

Diplôme Universitaire de Gemmologie

# Analyse gemmologique sur site de la collection de bijoux antiques du Musée Gallo- romain de Lyon

Sous la direction de M. Panczer.



# I. Table des matières

I.	Introduction :	4
II.	Les objets	5
1.	Le trésor des Lazaristes	5
a.	Les colliers	5
b.	Les bagues	10
c.	Les boucles d'oreilles	11
2.	Le trésor de Boistray	15
a.	Le collier en maille double huit, pierres vertes et perles (fines ?)	15
b.	Les bagues	16
3.	Le trésor de Vaise	18
4.	Le bracelet trouvé dans la Vienne (la rivière)	20
5.	Le collier trouvé dans la Saône,	21
III.	Techniques de caractérisation :	23
1.	La spectroscopie vibrationnelle Raman	23
2.	La réfractométrie à réflexion totale interne :	25
IV.	Les minéraux objets de l'études	27
1.	Les grenats	27
a.	Almandin	28
b.	Spessartite	29
c.	Pyrope	30
2.	Les béryls	32
3.	Les autres	32
V.	Résultats bruts	34
A.	Réfractométrie	34
1.	Trésor des Lazaristes :	34
2.	Bracelet avec camée de Vienne :	40
3.	Trésor de Vaise :	41
4.	Trésor de Boistray :	42
VI.	Interprétations	43
1.	Les grenats :	43
2.	Les émeraudes :	46
3.	Les gemmes siliceuses microcristallines :	47
VII.	Conclusion	49
VIII.	Bibliographie	50
IX.	Annexes :	51

## Remerciements :

Je profite de ce travail pour remercier M. Gérard Panczer Professeur à l'Université Claude Bernard Lyon 1 d'avoir ouvert cette formation en gemmologie à Lyon ainsi que pour la qualité de ses cours.

Je voudrais également remercier toute son équipe et toutes les personnes qui sont intervenues durant la formation.

Je remercie également M. Savay-Guerraz conservateur du Musée Gallo-Romain de Lyon et M. Georges Cardoso pour leur accueil et m'avoir ainsi permis d'accéder à la collection de bijoux antique dont ils sont dépositaires.

Et Mme Corinne Besson pour le travail de description qu'elle a effectué dans sa thèse et dont je me suis servi ici.

Je remercie également mes camarades de formation et tout particulièrement Nathalie et Caroline qui m'ont informé de la présence de la collection de bijoux au musée Gallo-Romain.

Je voulais aussi remercier mon père et surtout ma mère pour sa relecture (même si je sais que toutes les fautes ne sont pas corrigées), pour m'avoir avancé le financement de la formation, et pour m'avoir aidé lors de mes déménagements.

## I. *Introduction :*

Le travail présenté ici est le fruit de deux journées d'analyses avec M. Panczer sur la collection de bijoux antiques du musée Gallo-Romain de Lyon.

Le corpus analysé se compose de bijoux issus de différents trésors (trésor des Lazaristes, trésor de Vaize, trésor de Boistray, trésor de Vienne), trouvés à Lyon ou dans ses alentours, actuellement exposés au Musée Gallo-romain de Lyon (17 rue Clerberg 69005 Lyon). Le musée dessiné par Bernard H.Zehrfuss, situé entre la basilique de Fourvière et le théâtre gallo-romain, fut inauguré en novembre 1975. Les collections présentées sont issues de fouilles effectuées dans la région, mais également de différents dons et legs. Nous verrons avec plus de précisions les provenances des objets analysés dans ce travail lorsque nous présenterons les échantillons.

Le corpus choisi l'a été pour répondre aux questions soulevées par la thèse de Corinne Besson concernant la nature exacte de certaines pierres, mais également parce que le musée souhaite avoir une confirmation sur la nature de toutes les pierres. Pour se faire, des analyses gemmologiques des pierres serties ou percées ont été menées sur le site du Musée et tout particulièrement des analyses spectroscopiques (Raman) non destructives et ne nécessitant pas de contact direct avec les bijoux.

Comme nous le verrons dans l'analyse des résultats, nous obtenons un début de réponse concernant le commerce des grenats.

## II. Les objets

### 1. Le trésor des Lazaristes

Le premier trésor analysé est celui qui contient le plus de pièces. Il s'agit du trésor des Lazaristes trouvé en 1841 au Clos des Lazaristes dans la montée Saint Barthélémy à Lyon (figure 1) par des ouvriers. L'intégralité du trésor entra en 1843 dans les collections de l'actuel musée des Beaux-arts qui était alors le musée d'archéologie de la ville, également nommé le Palais Saint-Pierre. A cette époque, le trésor faisait partie de la collection Comarmond. Il est depuis 1975 exposé dans le Musée Gallo-romain.

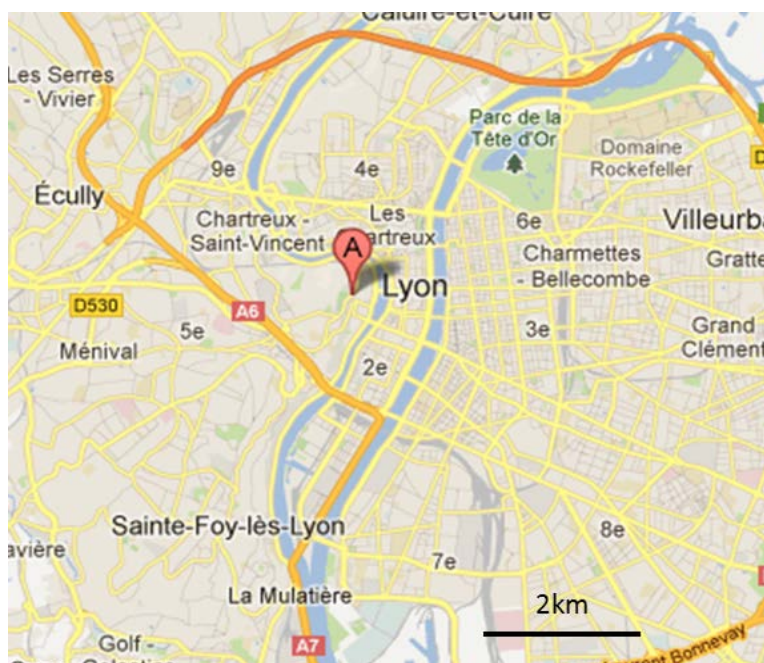


Figure 1: localisation de la montée Saint Barthélémy à Lyon.

#### a. Les colliers

Les colliers présentés ici n'ont pas d'estimation de date car la datation de Corinne Besson<sup>1</sup> repose sur une analyse stylistique qui n'est pas utilisable car ils ne montrent pas d'éléments décoratifs caractéristiques.

<sup>1</sup> BESSON C. (2007) - LA BIJOUTERIE GALLO-ROMAINE EN OR : Recherches sur les techniques de fabrication et essais de typologies., Thèse de doctorat, UNIVERSITE PARIS IV – SORBONNE.

a. 1) Le premier collier est un collier à deux rangées qui présente des perles allongées « en bobine » vertes (malachite ?), rouges (corail ?), et en or (fig. 2, numéros d'inventaire A1764). Il possède des « doubles arceaux à volutes » en or sur lesquels sont attachées les deux rangées de perles. Il mesure 113,3 cm et pèse 58,4 g selon Corinne Besson. Les perles de quelque matériau que ce soit mesurent toutes entre 10 et 5 mm. Le collier n'est pas complet, il lui manque le système de fermeture et des perles (une en malachite et une en corail) se sont détachées. Il est très fragile et présente encore des résidus de terre de l'environnement dans lequel il était enterré. Il pourrait s'agir selon Comarmond d'une parure de cheveux qui se fondait dans les coiffures, dans ce cas y avait-il réellement un système de fermeture ? Les anneaux qui attachent les rangées aux doubles volutes sont coupés : on peut légitimement se demander pourquoi.



Figure 2: a) Photo de l'ensemble du collier à perles vertes et rouges du Trésor des Lazaristes, b) détail.

a. 2) Le collier à pierres violettes (améthyste ?) (fig. 3, numéro d'inventaire A1472) mesure 27,2 cm et pèse 29,5 g. Il est composé de dix pierres violettes serties et taillées en

cabochon en alternance avec des perles fantaisies ressemblant à des cœurs stylisés en or nommées peltas. Sur cette base se rattachent six autres améthystes serties en cabochon pendantes ; on peut donc supposer qu'il en manque quatre, pour que la parure soit complète. Ces pendants sont plus étroits que les cabochons qui forment le corps du collier. Les pierres violettes sont montées « à jour » de façon à ce que la lumière puisse les traverser et ainsi permettre de laisser voir leur translucidité et leur couleur. Le système de fermeture est constitué d'un anneau-fermoir et d'un crochet qui s'insère dans la boucle pour fermer le collier. Le fermoir est lui aussi décoré. En effet, il est en forme de lyre et sa réalisation n'a semble-t-il pas été difficile à réaliser, à en juger par la netteté des contours.



Figure 3: a) Photo du collier à pierres violettes du Trésor des Lazaristes, b) Détail.

a. 3) Le collier à pierres de couleur rouge (grenat ?) (fig. 4, numéro d'inventaire A1471) ressemble au précédent, mais en moins travaillé. Il est composé de onze pierres sertis en clos, la lumière ne traverse donc pas les gemmes comme avec le serti à jour du collier à pierres violettes. Il a également des pendentifs associés au corps du collier, ils sont au nombre de sept. Au total, le collier mesure 25,9 cm et pèse 44,4 g. La symétrie globale du collier est respectée. Le système de fermeture est complet et travaillé. En effet, l'ensemble anneau-fermoir et crochet est précédé de feuille de pruniers créées à partir de feuille d'or travaillées avec la technique du repoussé.



Alors qu'à l'œil et sur les photos prises à l'aide du scanner lors de notre séance d'analyse nous n'observons aucune différence, sur les photos prises par Corinne Besson dans le cadre de sa thèse, nous pouvons voir malgré le sertis clos qu'il y a des grenats plus translucides que d'autres. En effet, certains paraissent rouge translucide alors que la majorité des autres est tellement opaque qu'on ne peut en déterminer la couleur.



Figure 4: a) Collier à pierres de couleur grenat du Trésor des Lazaristes, b) Détail.

a.4) Le collier à pierres bleues et peltes en or (fig. 5, numéros d'inventaire A1472) mesure 24,9 cm de longueur, et pèse 5,4 g. Les saphirs ne semblent pas avoir été taillés. Il doit s'agir de saphirs bruts en tonnelets, érodés dans le lit d'une rivière et trouvés en l'état, que les lapidaires de l'époque ont juste percé de trous pour pouvoir les enfiler. Ce collier n'est pas complet. En effet, il lui manque son système de fermeture, et par conséquent, on peut le supposer, des maillons. Car le collier est trop petit pour être celui d'un adulte. On retrouve sur les différentes parties le composant des traces vertes probablement dues à la terre de l'environnement de découverte.



Figure 5: a) Collier perles bleues et peltes en or Trésor des Lazaristes, b) Détails.

a.5) Le collier avec douze perles allongées bleues (fig. 6, numéro d'inventaire A1473) mesure 32,5 cm et pèse 13,4 g. il s'agit du seul collier formé de perles ressemblant à des perles en pâte de verre. Il semble complet à en juger par la présence du système de fermeture. Les perles présentent toutes un aspect corrodé, dû à la patine du temps et aussi à l'environnement dans lequel elles ont été conservées pendant des centaines d'années. Cela peut aussi expliquer le fait qu'il y en ait deux qui soient cassées.



Figure 6: a) Collier de perles bleues des trésors des Lazaristes, b) Détail d'une perle corrodée.

## b. Les bagues

Le trésor des lazaristes est également composé de quatre bagues ornées d'intailles bleues, et d'une bague qui portait trois pierres dont deux aujourd'hui disparues, la pierre restante étant de couleur verte. Le corps des bagues est en or gravé.

b.1) La première bague étudiée est une bague qui portait trois pierres (fig. 7, numéro d'inventaire A1468). La pierre restante est de couleur verte (émeraude ?) et taillée en cabochon dans un serti clos. Les sertis vides ont les parois intérieures recouvertes d'une sorte de poudre verte. L'origine ainsi que la composition de celle-ci font partie des questions auxquelles nous allons essayer de répondre avec les analyses. Le corps de la bague est décoré à l'extérieur, par une sorte de crête formée par deux feuilles en forme de V, qui s'élève du corps et qui en fait le tour ; on peut aussi signaler que le corps est de forme ovale.



Figure 7: bague trois pierres (trésor des lazaristes)

b.2) Les quatre bagues analysées (fig. 8) sont elles aussi en or, avec un corps massif et un plateau en pierre bleue foncée. Cependant, elles ont des tours de doigts de tailles différentes et des décors différents. On peut préciser ici que ces quatre bagues sont exposées avec le trésor des Lazaristes alors qu'elles ne proviennent pas de celui-ci. En effet, la bague avec l'intaille représentant Apollon Citharè (numéro d'inventaire C. 187 ou A 1871 ) vient de Fesvre et est datée (pour l'intaille) du II<sup>ème</sup> ou du III<sup>ème</sup> siècle ; celle représentant un écureuil (numéro d'inventaire C. 52 ou A 1512) de Ruffieu, datée de la première moitié du III<sup>ème</sup> siècle ; celle représentant un berger ou un chasseur (numéro d'inventaire C. 206), datée soit du I<sup>er</sup> soit du II<sup>ème</sup> siècle, a été trouvée dans la Saône, et l'on ne connaît pas la provenance de

celle qui représente une statue de Mercure (numéro d'inventaire C. 42 ou A 1502) : sa datation est incertaine, mais elle peut dater de la première moitié du III<sup>ème</sup> siècle.



