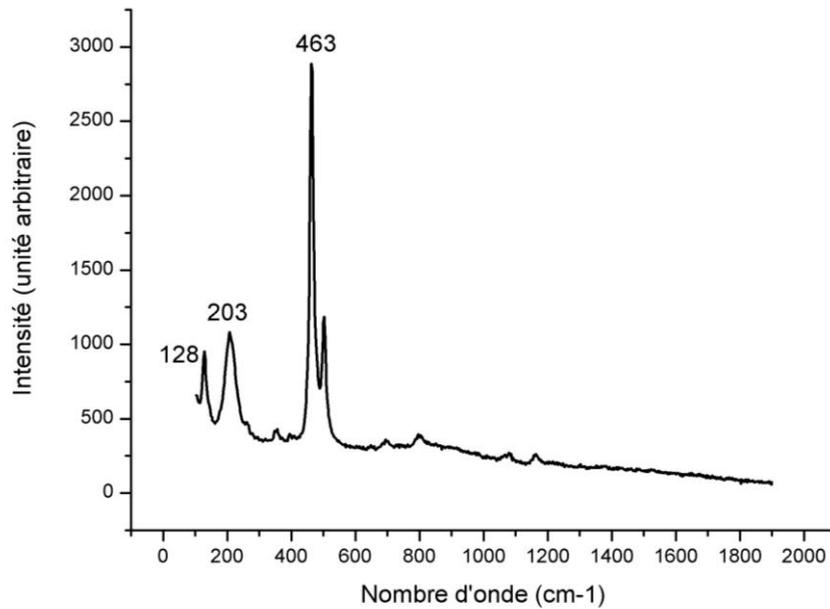


Figure 17. Spectre Raman caractéristique du quartz (calcédoine blanche translucide, pierre Ab02) avec une source d'excitation laser de 785 nm.

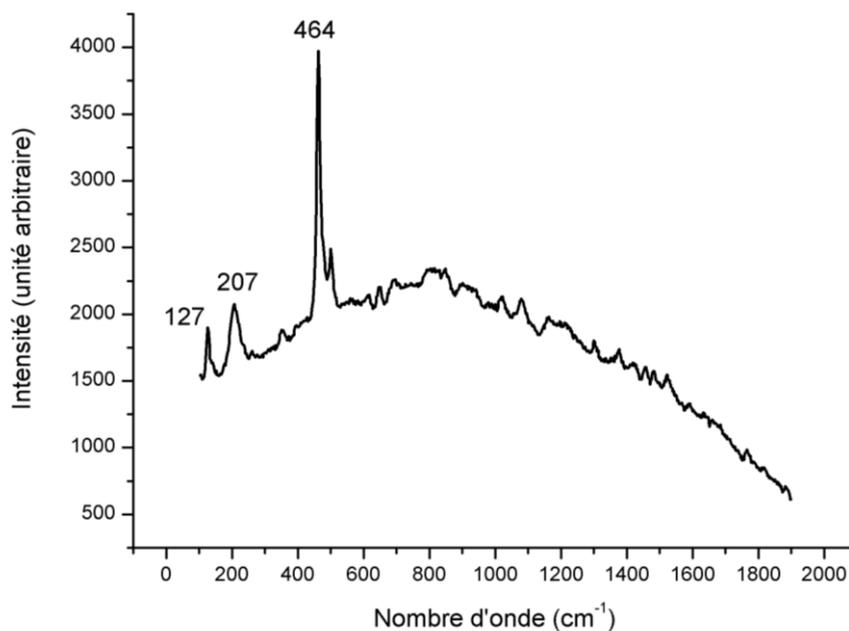


Figure 18. Spectre Raman caractéristique du quartz (sardonyx, pierre Cb01) avec une source d'excitation laser de 785 nm.

LES PERLES DE NACRE

Les perles sur la châsse sont au nombre de 6 et sont toutes situées sur la face avant. Le plus grand nombre se concentre essentiellement autour de la croix centrale (4 perles). Elles sont de forme irrégulière et ne présentent aucun perçage signe qu'elles n'ont pas fait l'objet, *a priori*, d'un réemploi. Leur taille reste modeste et est comprise entre 1 et 0,7 cm (Figure 19).



Figure 19. Photographies de deux perles de nacre présentes sur la face avant de la châsse (perles Af03 et Af07). Leur taille respective est de 0,8 et 0,75 cm.

Les perles sont constituées d'aragonite qui est un carbonate de calcium de formule chimique CaCO_3 . Dans le réseau cristallin, les arrangements d'ions Ca^{2+} et CO_3^{2-} sont compacts (Bétékhtine, 1968). Chaque ion CO_3^{2-} est entouré de six ions Ca^{2+} (Figure 20).

Le spectre Raman de l'aragonite (Figure 21) se caractérise par plusieurs pics à 1082 cm^{-1} , 702 cm^{-1} , 203 et 145 cm^{-1} . Le pic situé vers 1080 cm^{-1} correspond aux liaisons du groupe CO_3^{2-} (carbonate) qui vibrent en mode étirement symétrique (*stretching symmetry* ν_1). Le pic à 702 cm^{-1} et les pics compris entre 200 et 100 cm^{-1} correspondent à ces mêmes liaisons mais, respectivement, en mode pliage antisymétrique (*bending asymmetry* ν_4) et en mode translation et rotation (Frech et Wang, 1980 ; Tomic *et al.*, 2010).

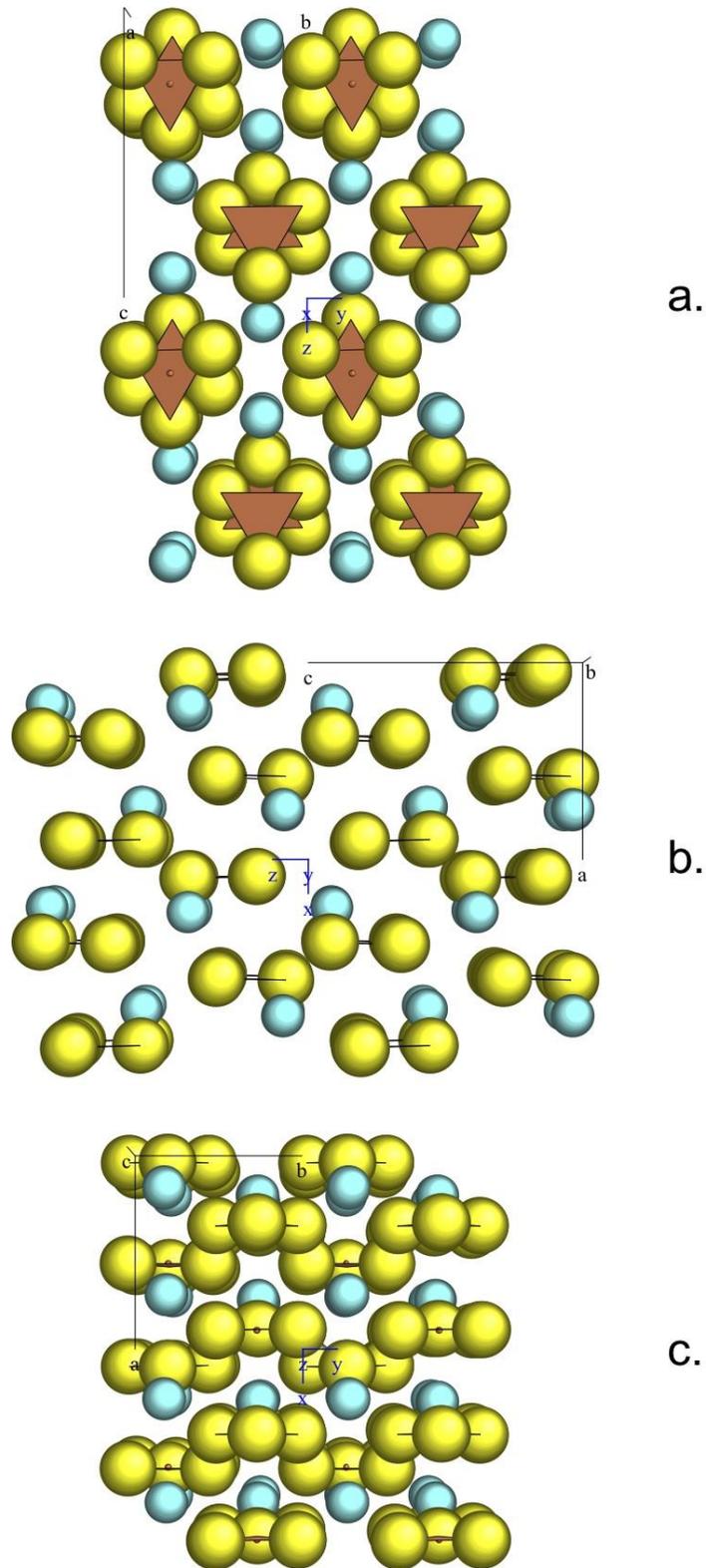


Figure 20. Représentation (logiciel caRiNe®) du réseau cristallin de l'aragonite (CaCO_3) appartenant au système orthorhombique (Beva et al., 2002). Les atomes de calcium sont de couleur bleue, les atomes de carbone sont représentés en orange et les atomes d'oxygène sont en jaune. a : vue du réseau cristallin selon le plan (100). b : vue du réseau cristallin selon le plan (010). c : vue du réseau cristallin selon le plan (001). Sur chaque représentation, les trièdres de carbone sont représentés en orange.

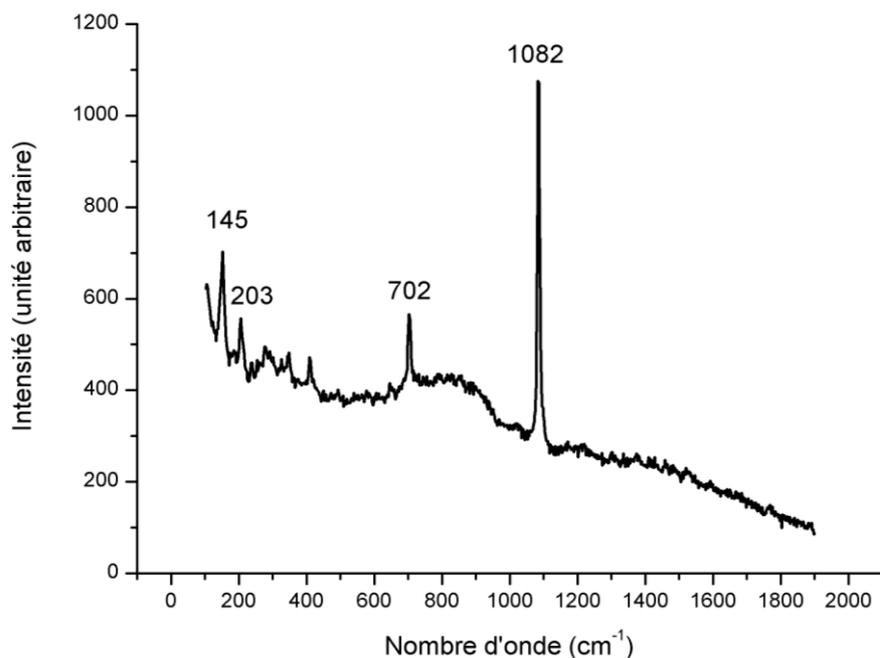


Figure 21. Spectre Raman caractéristique de l'aragonite (perle de nacre Ab42) avec une source d'excitation laser de 785 nm.

LES « BÉZOARDS » OU TERRES CUITES GLAÇURÉES

On peut compter sur la châsse d'Ambazac un total de 43 « bézoards ». C'est la face avant qui en rassemble le plus grand nombre avec 36 pierres. Il y en a un seul sur la face arrière, 5 sur la face droite et 1 sur la face gauche.

Ils sont de forme ronde, et taillés en cabochon rond ou ovale. On en distingue trois types : des « bézoards » portant une glaçure bleue, des bézoards portant une glaçure bleu incomplète, craquelée, et des « bézoards » sans glaçure (Figure 22). Leur taille varie de 1,5 cm à 7,5 mm.

Eclairés sous lampe ultra-violet avec une longueur d'onde de 254 ou 365 nm, les « bézoards » non glaçurés ne présentent aucune fluorescence. En revanche, les « bézoards » glaçurés en présentent une à 365 nm. Les éléments chromogènes contenus dans le verre peuvent être à l'origine de cette fluorescence.

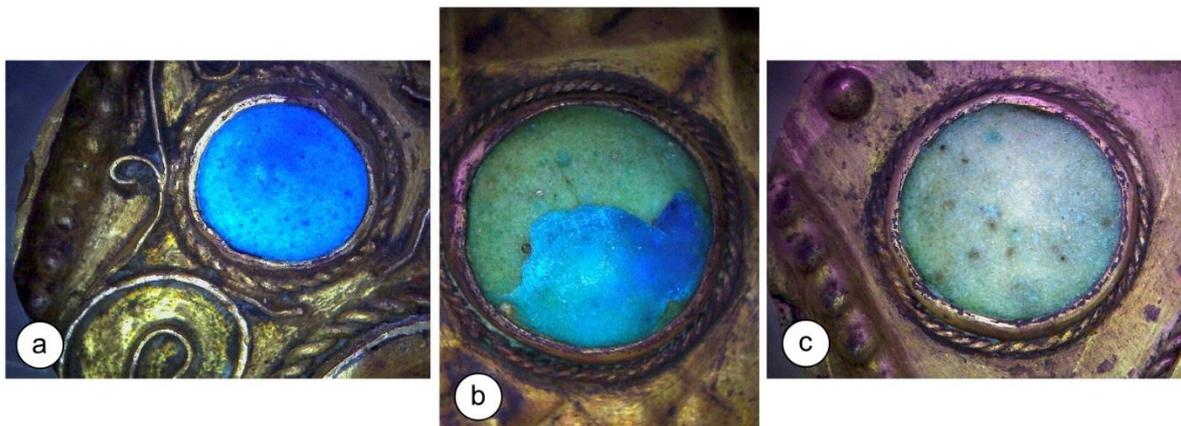


Figure 22. « Bézoards » ou terres cuites glaçurées présentant différents aspects. a : glaçure complète (pierre Ac25, taille 1 cm). b : glaçure incomplète et craquelée (pierre Da09, taille 1,4 cm). c : sans glaçure (pierre Ae05, taille 1,4 cm).

Des analyses au spectromètre Raman ont été réalisées afin de comprendre quelle est la nature de ces pierres.

LES « BÉZOARDS » NON GLAÇURÉS

Les spectres Raman (785 nm ; Figure 23) des « bézoards » non glaçurés présentent une forte fluorescence pour des niveaux d'énergie élevés (à partir de 1100-1200 cm^{-1}). Nous arrivons tout de même à distinguer plusieurs pics. Ceux situés à 125 cm^{-1} , 206 cm^{-1} , 350 cm^{-1} , 462 cm^{-1} et 1080 cm^{-1} sont caractéristiques du quartz (selon la base de données RRUFF ; Downs, 2006). Le pic à 462 cm^{-1} correspond aux liaisons Si-O-Si qui vibrent en mode d'étirement symétrique (*stretching symmetry* ν_1) et le pic à 1080 cm^{-1} correspond à ces mêmes liaisons qui vibrent en mode d'étirement antisymétrique (*stretching assymetry* ν_3).

D'autres pics semblent par contre ne pas appartenir au quartz comme les pics situés à 412 cm^{-1} , 610 cm^{-1} , 650 cm^{-1} et 1016 cm^{-1} . Ils pourraient pour certains caractériser la présence d'anhydrite qui est un sulfate de calcium anhydre de formule CaSO_4 (pics à 412 cm^{-1} , 610 cm^{-1} et 1016 cm^{-1} ; Anhydrite R040061 ; base de données RRUFF ; Downs, 2006).

Les spectres Raman obtenus avec un faisceau laser de 532 nm (Figure 24) présentent une très forte fluorescence ce qui rend impossible la reconnaissance de pics. Seul le spectre du « bézoard » Db02 présente un pic à 474 cm^{-1} .

Les résultats des analyses chimiques des 9 « bézoards » non glaçurés (analyses XRF, cf. Tableau en annexe) montrent qu'ils sont riches en silicium avec des teneurs de 42 à 47 % (silicium élémentaire). La présence de quartz est donc confirmée. Ils présentent également des teneurs non négligeables en calcium (aux alentours de 1 %), en soufre (valeurs comprises entre 0,17 et 0,92 %) et en potassium (jusqu'à 0,96 % pour certains échantillons). Les teneurs élevées en cuivre relevées dans certaines analyses peuvent être liées à la bête en métal (en cuivre doré) dans lequel les « bézoards » sont sertis.

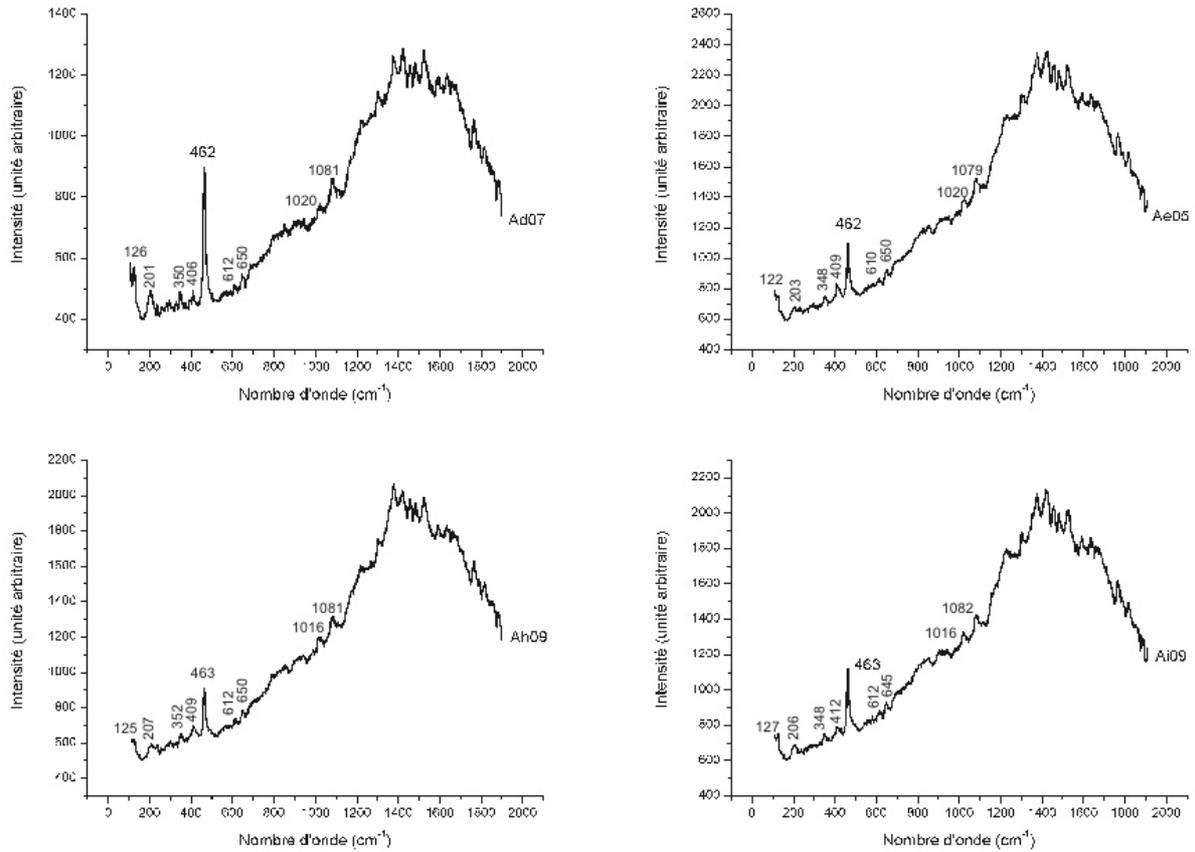


Figure 23. Spectres Raman de « Bézoards » non glaçurés (pierres présentes sur la face avant de la châsse Ad07, Ae05, Ah09 et Ai09) avec une source d'excitation laser de 785 nm.