Figure 8: Bagues avec plateau en pierre bleues présentent dans la vitrine du trésor des Lazaristes

### c. Les boucles d'oreilles

Le trésor est également composé de cinq paires de boucles d'oreille, de formes et de composition différentes. Nous commencerons par les deux paires parées d'émeraudes pendantes. Les émeraudes ornant ces boucles d'oreilles ne sont pas taillées, elles sont brutes et sont simplement coupées dans le sens de la largeur (axe a) et percées en leurs centres suivant l'axe c du prisme.

#### c.1) Les boucles d'oreilles avec des pierres vertes :

Ces boucles d'oreilles sont issues de l'ancienne collection Comarmond datant de 1843 du Musée des Beaux-Arts, elles sont entrées dans les collections du musée Gallo-Romain en 1975. La première paire de boucles d'oreilles (fig. 9 a) est ornée d'une pierre verte insérée dans un cadre carré et tenue par une tige en or qui la traverse de part en part, plus un pendant constitué par une émeraude. Ce modèle d'émeraude enchâssée dans un cadre en or se retrouve dans une autre paire de boucle d'oreille non analysée dans ce travail qui est datée du début du III<sup>ème</sup> siècle. En se basant sur cette ressemblance stylistique, on peut supposer que cette paire de boucle d'oreille peut également être datée du III<sup>ème</sup> siècle. Elles mesurent 56.3 mm et 59.7 mm et pèsent 6.7 g et 6.9 g. On remarque que les ardillons sont déformés et qu'il

y a la présence de coups sur l'ensemble des boucles d'oreilles. On remarque également que l'un des pendants en pierre verte est cassé dans le sens de la largeur.

La seconde paire de boucle d'oreille (fig. 9 b) ornée de pierres vertes en comporte trois par boucle. Les dimensions des boucles d'oreilles sont en leur maximum de largeur 23.44 mm et de hauteur 49.1 mm. Elles pèsent pour la plus lourde 7.8 g et pour la plus légère 7.1 g. Chacune d'elle est composée d'une pierre verte fixée sur un cadre et de deux autres pendants qui entourent un pendant qui se termine par une perle. Les deux pierres suspendues sont fixées à une barrette horizontale par des branches qui à mi-longueur présente un serti clos circulaire avec un cabochon de pierre rouge. La branche qui permet de suspendre la perle comporte à sa mi- longueur un serti clos de forme ovale renfermant une pierre verte taillée en cabochon.



Figure 9: Deux paires de boucles d'oreilles ornées de pierres vertes du trésor des Lazaristes, a) Première paire décrite, et b) Seconde paire.

### c.2) Les boucles d'oreilles ornées de perles bleues :

Il y a trois paires de boucles d'oreilles ornées de perles bleues dans le trésor des Lazaristes. La première (fig. 10 a, numéros d'inventaire A 1479 et A 1480) est composée d'une perle en pâte de verre enchâssée un cadre en or auquel est suspendu une branche qui en sa mi- longueur présente un serti clos dans lequel se trouve une pierre verte taillée en cabochon pour l'un, et vide pour le second. Les dimensions maximales pour cette première

paire de boucle d'oreille sont de 58,28 mm de hauteur et le diamètre du cadre est de 12,94 mm et pèse 4,7 g.

La seconde paire de boucle d'oreille (fig. 10b, numéros d'inventaire A 1477 et A 1478), cassée et incomplète, présente deux pendants bleus, suspendu à un cadre circulaire qui accueille en son centre un cabochon qui semble être la même matière. Cette paire a été découverte en 1855 dans l'arrondissement de Saint Marcellin dans la commune de Vinay et a été vendu au Musée par M. Cottin. Ses dimensions sont au maximum de 48,92 mm de hauteur et le cadre présente un diamètre extérieur maximum de 20,43 mm. La plus lourde pèse 6,6 g. Une boucle a son ardillon désolidarisé de son cadre et de ses pendants, alors que l'autre est toujours soudée à son ardillon, mais il lui manque un pendent.

La troisième paire de boucle d'oreille (fig. 10c) analysée n'est pas décrite dans la thèse de Corinne Besson. Il s'agit d'une paire très simple, composée d'une pierre taillée en cabochon, rouge pour une boucle et blanche pour l'autre. Ce simple cadre sert de support à une petite perle en forme de goutte bleue. La hauteur de la plus grande boucle d'oreille est de 22 mm et le diamètre maximum est de 5 mm.



Figure 10: Les trois paires de boucles d'oreilles ornées de perle bleues du trésor des Lazaristes, a) Première paire de boucle d'oreille, b) Seconde paire de boucle d'oreille, c) Troisième paire de boucle d'oreille

d). La pendeloque frontale :

Cet objet (fig. 11, numéro d'inventaire A 1483) serait une partie d'un ensemble dont il existerait des représentations sur différents supports<sup>2</sup> et daterait du III<sup>ème</sup> siècle. La chaîne qui compose l'essentiel de ce bijou mesure 89,64 mm de longueur, 14,68 mm de largeur et pèse 17,6 g. C'est une chaîne colonne à douze pans dont certains maillons sont usés et qui se termine sur un serti clos qui enchâsse un grenat taillé en cabochon. Ce serti sert de support à une charnière qui elle-même supporte une barrette horizontale avec deux pendants constitués par deux émeraudes brutes. La présence d'une bélière nous indique qu'effectivement cet objet doit faire partie d'un ensemble plus important.



Figure 11: Pendeloque frontale du trésor des Lazaristes a) vue globale, b) Détail du grenat et des émeraudes.

<sup>2</sup> BESSON C. (2007) - LA BIJOUTERIE GALLO-ROMAINE EN OR : Recherches sur les techniques de fabrication et essais de typologies., Thèse de doctorat, UNIVERSITE PARIS IV – SORBONNE.p320.

## 2. Le trésor de Boistray

Ce trésor fût découvert sur les terres du château de Boistray dans la ville de Saint-Georges-de-Reneins dans le Rhône (figure 12) en 1901. Il a été acquis par le musée en 1966.

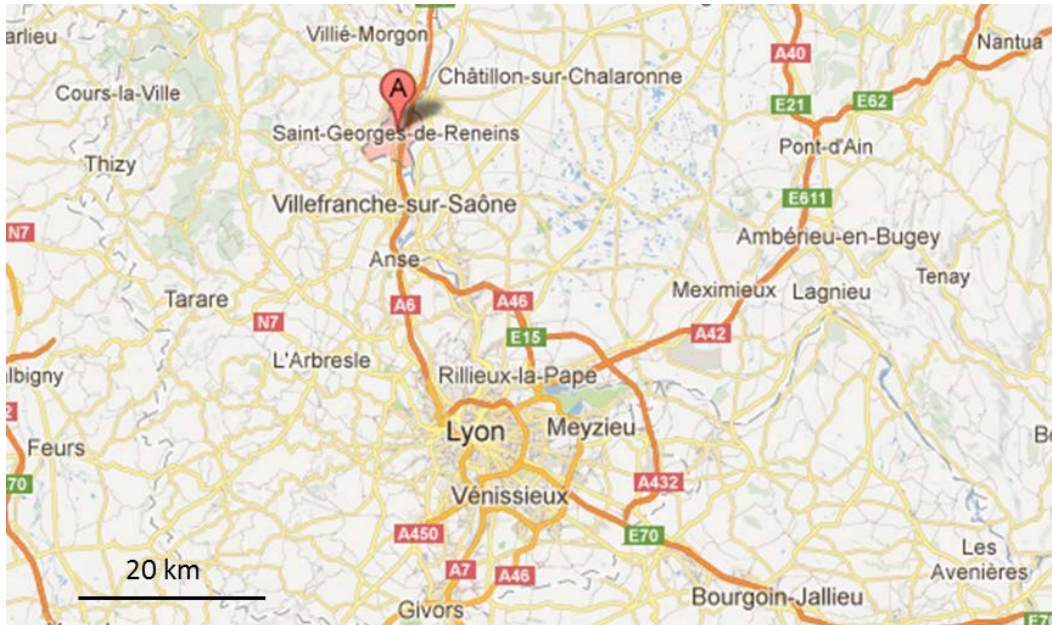


Figure 12: localisation de Saint-Georges-de-Reneins dans le Rhône.

- a. Le collier en maille double huit, pierres vertes et perles (fines ?).

Comme son intitulé l'indique, ce collier (fig. 13) est composé d'une chaîne en or (dont la maille est dite double huit), de trois pierres vertes (émeraudes ?) et de deux perles (fines ?) (numéro d'inventaire 1966.7). Il mesure 48 cm et pèse 6 g, et date de la seconde moitié du III<sup>ème</sup> siècle. La longueur, la symétrie et la présence du fermoir indique qu'il y a de très fortes probabilités pour que le collier soit entier. Comme pour le collier paré de pierre bleues (fig. 4), il semble ici que les pierres vertes n'aient pas été taillées, mais simplement coupées dans le sens de l'axe c de façon à garder l'aspect hexagonal des cristaux bruts. Elles sont très opaques avec de nombreuses inclusions et l'on peut voir un dépôt de terre à leur surface.





Figure 13: Collier en maille double huit, pierres vertes et perles du trésor de Boistray.

#### b. Les bagues

Le trésor de Boistray est essentiellement composé de bagues ornées de pierres bleues foncées et rouges intaillées. Cependant, nous allons seulement présenter les bagues qui ont fait l'objet d'analyse, c'est-à-dire les bagues 1, 2, 4, 5, 7, 8, et 9.

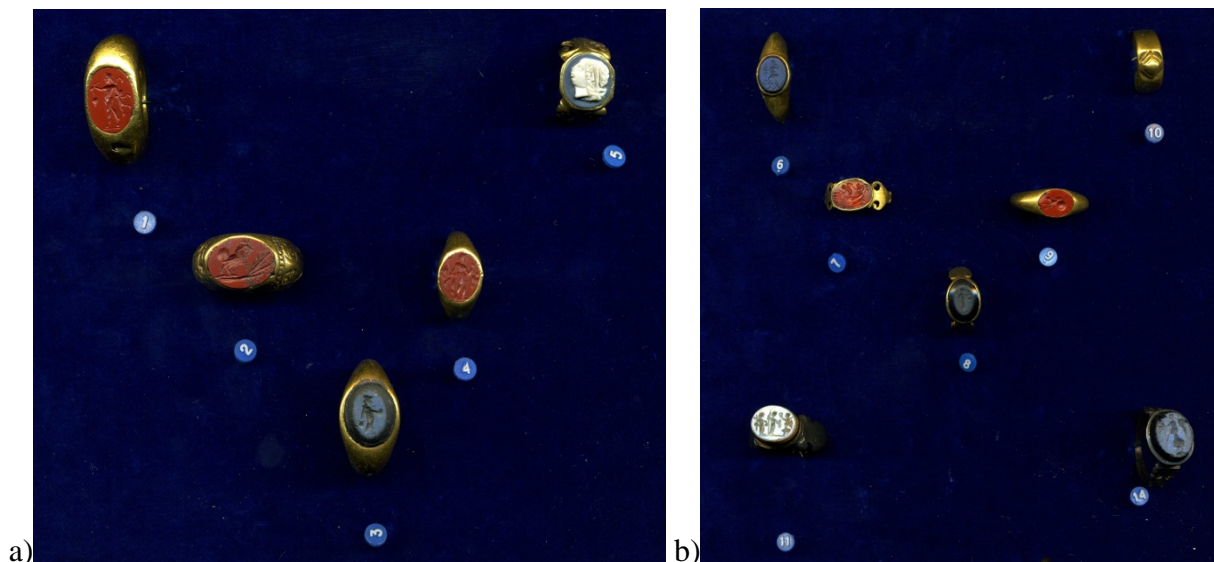


Figure 14: Ensemble des bagues du trésor de Boistray, a) Bagues 1 à 5, b) Bagues 6 à 14 (sans les bagues 12 et 13)

Nous allons commencer par la bague 5 (fig. 14 a, numéro d'inventaire 1966.7 992) datée de la seconde moitié du III<sup>ème</sup> siècle, qui est une bague ornée d'un camée blanc sur fond bleu. Le diamètre extérieur de l'anneau est de 21,38 mm, la hauteur de l'épaulement est de 10,34 mm et les dimensions du camée sont de 12,64 par 10,68 mm. Le serti clos qui enchâsse le camée est de forme octogonale. Le camée représente une tête de profil gauche avec les cheveux attachés par un bandeau.

La bague 8 (fig. 14 b, numéro d'inventaire 1966.7 261), présentant un plateau en pierre bleue décoré par une intaille, est datée de la seconde moitié du III<sup>ème</sup> siècle. Le diamètre extérieur maximal est de 20,7 mm, l'intaille est large de 12,32 mm et longue de 8,48 mm. Elle représente un satyre avec un chapeau qui tient dans sa main droite une grappe de raisin et dans sa main gauche un pendum.

Les bagues 1, 2, 4 (fig. 14 a), et 7, 9 (fig. 14 b) sont des bagues ayant un plateau en pierre rouge intaillé et datent toutes de la seconde moitié du III<sup>ème</sup> siècle. La bague 1 (fig. 12a, numéro d'inventaire 1966.7 255) a comme dimensions extérieures maximales 30,72 mm et l'intaille est large de 15,4 mm et longue de 10,56 mm. Elle représente un satyre de profil gauche qui tient dans sa main droite une grappe de raisin et dans la main gauche un pendum.

La bague 2 (fig. 14 a, numéro d'inventaire 1966.7 754) dont le diamètre maximal extérieur est de 26,7 mm a une intaille large de 15,4 mm et longue de 11,74 mm qui représente le profil gauche d'un coq marchant sur une branche.

La bague 4 (fig. 14 a, numéro d'inventaire 1966.7 915) a un diamètre extérieur maximal de 20,96 mm, l'intaille est large de 11,82 mm et longue de 9,22 mm. Elle représente un homme rentrant de la chasse, qui de sa main gauche porte un lapin et dans sa main droite un pendum avec un autre gibier.

La bague 7 (fig. 14 b, numéro d'inventaire 1966.7 353) a pour dimensions maximales 20,57 mm pour le diamètre extérieur. La plaque a pour largeur 11,66 mm et pour longueur 8,28 mm. Elle représente la proue d'un bateau, tiré par des dauphins, au-dessus duquel vole deux amours.

La bague 9 (fig. 14 b, numéro d'inventaire 1966.7 915) a pour dimensions maximales 23,08 mm, l'épaulement est haut de 5,36 mm et l'intaille est large de 10,16 mm et longue de 7,4 mm. Le dessin représente un animal (chien ou lapin) qui sort d'un coquillage.

### **3. Le trésor de Vaise**

Le trésor de Vaise est une parure complète en or et pierres vertes. Trouvé en 1992 dans la Zone Activité Commerciale de Vaise près de Lyon dans le Rhône (fig. 15), ce trésor a rejoint les collections du musée en 1993. Cependant, une grande partie de celui-ci ayant déjà été analysée précédemment par l'université Claude Bernard Lyon I, nous ne nous sommes attardés qu'à l'analyse d'un ensemble de boucle d'oreille.

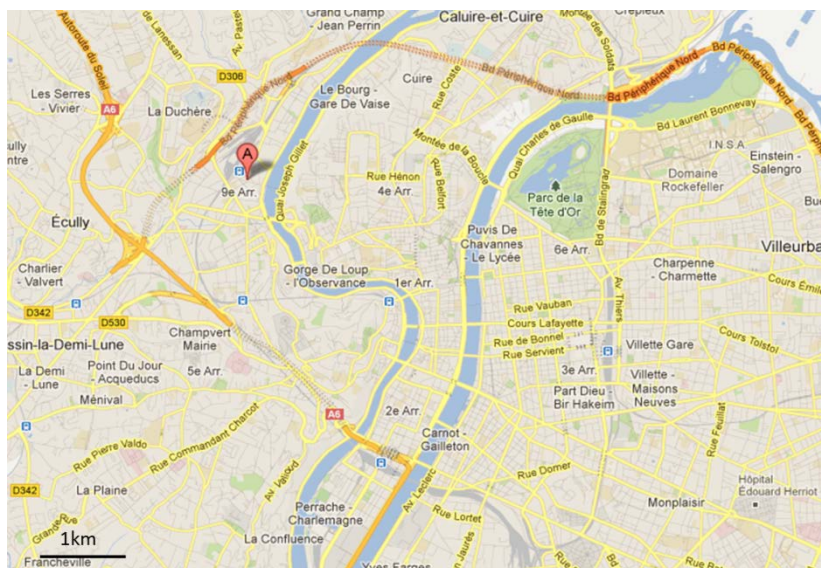


Figure 15: Localisation de Vaise dans la ville de Lyon.

Cette paire de boucle d'oreille en forme de croix (figure 16, numéros d'inventaire 93 1 201 4 et 93 1 201 5) datée du III<sup>ème</sup> siècle a été trouvée en 1992 dans la zone d'activité commerciale de Charavay (à Lyon) et est entrée dans les collections du musée en 1993. La boucle la plus grande mesure 41,18 mm de hauteur, 21,46 mm de largeur, et pèse 3,4 g. Le cadre en or est très travaillé de façon à former les pétales d'une fleur. Le cœur de la fleur est formé par une perle. Ce cadrant sert de support à un losange en or qui enserme une pierre rouge taillée en cabochon. C'est à partir de ce losange en or que partent trois branches qui permettent la suspension d'une pierre verte et de deux perles.



Figure 16: Boucles d'oreilles du trésor de Vaise.

Un collier (fig. 17) est rattaché à ce trésor alors qu'il n'a pas été trouvé en même temps que les autres. En effet, il a été trouvé dans un cercueil en plomb dans le sous-sol d'une brasserie de Lyon, quai de Vaise, dont le directeur le donna au musée. Il mesure 46,3 cm et pèse 8,8 g. Il est constitué de trente-deux pierres, quatorze pierres rouges (grenat), onze bleues (saphirs), six vertes (béryls), et une toute petite perle fine quasiment disparue.



Figure 17: Collier du trésor de Vaise.

#### 4. Le bracelet trouvé dans la Vienne (la rivière).

Ce bracelet (fig. 18, numéro d'inventaire 1971-5) trouvé dans la Vienne est entré dans les collections du musée en 1971 : il appartenait à la collection Bish au musée de Grenoble. Il pèse 48,9 g et a un diamètre de 61.92 mm lorsque le médaillon est de profil et de 73.64 mm lorsque le médaillon est de face. Il date de la fin du I<sup>er</sup> siècle ou du début du II<sup>ème</sup> siècle. Il est

composé d'un corps de bracelet dont le décor est décoré par trois brins torsadés qui se termine par des manchons soudés à un médaillon ovale. Ce dernier montre une intaille sculptée dans une pierre blanchâtre sur laquelle on peut voir des petits ronds rouges derrière la tête du personnage gravé. Le motif représenté est une femme debout de profil portant un diadème formant des rayons autour de sa tête, semblable à ceux du soleil. Elle est debout devant une petite colonne et tient un arc et des flèches. On peut noter ici que ce bracelet est de type jonc, mais qu'il ne s'ouvre pas, les deux bouts du corps étant soudés au médaillon.



Figure 18: Bracelet trouvé dans la Vienne, orné d'un camée.

## 5. Le collier trouvé dans la Saône,

Ce collier (fig. 19, numéro d'inventaire X539 ou MD 231) fut trouvé dans la Saône dans le département du Rhône et entra dans la collection du musée en 1864. Il mesure 38 cm et pèse 47,5 g. Le corps du collier est composé de vingt et une pierres rouges (grenat ?) (numérotés de G1 à G21, en commençant la numérotation au crochet fermoir, et en la finissant à la boucle fermoir, dans la partie analyse des résultats), mais on peut constater qu'il en manque deux à en juger par les espaces vide sur la maille. De plus, quinze pendants de même nature, mais en forme de gouttes (nommés GG et portant le numéro du grenat auquel il est accroché, dans la partie analyse des résultats) sont présents, et là aussi, il en manque deux, car les tiges sont présentes, mais ne supportent aucunes pierres. Il a conservé son fermoir. Les

pierres utilisées sont des pierres rouges foncés, de forme plate (en moyenne 2,9 mm d'épaisseur) et circulaire (6,22 mm de diamètre pour la plus petite et 9,24 mm de diamètre pour la plus grande).



Figure 19: Collier trouvé dans la Saône orné de pierres rouges lenticulaires, a) vue générale, b) détail.

Après avoir présenté les différents bijoux ornés des pierres que nous avons analysées, nous allons maintenant présenter les méthodes analytiques employées puis, les différentes propriétés des pierres analysées en nous basant sur les résultats de l'observation macroscopique effectuée par Corine Besson dans le cadre de sa thèse. Cette observation nous a donnée des pistes concernant les minéraux utilisés dans la conception des bijoux présentés. Nous commencerons par celles qui sont le plus utilisées pour l'ornementation des bijoux étudiés à savoir les pierres rouges qui peuvent être des grenats.

### III. Techniques de caractérisation :

La majorité des analyses effectuées dans le cadre de ce travail a été faite grâce à la spectrométrie Raman. Cependant, nous avons également utilisé le réfractomètre pour analyser les émeraudes lorsque les analyses Raman ne permettaient pas d'obtenir des résultats exploitables. Nous avons également utilisé la technique d'absorption qui permet de déterminer les agents chromogènes dans un matériau.

#### 1. La spectroscopie vibrationnelle Raman

Nous allons commencer par expliquer la technique d'analyse la plus utilisée dans ce travail, la spectrométrie Raman. C'est en effet une analyse spectroscopique non destructive et ne nécessitant pas un contact direct avec la pierre à analyser. Elle permet de mettre en évidence les modes de vibration des liaisons interatomiques du matériau analysé et donc de sa structure. Pour cela nous avons utilisé un laser à 780 nm (qui situe le faisceau dans le proche infrarouge), et lorsque la fluorescence était trop importante, nous avons utilisé un laser 532 nm le faisceau est de couleur verte (fig. 20) mais il n'a pas permis d'obtenir des résultats exploitables.

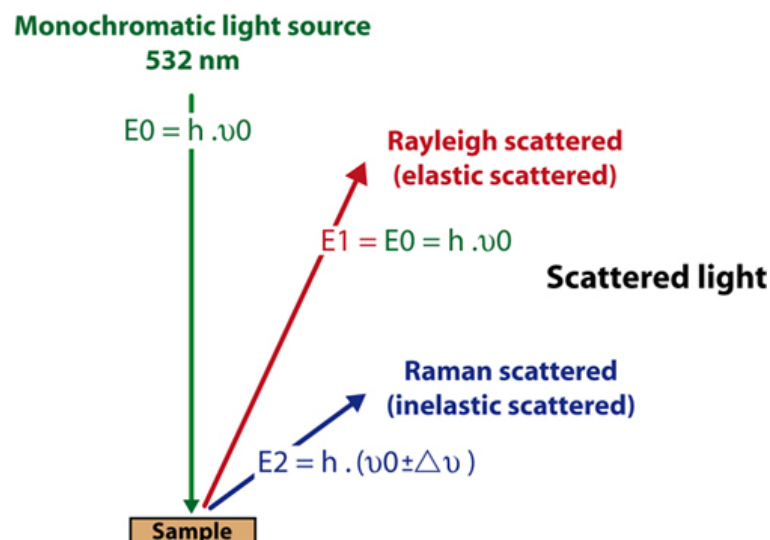


Figure 20: Schéma explicatif de l'effet Raman<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> <http://geosystemes.univ-lille1.fr/geosystemes/spip.php?article79>



La figure 20 nous permet de voir que lorsqu'un rayon monochromatique interagit avec un échantillon, deux sortes de rayons sont rétrodiffusées, les rayons de la diffusion Rayleigh (qui possède la même énergie que les rayons du faisceau incident), et les rayons de la diffusion Raman. Le schéma ci-dessus nous indique également les formules pour calculer les énergies des rayons incidents. Le faisceau Raman est recueillies par des détecteurs extrêmement sensibles car les radiations Raman sont d'intensité très faible et ne représentent qu'une infime partie des radiations émises (1 sur  $10^7$ ).

Comme nous l'avons dit précédemment, nous avons utilisé deux lasers d'énergie différente, car la récupération des signaux Raman est très délicate à cause notamment de la fluorescence. L'intensité de l'émission de fluorescence dépend de la nature du matériau analysé, mais aussi de la longueur d'onde du faisceau laser.

Le spectromètre Raman avec un laser à 532 nm est un spectromètre de marque Ocean Optics QE 65000 (fig. 21). Le spectromètre Raman ayant un laser à 785 nm est un spectromètre de la même marque.



Figure 21: Analyse Raman avec le laser à 532 nm du collier orné de grenats serti du trésor des Lazaristes.

Pour les analyses Raman, nous avons utilisé un faisceau laser continu de 1 mm de diamètre ; le temps d'acquisition des spectres était de 5 secondes.

Les résultats ainsi obtenus sont traités par le logiciel Cristal Sleuth, qui permet la représentation de spectre, d'enlever le bruit de fond, l'identification du matériau analysé et

propose différentes formules chimiques identifiées du matériau ainsi que le pourcentage de correspondance des formules présentes dans le logiciel par rapport à celle du matériau.

Les références des formules chimiques de Cristal Sleuth peuvent être entrées dans la base de données du site internet ruff.info qui permet d'avoir des détails sur la composition des matériaux, le système de cristallisation, ainsi que les spectres Raman obtenu en fonction de différentes polarisations du laser, mais également, le spectre infrarouge et également celui obtenus par diffraction de rayon X.

## 2. La réfractométrie à réflexion totale interne :

Un réfractomètre permet de mesurer l'indice de réfraction d'une gemme. Celui-ci traduit la différence entre la vitesse de la lumière dans l'air et la vitesse à laquelle se déplace la lumière dans la gemme à analyser.