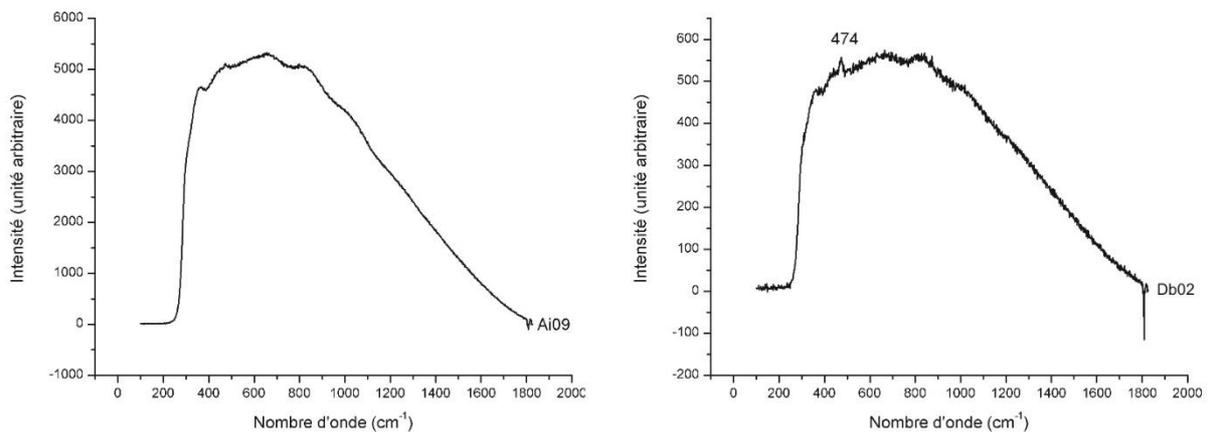


Figure 24. Spectres Raman de « Bézoards » non glaçurés (pierres présentes sur la face avant et droite de la châsse Ai09 et Db02) avec une source d'excitation laser de 532 nm.

LES « BÉZOARDS » GLAÇURÉS

Les spectres Raman (785 nm ; Figure 25) des « bézoards » glaçurés sont caractéristiques des verres (McMillan et Piriou, 1983 ; Milleville *et al.*, 2003 ; Colombar, 2003, 2004 ; Bonneau *et al.*, 2013). Nous visualisons donc ici le spectre correspondant à la glaçure.

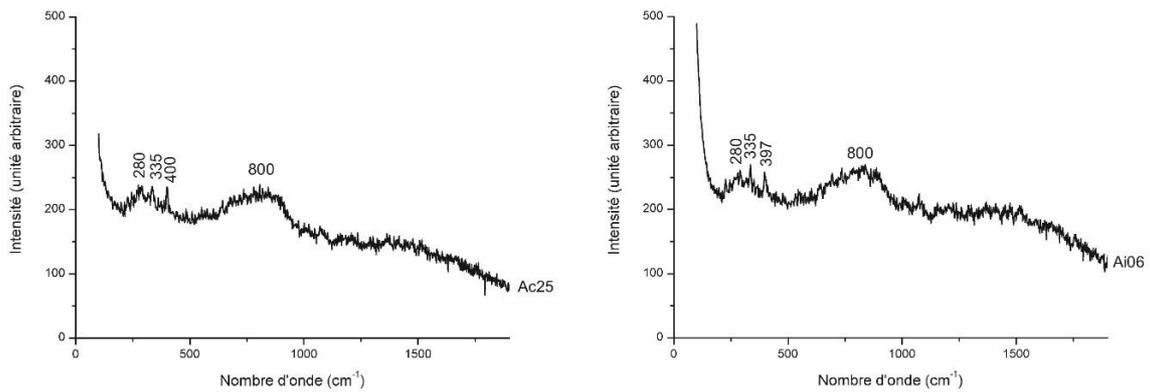


Figure 25. Spectres Raman de « Bezoards » glaçurés (pierres présentes sur la face avant de la châsse Ac25 et Ai06) avec une source d'excitation laser de 785 nm.

En effet, les spectres de verres présentent généralement deux « massifs » dont les sommets sont situés aux alentours de 500 cm^{-1} et 1000 cm^{-1} . Ils correspondent à la signature spectrale des liaisons entre les atomes de silicium et d'oxygène qui sont soit étirées (« massif » vers 1000 cm^{-1} , mode *stretching*), soit déformées (« massif » vers 500 cm^{-1} , mode *bending*). La position de ces « massifs » dépend du degré de polymérisation du verre (Colomban, 2003 ; Milleville *et al.*, 2003 ; Colomban et Tournié, 2007) qui est lui-même dépendant soit (1) de la composition chimique (plus les verres sont riches en alcalins – Na, K ou Al – et plus le réseau de tétraédres de silicates est dépolymérisé, Figure 26), soit (2) de la rapidité de cristallisation du verre (effet de trempe).

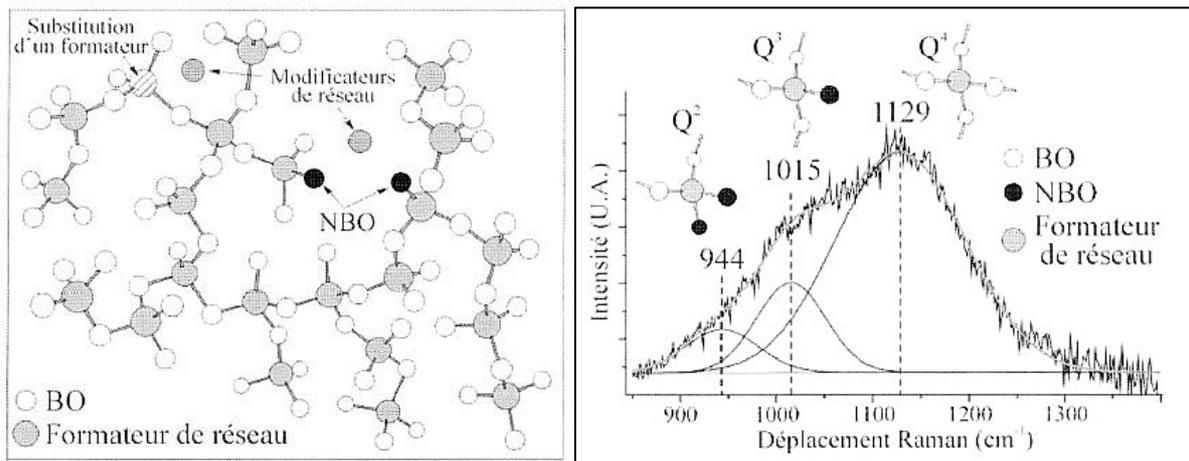


Figure 26. (a) Schématisation de la structure d'un verre. Les tétraédres SiO_4 reliés par des oxygènes portants (*Bridging oxygen*, BO) forment parfois des chaînes rompues (dépolymérisation) par des oxygènes non-pontants (*non-bridging oxygen*, NBO). Les compensations de charge nécessaires suite à la présence des NBO ou à la substitution de Si par d'autres formateurs de réseaux (Al ou Fe) sont réalisées par des ions modificateurs de réseau (Na, K, Ca, Al, Mn). (b) Décomposition du spectre de haute énergie (qui présente le plus de variations) en trois bandes selon le degré de polymérisation du verre. Chacune des bandes peut être attribuée aux vibrations des tétraédres ayant 4 à 2 oxygènes pontants. Bande Q^2 vers 944 cm^{-1} : 2 oxygènes pontants, Bande Q^3 vers 1015 cm^{-1} : 3 oxygènes pontants, Bande Q^4 vers 1129 cm^{-1} : 4 oxygènes pontants (Milleville *et al.*, 2003).

Les spectres de la glaçure des « bézoards » (longueur d'onde du faisceau laser : 785 nm) présentent plusieurs pics situés respectivement à 280 , 335 , 400 cm^{-1} et un « massif » vers 800 cm^{-1} . Ce dernier pic à 800 cm^{-1} correspond aux vibrations de tétraédre de silicium isolés (bande Q^0 ; Colomban, 2003). On peut donc en déduire que ce verre est peu

polymérisé. Il peut donc être riche en alcalins ou avoir été refroidi rapidement au moment où il est déposé sur son support (phénomène de trempe).

Le spectre Raman de la glaçure obtenu avec un faisceau laser de 532 nm (Figure 27) présente une très forte fluorescence. Malgré cela, quelques pics sont identifiables, dont un commun aux deux échantillons analysés situé à 470 cm^{-1} .

Ces spectres présentent une très forte analogie avec ceux des « bézoards » non glaçurés obtenus avec le même faisceau laser de 532 nm (Figure 24). La glaçure n'étant pas très épaisse, on ne peut pas exclure que le pic situé vers 470 cm^{-1} corresponde à celui du quartz situé normalement à 465 cm^{-1} (liaisons Si-O-Si en mode étirement symétrique ou *stretching symmetry* ν_1 ; Sharma *et al.*, 2006). On peut aussi envisager que ce pic corresponde à des grains de quartz qui n'ont pas été intégralement fondus au moment de la fabrication du verre (Colomban, 2003).

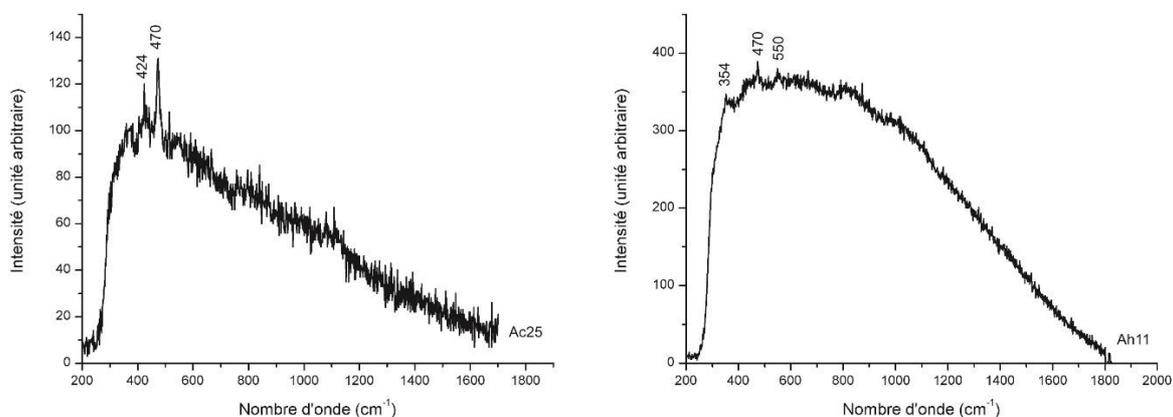


Figure 27. Spectres Raman de « Bézoards » glaçurés (pierres présentes sur la face avant de la châsse Ac25 et Ah11) avec une source d'excitation laser de 532 nm.

La composition chimique de la glaçure des « bézoards » (*cf.* Tableau des analyses chimiques en annexe) se caractérise par des teneurs en silice de 33,5 à 39,2 %. Des concentrations élevées en cuivre (2,4 à 2,9 %), en potassium (2,5 à 2,8 %) sont mesurées, tout comme en calcium (de 0,6 à 1,6 %) et en plomb (jusqu'à 1,5 %). Il faut noter également la présence de chlore (de 865 ppm à 0,2 %). En revanche, le verre se caractérise par une absence de cobalt.

LES VERRES

Nombreux sur la châsse, les verres représentent 62,1 % de l'ensemble des pierres (202 pierres au total sur 325). La face avant comprend 167 perles de verres, la face arrière 8, les faces droite et gauche 12 et 15, respectivement (tableau bilan, Figure 28).

Figure 28. Tableau récapitulatif de l'ensemble des perles de verres identifiées sur la châsse.

Verres	Face avant (A)	Face arrière (B)	Face droite (D)	Face gauche (C)	TOTAL
Incolore transparent	10 (6%)	1 (12,5%)	1 (8,3%)	2 (13,3 %)	14 (6,9%)

Blanc translucide	11 (6,5%)	-	1 (8,3%)	2 (13,3%)	14 (6,9%)
Bleu transparent	31 (18,4%)	-	2 (16,7%)	1 (6,7%)	34 (16,7%)
Bleu opaque « Turquoise »	26 (15,5%)	7 (87,5%)	2 (16,7%)	6 (40%)	41 (20,2%)
Bleu ciel transparent	5 (3%)	-	-	1 (6,7%)	6 (2,9%)
Rose-orangé transparent « Topaze »	36 (21,4%)	-	2 (16,7%)	1 (6,7%)	39 (19,2%)
Vert transparent	45 (26,8%)	-	3 (25%)	1 (6,7%)	49 (24,1%)
Brun-orangé opaque « Cornaline »	1 (0,6%)	-	1 (8,3%)	-	2 (1%)
Noir	1 (0,6%)	-	-	-	1 (0,5%)
Millefiori	-	-	-	1 (6,7%)	1 (0,5%)
Intaille Ab26	1 (1,2%)	-	-	-	1 (0,5%)
TOTAL	167	8	12	15	202

Les perles de verres sont toutes taillées en forme de cabochon qui peuvent être simples ou bien comporter deux, voire 4 pans (Figure 29). Leur taille varie de manière importante : de l'ordre de 0,7 cm à 5,6 cm.



Figure 29. Photographies de perles de verres taillées en forme cabochon présentes sur la face avant de la châsse (pierre Aa08, taille 1,3 cm ; pierre Ab12, cabochon à 2 pans de 1 cm de long, et pierre Ab28, cabochon à 4 pans de 1,2 cm). Les arrêtes des pans sont surlignées avec un trait en pointillé sur les pierres Ab12 et Ab28.

Les perles de verres présentent une grande diversité de forme mais également de couleur. Le tableau ci-dessous récapitule toutes les nuances observées (Figure 29).

Ces verres sont incolores, blancs, bleus, roses, verts, brun-orangés ou noir. Un verre *millefiori* se trouve sur la face gauche (pierre Cb13). L'intaille Ab26 située sur la face avant de la châsse et représentant une tête de cheval est en verre de couleur bleu, vert et blanc.

Contrairement aux pierres gemmes, les verres présentent une forte fluorescence sous éclairage UV (Figure 30).

Généralement cette fluorescence est liée aux éléments chromogènes ou encore à la présence de terres rares. Dans le cas des verres présents sur la châsse, leur fluorescence est essentiellement liée aux éléments chromogènes qu'ils renferment car ils sont relativement pauvres en terres rares (*cf.* Tableau des résultats d'analyses en annexe).

Il est intéressant de noter que l'éclairage sous UV permet de révéler des structures fluidales (soulignées par les variations de concentrations en éléments chimiques) dans le verre. Ces structures nous permettent de voir comment les perles de verre ont été étirées, façonnées en forme de goutte par l'artisan verrier (Figure 31). Cette méthode de travail des verres est confirmée par l'observation de la forme des bulles dans le verre (Figure 32).

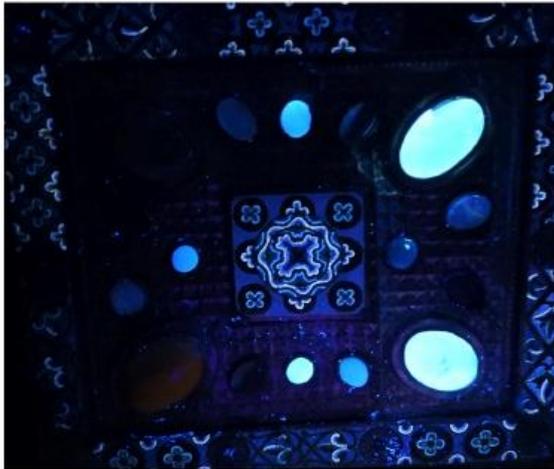
Motif Ca de la châsse
(face gauche)



Motif Da de la châsse
(face droite)



Éclairage lumière naturelle



Éclaire sous lampe UV 254 nm



Éclaire sous lampe UV 365 nm

Figure 30. Photographies présentant les motifs Ca et Da des faces gauche et droite de la châsse, éclairés par une lumière blanche naturelle, sous lampe UV ($\lambda = 254 \text{ nm}$ et $\lambda = 365 \text{ nm}$). Ce sont les perles de verre qui présentent une fluorescence.

Perle de verre (blanc translucide) Ag08



Perle de verre (blanc translucide) Ac05

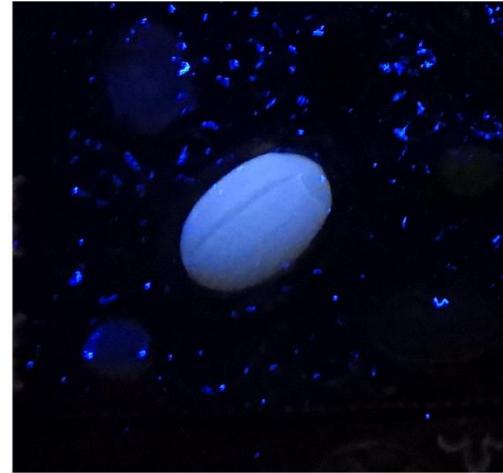
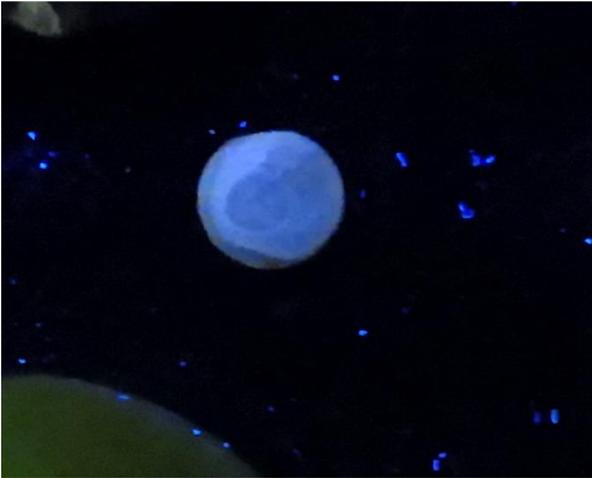


Figure 31. Photographies présentant les perles de verre (Ag08 et Ac05) éclairées par une lumière blanche (photographies de haut) ou par une lampe UV ($\lambda = 365 \text{ nm}$, photographies du bas). La fluorescence permet de révéler les structures fluidales du verre, soulignées par les hétérogénéités de composition. La taille des perles Ag08 et Ac05 est respectivement de 1,3 cm et 3 cm environ. Le verre de la perle Ag08 semble avoir été enroulé ou façonné en forme de goutte alors que le verre de la perle Ac05 semble avoir été étiré.

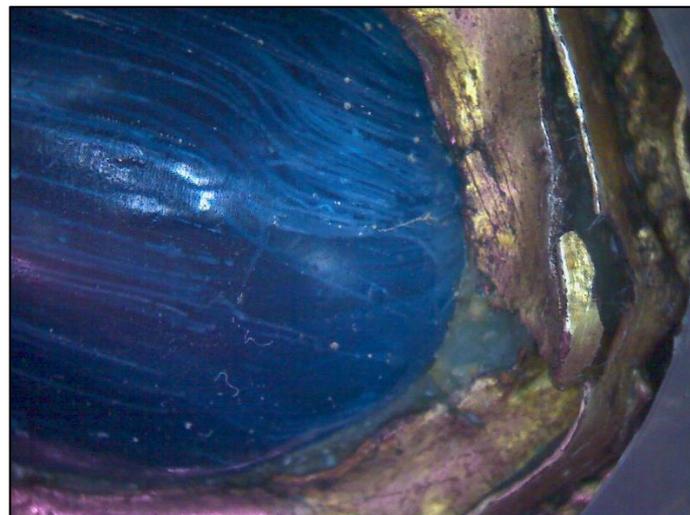


Figure 32. Photographie de la perle de verre Ab17 présente sur la face avant de la châsse (taille de la pierre 4 cm environ). Nous pouvons observer dans le verre des figures d'étirement blanchâtre correspondant en fait à des bulles étirées. À leur extrémité, elles sont ouvertes à la surface du verre.

Quelques perles de verres ont été analysées par spectrométrie Raman successivement avec des faisceaux lasers de 532 et 785 nm.

Les spectres Raman les plus instructifs ont été obtenus avec le faisceau laser d'une longueur d'onde de 532 nm. En revanche, les spectres obtenus avec un faisceau laser de 785 nm présentent une forte fluorescence. La Figure 33 présente les spectres Raman de trois perles de verre de couleur bleu transparente et blanche translucide. Ces spectres montrent, comme pour les verres de la glaçure des bézoards, deux « massifs » principaux situés aux alentours de 400 et 1000 cm^{-1} (liaisons Si-O-Si dans les tétraèdres de silicium en mode respectivement *bending* et *stretching*).