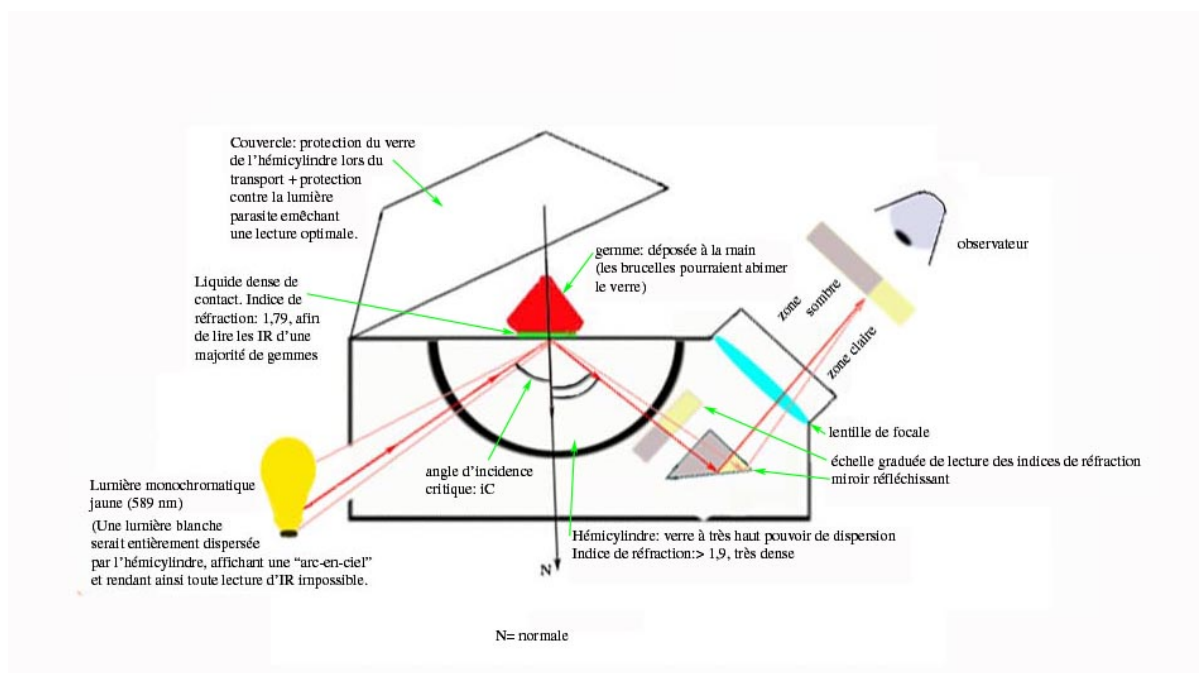


Figure 22 : Schéma d'une coupe de réfractomètre.

Ce schéma (fig. 22) nous explique comment fonctionne un réfractomètre et le trajet suivi par la lumière à l'intérieur du réfractomètre. Nous voyons que la lumière entre par un orifice situé à l'arrière de l'appareil ; elle est ensuite dirigée vers la fenêtre (qui préalablement a reçu une goutte de liquide d'indice de réfraction) sur laquelle est posée la gemme. Elle est ensuite renvoyée dans la seconde partie de l'appareil où elle traverse une échelle graduée qui permet de lire le résultat.



Figure 23 : Réfractomètre du laboratoire de gemmologie de Lyon qui permet la lecture de l'indice de réfraction par la lecture cabochon.

Pour les analyses des émeraudes, nous avons pratiqué la « lecture cabochon » (fig. 23). Cette lecture se fait en regardant le résultat en décollant son œil de l'oculaire jusqu'à ce qu'on voit une petite bulle qui indique l'indice de réfraction de la gemme.

## IV. Les minéraux objets de l'études

### 1. Les grenats

Le terme de grenat est un terme minéralogique qui désigne des gemmes de la famille des néosilicates qui cristallisent dans le système cubique. Ils ont différentes couleurs<sup>4</sup>, la plus connue est le rouge et ses nuances. Les grenats les plus utilisés sont majoritairement ceux de couleur rouges, qui se répartissent majoritairement dans trois sous-groupes (voir fig. 24), à savoir les almandins, les pyropes, et les spessartites, (ils sont également les types de grenats utilisés dans les pièces analysées). Nous allons donc présenter les différentes propriétés des formes brutes des trois variétés de grenats utilisés.

Les différentes variétés de grenat peuvent être identifiées grâce à l'analyse de la pierre par la spectrométrie vibrationnelle Raman. En effet le Raman permet de mettre en évidence les modifications de structure d'une solution solide. Autrement dit à chaque pôle pur grenat correspond un spectre Raman type (tableau 1). Les compositions intermédiaires ont un spectre intermédiaire entre ceux des pôles purs.

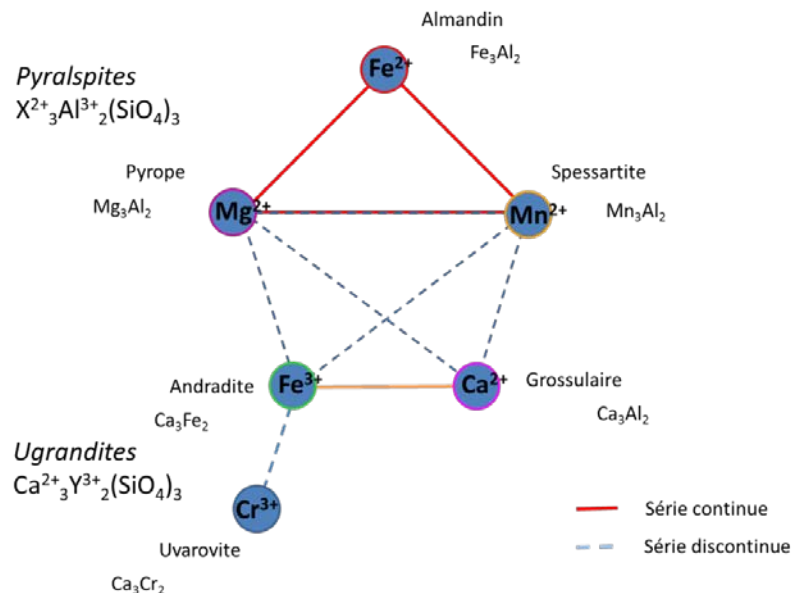


Figure 24: Classification des grenats en fonction des pôles.

<sup>4</sup> SCHUMANN W, Guide des pierres précieuses Pierres fines et ornementales, Delachaux et Niestlé Paris 2009. P120.

Tableau 1: Tableau comparatif des trois pôles de grenat présent dans ce travail

Nom du pôle	Formule	Spctre
Almandin	$\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	
Pyrope	$\text{Mg}_3\text{Al}(\text{SiO}_4)_3$	
Spessartite	$\text{Mn}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	

a. Almandin

Grenat de couleur rouge tirant sur le violet. C'est un silicate aluminoferreux dont la formule est  $\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$  et sa densité de 3,93 à 4,30. Sa structure composée de tétraèdres de silicium, d'octaèdre d'aluminium (fig. 25), liés par des atomes de fer, est la même que celle du pyrope et de la spessartite.

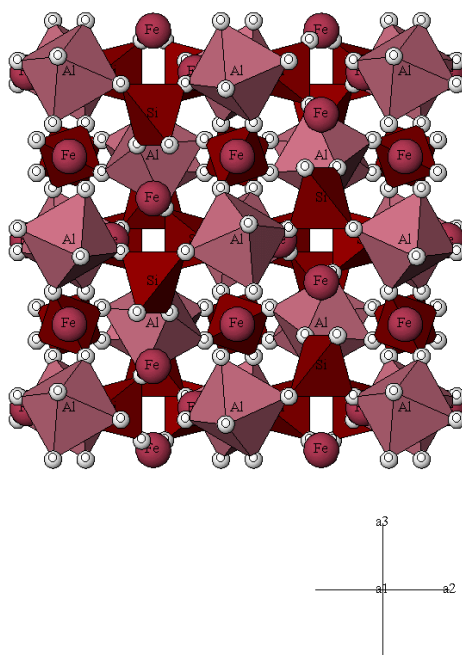


Figure 25: structure chimique de l'almandin

#### b. Spessartite

Grenat dont la couleur est plus proche de l'orange, mais peut aller jusqu'au brun rougeâtre. Il s'agit d'un aluminosilicate manganésien, ayant pour formule  $Mn_3Al_2(SiO_4)_3$ . Sa structure chimique est la même que celles de l'almandin, sauf que les atomes de fer sont remplacés par du manganèse.

La figure ci-dessous (fig. 26) représente l'évolution du spectre de la spessartite (pôle manganésien du grenat) en fonction du pourcentage d'almandin (pôle ferreux du grenat) mélangé à celui-ci.

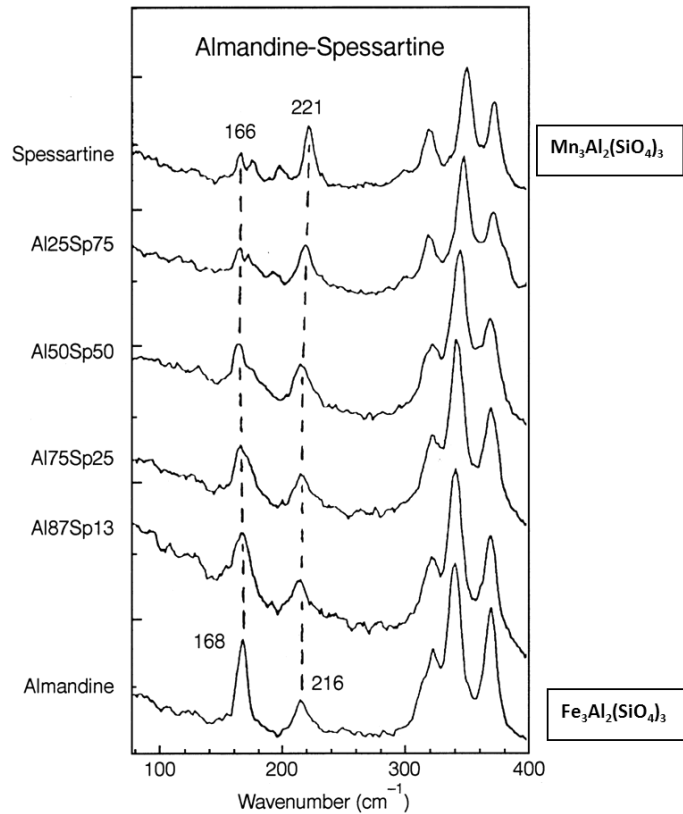


Figure 26: Evolution du spectre Raman de spessartite en fonction du pourcentage d'almandin entre 80  $\text{cm}^{-1}$  et 400  $\text{cm}^{-1}$ .<sup>15</sup>

Nous voyons que le pic situé à  $166 \text{ cm}^{-1}$  se trouvant sur un massif s'affine et se décale légèrement au fur et à mesure que le pourcentage d'almandin augmente, pour se situer à  $168 \text{ cm}^{-1}$  dans le spectre d'almandin pur. Le pic situé à  $221 \text{ cm}^{-1}$  sur le spectre de spessartite pure ayant une intensité plus importante que le pic précédent, voit cette dernière diminuer et le pic se décaler (jusqu'à  $216 \text{ cm}^{-1}$ ) au fur et à mesure que l'importance du pourcentage d'almandin augmente dans le minéral.

### c. Pyrope

Le pyrope est également un grenat rouge mais ayant des nuances de brun, et à la différence, il est le pôle magnésien du grenat sa formule est  $\text{Mg}_3\text{Al}(\text{SiO}_4)$ . Sa densité est différente des autres pôles elle se situe entre 3,62 et 4,30. Sa structure atomique est cependant

<sup>15</sup> B.A.Kolesov & C.A.Geiger « Raman spectra of silicate garnets » Phys Chem Minerals (1998) 25:142-151.

identique à celle de l'almandin et de la spessartite, excepté que les atomes de fer sont ici remplacés par des atomes de magnésium.

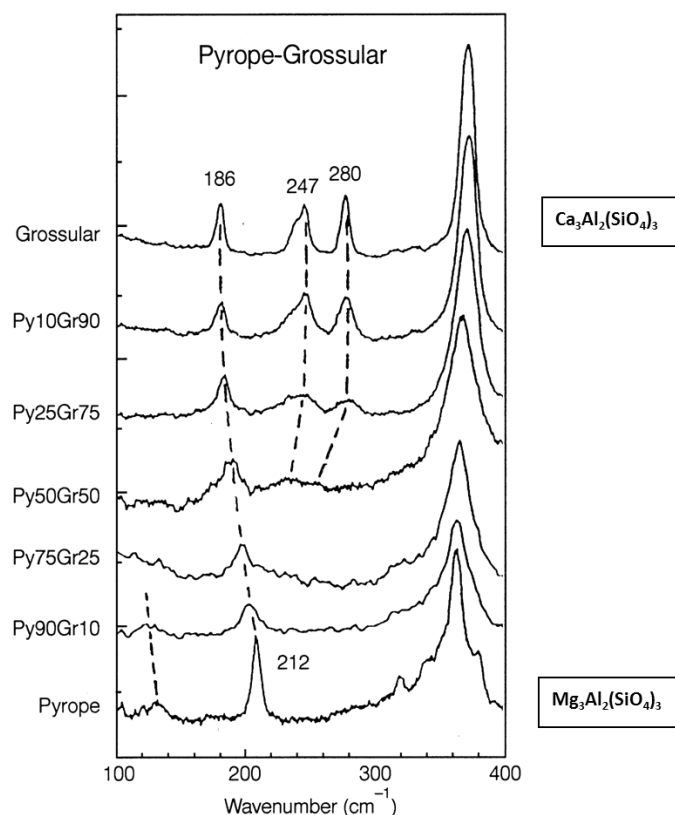


Figure 27: Evolution du spectre Raman du pyrope en fonction du pourcentage de grossulaire<sup>6</sup> entre 100  $\text{cm}^{-1}$  et 400 $\text{cm}^{-1}$ .

Les spectres de la figure ci-dessus (fig. 27) montrent que le pic situé à 212  $\text{cm}^{-1}$  dont l'intensité est assez élevée dans un pyrope pur, s'atténue au fur et à mesure que le pourcentage de grossulaire augmente. Lorsque le minéral est composé à 50% des deux pôles, on voit l'apparition d'un massif qui donnera deux pics distincts, à 247  $\text{cm}^{-1}$  et 280  $\text{cm}^{-1}$ , avec l'augmentation du pourcentage de grossulaire.

<sup>6</sup> B.A.Kolesov & C.A.Geiger « Raman spectra of silicate garnets » Phys Chem Minerals (1998) 25:142-151..



## 2. Les béryls

Les béryls étudiés dans le cadre de ce travail sont des émeraudes. La formule chimique des béryls est  $\text{Al}_2\text{Be}_3[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$  et ils cristallisent dans le système hexagonal (fig. 28). Le gisement d'Habachtal en Autriche, était actif durant l'Antiquité.

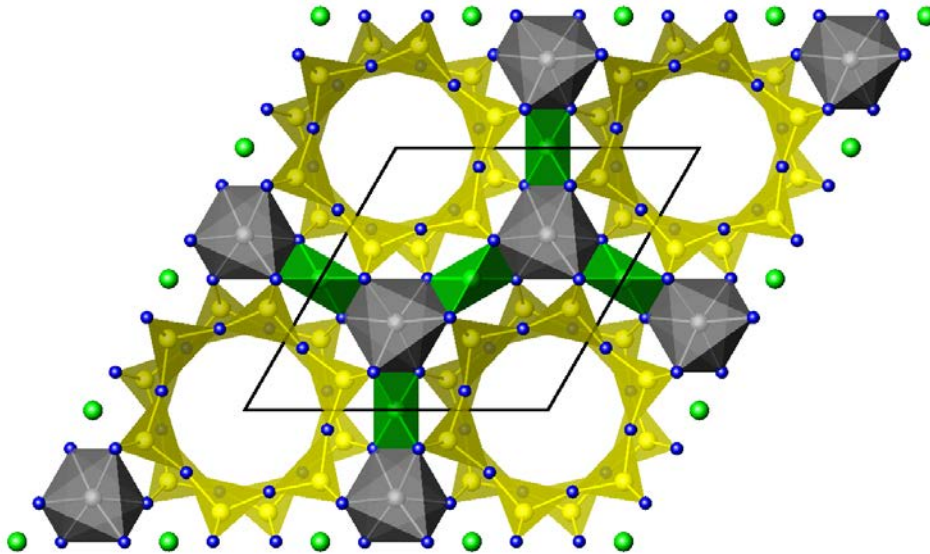


Figure 28: Structure d'un béryl avec le site Si en gris, le site Al en bleu, et le site Be en vert.

Les émeraudes utilisés dans les bijoux analysés n'ont pas fait l'objet d'une taille. Le seul correctif apporté à la gemme brute est la taille des extrémités sur la largeur pour les homogénéiser, et leurs perçages afin de pouvoir les monter sur les bijoux.

## 3. Les autres

Il y a également d'autres gemmes présentes dans les différents trésors comme les saphirs, les perles, la malachite, et le corail. Nous ne ferons pas de présentation aussi développée pour ces gemmes car leur nombre est moins important.

Les saphirs analysés dans le cadre de ce travail sont des saphirs bleus. La formule chimique des saphirs est  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Il s'agit donc d'un oxyde d'aluminium dopé par du fer et du titane, qui cristallise dans le système rhomboédrique et dont la dureté est de 9. Généralement, les saphirs bruts se présentent en forme de petits tonnelets, cependant, les saphirs analysés se présentent sous forme lenticulaires, alors qu'ils ne montrent pas de trace de retouche.

Les perles sont des gemmes issues de la bio-minéralisation de l'aragonite et de la calcite par différents mollusques, généralement des huîtres perlières. Étant un agglomérat de plusieurs couches de nacre, le système de cristallisation est celui des plaquettes d'aragonite c'est-à-dire orthorhombique.

Le corail est également une gemme issue d'une bio-minéralisation composée de calcite et de kératine. La calcite cristallise dans le système rhomboédrique.

La malachite est un carbonate de cuivre de formule chimique est  $\text{Cu}_2[(\text{OH})_2\text{CO}_3]$  et il cristallise dans le système monoclinique.

Le jaspe rouge est un quartz (composé de  $\text{SiO}_2$ ) dont les microcristaux cristallisent dans le système trigonal. Tout comme le niccolo bleu est une variété d'agate rubané, il s'agit également de crypto-quartz.

## V. Résultats bruts

### A. Réfractométrie

Les boucles d'oreilles présentant des émeraudes ont fait l'objet d'analyse avec un réfractomètre grâce à une lecture cabochon car les béryls ne présentant pas de surfaces réellement planes. Les résultats de cette lecture permettent de confirmer qu'il s'agit bien d'émeraudes car les résultats les indices de réfraction sont compris entre 1.577 et 1.583.

### B. Spectrométrie Raman

#### 1. Trésor des Lazaristes :

Collier en perle oranges et vertes (a.1) fig. 2) a été analysé en plusieurs endroits différents, sur des perles vertes et sur des perles oranges. L'analyse d'une perle de corail présente un pic important à  $1085\text{cm}^{-1}$  (fig. 31). Ce mode de vibration est celui de l'aragonite, il s'agit donc ici d'une perle d'origine naturelle.

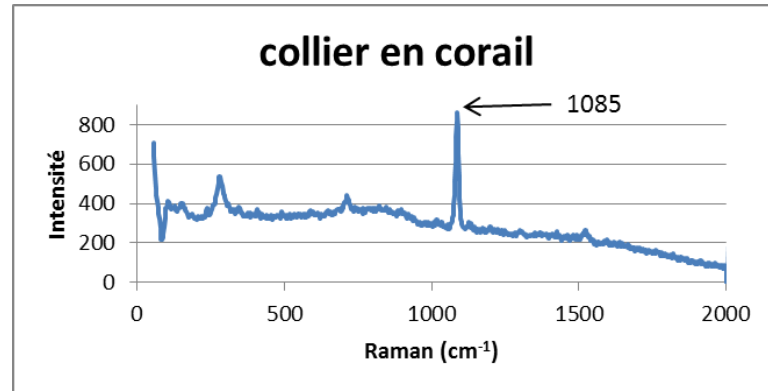


Figure 29: Spectre d'une perle en corail du collier du trésor des Lazaristes.

Nous avons également fait des analyses sur les perles qui présentent un aspect corrodé pour essayer de comprendre la raison de l'altération, les résultats n'ont pas été très concluants (voir graphique dans les annexes).

Collier à pierre violettes (a.2), fig 3). Sur ce collier, plusieurs analyses ont été effectuées, mais les résultats étant similaires, nous n'en avons enregistré qu'un seul. Sur le graphique (fig. 30), nous pouvons voir que le pic principal se situe à  $462\text{ cm}^{-1}$ , ce qui correspond au mode de vibration du quartz. Un quartz violet est une améthyste, il s'agit donc d'un collier orné d'améthystes.

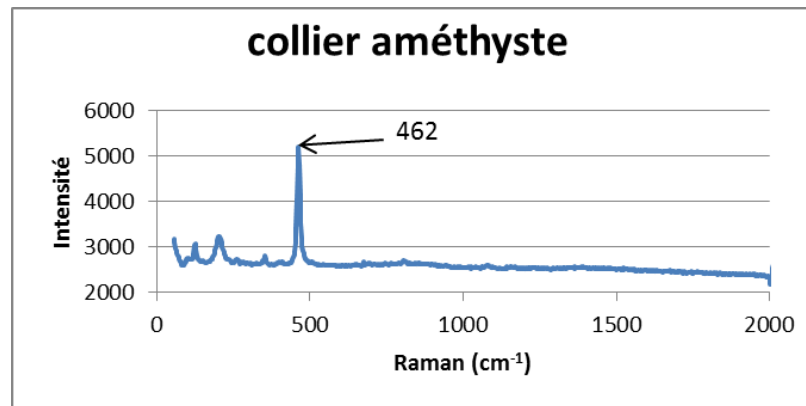


Figure 30: Spectre d'une améthyste du collier du trésor des Lazaristes

Les analyses faites sur le collier de pierre rouges serties (a.3) fig. 4) du trésor des lazaristes présentent des résultats similaires.

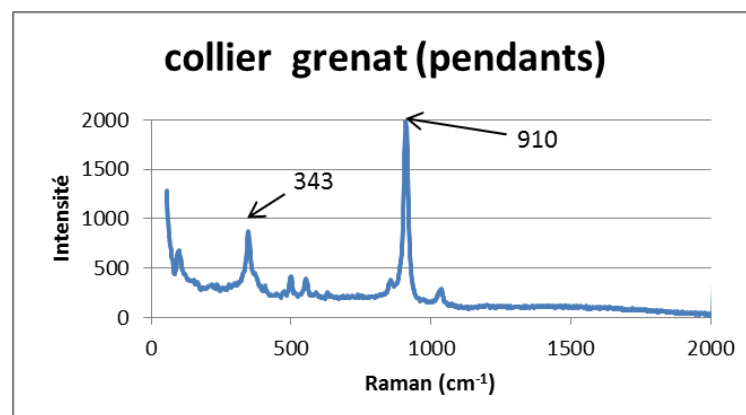


Figure 31: Spectre d'un grenat du collier du trésor des Lazaristes.

Les analyses effectuées sur les cabochons constituant le corps du collier en grenat (fig. 32) se révèlent majoritairement similaire à celles des pendants. Le pic principal se situe à  $910\text{ cm}^{-1}$ , le second à  $343\text{ cm}^{-1}$ . On remarque aussi la présence d'un doublé de pic à  $495\text{ cm}^{-1}$  et  $547\text{ cm}^{-1}$ . On voit aussi la présence constante d'un pic à faible intensité à  $1027\text{ cm}^{-1}$  et un pic plus intense à  $2017\text{ cm}^{-1}$ .

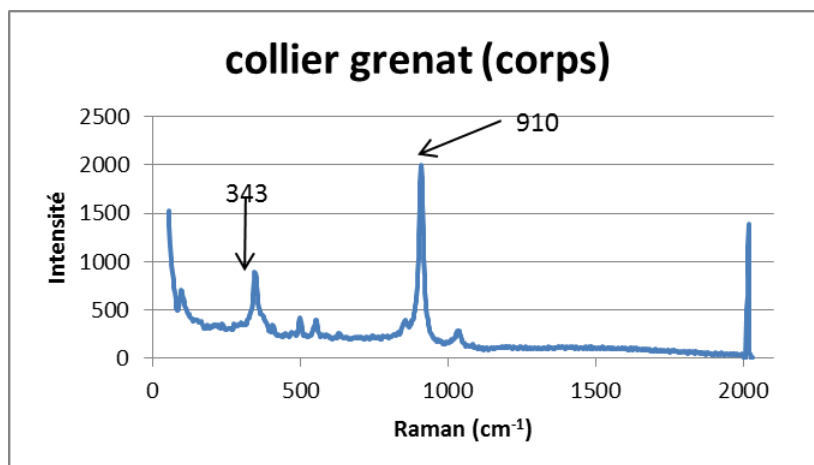


Figure 32: Spectre d'un grenat du corps du collier du trésor des Lazaristes.

Les analyses de la bague portant initialement trois pierres (b.1) fig.7), mais dont il ne reste qu'un cabochon n'offre pas une interprétation facile (fig. 33). En effet, comme pour les boucles d'oreilles et les autres émeraudes, la fluorescence est trop importante pour pouvoir avoir un résultat valable (voir annexes). Cependant, la bande à  $450\text{ cm}^{-1}$  pourrait être interprétée par une structure de type quartz.

Les analyses des autres bagues présentent dans la vitrine du trésor des Lazaristes donnent les mêmes spectres. Les analyses nous permettent de constater aussi la présence d'un pic à  $460\text{ cm}^{-1}$ , caractéristique de la silice cristalline.