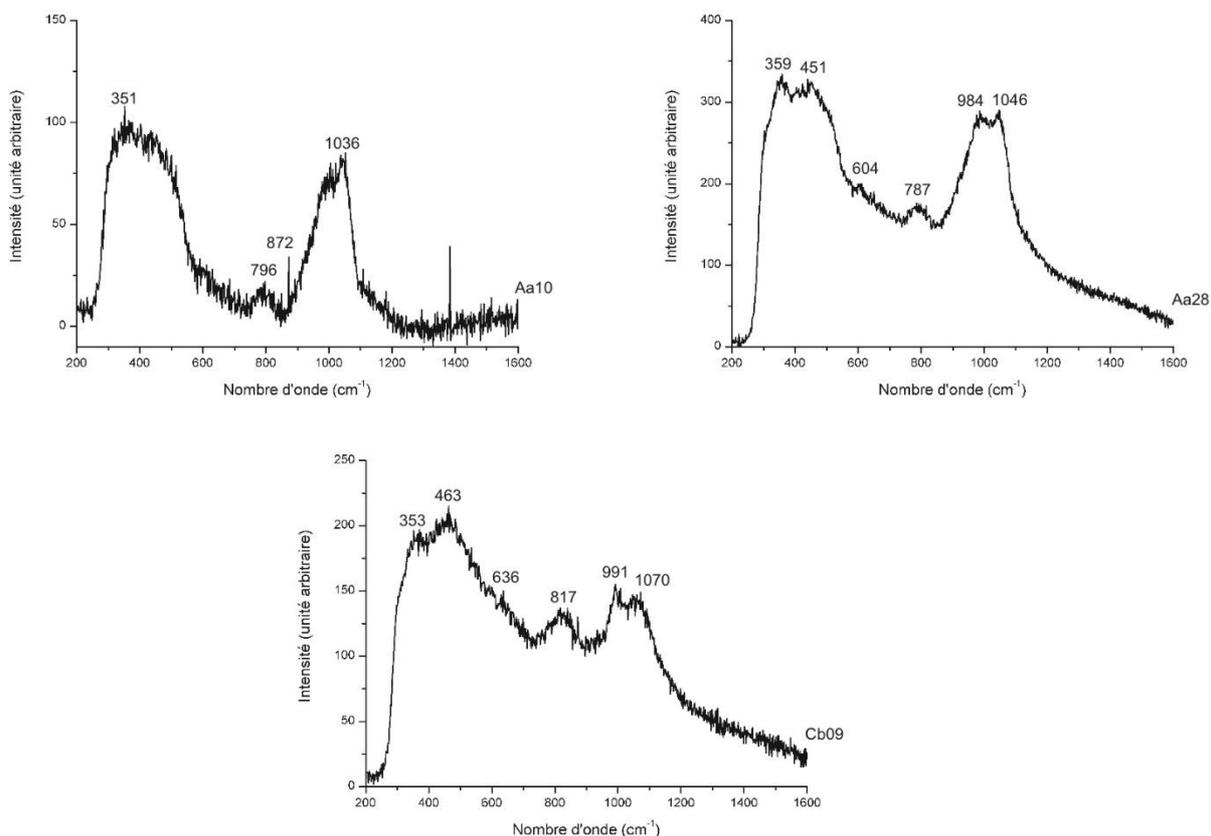


Figure 33. Spectres Raman de perles de verre bleu transparent (pierre Aa10), blanc translucide (pierre Aa28) et bleu clair (Cb09) obtenus avec un faisceau laser de 532 nm.

L'examen attentif de ces spectres révèle que :

- (1) les spectres des perles de verre Aa28 et Cb09 présentent des bandes de type Q¹ et Q² se situant respectivement vers 980-990 cm^{-1} et 1050-1070 cm^{-1} . Cela signifie que ces verres ont des tétraèdres de silicium avec 2 et 3 oxygènes pontants (Colomban, 2003 ; Milleville *et al.*, 2003). C'est donc un verre qui est nettement mieux polymérisé que celui de la glaçure des « bézoards » étudié précédemment ;
- (2) le spectre de la perle Aa10 présente par contre un pic unique vers 1036 cm^{-1} qui pourrait correspondre à la bande Q². Le degré de polymérisation de ce verre est donc un peu plus élevé.

Un certain nombre d'informations concernant la chimie des verres peut également être tiré de ces spectres.

Le spectre de la perle de verre Cb09 présente un pic à 463 cm^{-1} . Il pourrait correspondre au quartz. Cela signifie que des grains de quartz n'ont pas fondu au cours de la fabrication du verre (Colomban, 2003).

Les spectres des perles Aa28 et Cb09 présentent les mêmes caractéristiques que des spectres de verres riches en potassium (pics autour de 600 cm^{-1} et vers $950\text{-}1050\text{ cm}^{-1}$, verre de Type 3 ; Colomban et Tournié, 2007). Le spectre de la perle Aa10 ne présente pas de pic vers 600 cm^{-1} ni vers 580 cm^{-1} (pic caractéristique pour les verres riches en sodium), sa composition doit donc être plus riche en calcium.

Les perles de verres ont également fait l'objet d'analyses chimiques à l'aide du spectromètre XRF portable (*cf.* Tableau en annexe).

Pour l'exploitation des données analytiques, la comparaison de la composition des perles de verre avec celle de la glaçure des « bézoards » ou encore des émaux (dont la surface est également vitreuse) peut s'avérer intéressante pour en déduire des différences d'origine et/ou de méthodes de fabrication.

Avant d'entrer dans les détails de la composition chimique des verres, il convient de rappeler le processus de fabrication des verres. Certains éléments chimiques nous renseignent sur la manière dont le verre est fondu, mais également sur les méthodes de coloration. Ces techniques ont évolué selon les époques et les avancées technologiques. La chimie des verres peut donc se révéler être un paramètre important pour déterminer l'époque à laquelle ils ont été produits.

Le verre est fabriqué à partir de sable quartzueux ou de quartz concassé qui est la principale source de silice. Pour abaisser le point de fusion du quartz qui est compris entre $1600\text{-}1700^\circ\text{C}$, il est nécessaire d'ajouter un composé abaissant le point de fusion (= fondant). La silice peut alors fondre à 800°C . Ce fondant est généralement un élément alcalin comme le calcium, le potassium, l'aluminium, le sodium ou encore le plomb (Kidd, 1979 ; Bonneau *et al.*, 2013 ; Mecking, 2013). Le plomb peut aussi jouer le rôle de stabilisant (Mecking, 2013). Nous obtenons ainsi un premier produit appelé « fritte ». Ce dernier est ensuite concassé et refondu. On peut alors y ajouter des éléments colorants (éléments chromogènes : Cu, Mn, Co, Zn, Fe) ou encore des éléments opacifiants comme l'étain (Sn), l'antimoine (Sb) ou l'arsenic (As).

LES FONDANTS :

Une grande partie des perles de verre présentes sur la châsse se caractérisent par une composition très riche en plomb (Figure 34). Le plomb joue non seulement le rôle de fondant mais permet également la stabilisation du verre et l'augmentation de sa résistance au cours du temps (« durée de vie » avant sa « cristallisation »). Il permet aussi aux perles de verre d'acquies un certain brillant.

Les perles de verres de couleur bleu (sauf la pierre Ab17), incolores, blanches et brun-orangés ont des teneurs en plomb qui sont comprises entre 15,5 et 46,5 %. De l'oxyde de plomb (PbO) a probablement été ajouté au verre. On peut donc considérer, pour ces verres, que le fondant principal est le plomb (Mecking, 2013 ; Hunault, 2015). On ne peut négliger non plus le potassium qui est aussi présent avec des concentrations jusqu'à 3 %.

La glaçure des « bézoards », les émaux, l'intaille en verre Ab26, les perles de verre bleues (Ab17) et vertes présentent une composition plus pauvre avec des teneurs en plomb comprises entre 0,2 et 8,9 %. Pour ces verres, le plomb ne semble pas être le

fondant majeur, mais plutôt le calcium (jusqu'à 7,5 %) ou le potassium (jusqu'à 2,9 %). Les fondants employés sont généralement de la potasse (KCl = sylvite) et la chaux (CaO).

Enfin, un dernier groupe de perles de verre se détache des autres. Ce sont les verres roses qui ne présentent aucune trace de plomb dans leur composition. Le fondant utilisé serait davantage calcique (5,5 à 6,3 %).

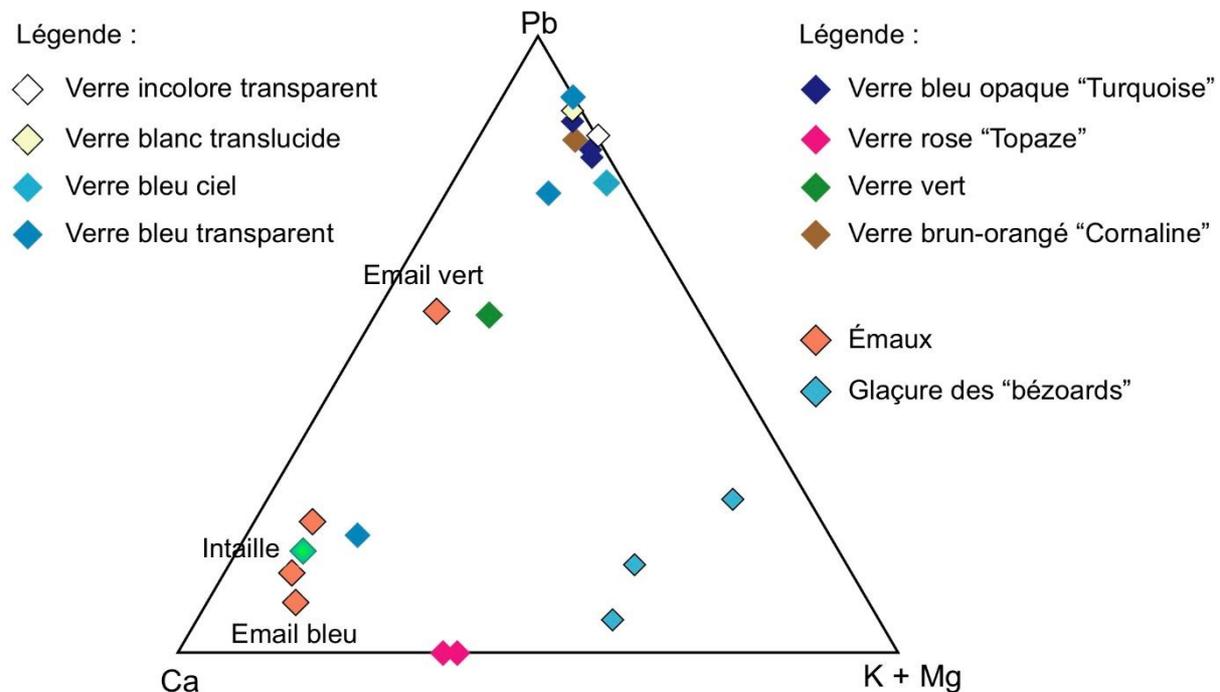


Figure 34. Diagramme ternaire représentant la composition en plomb des perles de verre bleues, des émaux bleus et de la glaçure des « bézoards ».

En fonction des éléments alcalins utilisés, on peut arriver à discriminer des verres de différentes compositions (Figure 35) :

- verres riches en potassium (verres potassiques) ;
- verres calco-alcalins riches en K, Ca.

Les perles de verre bleu, blanc, incolore et brun-orangé sont **potassiques**. Elles se caractérisent par des teneurs non négligeables en K (de 2,8 à 5,8 %), Mg (1,8 à 3,9 %) et Al (0,5 à 1,2 %). De la potasse a donc été rajoutée au verre en plus de l'oxyde de plomb pour abaisser le point de fusion. Leur teneur en silice est la plus faible et comprise entre 18,4 et 29,7 % (Figures 36).

Les **verres calco-alcalins** se caractérisent par des teneurs élevées en Ca (de 2,3 à 7,5 %) et plus faibles en K (1,7 à 2,9 %). Ils présentent des teneurs en Fe non négligeables (2058 à 3250 ppm). Les teneurs en Pb sont plus faibles que dans le groupe précédent, de l'ordre de 0 à 15 %. La composition en silice de ces verres est plus élevée et comprise entre 37 et 40,5 % (Figure 36). Il s'agit des verres roses, verts, bleus transparents (Aa02) et de la glaçure des « bézoards ».

La perle de verre bleu transparent Ab17 semble être plus proche en composition des émaux de la châsse, calco-sodiques.

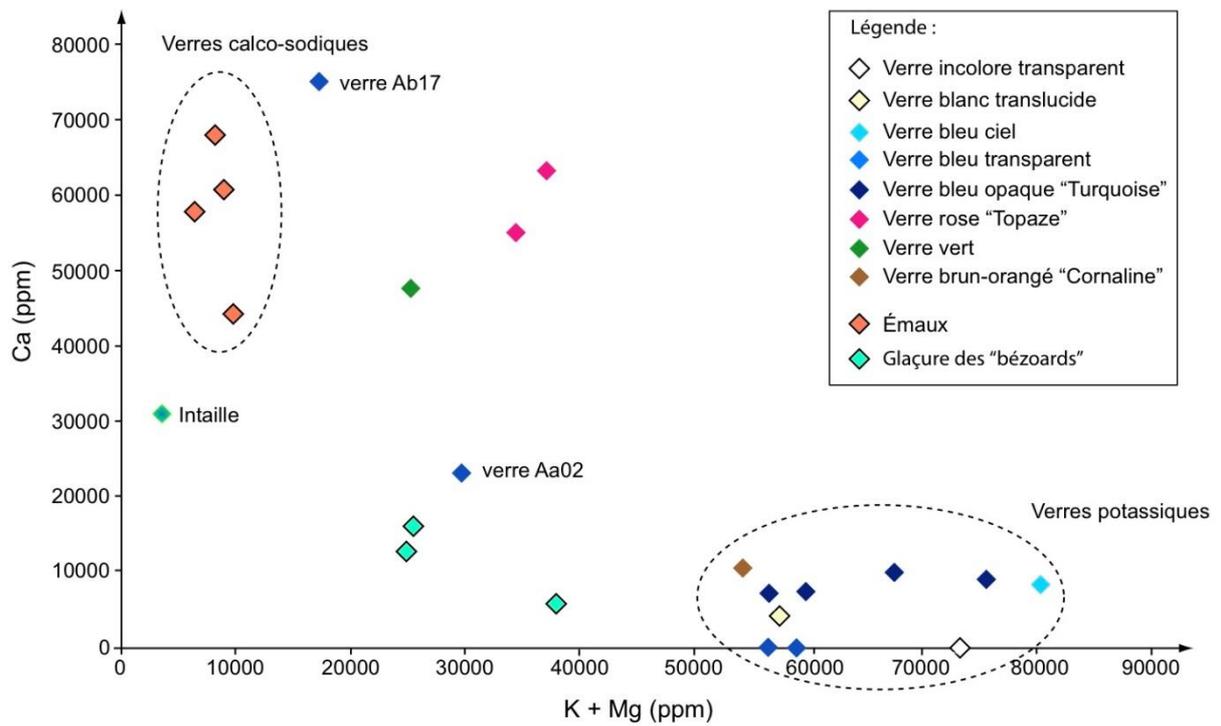


Figure 35. Diagramme illustrant les variations de compositions des verres en fonction du fondant. La composition des émaux analysés par spectrométrie XRF figure est également reportée dans le diagramme. Les émaux limousins ont une composition calco-sodique caractéristique (Lagabrielle, 2000). Leur position dans le diagramme peut nous renseigner sur la teneur potentielle en sodium des perles de verre (sodium non analysé par spectrométrie XRF).

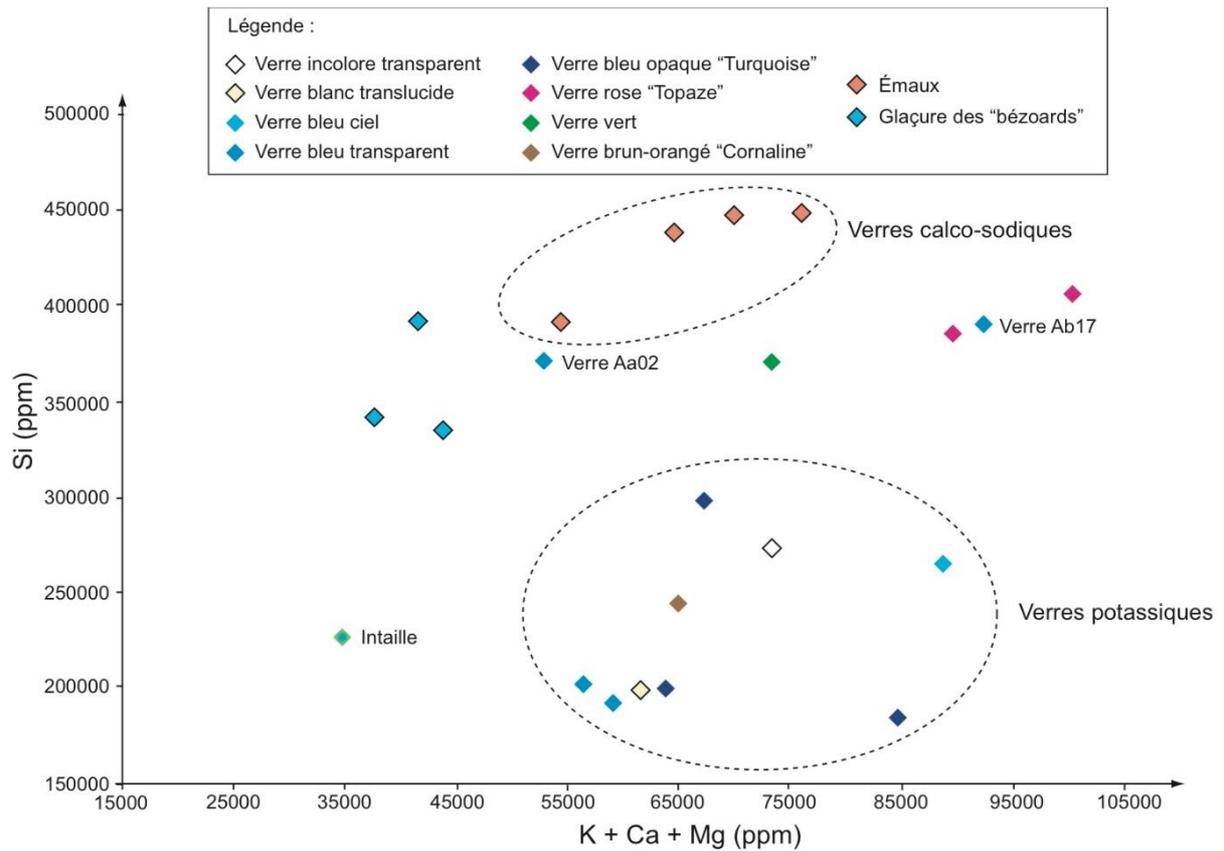


Figure 36. Evolution de la teneur en silice des verres en fonction de leurs teneurs en alcalins et Mg.

LES ÉLÉMENTS CHROMOGÈNES ET OPACIFIANTS :

Pour les **verres bleus** (Colomban, 2013 ; Hunault, 2015), il existe différents éléments chromogènes : le cobalt (Co^{2+}), le fer (Fe^{3+}) ou encore le cuivre (Cu^{2+}).

Trois groupes peuvent être identifiés pour ces verres de couleur bleue (Figure 37).

Le premier groupe de verres bleus suggère le cuivre comme élément chromogène principal (verres bleu clair, verres bleus opaques et glaçure des « bézoards »). Leur teneur en cuivre est comprise entre 0,6 et 1,3 % pour les perles de verre, et entre 2,4 et 2,9 % pour la glaçure des « bézoards ».

Un second groupe constitué par les perles de verres bleu foncé Aa10 et Db12 renferme du cobalt comme élément chromogène avec des concentrations de l'ordre de 400-500 ppm. Enfin, le dernier groupe se caractérise par des teneurs en fer plus élevées de l'ordre de 2000 à 2500 ppm (perles de verres Aa02 et Ab17). Leur composition se rapproche de celle des émaux.

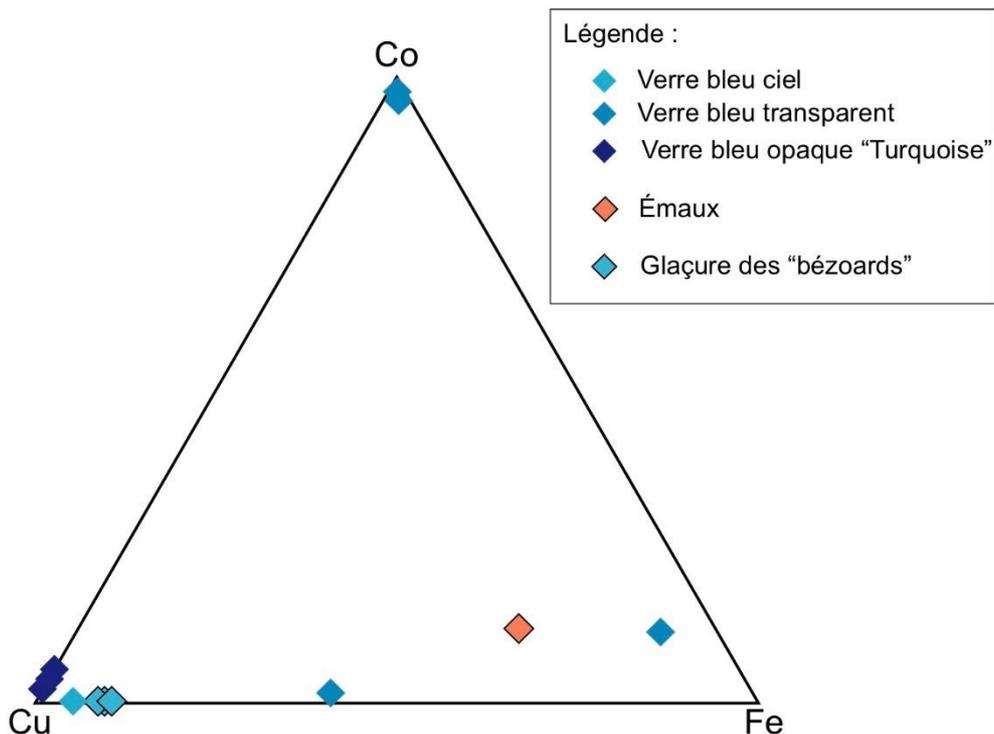


Figure 37. Diagramme ternaire représentant la composition en éléments chromogènes des perles de verres bleus, des émaux bleus et de la glaçure des « bézoards ».

Pour les perles de verre bleu opaque, l'opacifiant utilisé est exclusivement l'arsenic dont les concentrations sont comprises entre 3,9 et 7,4 %. Elles présentent également des teneurs importantes en soufre (4,8 à 8,7 %). Ces perles bleues opaques, dont la couleur tire vers le blanc, auraient pu être obtenues en ajoutant au verre un sulfate comme le gypse ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$) ou l'anhydrite (CaSO_4 ; Colombar, 2013).

Les **verres blancs et incolores** présentent des teneurs élevées en phosphore (1,2 à 1,4 %) et en soufre (8,4 %) par rapport aux autres matériaux vitreux. Il semblerait donc qu'un phosphate ait pu être ajouté au verre comme le phosphate de calcium (hydroxyapatite par exemple présente dans les os, $\text{Ca}_5(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$) ou bien un sulfate (sulfate de calcium comme le gypse ou l'anhydrite).

L'arsenic est également abondant dans les verres blancs (2,4 %). On trouve un peu d'étain également (0,1 %) et d'antimoine (476 ppm). Ces éléments ont pu être utilisés comme opacifiants.

Les **verres brun-orangés** présentent une concentration plus importante en cuivre (2,2 %), en fer (1,2 %), en aluminium (1,2 %) et en zinc (0,2 %) par rapport aux autres verres. La concentration en étain est également élevée (0,9 %). La couleur rouge pourrait être obtenue à partir de l'ajout au verre de laiton (alliage cuivre-zinc) et de bronze (alliage cuivre-étain) réduits en nanoparticules (Colombar, 2013 ; Hunault, 2015). Le fer sous forme oxydé peut également être à l'origine de la couleur rouge (hématite par exemple, Fe_2O_3).

Les **verres roses** ont une concentration élevée en manganèse (0,9 à 1 %) et en aluminium (0,9 à 1,2 %). Leur teneur en fer est de l'ordre de 0,2 à 0,3 %. La principale source de manganèse serait la pyrolusite (MnO_2) ou la rhodochrosite (MnCO_3 ; Hunault, 2015).

Les **verres verts** ont des teneurs en cuivre (0,2 %), en fer (Fe³⁺, 0,3 %) et en manganèse (0,5 %). Un peu de chrome est détecté (780 ppm). Le vert de gris (Cu(CH₃COO)₂) permet d'obtenir une couleur verte à partir du cuivre, mais également des minerais comme la malachite (CuCO₃ Cu(OH)₂; Colomban, 2013).

BILAN

À l'issue de cette analyse des pierres gemmes présentes sur la châsse, nous pouvons établir un nouveau bilan gemmologique (cf. Figure E et F en annexe).

Les résultats sont rassemblés dans le tableau ci-dessous :

Pierres identifiées		Face avant (A)	Face arrière (B)	Face droite (D)	Face gauche (C)	TOTAL
Cristal de roche		26 pierres (10,5%)	9 pierres (50%)	7 pierres (24,1%)	3 pierres (10,3%)	45 pierres 13,8%
Améthyste		3 pierres (1,2%)	-	-	-	3 pierres 0,9%
Calcédoine	Blanche	4 pierres (2%)	-	4 pierres (13,8%)	6 pierres (20,7%)	14 pierres 4,6%
	Saphirine	1 pierre (0,4 %)	-	-	-	1 pierre (0,3 %)
	Onyx	-	-	1 pierre (3,4 %)	1 pierre (3,4%)	2 pierres 0,3%
Perle de nacre		6 perles (2,4%)	-	-	-	6 perles 1,8%
Verres		167 (67%)	8 (42,1%)	12 (41,4%)	15 (51,7%)	202 verres 62,1%
Bézoards ou terres cuites glaçurées		36 pierres (14,5%)	1 pierre (5,5%)	5 pierres (17,2%)	1 pierre (3,4%)	43 pierres 13,2%
Pierres manquantes		5 (2%)	0	1 (3,4%)	3 (10,3%)	9 pierres 2,8%
TOTAL		249	18	29	29	325

DISCUSSION DES RÉSULTATS

L'ÉTONNANTE ABONDANCE DU CRISTAL DE ROCHE ET DES VERRES SUR LA CHÂSSE

Le cristal de roche est la pierre gemme incontestablement la plus abondante sur la châsse puisqu'on en dénombre 45 – nombre auquel peuvent s'ajouter les verres incolores transparents qui peuvent l'imiter – sur un total de 325 pierres. Comment justifier une telle abondance ?

Si cette pierre peut paraître anodine de nos jours, il est important de la replacer dans le contexte médiéval. Au Moyen Âge, le cristal de roche est la pierre gemme la plus prisée de toutes (Cannella, 2006). Chez les lapidaires, tout comme dans les écrits savants de l'époque, il représente la *mère des pierres précieuses*. Les autres gemmes, quant à elles, ne sont considérées à l'époque que comme du cristal de roche coloré de différentes manières par la nature.

Dans ce contexte, on peut donc envisager qu'il représente symboliquement sur la châsse une forme de pureté. Ne faut-il pas voir dans l'abondance du cristal de roche, considérée comme la mère de toutes les pierres, un symbole ayant les vertus d'Etienne de Muret, le père fondateur de l'Ordre de Grandmont.

Les verres sont les imitations de pierres les plus abondantes sur la châsse avec un total de 202 pièces. Ces verres colorés peuvent être rapidement interprétés aujourd'hui comme le résultat de remplacements opérés à différentes époques postérieures à la fabrication de la châsse. L'étude de ces verres peut donc être considérée *a priori* comme moins intéressante. Or, de nombreux auteurs anciens comme Pline l'Ancien (23-79 après J.-C.) par exemple, ont mis en évidence que l'association de pierres naturelles et artificielles pouvait être fréquente sur une œuvre. Déjà dans des textes babyloniens et assyriens (Mésopotamie antique), les artisans verriers sont vus comme des joailliers fabriquant des pierres précieuses en verre coloré (Cannella, 2006). En effet, la difficulté de la fabrication du verre et la rareté de certaines matières colorantes contribuent à en faire un produit d'exception.

C'est au Moyen Âge que se développe pleinement le travail d'imitation des pierres gemmes avec des verres colorés. Ils permettent alors de se passer des pierres précieuses parfois rares et donc coûteuses car elles étaient importées essentiellement d'Orient au cours de cette période (d'Outremeuse cité par Canella, 2006). Le goût du luxe avec l'apparition de pièces d'orfèvrerie religieuse ornées de plus en plus de gemmes se développe tardivement à partir du XIV^e siècle.

Il n'est donc pas étonnant de voir la châsse d'Ambazac ornée d'une grande quantité de cristal de roche et de verres en considérant, bien entendu, qu'ils sont de l'époque du Moyen Âge.

LES COMPOSITIONS DES VERRS ET LEUR AUTHENTICITÉ

La châsse comporte 202 perles de verres présentant une grande variété de couleurs. À partir de l'observation des verres avec un éclairage aux UV et des analyses géochimiques nous pouvons proposer qu'un certain nombre de ces perles serait d'origine.

On sait qu'au Moyen Âge, l'art du verre est déjà bien développé, et les artisans verriers maîtrisent l'usage des colorants. Les émaux limousins sont une illustration de leur technique et de leur savoir-faire avec déjà une grande palette de couleurs disponible à l'époque du XII^e siècle (émaux de différentes nuances de bleu, de vert, de jaune, de blancs).

L'éclairage des verres aux UV et leur fluorescence a permis de révéler des structures fluidales soulignées par des bulles étirées et des hétérogénéités de composition. Ces structures nous renseignent sur la manière dont a été façonnée la perle de verre. Selon Kidd (1979), il existe deux principales méthodes de travail manuel du verre pour réaliser des perles entre le Moyen Âge et le début du XIX^e siècle : il peut être étiré ou bien enroulé. Cette dernière méthode est la plus simple et ne nécessite pas de matériel important car il

suffit de laisser couler le verre en fusion en formant des gouttes par un mouvement circulaire.

Certaines perles de verre présentes sur la châsse semblent effectivement avoir été étirées pour être mise en forme. C'est donc un travail manuel qui a permis de réaliser ces perles. Cette méthode pour obtenir ces verres étirés nécessite l'emploi d'outils spécifiques (ferrets et cannes) et a donc dû être réalisé dans un atelier (Kidd, 1979).

L'analyse de la composition chimique des perles de verres révèle qu'elles présentent un certain nombre de caractéristiques en commun : elles sont assez pauvres en silice avec des teneurs ne dépassant pas 40 %. Le fondant principal utilisé est le plomb, mais un deuxième fondant a pu être ajouté comme le potassium ou le calcium. On y trouve de l'antimoine, de l'arsenic ou encore de l'étain utilisés comme opacifiants.

En revanche, les verres modernes sont généralement plus riches en silice avec des teneurs très supérieures à 60 %. En effet, les sables de quartz utilisés aujourd'hui sont bien plus purs. Leur composition est également beaucoup plus constante d'une fournée à l'autre dans un même atelier (surtout pour les verres réalisés à partir du XIX^e siècle ; Kidd, 1979).

Les verres de tradition antique (jusqu'au XI^e siècle) sont essentiellement sodiques ou sodi-calciques (site <http://www.irammat-ceb.cnrs-orleans.fr/spip/spip.php?article102>, consulté le 28/11/2018). Au Moyen Âge, une nouvelle méthode de fabrication des verres se développe avec l'utilisation comme fondant de sels de potasse obtenus à partir de cendres végétales (Lagabrielle, 2000). Dès lors, les verres sont plus riches en potassium, en aluminium et en magnésium. C'est l'une des caractéristiques des perles de verre de la châsse.

Leur teneur élevée en plomb n'est pas surprenante. En effet, les premiers verres au plomb ont été élaborés à partir du VII-VIII^e siècle en Europe orientale (Caucase, Russie, Oural). Ils présentent des concentrations en plomb qui peuvent atteindre plus 60 % (teneur en PbO massique) (site <http://www.irammat-ceb.cnrs-orleans.fr/spip/spip.php?article102>, consulté le 28/11/2018). Le verre des perles de la châsse possède une teneur en plomb élémentaire qui atteint parfois plus de 46 %. Selon Mecking (2013), un atelier de verre au plomb était actif par exemple à Erfurt (Thuringe, Allemagne) au XIII^e siècle. La technique du verre au plomb a donc pu progresser vers l'Europe occidentale à la même époque.

Alors comment est-il possible d'expliquer que ces verres présentent à la fois des traces de fondants au plomb et aux sels de potasse ?

Une hypothèse serait que les perles de verres puissent avoir été recyclées. Plusieurs verres de composition soit potassique soit plombifère, et donc d'origine différentes, auraient pu être refondues dans un même atelier. En effet, il était fréquent de recycler les verres au Moyen Âge, même si la matière première ne manque pas (Lagabrielle, 2000). Les verres brisés appelés selon les régions groisil, calcin ou casson pouvaient représenter jusqu'à 50 % de la pâte de verre comme l'attestent certains textes du XIV^e siècle (Lagabrielle, 2000).

Selon leur nature, les éléments chromogènes utilisés pour colorer les verres permettent de préciser l'époque de leur fabrication. En effet, la nature des pigments employés a énormément varié au cours du temps (Colomban, 2013). Pour les verres de couleur bleu, le colorant utilisé est surtout à base de cuivre. Il était déjà largement employé comme élément chromogène dès l'Antiquité (Colomban, 2013). Si les minerais du cobalt (cobaltite CoAsS ; safflorite CoAs_2 ; glaucodot $(\text{Co,Fe})\text{AsS}$ ou skutterudite CoAs_3) sont

connues à l'époque (e.g. Egypte antique) pour leurs propriétés colorantes (ils peuvent être utilisés en très faibles quantités, < 1 % ; Colombar, 2013), les colorants au cobalt sont peu utilisés au Moyen Âge du fait de la rareté et du prix (Gratuze *et al.* 1992). On leur préfère donc le cuivre comme élément chromogène bleu des verres.

Sur la châsse d'Ambazac, deux perles sont pourtant colorées avec du cobalt (perles Aa10 et Db12). Elles semblent donc être d'une origine différente des autres perles de verre. Selon Hunault (2015), des mines de cobalt sont exploitées dès le XII^e siècle dans les Monts Métallifères (mines de Freiberg, Erzgebirge), en Saxe (Schneeberg) en Bohême et en Hongrie.

Au Moyen Âge, la coloration des verres en rouge à l'aide de l'addition de nanoparticules métalliques (bronze et laiton) est maîtrisée (Colombar, 2013). Les verres de couleur verte étaient obtenus avec du vert-de-gris.

En corollaire, (1) la nature du fondant employé (Pb et K) et (2) les éléments chimiques employés pour la coloration des verres nous orientent vers une *origine médiévale des verres de la châsse d'Ambazac*. Cependant, la présence des verres roses qui se distinguent des autres par leur composition singulière (teneurs plus élevées en silicium de 38,5 à 40,5 %, l'absence de plomb, d'antimoine, d'arsenic et d'étain ; Figures 34 et 35 et tableau d'analyse des verres en annexe) est caractéristique de verres plus purs et, par conséquent, d'origine possiblement plus récente. Enfin, la composition chimique de l'intaille en verre semble complètement différente suggérant également une origine différente.

DES PIERRES REMPLACÉES PAR ERNEST RUPIN ?

Comme mentionné précédemment, les verres roses semblent avoir une composition chimique très différente des autres perles de verres. Ces verres seraient-ils plus récents et leur présence le résultat d'un remplacement récent ? Ce remplacement aurait-il eu lieu lors de la restauration de la châsse réalisée par Ernest Rupin en 1890 ?

Cette hypothèse est également confortée par le décompte des pierres de la châsse réalisé par E. Rupin. En effet, il n'en dénombrait que 282. Par conséquent, nous devons envisager l'apport de 38 pierres supplémentaires pour atteindre leur nombre actuel. On compte actuellement 39 pierres roses sur la châsse (Figure 29). À une unité près, ce chiffre est très proche du nombre de pierres manquantes.

LA VRAIE NATURE DES BÉZOARDS

Dans son ouvrage *Les œuvres de Limoges* publié en 1890, Ernest Rupin décrivait les petites pierres glaçurées présentes sur la châsse comme des bézoards. Les restauratrices de *Materia Viva*, les décrivaient plutôt comme des terres cuites. Quand est-il réellement ?

L'observation et les analyses chimiques des pierres de bézoards nous permettent de préciser leur nature. Les pierres présentent une certaine granularité et sont constituées de grains fins bien visibles à l'œil nu (classe granulométrique des arénites) et hétérogènes en composition. On observe des grains de couleur gris-blanc et d'autres de couleur brune. Leur classement granulométrique est bon. Les pierres ne semblent pas être constituées de couches concentriques comme dans le cas des bézoards « classiques » (Baud et Kramar, 1990).

Les bézoards sont des concrétions présentes dans le tube digestif de certains animaux. Ils peuvent être constitués de matières organiques comme les phytobézoards ou les trychobézoards. D'autres bézoards sont de nature minérale et formés alors, selon

les cas, de calcite (CaCO_3), de phosphate de calcium (CaPO_4), d'oxalate de calcium (CaC_2O_4) ou encore de struvite ($\text{NH}_4\text{MgPO}_4, 6\text{H}_2\text{O}$) (site <https://www.lab-cerba.com/files/live/sites/Cerba/files/documents/FR/0140F.pdf> consulté le 28/11/2028).

Les analyses XRF de la composition chimique des pierres de bézoards (bézoards non glaçurés) révèlent qu'elles sont constituées de silice élémentaire avec des concentrations de l'ordre de 42 à 47 %. Les spectres Raman, avec un pic à 465 cm^{-1} , confirment que ces bézoards renferment du quartz. Ils ne sont donc pas d'origine organique.

D'autres pics de leur spectre Raman attestent que le quartz n'est pas le seul minéral présent dans les pierres, mais qu'il s'agit d'un mélange avec éventuellement de l'anhydrite ce qui est confirmé par la forte teneur (0,2-0,9 %). L'anhydrite (sulfate de calcium anhydre ; CaSO_4) est un minéral caractéristique des roches sédimentaires formées en contexte évaporitique. Enfin, les données géochimiques XRF suggèrent la présence possible de carbonate de calcium en raison de teneurs de calcium élémentaire de l'ordre du pourcent. L'aluminium élémentaire est peu abondant (0,3-0,6 %) ce qui suggère une faible teneur en potentiels feldspaths et minéraux argileux. Ainsi, ces pierres de bézoards présentent donc toutes les caractéristiques de roches sédimentaires détritiques de type grès à ciment carbonaté et *pro parte* anhydritique. De telles roches sédimentaires se forment dans des environnements évaporitiques avec apports de particules clastiques. Dans la région, des grès du Trias présents dans le bassin sédimentaire permo-triasique de Brive-la-Gaillarde (Corrèze) présentent de telles caractéristiques (Roger, 1968).

Ainsi les bézoards décrits par Ernest Rupin n'en sont pas. Ces petites pierres de forme arrondie ne représentent donc qu'un support pour la glaçure bleue. En effet, la porosité du grès et sa cohésion mécanique (cimentation poussée) en font un support idéal pour une meilleure accroche de la glaçure. Nous pouvons dès lors parler non plus de bézoards pour les décrire mais d'*éléments lithiques glaçurés*.

La préservation de la glaçure est très variable selon les éléments et bon nombre d'entre-eux présentent une glaçure incomplète, voire totalement disparue. L'observation de ce verre révèle la présence de fissures traversant toute son épaisseur, certains sont fortement craquelés.

L'étude des spectres Raman de la glaçure des éléments lithiques indique que les verres sont peu polymérisés sans doute en raison d'un effet de trempe à l'issue de la cuisson. Cet effet de trempe a pu contribuer à le fragiliser. Le sertissage des éléments dans leur bâte apporte une autre explication possible à l'état de conservation des glaçures. En effet, l'examen attentif des éléments lithiques partiellement glaçurés montre que le verre exprime des craquelures concentriques de l'extérieur vers le centre de la pierre.

La composition chimique de la glaçure est très proche de celle des émaux de la châsse. On peut penser qu'il s'agit d'un émail. L'élément chromogène employé pour la couleur bleue de cet émail est le cuivre et non le cobalt. Les minerais de cobalt étant peu utilisés par les verriers au Moyen-Âge car trop coûteux (Gratuze *et al.*, 1992), on peut donc penser que ces lithiques émaillés sont d'origine médiévale.

La position de ces éléments lithiques glaçurés sur la châsse suggère qu'ils ont pu être utilisés :

- en tant que pierres de remplacement pour faire en sorte que les pierres bleues s'associent en un ensemble harmonieux permettant de conserver une symétrie dans la répartition des couleurs (exemple sur la face B où il n'y a qu'un seul élément lithique glaçuré qui complète le motif central avec d'autres verres bleus) ;

- en tant que pierre principale de couleur bleue lorsqu'ils se répartissent de manière symétrique autour de la pierre centrale du motif c de la face A ou des motifs i et j, d et h.

DES PERLES DE NACRE DE PROVENANCE LOCALE ?

La présence de perles sur la châsse questionne sur leur origine. Une moule d'eau douce perlière (*Margaritifera margaritifera*), appelée communément Mulette perlière, vit actuellement dans les cours d'eau actuels du Massif Central. Il s'agit d'une espèce endémique à de nombreux cours d'eau français ; elle n'est pas invasive. Ce mollusque comestible, qui peut vivre plus de 20 ans et mesurer 10 à 13 cm de long, était très commun autrefois dans tous les cours de France et d'Europe. Aujourd'hui menacée, elle ne semble plus se reproduire que dans les cours d'eau du Massif Central, de Bretagne et du Morvan (site http://www.mezenc.info/lettre/lettres/2014-11/moule-perliere_exploitants.pdf ; consulté le 2/12/2018). On peut envisager que les perles de nacre présentes sur la châsse, de forme oblongue et irrégulière, pourraient provenir de ces moules perlières. Cette hypothèse demande à être confirmée par des études complémentaires.