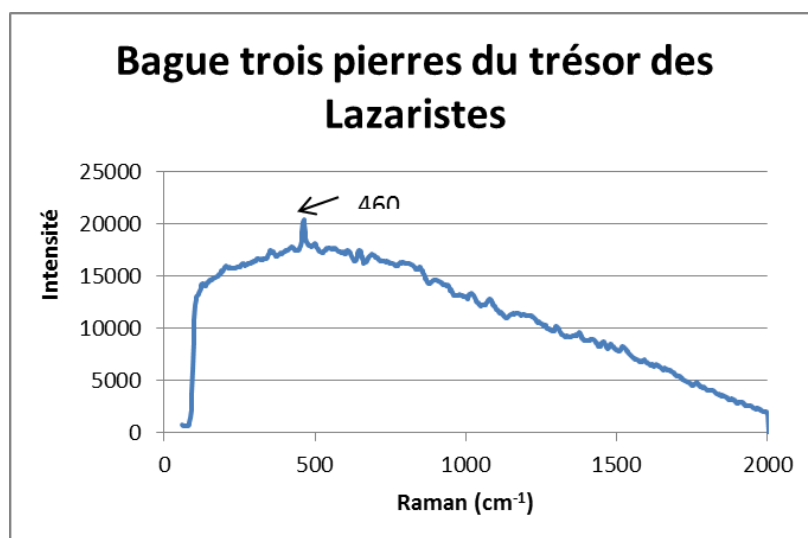


Figure 33: Spectre du cabochon de la bague à trois pierres (fig. 6) du trésor des Lazaristes

## Les boucles d'oreilles du trésor des Lazaristes :

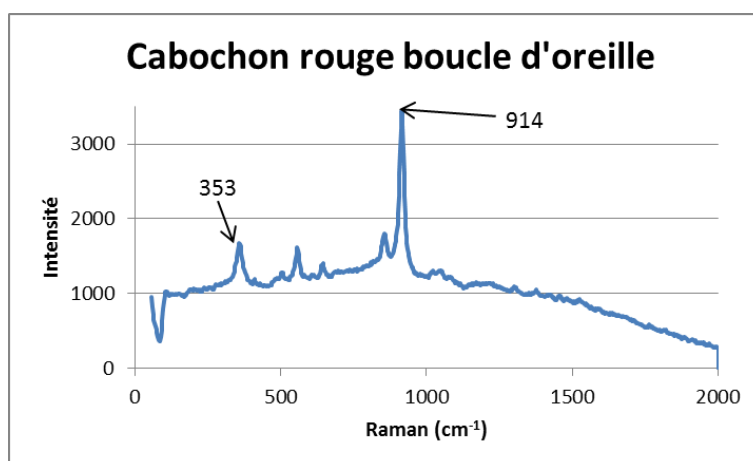


Figure 34: Spectre d'un cabochon rouge des boucles d'oreille du trésor des Lazaristes.

L'analyse du cabochon rouge des boucles d'oreilles du trésor des Lazariste (c.1) fig. 9 b) présente un pic principal 914 cm<sup>-1</sup>, on voit aussi la présence de pics de faible intensité à 353 cm<sup>-1</sup>, 552 cm<sup>-1</sup>, 637 cm<sup>-1</sup> et 850 cm<sup>-1</sup> (fig. 34).

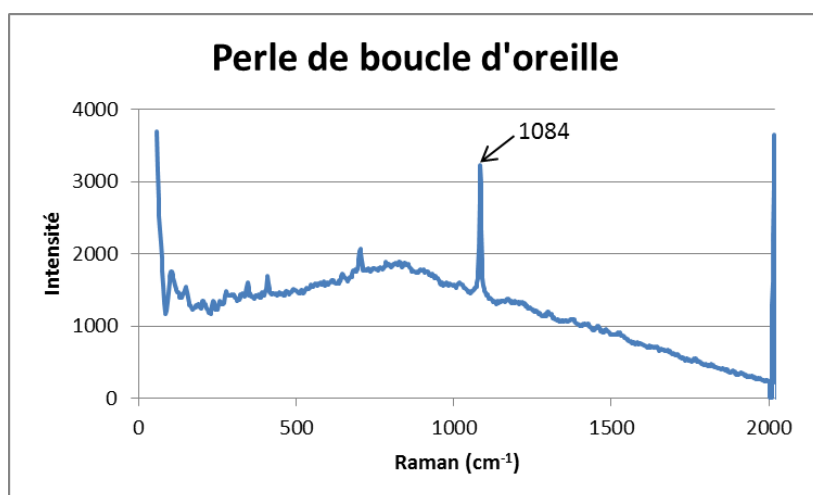


Figure 35: Spectre de la perle de la paire de boucle d'oreille du trésor des Lazariste (figure 8).

Le spectre (fig. 35) obtenu grâce à l'analyse de spectrométrie Raman de la perle présente sur la paire de boucle d'oreille du trésor des Lazariste (c.1) fig. 9), présente un pic principal à 1084 cm<sup>-1</sup>, un pic secondaire à 700 cm<sup>-1</sup>, ainsi que la présence de deux pics à 343

$\text{cm}^{-1}$  et  $407 \text{ cm}^{-1}$ . Le pic à  $1084 \text{ cm}^{-1}$  est caractéristique de l'aragonite, ce qui nous indique que la perle est une perle fine.

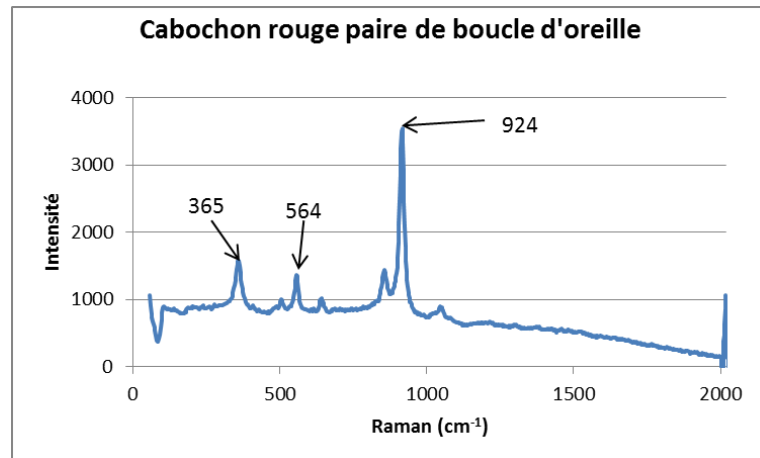


Figure 36: Spectre du cabochon rouge de la paire de boucle d'oreille du trésor des Lazariste (figure 9)

L'analyse du cabochon rouge des boucles d'oreilles (fig. 36) présente un pic principal de forte intensité à  $924 \text{ cm}^{-1}$  auquel est adossé un pic de plus faible intensité à  $860 \text{ cm}^{-1}$  et un autre à  $1018 \text{ cm}^{-1}$ . Nous voyons également des pics de plus faible intensité à  $365 \text{ cm}^{-1}$  et  $564 \text{ cm}^{-1}$ .

L'analyse des boucles d'oreille bleues (c.2), fig. 10) ne nous permet pas d'obtenir un spectre utilisable (fig. 37) pour la définition de la matière première dont sont faites les boucles d'oreilles.

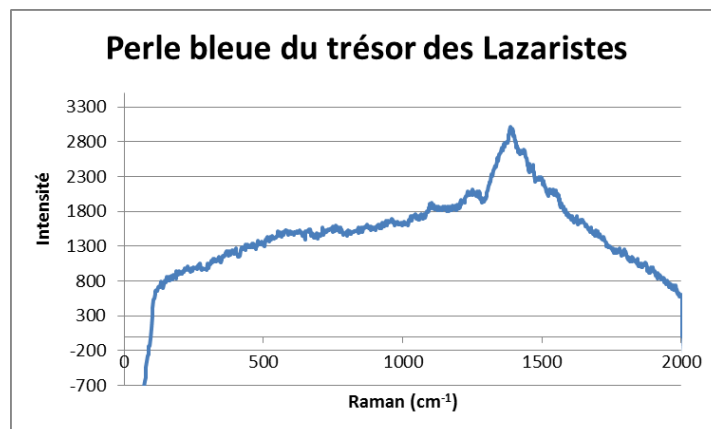


Figure 37: Spectre des perles bleues des boucles d'oreilles du trésor des Lazaristes

La pendeloque frontale (d.fig.e 11):

Les analyses des pierres vertes pendantes ne sont pas exploitables car elles fluorescent trop et saturent les détecteurs (voir annexes) mais le fait que ces pierres ne présentent pas de

signes de retailles et leurs imperfections semblables à celles d'émeraudes déjà analysées nous laisse penser qu'il s'agit bien d'émeraudes. Cependant, les analyses du cabochon en pierre rouge (fig. 34) sont plus lisibles. Là encore, nous retrouvons les pics énumérés précédemment.

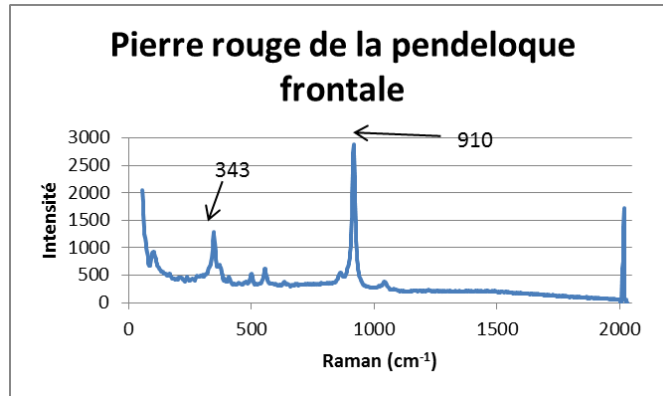


Figure 38: Spectre du grenat de la pendeloque frontale du trésor des Lazaristes.

Collier de grenat et pendants grenat trouvé dans la Saône (fig. 19) :

Ce collier a fait l'objet d'un grand nombre d'analyses, car chaque pierre a été analysée, nous présentons ici un spectre représentatif (fig. 39) des résultats obtenus lors des analyses.

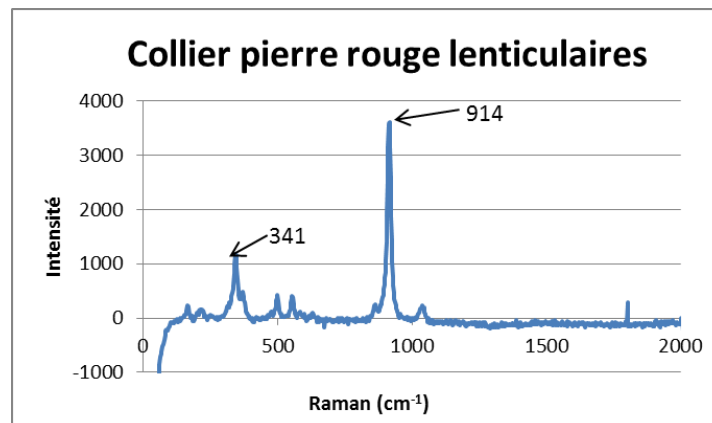


Figure 39: Spectre représentatif des grenats analysés du collier du trésor des Lazaristes.

Le spectre ci-dessus (fig.39) nous permet de voir la présence du pic principal à 914  $\text{cm}^{-1}$  qui a une forte intensité. Ce pic est associé à un pic de très faible intensité à 1006  $\text{cm}^{-1}$ . Nous voyons aussi la présence d'un pic d'intensité moyenne à 341  $\text{cm}^{-1}$ , suivi par un doublet de pic de faible intensité à 495  $\text{cm}^{-1}$  et 549  $\text{cm}^{-1}$ . L'analyse d'autres perles lenticulaires composant le collier et présentant un aspect irisé nous donne le spectre suivant. Dès la



première lecture de celui-ci, nous voyons la différence entre les deux spectres. En effet, nous voyons la présence d'un pic de forte intensité à  $1264\text{ cm}^{-1}$  qui fait partie intégrant d'un massif comprenant plusieurs pics (fig. 40). Ceux-ci sont d'intensité moyenne et se situent à  $1145\text{ cm}^{-1}$ ,  $1328\text{ cm}^{-1}$ ,  $1458\text{ cm}^{-1}$ ,  $1559\text{ cm}^{-1}$  et  $1702\text{ cm}^{-1}$ . On voit aussi la présence d'un pic de faible intensité à  $904\text{ cm}^{-1}$ . Après les résultats que nous avons vu pour les grenats présents dans les autres objets analysés, on peut dire que ces pics ne sont pas caractéristique des grenats.

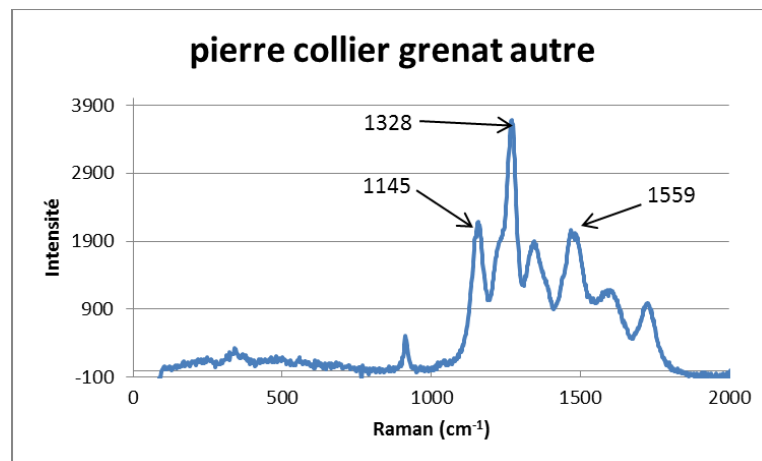


Figure 40: Spectre différent du collier avec grenats de forme lenticulaires du trésor des Lazaristes.