UN RELIQUAIRE RÉALISÉ À LA HÂTE ?

Dans ses écrits, Gaborit (1976) estime que la châsse a été réalisée rapidement en raison des raccords imparfaits des motifs émaillés. Dans le cadre de cette étude, on peut se pencher sur la disposition des pierres sur les différentes faces de la châsse.

Au premier ordre, il semble que la disposition symétrique des pierres de même couleur ait été mieux respectée sur les faces avant et arrière que sur les faces latérales. C'est le cas des pierres de cristal de roche et de calcédoine, ainsi que des verres bleus opaques sur les faces avant et arrière. En revanche, sur les faces latérales, cette symétrie semble moins respectée. On constate également des ruptures de symétrie induites par le remplacement de certaines pierres postérieurement à la construction de la châsse.

Ces observations pourraient conforter l'hypothèse de Gaborit (1976) selon laquelle, la châsse était mieux ornementée sur sa face avant, la plus exposée au regard des pèlerins.

MATÉRIALITÉ DE L'ŒUVRE ET LIENS AVEC LES ÉCRITS SACRÉS

Parmi toutes les châsses du trésor de Grandmont et les autres reliquaires limousins, la châsse d'Ambazac présente un certain nombre de singularités (Gaborit, 1976). Elle est la seule à être aniconique, c'est-à-dire qu'elle ne présente aucune figuration des saints, des apôtres, du Christ ou de la Vierge. Son abondante parure de pierres et son architecture basée sur des formes la distingue totalement de l'ensemble des châsses de la fin du XII^e siècle.

Martial de Lépine, subdélégué de l'Intendant décrit la châsse comme « reliquaire de grandeur moyenne édifié à l'image d'une Jérusalem céleste » dans son *Inventaire* publié en 1771 (Guibert, 1888 ; François-Souchal, 1963). Cette comparaison est encore considérée dans les études actuelles.

La Jérusalem céleste, ou nouvelle Jérusalem, est décrite en détail dans l'Apocalypse par Saint Jean. Il s'agit d'une cité de cristal qui représente l'Homme réalisé qui se laisse imprégner par la lumière divine :

« Et il m'emporta en esprit sur une grande et haute montagne et me montra la ville sainte, Jérusalem qui descendait du ciel, d'auprès de Dieu. Elle avait la gloire de Dieu. Son éclat était semblable à celui d'une pierre très précieuse, comme serait une pierre de jaspe cristallin. Elle avait un mur grand et élevé ; elle avait douze portes : sur les portes douze anges ainsi que des noms inscrits, ceux des douze tribus des fils d'Israël. A l'orient, trois portes ; au nord, trois portes ; au sud, trois portes ; au couchant, trois portes. [...] La structure de sa muraille est de jaspe et la ville est de l'or pur, semblable à du pur cristal. Les soubassements du mur de la ville sont ornés de toutes sortes de pierres précieuses ; le premier est de jaspe, le deuxième de saphir, le troisième de calcédoine, le quatrième d'émeraude, le cinquième de sardoine (Sardonyx), le sixième de cornaline, le septième de chrysolithe, le huitième de béryl, le neuvième de topaze, le dixième de chrysoprase, le onzième de hyacinthe, le douzième d'améthyste. [...] Il n'y pénétrera rien d'impur, ni personne qui pratique l'abomination et le mensonge, mais seulement les inscrits au livre de vie de l'Agneau. [...] » (Nouveau Testament, Apocalypse, chapitre 21, 10).

La Jérusalem Céleste représenterait l'image de la demeure de Dieu mais également du lieu où les fils et filles de Dieu vivront leur éternité. Pour demeurer en ce lieu, il faut être pur et sans fautes.

Si l'on considère, comme nous l'avons vu précédemment, que les verres colorés servaient à imiter des pierres gemmes, et tout en considérant des remplacements limités des pierres de la châsse, on peut proposer les rapprochements suivants :

Pierres symboliques présentes sur la Jérusalem céleste	Couleurs possibles des pierres gemmes	Pierres et verres présents sur la châsse
jaspe	Pierre opaque ou translucide toutes les couleurs sauf le bleu	verres blancs (Ac05, Ac13 ou Cb04 par exemple)
saphir	généralement bleu	verres bleus
calcédoine		calcédoine
émeraude	verte	verres verts
sardoine ou sardonyx	calcédoine rouge-brun	verres brun-orangés (pierres Ab49 ou Da4)
cornaline	calcédoine rouge-orangé	verres brun-orangés (pierres Ab49 ou Da4)
chrysolithe	terme ancien pour désigner les pierres aux reflets dorés à verts	verres verts olive (pierre Ab28)
béryl	<i>Beryllus</i> signifiant cristal de la couleur de l'eau de mer	verres bleu ciel transparents (pierres Ab40 ou Ab36) ou verres bleu opaques (pierres Aa06 ou Aa14)
topaze	incolore, jaune, bleu, rose à pourpre à brun, orangé-rose	verres roses (Aa24 ou Aj02)

chrysoprase	calcédoine verte	?
hyacinthe	variété de zircon rouge-orangé	verres roses (pierres Ae03 ou Ae10 ou encore Ac24)
améthyste	pourpre-violet plus clair à foncé	améthyste

Cette interprétation doit demeurer très nuancée car il est aisé de faire un rapprochement entre les couleurs de gemmes et de verres étant donné qu'une même variété de gemme peut prendre différentes couleurs selon les éléments chromogènes qu'elle renferme. De plus, l'importance des remplacements de pierres d'origine sur la châsse demeure imprécise.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

LA CHASSE D'AMBAZAC : UN OBJET SINGULIER PARMIS LES RELIQUAIRES LIMOUSINS

De l'ensemble du trésor de Grandmont, la châsse d'Ambazac demeure l'objet le mieux préservé qui soit parvenu jusqu'à nous. De tous les reliquaires émaillés limousins, c'est elle qui présente la plus importante parure de pierres. Les verres représentent 63 % de l'ensemble des pierres qui ornent la châsse, suivis du cristal de roche (14 %). Ce chiffre n'est guère surprenant. En effet, il convient de rappeler que dans le monde médiéval, le cristal de roche, mère de toutes les pierres, et les verres étaient des matériaux très prisés. On peut s'étonner de la pauvreté du nombre de pierres gemmes naturelles sur la châsse d'Ambazac. Pendant le Haut Moyen Âge, époque de la conception de la châsse, il n'existait pas de réel engouement pour les pierres précieuses qui étaient des objets rares, chers et généralement d'origine allochtone, donc d'approvisionnement difficile. Dès lors, les artisans se tournaient vers des ressources locales (Canella, 2006).

La composition chimique des verres indique leur synthèse principalement à l'époque médiévale selon des techniques connues localement (fondant au potassium et plomb, nature des colorants). De plus, les analyses réalisées sur la châsse dans le cadre de cette étude ne concernent pas l'ensemble des matériaux vitreux présents. Nos données suggèrent cependant qu'une certaine proportion d'entre eux pourrait provenir d'un recyclage. Ce dernier point indique plus une sorte de précipitation dans la fabrication à l'aide de ressources disponibles qu'une signature de fabrication locale, comme l'évoque Gaborit (1976). Les perles de nacre également pourraient directement provenir de la pêche des moules dulcicoles abondantes dans les cours d'eau de la région.

Si l'étude des gemmes de la châsse nous a permis de lever un certain nombre de doutes concernant la nature des gemmes et des « bézoards », un certain nombre de questions restent non résolues.

UN SEUL ATELIER D'ORFÈVRE ?

Gaborit (1995) émet l'hypothèse de l'existence d'un atelier monastique unique pour la fabrication de l'ensemble des œuvres du trésor de Grandmont, voire de l'ensemble des objets émaillés champlevés. D'autres auteurs (Guibert, 1888 ; Erlande-Brandenburg, 1977) proposent, en revanche, que les moines de l'ordre de Grandmont ne disposaient à

Limoges pendant la période 1180-1190 que d'un seul fournisseur attiré sinon exclusif de leurs objets de cultes. Dans ces deux cas, un seul atelier d'orfèvrerie devait donc être actif dans la région. Cependant, aucun document historique n'établit de façon claire que l'ordre de Grandmont possédait, parmi ses religieux, d'artistes et plus particulièrement d'orfèvres (Guibert, 1888). Il n'en demeure pas moins que le trésor de Grandmont rassemble une quantité importante d'objets émaillés et la composition chimique des émaux demeure relativement homogène (verres calco-sodiques ; Lagabrielle, 2000), ce qui suggère au moins le recours à une technique similaire.

Afin de discuter l'existence ou non d'un atelier d'orfèvrerie unique dans la région, il serait intéressant de comparer les compositions chimiques des verres qui ornent différents objets émaillés champlevés. La prudence impose cependant de considérer la grande variabilité compositionnelle des verres possible d'une fournée à l'autre au regard des techniques de dosage des composants utilisés à l'époque (fondants, colorants, Kidd, 1979). De plus, l'importance du recyclage de pièces vitreuses plus anciennes ne peut être négligé. Dans le cas du plomb, en particulier, le recours à des analyses isotopiques pourrait permettre de préciser la source de ce métal (Mecking, 2013). Mais se posera alors le problème de l'analyse non destructive des pièces.

LES GRÈS DU TRIAS DU BASSIN DE BRIVE : MATÉRIAUX SUPPORTS D'OBJETS GLAÇURÉS ?

Parmi les résultats de cette étude, il apparaît que les pierres de « bézoard » dont la présence était proposée par Rupin (1890) ne sont pas d'origine organique. Il s'agit en fait d'éléments rocheux (lithiques) qui servent de support à la glaçure. Ici, les supports utilisés seraient plutôt des grès fins siliceux à ciment plus ou moins carbonaté et anhydritique. Les travaux de géologie sur la région suggèrent, *a priori*, que la source de telles roches la plus proche se situe dans les formations du Trias de la région de Brive-la-Gaillarde. Une analyse comparative avec des grès provenant de différentes localités de ce bassin sédimentaire pourraient permettre de préciser ou d'infirmer cette hypothèse.

En définitive, cette étude a montré que le recours à des techniques analytiques de caractérisation physico-chimique sophistiquées en gemmologie permet de préciser la nature des pierres présentes sur la chasse d'Ambazac. Les études futures doivent s'appuyer sur ces approches pour espérer apporter plus d'informations sur l'histoire des objets du trésor de Grandmont et d'autres pièces médiévales du patrimoine.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BAUD C.-A., KRAMAR C. (1990) – Les calcifications biologiques en archéologie. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 2 (3-4), 163–169.
- BÉTEKHTINE A. (1968) – *Manuel de minéralogie descriptive*. Editions MIR, Moscou, 736 p.
- BEVAN D. J. M., ROSSMANITH E., MYLREA D. K., NESS D. K., TAYLOR M. R., CUFF C. (2002) – On the structure of aragonite – Lawrence Bragg revisited. *Acta Crystallographica*, B58, 448–456.
- BONNEAU A., MOREAU J.-F., AUGER R., HANCOCK R., ÉMARD B. (2013) – Analyses physico-chimiques des perles de traite en verre de facture européenne : quelles instrumentations pour quels résultats ? *Annales archéologiques arabes syriennes*, 26, 109–132.
- BROCARD-ROSA T., MOREAU C., CHALVIDAL C. (2016) – Châsse dite « de Saint Etienne de Muret », Ambazac (87, Haute-Vienne). *Rapport de restauration à la demande de la DRAC Limousin-CRMH*, 28 p.
- CANNELLA A.-F. (2006) – *Gemmes, verre coloré, fausses pierres précieuses au Moyen Âge*, Bibliothèque de la Faculté de Philosophie et Lettres de l'Université de Liège, Fascicule CCLXXXVIII, Librairie Droz, 480 p.
- COLOMBAN P. (2003) – Polymerisation, degree and Raman identification of ancient glasses used for jewellery, ceramics, enamels and mosaics. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 323, 180–187.
- COLOMBAN P. (2004) – Raman Spectrometry, a unique tool to analyse and classify ancient ceramics and glasses. *Applied Physics, A : Materials science and Processing*, 79, 167–170.
- COLOMBAN P. ET TOURNIÉ A. (2007) – One-site Raman identification and dating of ancient/modern stained glasses at the Sainte-Chapelle, Paris. *Journal of Cultural Heritage*, 8, 242-256.
- COLOMBAN P. (2013) – The Destructive/Non-destructive Identification of Enamelled Pottery, Glass Artifacts and Associated Pigments – A Brief Overview. *Arts*, 2, 77–110.
- DOWNS R. T. (2006) – The RRUFF Project : an integrated study of the chemistry, crystallography, Raman and infrared spectroscopy of minerals. *Program and Abstract, 19th General Meeting of the International Mineralogical Association*, Kobe, Japon, pp. 3–13.
- ERLANDE-BRANDENBURG A. (1977) – L'autel majeur de Grandmont. *Bulletin Monumental*, 135 (2), p. 171.
- FRANÇOIS-SOUCHAL G. (1963) – Les émaux de Grandmont au XII^e siècle (suite). *Bulletin Monumental*, 121 (1), 41–64.
- FRECH R., WANG E. C. (1980) – The i.r. and Raman spectra of CaCO₃ (aragonite). *Spectrochimica Acta*, 36A, 915–919.
- FRÖHLICH F., SCHUBNEL H.-J. (1991) – *L'âge du silicium*. Museum national d'histoire naturelle, Lesmon imprimeur, Drancy, 92 p.
- GABORIT J.-R. (1976) – L'autel majeur de Grandmont. *Cahiers de Civilisation Médiévale*, 75, 231–246.
- GABORIT J.-R. (1995) – Le trésor de Grandmont. *Dossiers de l'art*, 26, 34–43.
- GANSHOF F.-L., GODDING-GANSHOF F., DE SMET A. (1975) – Le polyptyque de l'Abbaye de Saint-Bertin (844-859). *Mémoires de l'Institut national de France*, 45, 57-209.
- GAUTHIER M.-M. (1972) – *Émaux du Moyen Âge occidental*. Ed. Office du Livre, Fribourg, 444 p.
- GAY V. (1884) – *Glossaire archéologique du Moyen Age et de la Renaissance*, Librairie de la société bibliographique, Paris, 160 p.

- GEORGE P. (2007) – Les reliques des saints. *Publications et perspectives nouvelles (III)*, *Revue belge de philologie et d'histoire*, 85 (3-4), 859–880.
- GONDEAU J.-P. (2016) – Plus de cent ans après avoir été volée par les frères Thomas, la châsse d'Ambazac exposée au Metropolitan Museum de New York. *La Montagne*, 1^{ier} septembre 2016.
- GRATUZE B., SOULIER I., BARRANDON J.-N., FOY D. (1992) – De l'origine du cobalt dans les verres. *Revue d'Archéométrie*, 16, 97–108.
- GUIBERT L. (1888) – *L'école monastique d'Orfèvrerie de Grandmont, L'autel majeur de l'église abbatiale*. Imprimerie et librairie limousine H. Ducourtieux, 52 p.
- GUIGUE R. (2017) – *De retour de New York, la châsse d'Ambazac en pleine lumière*. France 3 Limousin.
- HUNAUT M. (2015) – *Rôle des éléments de transition (Co, Cu) dans la coloration des verres : application aux vitraux du Moyen-Âge*. Thèse de Doctorat, Université Pierre et Marie Curie, Institut de Minéralogie, de Physique des Matériaux et de Cosmochimie, 260 p.
- KIDD K. E. (1979) – La fabrication des perles de verre, du Moyen-Âge au début du XIX^e siècle. *Histoire et Archéologie*, 30, Direction des lieux et parcs historiques nationaux, Parcs Canada, Environnement Canada, Ottawa, 116 p.
- LAGABRIELLE S. (2000) – La verrerie du XII^e à la fin du XV^e siècle : évolution d'une technique. *Médiévales*, 39, 57–78.
- LANTHONIE A. (1979) – *Histoire de l'Abbaye de Grandmont en Limousin*. Ed. Fabregue, Saint-Yriex – Limoges, 61 p.
- MCMILLAN P., PIRIOU B. (1983) – Raman spectroscopy studies of silicate and related glass structure – a review. *Bulletin de Minéralogie*, 106, 57–75.
- MECKING O. (2013) – Medieval lead glass in Central Europe. *Archaeometry*, 55, 640–662.
- MILLEVILLE A., BELLOT-GURLET L., CHAMPAGNON B., SANTALLIER D. (2003) – La micro-spectroscopie Raman pour l'étude des obsidiennes : structure, micro-inclusions et études de provenance ? *Revue d'Archéométrie*, 27, 123-130.
- NASDALA L., SMITH D.C., KAINDL R., ZIEMANN M. (2004) – Raman spectrometry: Analytical perspectives in mineralogical research. In : Beran A., Libowitzky, E., Eds., *Spectroscopic methods in mineralogy*. EMU Notes in Mineralogy, 6, pp. 43-91.
- ROGER P. (1968) – Lithostratigraphie et sédimentologie des formations détritiques du bassin de Brive. Essai de synthèse paléogéographique. *Actes Soc. lin. Bordeaux*, 105 (B1), 27 p.
- RUPIN E. (1890) – *L'œuvre de Limoges*. Ed. Picard, Paris, 140 p.
- SHARMA S. K., MISRA A. K., ISMAIL S., SINGH U. N. (2006) – Remote Raman spectroscopy of various mixed and composite mineral phases at 7.2 m Distance. *NASA Technical Reports Server, Technic Report*, 3 p.
- SMITH G., ALEXANDER L. E. (1963) – Refinement of the atomic parameters of α -quartz. *Acta Crystallographica*, 16, 462–471.
- TABURET- ELAHAYE E. (1995) – *Naissance et évolution de l'œuvre de Limoges*, dans *L'œuvre de Limoges, émaux limousins du Moyen Âge*. Editions du patrimoine, Paris, pp. 33–39.
- TEXIER (Abbé, 1843) – *Essai historique et descriptif sur les émailleurs et les argentiers de Limoges*. Extrait des Mémoires de la Société des Antiquaires de l'Ouest, Imprimerie de Saurin Frères, 288 p.
- TOMIC Z., MAKRESKI P., GAJIC B. (2010) – Identification and spectra-structure determination of soil minerals: Raman study supported by IR spectroscopy and X-ray powder diffraction. *Journal of Raman Spectroscopy*, 41, 582–586.

VAUCHEZ A. (2008) – Du culte des reliques à celui du Précieux Sang. *Tabularia Etudes*, 8, 81–88.