## 2. Bracelet avec camée de Vienne :

L'analyse effectuée sur la partie en pierre du camée (fig. 18) du bracelet révèle un spectre peu lisible, néanmoins, on peut voir un pic à  $460\text{ cm}^{-1}$  (fig. 41), qui se détache du massif créé par la fluorescence du matériau. Ce pic est caractéristique des silices cryptocristallines.

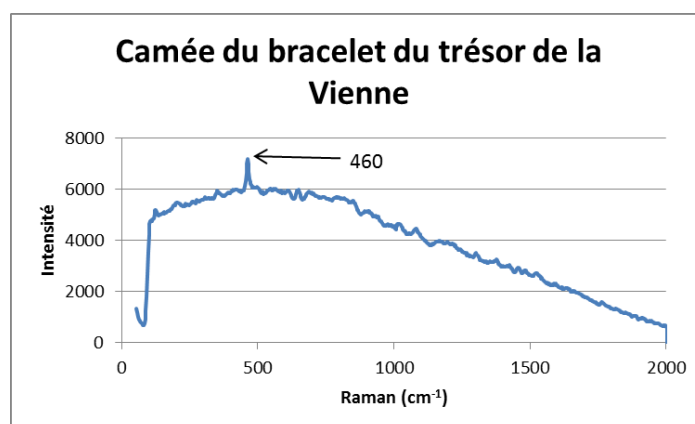


Figure 41: Camée du bracelet du trésor de la Vienne (figure 16).

### 3. Trésor de Vaise :

Nous avons effectué plusieurs analyses sur les boucles d'oreilles ornées d'une pierre verte (émeraude ?), de deux perles et d'une pierre rouge (grenat ?) chacune (fig. 17). Seules les analyses sur les grenats (fig. 42) et les perles ont permis d'obtenir des résultats lisibles et exploitables.

Les analyses des grenats nous donnent le spectre ci-dessous, où nous voyons la présence d'un pic dominant à  $940\text{ cm}^{-1}$  ayant un pic de faible intensité adossé à lui à  $850\text{ cm}^{-1}$ , puis d'un second d'intensité moyenne à  $343\text{ cm}^{-1}$  et d'un pic de faible intensité à  $552\text{ cm}^{-1}$ .

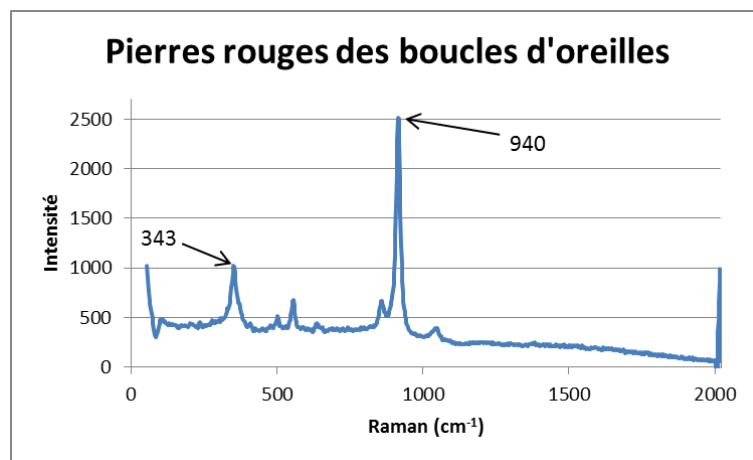


Figure 42: Spectre des grenats des boucles d'oreilles du trésor de Vaise.

Les analyses des perles (fig. 43) présente un fond de luminescence, mais permet d'identifier la présence d'un pic à  $1081\text{ cm}^{-1}$  qui est le mode vibrationnel de l'aragonite, il s'agit donc d'une perle fine.

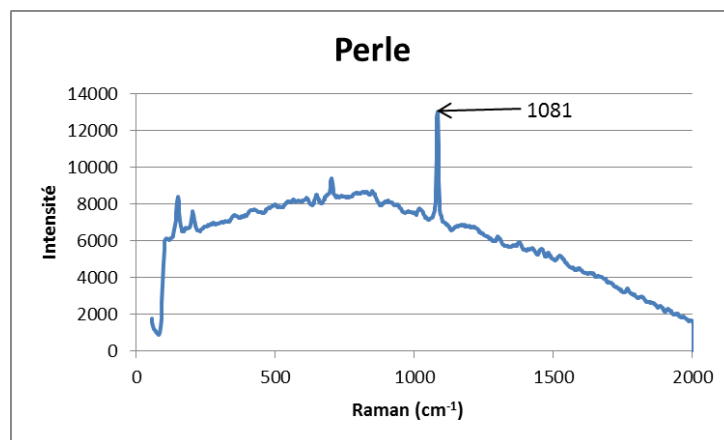


Figure 43: Spectre perle des boucles d'oreilles du trésor de Vaise

#### 4. Trésor de Boistray :

Les analyses du trésor de Boistray ont porté sur les bagues présentées en vitrines, mais aussi sur les perles du collier présent dans la vitrine. Les analyses des perles (fig. 44) présentes sur le collier donnent le spectre suivant qui présente un pic à  $1081\text{ cm}^{-1}$ .

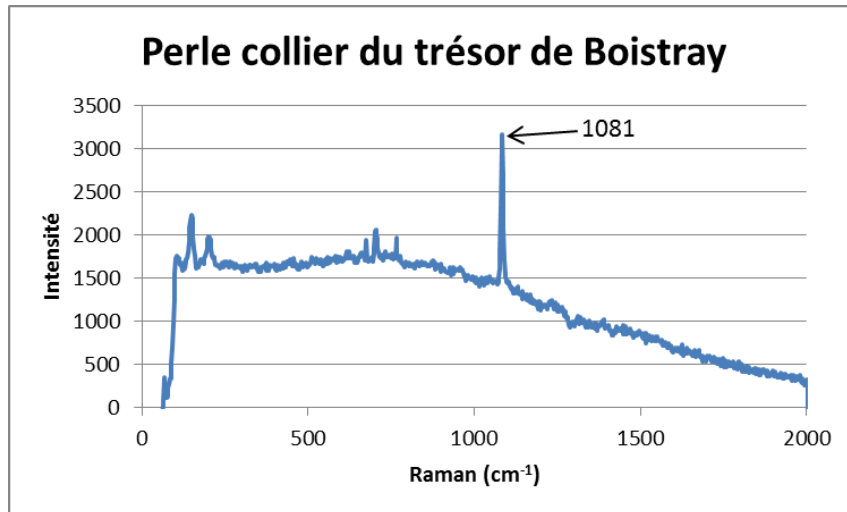


Figure 44: Spectre des perles du collier du trésor de Boistray.

## VI. *Interprétations*

Contrairement aux précédentes parties, nous présenterons les résultats en fonction de la matière et non en fonction du trésor auquel les gemmes appartiennent.

### 1. Les grenats :

Les trésors analysés comportent deux colliers de grenats (figures 4 et 19). Nous avons regroupés dans un tableau les résultats obtenus grâce au Raman et au logiciel d'interprétation des résultats Cristal Sleuth. Les résultats du collier ayant les grenats de forme lenticulaires (figure 19) sont regroupés dans le tableau ci-dessous sous les numéros commençant par G et GG. Nous avons représenté les trois sortes de grenats présents dans les bijoux analysés. En effet, la famille des grenats est composée de plusieurs variétés qui chacune représente un pôle différent. Les échantillons dont le nom commence par P sont les grenats constituant les pendants du collier avec grenats sertis du trésor des Lazaristes. Ce tableau nous permet de voir que les breloques du collier sont majoritairement de la spessartite ou un intermédiaire de spessartite- almandin, et que les grenats constituant le corps du collier sont majoritairement un mélange almandin-pyrope. Très peu de grenats sont des grenats entièrement almandin (six), e pyrope (deux) et spessartite (là aussi seulement deux). Cependant, on peut remarquer que les grenats proche de la spessartite sont les pendants du collier, et que les grenats proche du pyrope constituent le corps du collier. On peut penser que la répartition des grenats n'est pas aléatoire bien qu'à l'œil nu, nous ne voyons que peu de différence entre les pierres.

Tableau 2: Répartition des grenats composants les colliers du trésor des Lazaristes en fonction de leur variété.

Grenats analysés	Almandin	Pyrope	Spessartite	Almandin +Pyrope	Almandin +Spessartite
G1, G5, GG6, GG7, GG10, GG15, 2, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11,	X				
G2, G4, G6, G7, G8, G9, G10, G11, G12, G13, G17, G18, G19, P11, GG4, GG5, GG8, GG11, GG13, GG14, 7,				X	
G14, P1, P4, P5, P6,					X
G20, G21, GG3		X			
P7, P8,			X		

Les résultats des analyses des grenats constituant les deux colliers (un du trésor des Lazaristes et l'autre trouvé dans la Saône), (tableaux 2) nous permettent de penser que l'utilisation des grenats n'est pas aléatoire, mais que les pendants sont de préférence taillés dans des grenats spessartite qui ont une nuance orangé, alors que les grenats constituant le corps du collier sont majoritairement un mélange de pyrope et d'almandin. Nous ne pouvons pas savoir si les grenats utilisés pour la réalisation des colliers viennent du même gisement ou non.

Lors de l'analyse des gemmes sur la base de données en ligne RRUFF, nous avons constaté que les formules chimiques de ces dernières présentaient quelques différences.

**Tableau 3: répartition des échantillons en fonction de leur nature et de leur formule chimique**

Almandin : (références RRUFF et formules chimiques)	Pur	+Pyrope R050113 : (Mg <sub>1.83</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1.12</sub> Ca <sub>0.03</sub> Mn <sub>0.02</sub> ) <sub>Σ=3</sub> (Al <sub>1.82</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0.18</sub> ) <sub>Σ=2</sub> (Si <sub>0.99</sub> Al <sub>0.01</sub> ) <sub>Σ=1</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	+Pyrope R050112 : Mg <sub>1.49</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1.18</sub> Ca <sub>0.29</sub> Mn <sub>0.04</sub> ) <sub>Σ=3</sub> (Al <sub>1.99</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0.01</sub> ) <sub>Σ=2</sub> (Si <sub>1.00</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	+Pyrope R040159 : (Mg <sub>2.17</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0.47</sub> Ca <sub>0.34</sub> Mn <sub>0.02</sub> ) <sub>Σ=3</sub> (Al <sub>1.86</sub> Cr <sub>0.11</sub> Ti <sub>0.03</sub> ) <sub>Σ=2</sub> (Si <sub>0.99</sub> Al <sub>0.01</sub> ) <sub>Σ=1</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>
R040079 : (Fe <sup>2+</sup> <sub>1.63</sub> Mg <sub>0.53</sub> Ca <sub>0.18</sub> ) <sub>Σ=3</sub> Al <sub>2.00</sub> (Si <sub>1.00</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	GG6,GG7, GG15, G1	G2, G4, G6, G7, G8, G9, G10, G11,		
R060099: (Fe <sup>2+</sup> <sub>1.63</sub> Mg <sub>0.57</sub> Mn <sub>0.56</sub> Ca <sub>0.24</sub> ) <sub>Σ=3</sub> (Al <sub>1.98</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0.02</sub> ) <sub>Σ=2</sub> (Si <sub>1.00</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>			GG11, GG13, GG14,	
R050029 : Fe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	2,3,4,5,6,7,8, 9, 10,11,			
R040168 : (Fe <sup>2+</sup> <sub>1.48</sub> Mn <sub>1.47</sub> Ca <sub>0.05</sub> ) <sub>Σ=3</sub> Al <sub>2.00</sub> (Si <sub>1.00</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>		GG4, GG5,		
Pyrope:				
050113 : Mg <sub>1.83</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1.12</sub> Ca <sub>0.03</sub> Mn <sub>0.02</sub> ) <sub>Σ=3</sub> (Al <sub>1.82</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0.18</sub> ) <sub>Σ=2</sub> (Si <sub>0.99</sub> Al <sub>0.01</sub> ) <sub>Σ=1</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	GG3,GG10, G5,G20, G21,			

**Tableau 4: Répartition des échantillons de spessartite en fonction de leur formule chimique**

Spessartite :	Pure	+Almandin R040168
R050063 : (Mn <sub>2.72</sub> Fe <sub>0.24</sub> Ca <sub>0.04</sub> ) <sub>Σ=3</sub> (Al <sub>1.95</sub> Fe <sub>3+0.05</sub> ) <sub>Σ=2</sub> (Si <sub>1.00</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>2.75</sub> (F <sub>0.58</sub> (OH) <sub>0.42</sub> ) <sub>Σ=1</sub>		P1, P4, P5, P6, P11
R060447 : Mn <sup>2+</sup> <sub>2.85</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0.07</sub> Mg <sub>0.05</sub> Ca <sub>0.03</sub> ) <sub>Σ=3</sub> Al <sub>2.00</sub> (Si <sub>1.00</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .	P7, P8,	

Les tableaux ci-dessus (tableau 4 et 5) permettent de classer les grenats des colliers en fonction de leur formule chimique. Ce tableau permet de nous rendre compte que la majorité des grenats composant un collier sont de même nature. On peut donc penser que les gemmes composant un collier sont issus d'un même lot qui lui-même viendrait d'un même gisement.