TABLE DES ILLUSTRATION

Figure 1. Photographie représentant les frères Thomas accompagné d'un de leur complice Antoine Faure lors de leur procès qui s'est déroulé à Limoges en 1908 (source : https://lamontagne.fr/clermont-ferrand/vie-pratique-consommation/2016/09/01/).	12
Figure 2. Photographie de la face avant de la châsse d'Ambazac. La règle au bas de l'image mesure 30 cm (cliché A. Fonfrege).	14
Figure 3. Photographie de la face arrière de la châsse d'Ambazac. Le couvercle de l'objectif de l'appareil photographique mesure 5,5 cm de diamètre (cliché A. Fonfrege).	14
Figure 4. Photographies des faces latérales de la châsse d'Ambazac. Le couvercle de l'objectif de l'appareil photographique mesure 5,5 cm de diamètre (cliché A. Fonfrege).	15
Figure 5. Photographies des bâtes des pierres manquantes Aa03, Ac28, Ca07 et Da10 en 1890 au moment de la restauration de la châsse par Ernest Rupin.	17
Figure 6. Bézoard avec monture dorée (11,6 cm de haut) datant du XVII ^e siècle, conservé au <i>Kunsthistorisches Museum</i> de Vienne (Source : http://archeologue.over-blog.com/article-cabinet-de-curiosites-fossiles-bezoard-et-sarcosuchus-imperator-43193443.html , consulté le 21/11/ 2018).	18
Figure 7. Photographies des bâtes des pierres manquantes en positions Ab45 et Ab48, Ak09 sur la face avant et des pierres Ca10 et Cb08 sur la face gauche, en 2016 au moment de la restauration de la châsse par le laboratoire de conservation-restauration <i>Materia Viva</i>	19
Figure 8. Nombre de gemmes et verres déterminés sur la châsse lors de sa restauration en 2016 par le laboratoire <i>Materia Viva</i>	20
Figure 9. Intailles présentes sur les faces avant et droite de la châsse représentant respectivement, de haut en bas, une tête de cheval, un vieillard assis et le Génie de la Fortune.	21
Figure 10. Pierres réemployées Ab02 et Ca06, identifiées comme des calcédoines, situées respectivement sur les faces avant et gauche de la châsse.	22
Figure 11. Zonations de compositions observées dans un saphir (traité thermiquement) en éclairage UV (source : http://www.ruby-sapphire.com/heat_seeker_uv_fluorescence.htm).	23
Figure 12. Spectres et modes de vibration Raman pour différentes phases minérales (apatite, monazite, anglesite et barite ; source : https://www.univie.ac.at/Mineralogie/docs/Introduction_Raman.pdf ; Nasdala et al., 2004). Voir explications dans le texte ci-dessus).	24
Figure 13. Représentation (logiciel caRINE®) du réseau cristallin du quartz (SiO ₂) appartenant au système rhomboédrique (quartz de basse température ; Smith et Alexander, 1963). Les atomes de silicium sont de couleur verte, les atomes d'oxygène en jaune et les tétraèdres silicatés en vert. a : vue du réseau cristallin selon le plan (100). b : vue du réseau cristallin selon le plan (010). c : vue du réseau cristallin selon le plan (001).	27
Figure 14. Photographies de pierres en cristal de roche présentes sur la face avant de la châsse. La pierre de gauche est taillée en simple cabochon (pierre Aa17, taille : 1,7 cm) et la pierre de droite est un cabochon de grande taille à deux pans (pierre Ae09, grand axe : 3,6 cm).	28
Figure 15. Spectre Raman caractéristique du cristal de roche (quartz, pierre Aa09) avec une source d'excitation laser de 785 nm.	29
Figure 16. Photographie d'une améthyste (pierre Af27) présente sur la face avant de la châsse. La longueur du cabochon est de 8 mm environ.	29

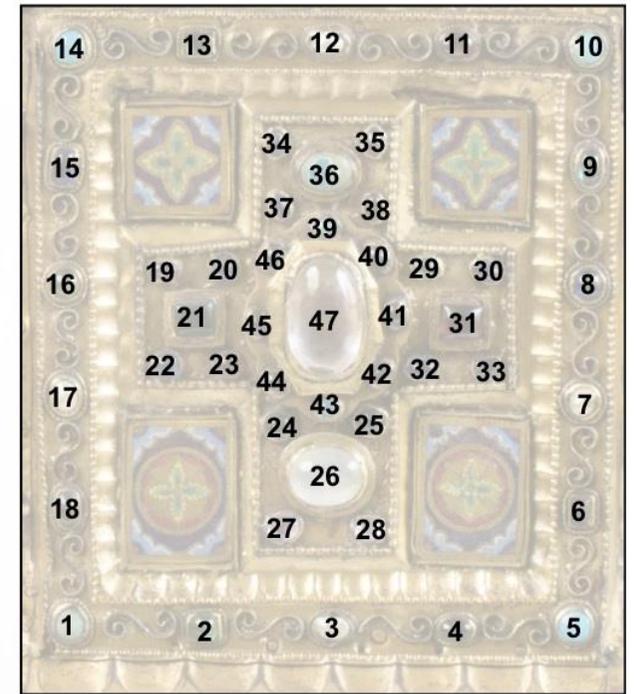
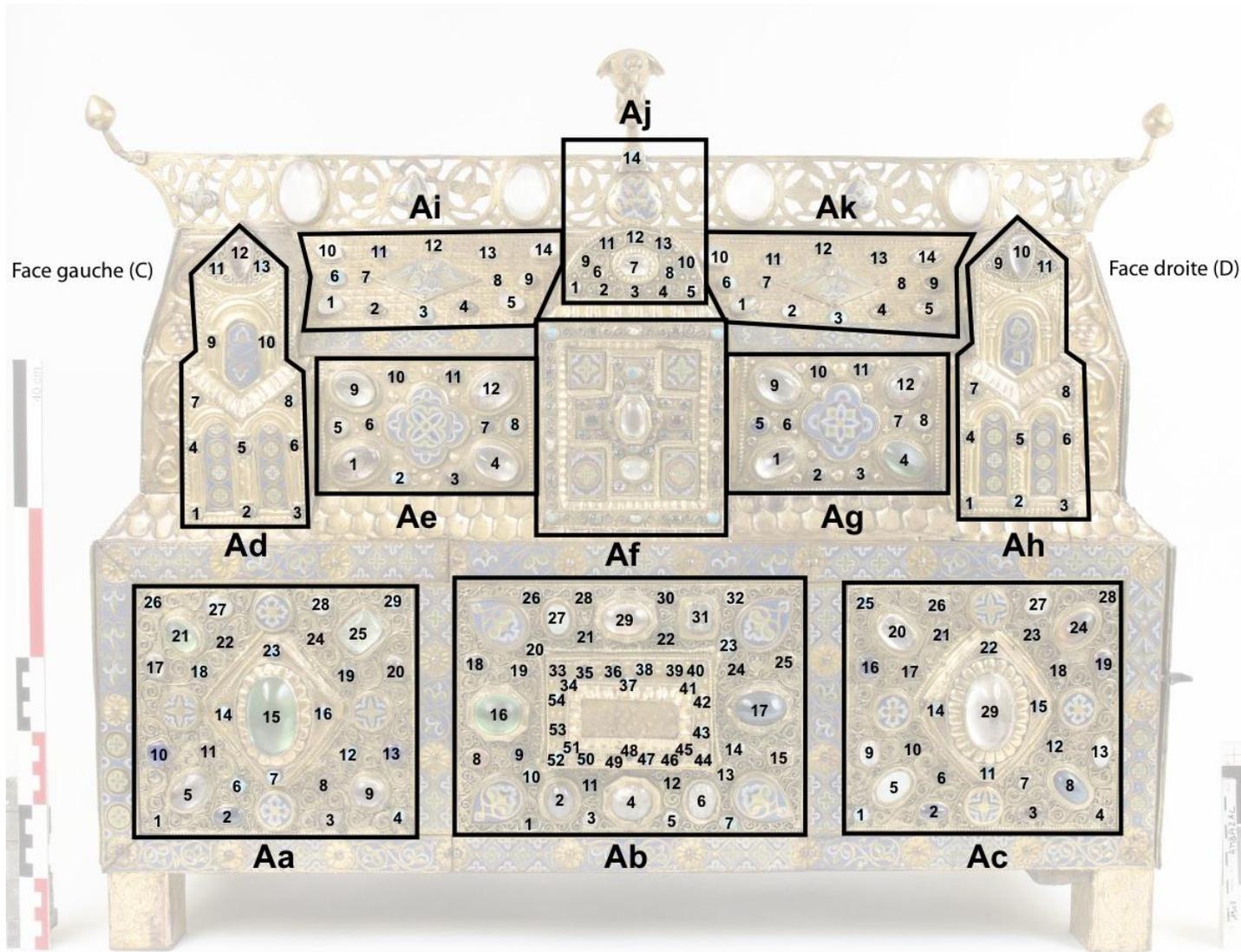
Figure 17. Spectre Raman caractéristique du quartz (calcédoine blanche translucide, pierre Ab02) avec une source d'excitation laser de 785 nm.....	31
Figure 18. Spectre Raman caractéristique du quartz (sardonyx, pierre Cb01) avec une source d'excitation laser de 785 nm.	31
Figure 19. Photographies de deux perles de nacre présentes sur la face avant de la châsse (perles Af03 et Af07). Leur taille respective est de 0,8 et 0,75 cm.	32
Figure 20. Représentation (logiciel caRiNe®) du réseau cristallin de l'aragonite (CaCO ₃) appartenant au système orthorhombique (Beva et al., 2002). Les atomes de calcium sont de couleur bleue, les atomes de carbone sont représentés en orange et les atomes d'oxygène sont en jaune. a : vue du réseau cristallin selon le plan (100). b : vue du réseau cristallin selon le plan (010). c : vue du réseau cristallin selon le plan (001). Sur chaque représentation, les trièdres de carbone sont représentés en orange.	33
Figure 21. Spectre Raman caractéristique de l'aragonite (perle de nacre Ab42) avec une source d'excitation laser de 785 nm.	34
Figure 22. « Bézoards » ou terres cuites glaçurées présentant différents aspects. a : glaçure complète (pierre Ac25, taille 1 cm). b : glaçure incomplète et craquelée (pierre Da09, taille 1,4 cm). c : sans glaçure (pierre Ae05, taille 1,4 cm).....	35
Figure 23. Spectres Raman de « Bézoards » non glaçurés (pierres présentes sur la face avant de la châsse Ad07, Ae05, Ah09 et Ai09) avec une source d'excitation laser de 785 nm.....	36
Figure 24. Spectres Raman de « Bézoards » non glaçurés (pierres présentes sur la face avant et droite de la chasse Ai09 et Db02) avec une source d'excitation laser de 532 nm.	36
Figure 25. Spectres Raman de « Bezoards » glaçurés (pierres présentes sur la face avant de la châsse Ac25 et Ai06) avec une source d'excitation laser de 785 nm.....	37
Figure 26. (a) Schématisation de la structure d'un verre. Les tétraèdres SiO ₄ reliés par des oxygènes portants (<i>Bridging oxygen</i> , BO) forment parfois des chaînes rompues (dépolymérisation) par des oxygènes non-pontants (<i>non-bridging oxygen</i> , NBO). Les compensations de charge nécessaires suite à la présence des NBO ou à la substitution de Si par d'autres formateurs de réseaux (Al ou Fe) sont réalisées par des ions modificateurs de réseau (Na, K, Ca, Al, Mn). (b) Décomposition du spectre de haute énergie (qui présente le plus de variations) en trois bandes selon le degré de polymérisation du verre. Chacune des bandes peut être attribuée aux vibrations des tétraèdres ayant 4 à 2 oxygènes pontants. Bande Q ² vers 944 cm ⁻¹ : 2 oxygènes pontants, Bande Q ³ vers 1015 cm ⁻¹ : 3 oxygènes pontants, Bande Q ⁴ vers 1129 cm ⁻¹ : 4 oxygènes pontants (Milleville <i>et al.</i> , 2003).	37
Figure 27. Spectres Raman de « Bézoards » glaçurés (pierres présentes sur la face avant de la châsse Ac25 et Ah11) avec une source d'excitation laser de 532 nm.....	38
Figure 28. Tableau récapitulatif de l'ensemble des perles de verres identifiées sur la châsse.	38
Figure 29. Photographies de perles de verres taillées en forme cabochon présentes sur la face avant de la châsse (pierre Aa08, taille 1,3 cm ; pierre Ab12, cabochon à 2 pans de 1 cm de long, et pierre Ab28, cabochon à 4 pans de 1,2 cm). Les arrêtes des pans sont surlignées avec un trait en pointillé sur les pierres Ab12 et Ab28.	39
Figure 30. Photographies présentant les motifs Ca et Da des faces gauche et droite de la châsse, éclairés par une lumière blanche naturelle, sous lampe UV ($\lambda = 254 \text{ nm}$ et $\lambda = 365 \text{ nm}$). Ce sont les perles de verre qui présentent une fluorescence.	41
Figure 31. Photographies présentant les perles de verre (Ag08 et Ac05) éclairées par une lumière blanche (photographies de haut) ou par une lampe UV ($\lambda = 365 \text{ nm}$, photographies du bas). La fluorescence permet de révéler les structures fluidales du verre, soulignées par les hétérogénéités de composition. La taille des perles Ag08 et Ac05 est respectivement de 1,3 cm et 3 cm environ. Le verre	

de la perle Ag08 semble avoir été enroulée ou façonné en forme de goutte alors que le verre de la perle Ac05 semble avoir été étiré.	42
Figure 32. Photographie de la perle de verre Ab17 présente sur la face avant de la châsse (taille de la pierre 4 cm environ). Nous pouvons observer dans le verre des figures d'étirement blanchâtre correspondant en fait à des bulles étirées. À leur extrémité, elles sont ouvertes à la surface du verre.	42
Figure 33. Spectres Raman de perles de verre bleu transparent (pierre Aa10), blanc translucide (pierre Aa28) et bleu clair (Cb09) obtenus avec un faisceau laser de 532 nm.	43
Figure 34. Diagramme ternaire représentant la composition en plomb des perles de verre bleues, des émaux bleus et de la glaçure des « bézoards ».	45
Figure 35. Diagramme illustrant les variations de compositions des verres en fonction du fondant. La composition des émaux analysés par spectrométrie XRF figure est également reportée dans le diagramme. Les émaux limousins ont une composition calco-sodique caractéristique (Lagabrielle, 2000). Leur position dans le diagramme peut nous renseigner sur la teneur potentielle en sodium des perles de verre (sodium non analysé par spectrométrie XRF).	46
Figure 36. Evolution de la teneur en silice des verres en fonction de leurs teneurs en alcalins et Mg.	47
Figure 37. Diagramme ternaire représentant la composition en éléments chromogènes des perles de verres bleus, des émaux bleus et de la glaçure des « bézoards ».	48

ANNEXES

Figure A :

Principe de numérotation des pierres Face avant (A)



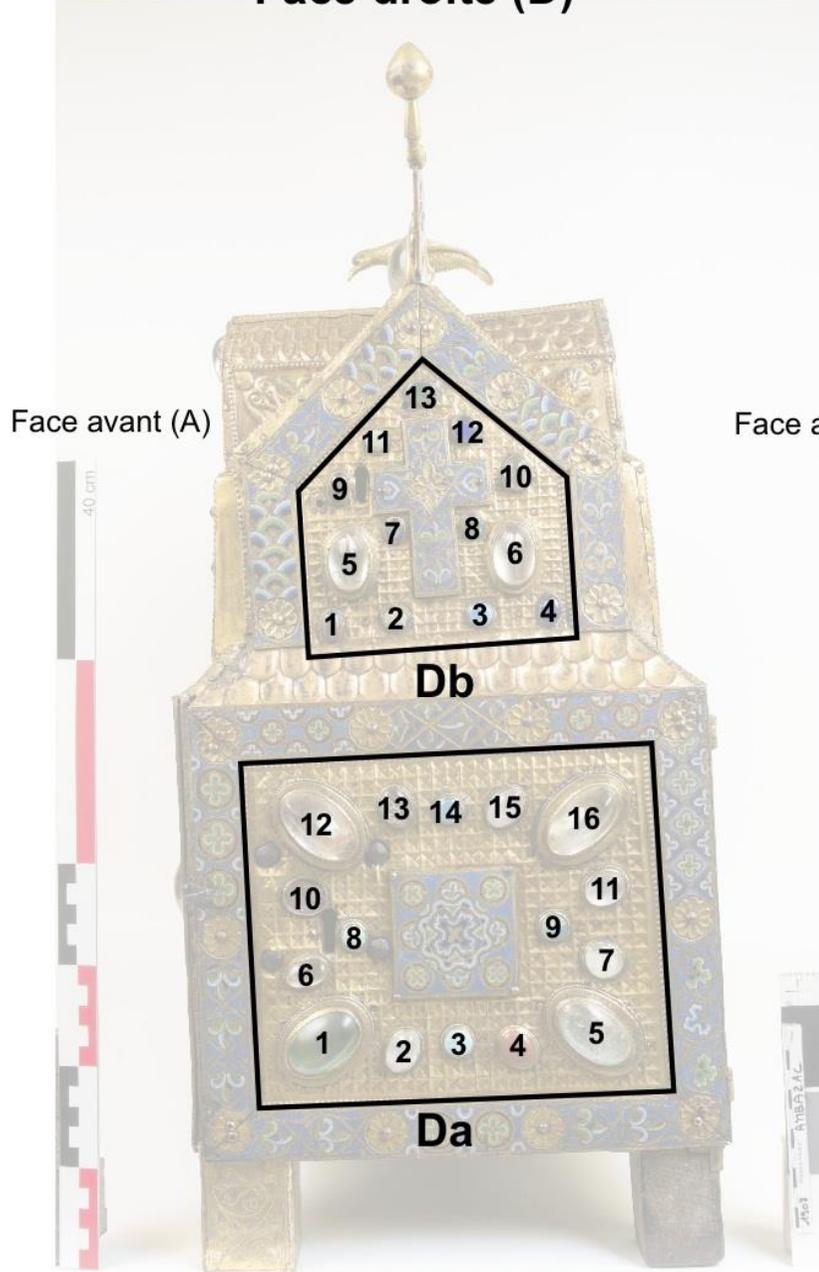
Principe de numérotation des pierres

Face arrière (B)



Principe de numérotation des pierres

Face droite (D)



Face gauche (C)

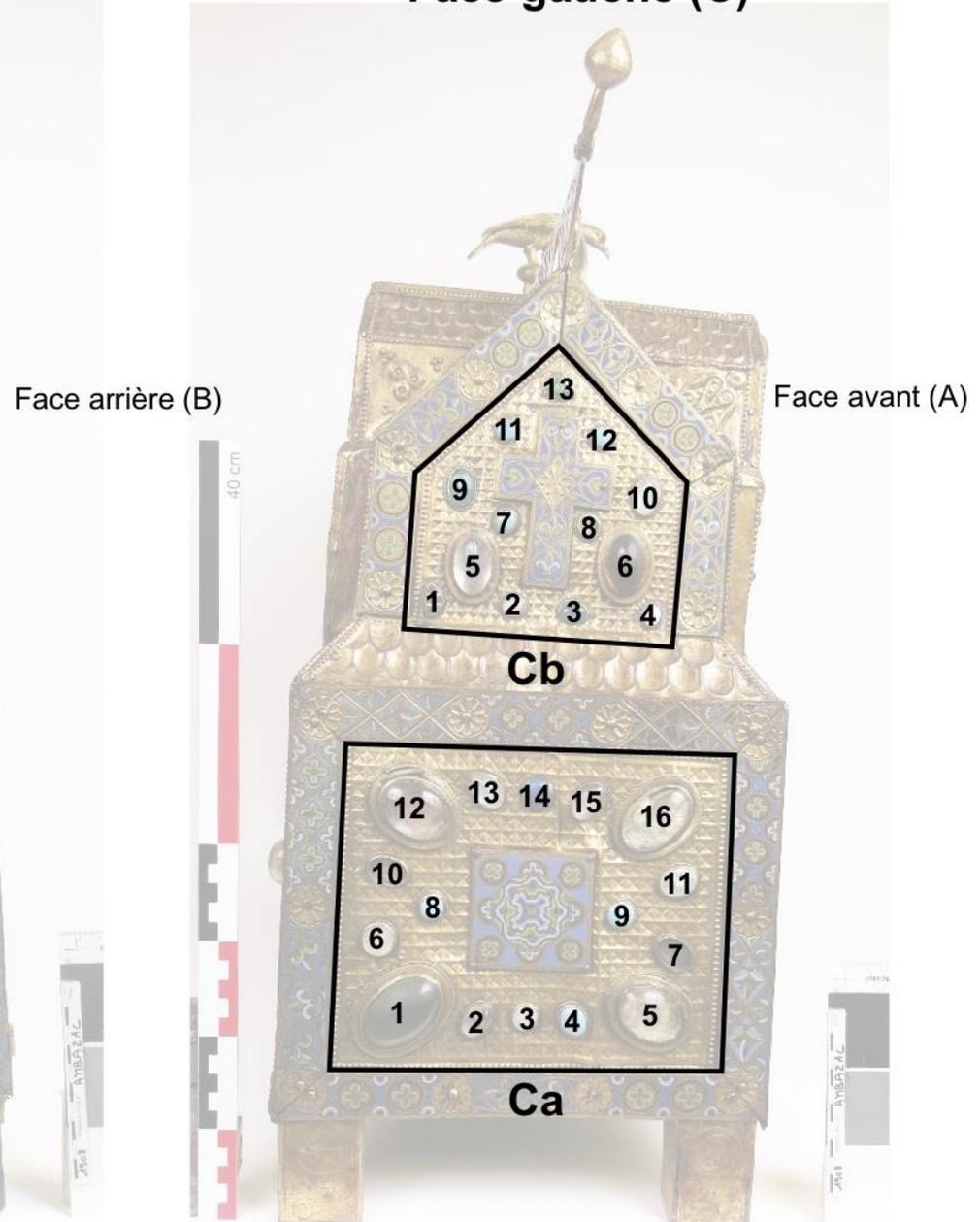
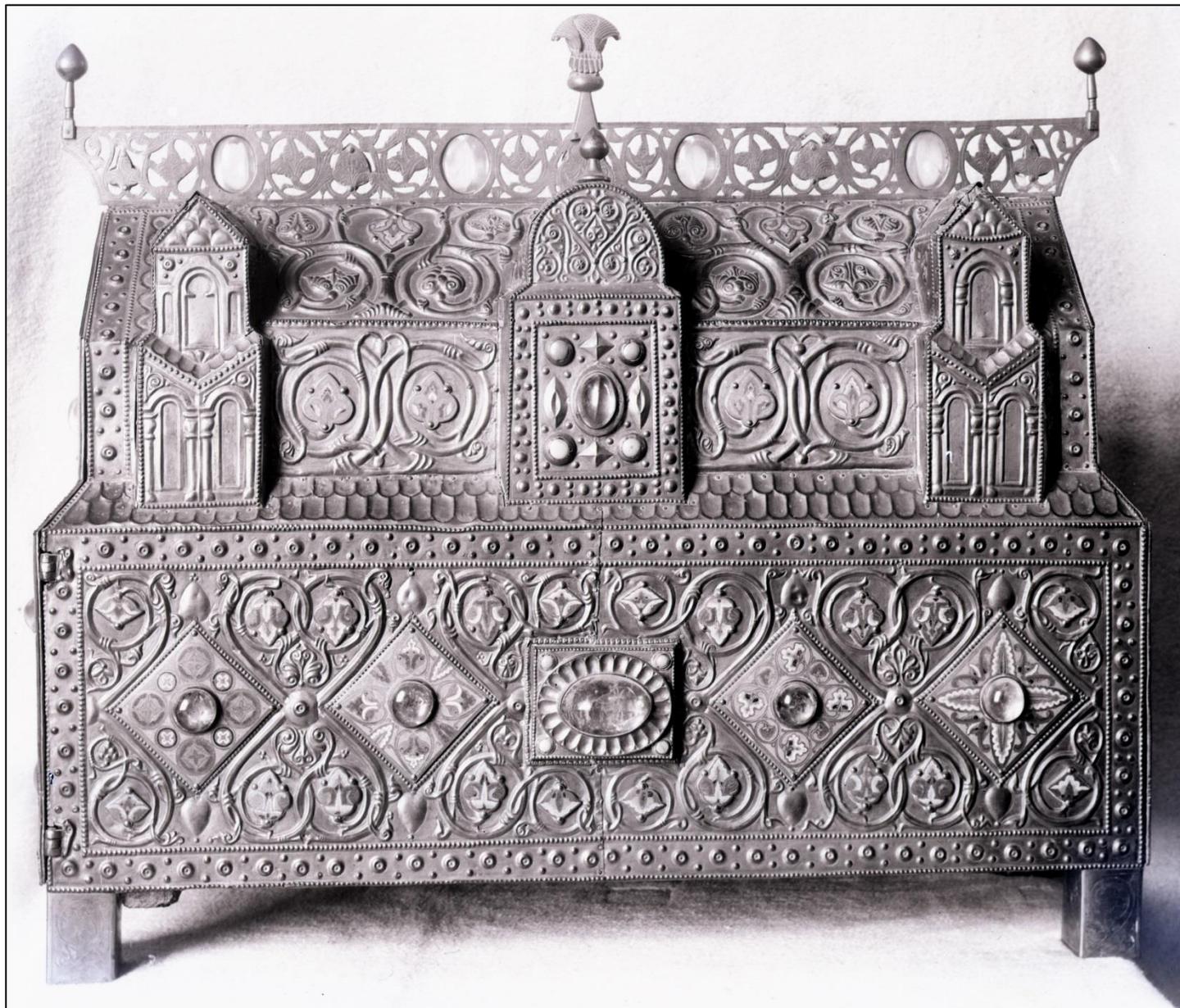


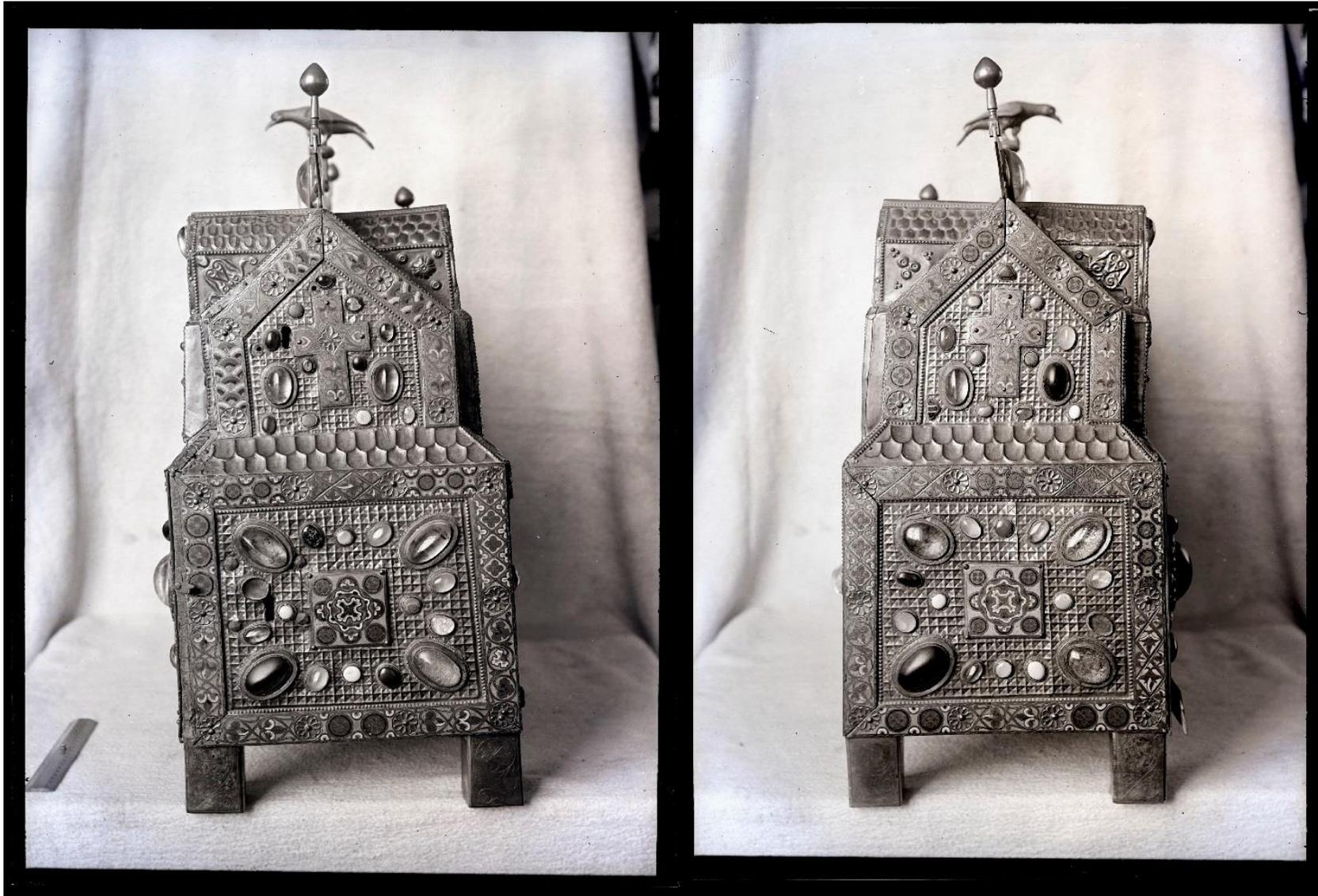
Figure B : Photographies de la châsse d'Ambazac réalisées par Ernest Rupin en 1890.



Photographie de la face
avant de la châsse



Photographie de la face
arrière de la châsse



Photographies des faces droite (face comportant la porte) et gauche de la châsse

Figure C : Photographies de la châsse d'Ambazac réalisées par le laboratoire de restauration-conservation *Materia Viva* en 2016



Photographie de la face avant de la châsse

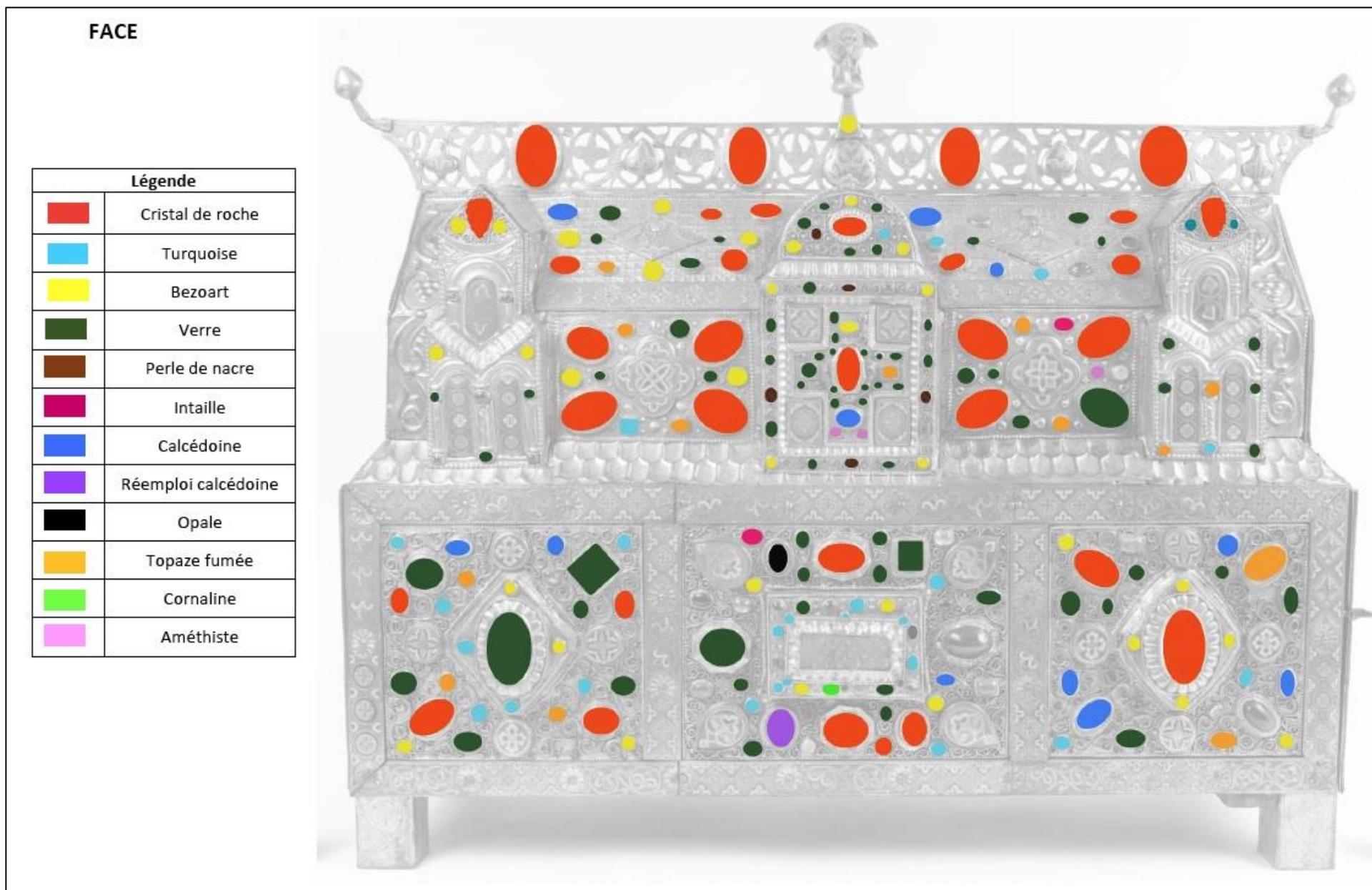


Photographie de la face
arrière de la châsse



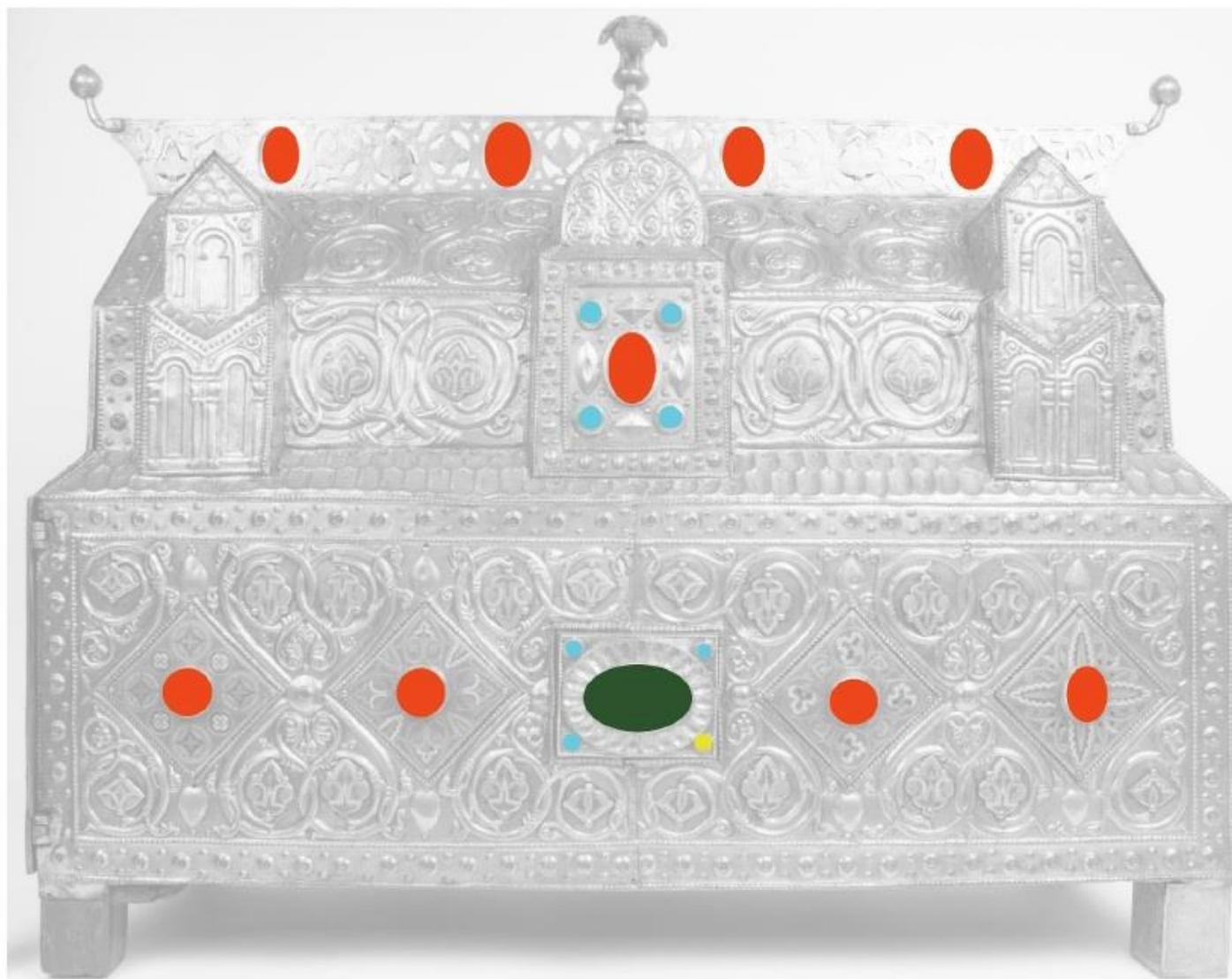
Photographies des faces droite (face comportant la porte) et gauche de la châsse

Figure D : Proposition d'identification des pierres de la châsse d'Ambazac réalisées par le laboratoire *Materia Viva* en 2016



REVERS

Légende	
	Cristal de roche
	Turquoise
	Bezoart
	Verre



CÔTÉ DROIT

Légende	
	Cristal de roche
	Turquoise
	Bezoart
	Verre
	Intaille
	Calcédoine
	Topaze fumée
	Cornaline



CÔTÉ GAUCHE

Légende	
	Cristal de roche
	Turquoise
	Bezoart
	Verre
	Verre millefiori
	Calcédoine
	Onyx rayé
	Réemploi calcédoine



Figure E : Identification des pierres gemmes et perles de nacre présentes sur la châsse d'Ambazac

Face avant (A)



Face arrière (B)



Face droite (D)

Face gauche (C)

Pierres gemmes

 Cristal de roche

Face droite (D)

Face gauche (C)

Pierres gemmes

-  Calcédoine
-  Cristal de roche
-  Onyx
-  Pierre manquante

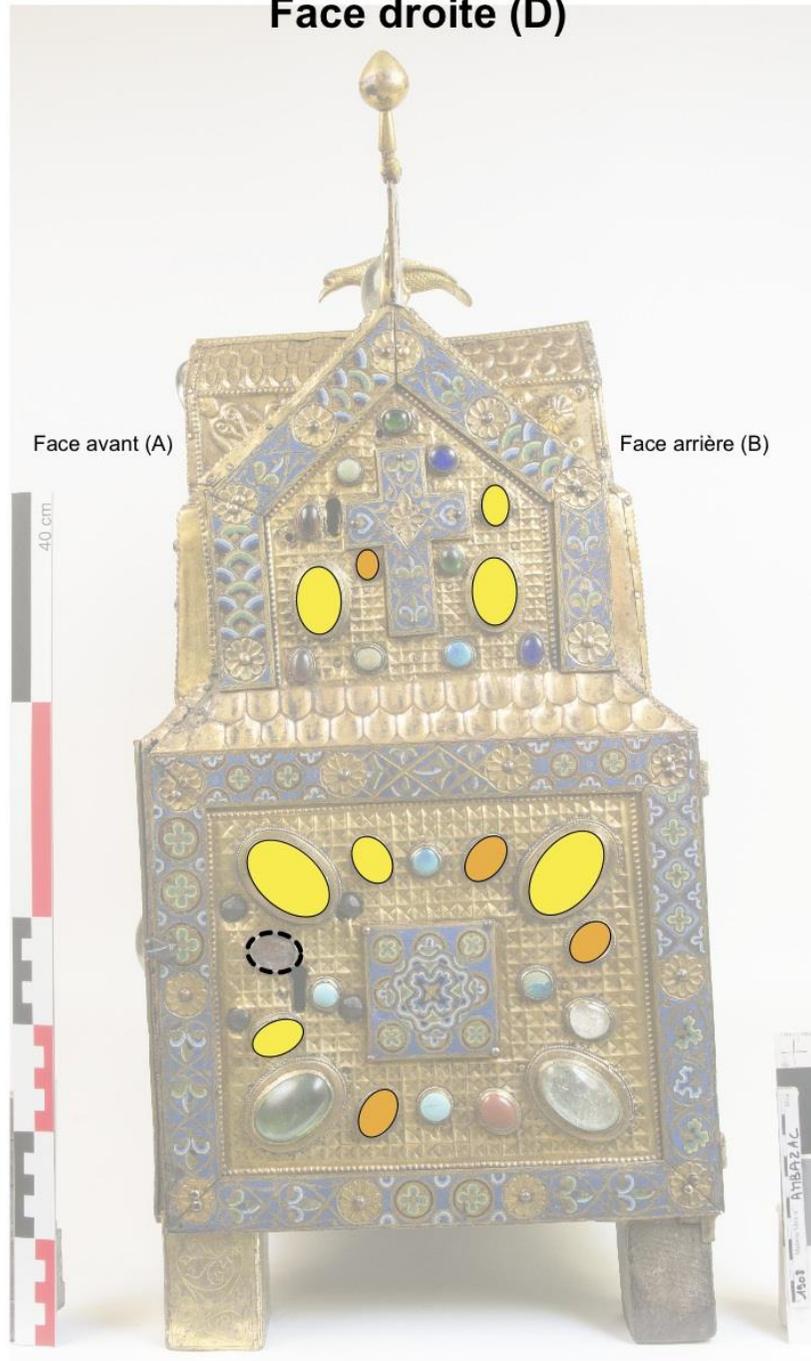


Figure F : Identification des verres et éléments lithiques glaçurés présents sur la châsse d'Ambazac

Face avant (A)

Verres

-  Verre incolore transparent
-  Verre blanc translucide
-  Verre bleu transparent
-  Verre bleu opaque
-  Verre bleu ciel transparent
-  Verre rose-orangé transparent
-  Verre vert transparent
-  Verre brun-orangé opaque
-  Verre noir
-  Intaille en verre
-  Pierre manquante
-  Éléments lithiques glaçurés



Face arrière (B)



Verres

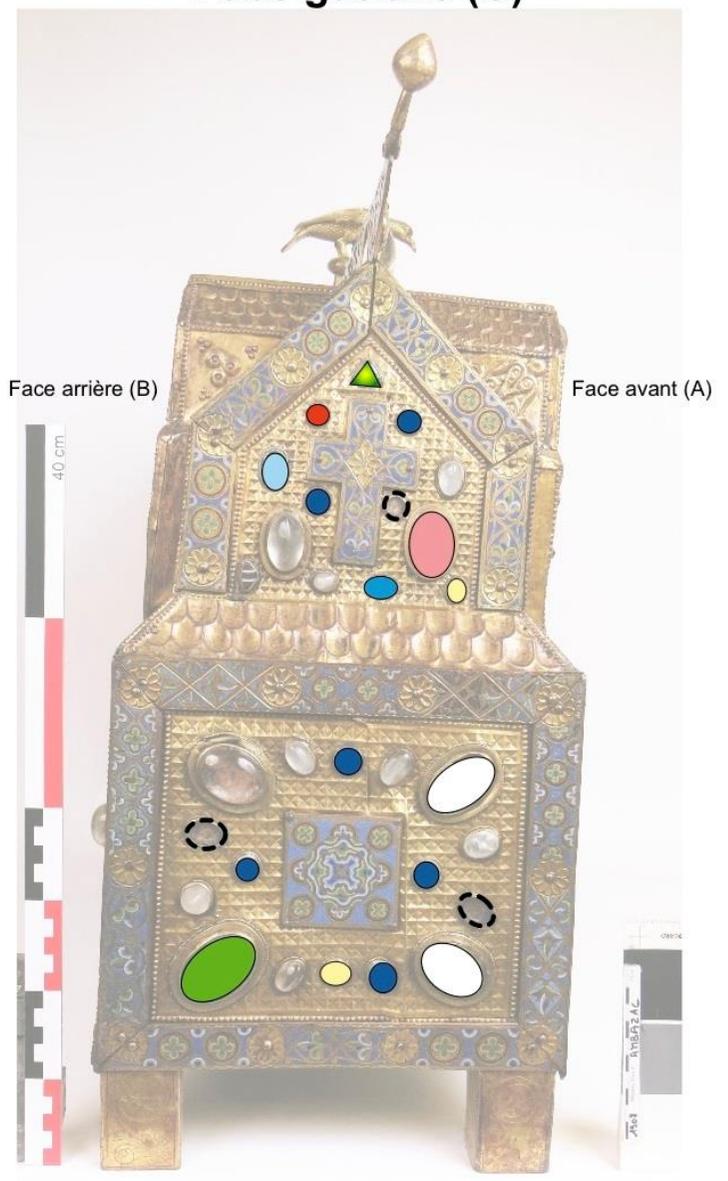
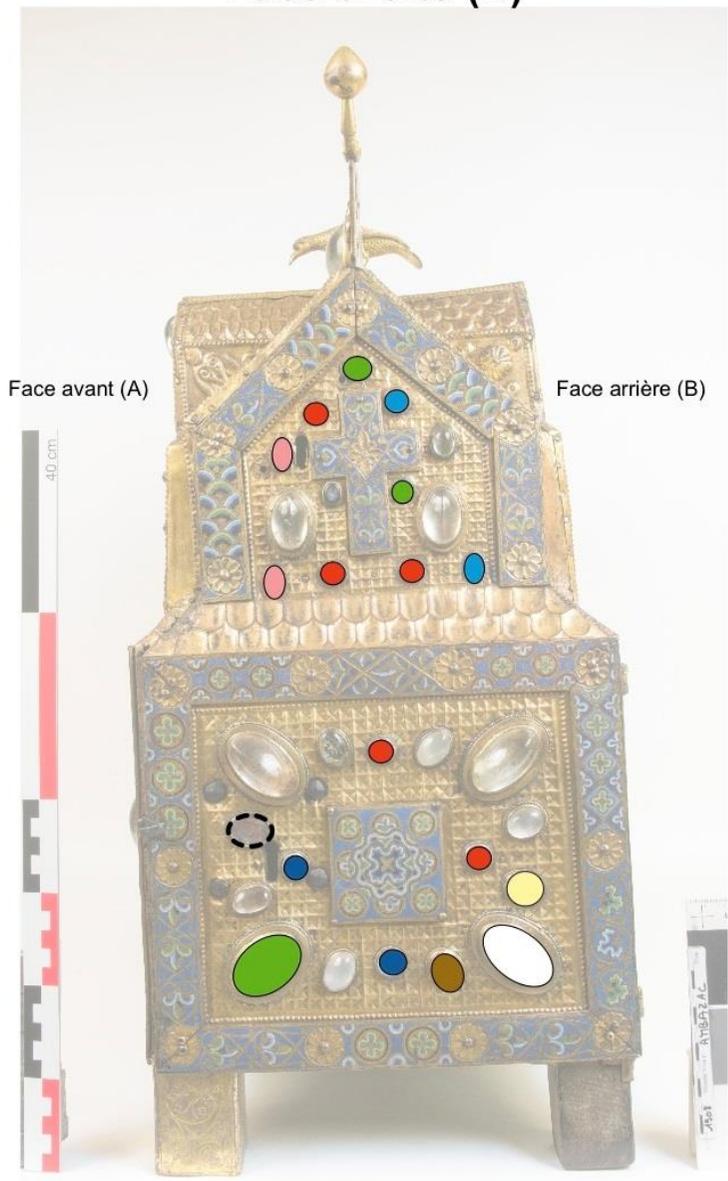
-  Verre incolore transparent
-  Verre bleu opaque
-  Éléments lithiques glaçurés

Face droite (D)

Face gauche (C)

Verres

-  Verre incolore transparent
-  Verre blanc translucide
-  Verre bleu transparent
-  Verre bleu opaque
-  Verre bleu ciel transparent
-  Verre rose-orangé transparent
-  Verre vert transparent
-  Verre brun-orangé opaque
-  Verre millefiori
-  Pierre manquante
-  Éléments lithiques glaçurés



Compositions chimiques des verres de la chasse d'Ambazac

Echantillon	Da08	Da03	Cb12	Ca09	Db12	Aa10	Aa02	Cb09	Ab17	Cb06	Ab11	Da04	Ac24	Db13	Da05	Ac05	Ab26
Description	perle de verre bleu opaque	verre bleu foncé	verre bleu foncé	verre bleu foncé	verre bleu clair	verre bleu (étirement blanchâtre)	verre rose	Verre bleu clair	verre brun-orangé opaque	verre rose	verre vert	verre incolore	verre blanc (translucide)	Intaille verre			
Sm	161 ± 103	119 ± 72	0	274 ± 142	219 ± 101	236 ± 105	158 ± 69	125 ± 75	152 ± 37	68 ± 21	0	160 ± 82	92 ± 24	180 ± 51	184 ± 96	256 ± 119	0
Nd	0	0	0	0	0	0	0	114 ± 58	79 ± 28	36 ± 16	0	95 ± 62	70 ± 18	87 ± 37	0	0	0
Pr	0	0	0	0	0	0	0	0	33 ± 10	14 ± 6	0	0	18 ± 6	27 ± 13	0	0	0
Ce	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
La	0	0	0	0	0	0	0	0	88 ± 44	54 ± 28	0	0	75 ± 30	0	0	0	0
Ba	0	0	0	0	0	0	0	0	911 ± 198	427 ± 120	0	0	608 ± 132	481 ± 250	0	0	0
Sb	0	0	0	0	340 ± 154	362 ± 156	0	1058 ± 166	0	0	2565 ± 658	329 ± 127	0	120 ± 68	215 ± 135	476 ± 188	952 ± 87
Sn	0	0	0	0	0	0	877 ± 137	174 ± 99	241 ± 53	0	8301 ± 1860	8824 ± 562	0	1032 ± 111	0	1078 ± 246	2203 ± 138
Cd	0	99 ± 56	0	0	152 ± 81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ag	0	70 ± 45	0	143 ± 92	0	201 ± 83	0	97 ± 51	0	0	84420 ± 7677	0	0	50 ± 29	0	147 ± 85	1516 ± 92
Mo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nb	389 ± 40	360 ± 28	462 ± 42	0	1006 ± 59	1022 ± 59	232 ± 17	462 ± 30	0	0	0	506 ± 34	0	93 ± 10	865 ± 49	994 ± 60	0
Zr	0	0	0	0	0	0	0	0	18 ± 9	41 ± 5	0	0	37 ± 6	0	0	0	0
Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6 ± 3	0	0	0	0	0	0	63 ± 14
Sr	0	0	0	476 ± 50	0	0	0	0	192 ± 10	539 ± 12	1143 ± 132	0	496 ± 12	312 ± 19	0	0	451 ± 17
U	0	0	0	4316 ± 260	0	0	0	0	0	0	6824 ± 674	0	0	0	0	0	230 ± 20
Rb	0	0	0	2171 ± 149	0	0	0	0	17 ± 7	21 ± 3	1549 ± 229	0	20 ± 3	28 ± 16	0	0	110 ± 12
Bi	818 ± 275	308 ± 191	970 ± 284	1016 ± 267	0	0	0	450 ± 198	0	0	1190 ± 287	0	0	0	0	0	0
As	74277 ± 2664	38638 ± 1251	70168 ± 2591	47321 ± 2023	24796 ± 1319	25918 ± 1337	8196 ± 533	25671 ± 1018	0	0	2405 ± 477	22547 ± 1043	0	4893 ± 364	19273 ± 1092	23598 ± 1343	0
Se	0	0	0	3009 ± 202	0	0	0	0	0	0	5397 ± 543	0	0	0	0	0	195 ± 22
Pb	394479 ± 14937	284312 ± 8703	407626 ± 15732	192243 ± 7770	443450 ± 17008	464655 ± 17503	155248 ± 3720	286123 ± 8882	22145 ± 336	0	6083 ± 719	306434 ± 10014	0	89687 ± 1660	384590,34 ± 13805,48	434532 ± 17490	6966 ± 165
W	0	0	0	170441 ± 6182	0	0	0	0	106 ± 61	0	176278 ± 13704	0	0	0	0	0	14238 ± 347
Ga	2395 ± 165	1293 ± 117	2179 ± 165	1280 ± 154	1605 ± 167	1774 ± 170	137 ± 85	971 ± 122	0	0	0	953 ± 134	0	0	1248 ± 149	1610 ± 174	0
Zn	124 ± 49	82 ± 38	134 ± 52	0	0	71 ± 43	92 ± 29	97 ± 45	125 ± 26	0	19347 ± 1380	2544 ± 128	0	74 ± 25	68 ± 40	97 ± 46	0
Cu	9232 ± 339	6458 ± 218	10338 ± 377	159266 ± 4782	0	0	201 ± 47	13051 ± 379	3520 ± 114	41 ± 19	531908 ± 32818	21729 ± 616	52 ± 21	1914 ± 89	0	0	78173 ± 993
Ni	850 ± 94	538 ± 74	1041 ± 104	0	638 ± 104	689 ± 105	396 ± 72	539 ± 81	107 ± 50	0	0	458 ± 88	0	167 ± 55	561 ± 96	326 ± 95	0
Co	308 ± 80	156 ± 63	243 ± 77	137 ± 88	404 ± 100	498 ± 102	302 ± 84	0	103 ± 63	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe	0	0	0	349 ± 151	0	0	2058 ± 215	855 ± 161	2423 ± 168	2823 ± 157	0	12154 ± 485	2489 ± 157	3254 ± 203	0	0	1255 ± 117
Mn	2366 ± 228	1555 ± 181	2197 ± 225	1185 ± 228	1584 ± 238	1417 ± 220	16431 ± 645	1649 ± 210	2768 ± 268	10336 ± 377	0	1575 ± 228	8781 ± 373	4970 ± 336	1440 ± 223	1426 ± 234	2428 ± 219
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	62 ± 39	0	0	132 ± 71	0	781 ± 54	0	0	0
Ti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	501 ± 75	0	0	410 ± 72	0	0	0	190 ± 74
Ca	9043 ± 1100	7447 ± 927	7205 ± 1048	9888 ± 1307	0	0	23165 ± 1233	8368 ± 1108	75001 ± 1729	63151 ± 1213	6678 ± 1345	10576 ± 1238	55032 ± 1161	47808 ± 1519	0	4131 ± 1080	31055 ± 1105
K	36587 ± 1537	41333 ± 1420	31745 ± 1433	67506 ± 2421	29417 ± 1373	28243 ± 1362	29666 ± 1000	58488 ± 1871	17304 ± 652	19780 ± 543	0	54312 ± 1842	17471 ± 518	25387 ± 804	47247 ± 1818	34554 ± 1698	3717 ± 356
Al	5601 ± 2125	10500 ± 1773	7108 ± 2249	0	0	0	6334 ± 1540	4727 ± 1703	4862 ± 1194	11628 ± 1125	0	12416 ± 1988	9434 ± 1113	4219 ± 1289	3486 ± 2079	0	5364 ± 1111
P	4238 ± 203	2948 ± 184	5023 ± 219	48101 ± 831	15124 ± 291	15835 ± 281	2241 ± 210	3747 ± 192	472 ± 184	399 ± 155	25375 ± 1014	5072 ± 200	490 ± 160	1228 ± 187	12273 ± 275	13769 ± 296	3617 ± 166
Si	184113 ± 1683	297180 ± 2102	200463 ± 1721	80605 ± 1250	191439 ± 1536	201271 ± 1483	370910 ± 2625	265496 ± 1935	389319 ± 2829	405614 ± 2436	2161 ± 872	243982 ± 1852	385069 ± 2590	370348 ± 2575	272911 ± 1803	198301 ± 1727	226450 ± 2305
Cl	4845 ± 155	1699 ± 79	6597 ± 199	751 ± 83	4990 ± 165	4942 ± 161	1140 ± 72	2211 ± 89	755 ± 56	6087 ± 90	0	2784 ± 100	5741 ± 93	0	2506 ± 109	3935 ± 152	4245 ± 87
S	78078 ± 1068	47714 ± 631	87116 ± 1202	46395 ± 879	101672 ± 1395	105914 ± 1390	36688 ± 489	61065 ± 781	7932 ± 145	771 ± 45	23382 ± 956	57992 ± 751	883 ± 50	21063 ± 283	81338 ± 1111	83976 ± 1251	4939 ± 110
Mg	38934 ± 12601	18457 ± 8914	24852 ± 12691	0	29620 ± 12788	28239 ± 12712	0	21713 ± 9854	0	17384 ± 5141	0	0	17093 ± 5263	0	25972 ± 12037	22869 ± 13239	0

Les valeurs sont exprimées en ppm et les marges d'erreur sont notées en italiques.

Compositions chimiques des « bézoards » de la châsse d'Ambazac

Echantillon	Ai12	Ai12	Ai09	Ai09	Db11	Db11	Db02	Db02	Db03	Da14	Cb11
Description	Bezoard non glaçuré	Bezoard glaçuré	Bezoard glaçuré	Bezoard glaçuré							
Sb	0	60 ± 31	0	0	0	105 ± 32	82 ± 31	87 ± 30	0	0	0
Sn	0	168 ± 49	0	57 ± 25	80 ± 35	45 ± 30	0	50 ± 33	223 ± 54	96 ± 34	69 ± 40
Ag	1154 ± 55	2230 ± 77	84 ± 16	54 ± 14	1043 ± 48	401 ± 32	858 ± 47	819 ± 44	1042 ± 62	368 ± 30	445 ± 40
Nb	0	0	0	0	0	0	0	0	7 ± 4	0	0
Zr	20 ± 4	8 ± 3	19 ± 3	18 ± 3	17 ± 4	23 ± 4	17 ± 4	35 ± 4	0	10 ± 5	0
Sr	76 ± 5	69 ± 4	74 ± 4	71 ± 4	110 ± 5	139 ± 6	61 ± 4	58 ± 4	73 ± 6	337 ± 9	187 ± 8
U	9 ± 5	10 ± 5	0	0	11 ± 5	11 ± 5	28 ± 6	18 ± 6	0	0	0
Rb	37 ± 4	44 ± 4	29 ± 3	31 ± 3	53 ± 4	54 ± 5	57 ± 5	65 ± 5	81 ± 7	40 ± 4	37 ± 5
As	73 ± 25	68 ± 24	71 ± 20	60 ± 20	126 ± 36	143 ± 29	74 ± 24	75 ± 24	0	0	0
Pb	511 ± 26	482 ± 25	371 ± 21	391 ± 21	608 ± 27	696 ± 30	452 ± 25	485 ± 25	14765 ± 214	2525 ± 57	6442 ± 119
W	339 ± 54	644 ± 65	659 ± 61	583 ± 58	200 ± 45	201 ± 47	220 ± 50	214 ± 48	0	0	303 ± 63
Zn	52 ± 23	125 ± 26	72 ± 21	82 ± 21	49 ± 22	53 ± 25	45 ± 21	44 ± 21	224 ± 38	154 ± 31	328 ± 41
Cu	7064 ± 141	7426 ± 145	4371 ± 102	4483 ± 102	9553 ± 158	11938 ± 187	5259 ± 123	5533 ± 122	29335 ± 367	24449 ± 290	24617 ± 338
Fe	1535 ± 115	2057 ± 128	2152 ± 124	1822 ± 115	1764 ± 113	1511 ± 110	1949 ± 131	2138 ± 131	2594 ± 137	1963 ± 113	2080 ± 133
Mn	0	0	0	0	0	0	0	0	190 ± 122	0	0
Ti	216 ± 61	135 ± 71	124 ± 50	130 ± 47	175 ± 46	162 ± 55	126 ± 68	159 ± 58	136 ± 61	174 ± 60	200 ± 59
Ca	7519 ± 487	8871 ± 543	6743 ± 435	6441 ± 414	9181 ± 515	10121 ± 585	9044 ± 566	8296 ± 514	6080 ± 556	16164 ± 668	12869 ± 676
K	3514 ± 292	4057 ± 318	2668 ± 245	2957 ± 244	9653 ± 392	9282 ± 426	6070 ± 378	7597 ± 383	28524 ± 725	25316 ± 589	24717 ± 654
Al	4628 ± 911	4820 ± 909	5009 ± 898	5370 ± 877	6016 ± 948	4630 ± 935	3495 ± 961	5628 ± 1013	6721 ± 1022	5260 ± 909	4520 ± 979
P	794 ± 176	603 ± 172	0	293 ± 169	498 ± 173	435 ± 177	828 ± 194	784 ± 196	0	0	472 ± 160
Si	419793 ± 3043	420399 ± 3030	464788 ± 2903	451439 ± 2835	455878 ± 2782	463946 ± 2869	467563 ± 3084	473512 ± 2960	335013 ± 2489	391787 ± 2435	341836 ± 2648
Cl	0	0	0	0	0	0	0	0	865 ± 51	2278 ± 58	1622 ± 61
S	2534 ± 74	2758 ± 75	1775 ± 59	1732 ± 57	4092 ± 86	3763 ± 84	7681 ± 136	9194 ± 150	4412 ± 95	2170 ± 62	3381 ± 87
Mg	0	0	0	0	0	0	0	0	9209 ± 4958	0	0

Les valeurs sont exprimées en ppm et les marges d'erreur sont notées en italiques.

Compositions chimiques des émaux de la chasse d'Ambazac

Echantillon	#115	#116	#117	#118
Description	Email bleu intermédiaire Face D	Email vert Motif B Face D	Email bleu clair et blanc Face D	Email bleu foncé et noir Face D
Sb	23222 ± 580	4645 ± 226	28654 ± 706	6945 ± 231
Sn	262 ± 68	1545 ± 136	232 ± 70	96 ± 49
Ag	92 ± 26	229 ± 46	175 ± 33	182 ± 33
Mo	9 ± 5	0	0	14 ± 5
Nb	14 ± 5	85 ± 9	11 ± 6	10 ± 5
Zr	32 ± 11	0	27 ± 10	42 ± 10
Sr	455 ± 17	364 ± 19	465 ± 17	467 ± 16
U	0	0	18 ± 11	0
Rb	18 ± 7	22 ± 14	14 ± 7	19 ± 6
As	333 ± 171	2201 ± 334	311 ± 143	0
Pb	18003 ± 310	68095 ± 1262	11533 ± 224	6659 ± 149
W	0	0	537 ± 92	280 ± 75
Zn	47 ± 28	355 ± 53	77 ± 34	102 ± 31
Cu	4892 ± 151	29406 ± 506	5877 ± 174	5065 ± 158
Co	2132 ± 164	0	1115 ± 145	1306 ± 200
Fe	10914 ± 359	8798 ± 309	10440 ± 365	34849 ± 668
Mn	7336 ± 425	4408 ± 314	4826 ± 378	5223 ± 370
Cr	0	0	0	79 ± 52
Ti	1061 ± 135	709 ± 114	1371 ± 162	998 ± 139
Ca	57995 ± 1686	44250 ± 1472	67864 ± 1928	60780 ± 1665
K	6371 ± 455	9924 ± 538	8046 ± 533	8981 ± 525
Al	18407 ± 1717	22803 ± 1815	23156 ± 1952	20381 ± 1867
P	315 ± 206	1301 ± 196	855 ± 227	582 ± 226
Si	437395 ± 3004	391173 ± 2656	447861 ± 3099	446605 ± 3100
Cl	5459 ± 109	8140 ± 139	5448 ± 115	8460 ± 147
S	5947 ± 129	17860 ± 252	6996 ± 149	4106 ± 115

Les valeurs sont exprimées en ppm et les marges d'erreur sont notées en italiques.

Localisation des mesures de la composition (XRF) des émaux