Les différences de formules peuvent être attribuées à une différence de précision du logiciel de traitement des données, à la présence d'une impureté ou d'un autre élément chimique au moment de la cristallisation comme à une erreur d'appréciation humaine.

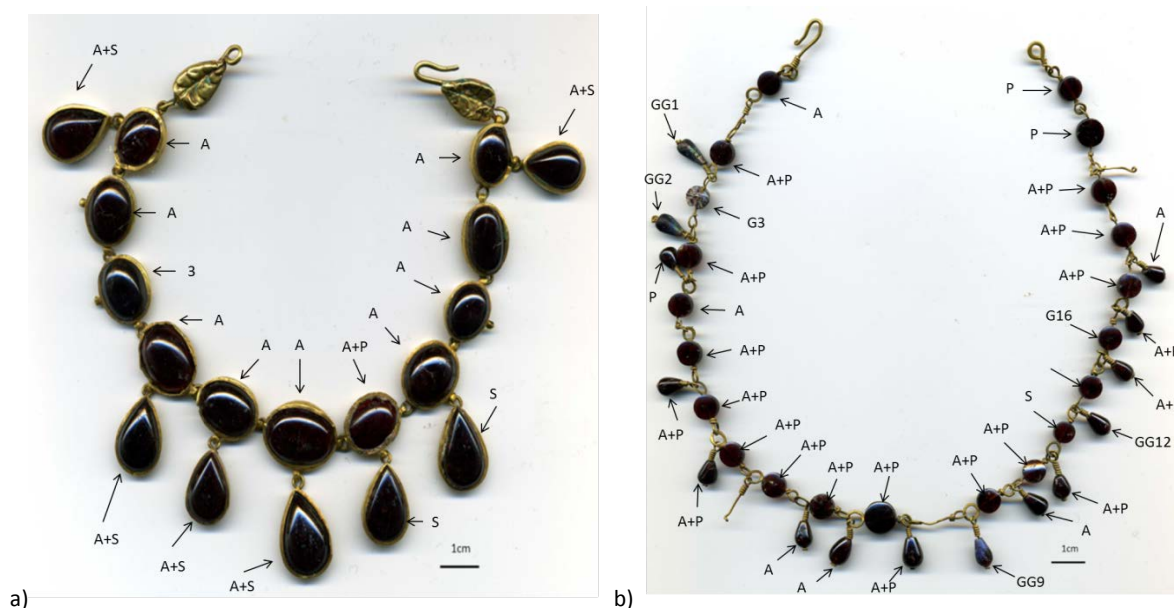


Figure 45: répartition des grenats dans le collier du trésor des Lazaristes figure 4 et le collier, avec A pour Almandin, P pour Pyrope et S pour Spessartite.

La figure 45 représente la répartition des différents pôles des grenats dans les colliers étant uniquement orné de grenats. Nous pouvons voir que pour le collier ayant des grenats sertis en serti clos, ceux qui compose le corps du collier sont en almandin ou un mélange almandin-pyrope (pour un), alors que ceux composant les pendants, sont un mélange almandin-spessartite. On peut donc supposer que l'usage et le placement des différents pôles n'est pas fortuit. Contrairement à lui, le collier trouvé dans la Saône (figure 45 b) est composé de grenats étant un mélange d'almandin et de pyrope. Il n'y a pas de pierre représentant un pôle (almandin ou pyrope) pur, sauf la spessartite.

Les boucles d'oreilles issues du trésor de Vaise ayant un grenat au centre de leur pendent auquel sont rattachées deux perles pendantes entourant une émeraude brute. Les deux grenats sont des mélanges d'almandin (R04079) et de pyrope (R 050113). Si l'on replace ces données dans le tableau 4 (p 46), on se rend compte que la composition chimique de ces grenats est voisine de celle des grenats sertis du collier du trésor des Lazaristes.

## 2. Les émeraudes :

Les émeraudes sont présentes dans les différents trésors composant le corpus de bijoux analysés. Comme nous l'avons dit lors de la présentation des échantillons, les émeraudes

présentent de nombreux défauts de cristallisation ce qui ne permet pas l'obtention de résultats analytiques facilement exploitables.

Cependant, les résultats obtenus grâce au réfractomètre, à la lecture cabochon et aux analyses Raman, nous indique qu'il s'agit bien d'émeraudes. Le gisement d'Habachtal en Autriche était exploité durant l'antiquité. Les émeraudes issues de ses gisements ont pour caractéristique de présenter de nombreux défauts de cristallisation. Les émeraudes du trésor ont déjà été analysées par le laboratoire de Nancy qui a effectué des analyses d'ions. Les résultats de ces analyses ont montré que les émeraudes proviennent de ce gisement.

Les analyses des béryls par spectrométrie vibrationnelle Raman présentent un spectre confus et non exploitable. Si l'on regarde attentivement le spectre obtenu par l'analyse du cabochon présent sur la bague du trésor des Lazariste qui était initialement ornée de trois pierres, on remarque qu'il ressemble à celui obtenu par l'analyse du camée du trésor de Vaise. Ces deux spectres présents un pic à  $460\text{cm}^{-1}$  correspondent aux gemmes siliceuses microcristallines comme nous allons le voir par la suite.

### Les saphirs :

Nous avons vu que le trésor des lazaristes a un collier orné de saphirs. Ces derniers présents dans le collier ne semblent pas présenter de trace de taille. Les saphirs de ce collier n'ont pas fait l'objet d'analyses, cependant, pour savoir selon quel axe les trous ont été faits il aurait fallu s'aider d'un polariscope pour pouvoir déterminer l'orientation.

Dans le cas des saphirs on peut se demander comment ils ont été forés car les saphirs et sont les gemmes les plus dures après le diamant, les émeraudes ayant elles une dureté plus faible.

### **3. Les gemmes siliceuses microcristallines :**

Les autres gemmes présentes dans les différents trésors analysés sont les suivantes, les améthystes serties dans un des colliers du trésor des Lazaristes, les jaspes rouges et les nicolos



bleus, provenant des bagues composants le trésor de Boistray, et le camée du trésor de Vienne.

Elles font toutes parties de la famille des gemmes siliceuses microcristallines. Lors de leurs analyses macroscopiques nous avons pu voir pour certaines la présence de cristaux plus gros que d'autre, ou la présence de deux petits coquillages pour le camée présent au centre du bracelet trouvé à Vienne.

L'analyse au spectromètre Raman des bagues du trésor de Boistray nous montre un pic à  $460\text{ cm}^{-1}$  qui est caractéristique des structures de type quartz. Cependant, comme nous l'avons signalé dans la troisième partie de ce travail, il y a deux types de spectres différents.

Le premier est commun aux bagues 1, 2, 4 et 9. Il présente une fluorescence qui varie en fonction des bagues analysées, mais on y voit trois pics principaux. Le premier se situe à  $289\text{ cm}^{-1}$ , le second à  $404\text{ cm}^{-1}$ , et le troisième dont l'intensité est inférieure se situe à  $603\text{ cm}^{-1}$  les bandes sont caractéristiques de l'hématite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), oxyde qui colore en rouge le matériau siliceux poly cristallin constituant ainsi la cornaline des intailles. On peut également préciser que sur les spectres des bagues 1 et 9, un pic à  $460\text{ cm}^{-1}$  apparaît.

Le second type de spectre se retrouve uniquement sur le spectre de la bague 7, il présente un seul pic de forte intensité situé à  $460\text{ cm}^{-1}$  adossé à lui un pic de faible intensité à  $473\text{ cm}^{-1}$ , et également deux pics de très faible intensité à  $123\text{ cm}^{-1}$  et  $195\text{ cm}^{-1}$ .

Les gemmes bio-minéralisées comme les perles du collier en corail et malachite ou les perles fines présentent un pic caractéristique à  $1085\text{ cm}^{-1}$ , ce qui permet de les identifier avec précision à un carbonate de calcium.

## VII. Conclusion

Après avoir analysé les bijoux des différents trésors exposés au Musée Gallo-Romain de la Ville de Lyon à l'aide de deux techniques différentes, nous avons vu que les émeraudes étaient issus de la mines d'Habachtal en Autriche comme l'ont montré les analyses du laboratoire de Nancy, sont montées brutes. Nous avons aussi vu que les saphirs ornant deux colliers du trésor des Lazaristes sont également utilisés brutes. La question soulevée ici est la question de la technique du perçage de ces pierres qui sont très dures.

Nous avons vu que les différents pôles des grenats, sont en fait utilisés de façon précise dans la création des bijoux comme pour le collier dont les grenats sont sertis en clos (fig 45).

Nous avons montré que les grenats ayant la même formule chimique (tableau 3) sont utilisés pour la création du même bijou.

Cependant, cette étude n'est qu'une ébauche, et les analyses pratiquées ici ne sont pas assez poussées pour pouvoir affirmer quoique ce soit. Ces analyses ont également permis d'identifier la nature des autres gemmes présentes dans les bijoux analysés.

## VIII. *Bibliographie*

- AUBIN, BARATTE, LASCOUX, METZGER 1999 : G. AUBIN, F. BARATTE, J. LASCOUX, C., METZGER, Le trésor de Vaise à Lyon, Documents d'Archéologie en Rhône-Alpes, 17, Série lyonnaise n°6, Lyon 1999.
- BESANCON 1907 : A. BESANCON, Le trésor de Boistray, Villefranche 1907. Cet extrait est tiré du Bulletin de la société des sciences et des arts du beaujolais, 8ème année, 1907, p. 111-120.
- BESSON C. (2007) - LA BIJOUTERIE GALLO-ROMAINE EN OR :Recherches sur les techniques de fabrication et essais de typologies., Thèse de doctorat, UNIVERSITE PARIS IV – SORBONNE.
- GUIRAUD 1981 : H. GUIRAUD, Les bagues d'époque romaine du Trésor de Boistray (Rhône), Gallia, XXXIX-1981, fasc. 2, p. 219-233.
- LASFARGUES 1994 : J. LASFARGUES, Le trésor de Vaise au musée de la civilisation gallo-romaine de Lyon, Revue du Louvre, 1994-4, p. 10-11.
- LASCOUX, BARATTE, METZGER, AUBIN, DEPASSIOT 1994 : J. LASCOUX, F. BARATTE, C. METZGER, G. AUBIN, M. DEPASSIOT, Le trésor de Vaise, Lyon-Rhône, Musée de la Civilisation Gallo-Romaine - Lyon, Edité par l'Association pour la Promotion du Musée de la Civilisation Gallo-Romaine – Lyon 1994.
- SCHUMANN W, Guide des pierres précieuses Pierres fines et ornementales, Delachaux et Niestlé Paris 2009. P120.

### *Webographie :*

- <http://geosystemes.univ-lille1.fr/geosystemes/spip.php?article79>
- [Rruff.info](http://Rruff.info)

IX. Annexes :

Trésor des lazaristes :

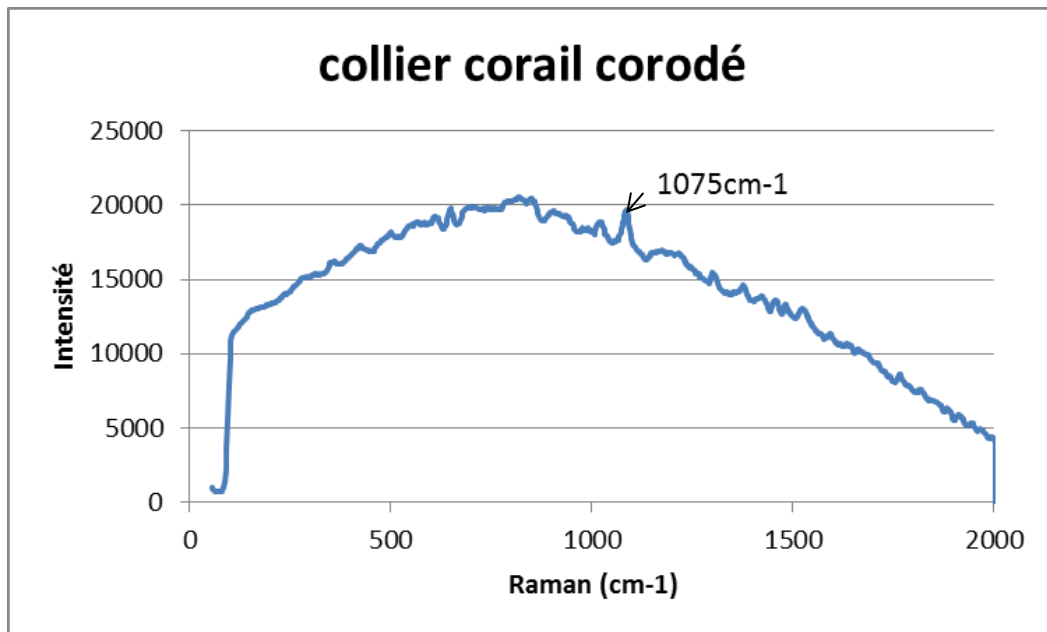


Figure 46: Spectre Raman d'une perle de corail présentant des marques de corrosions (figure 1).

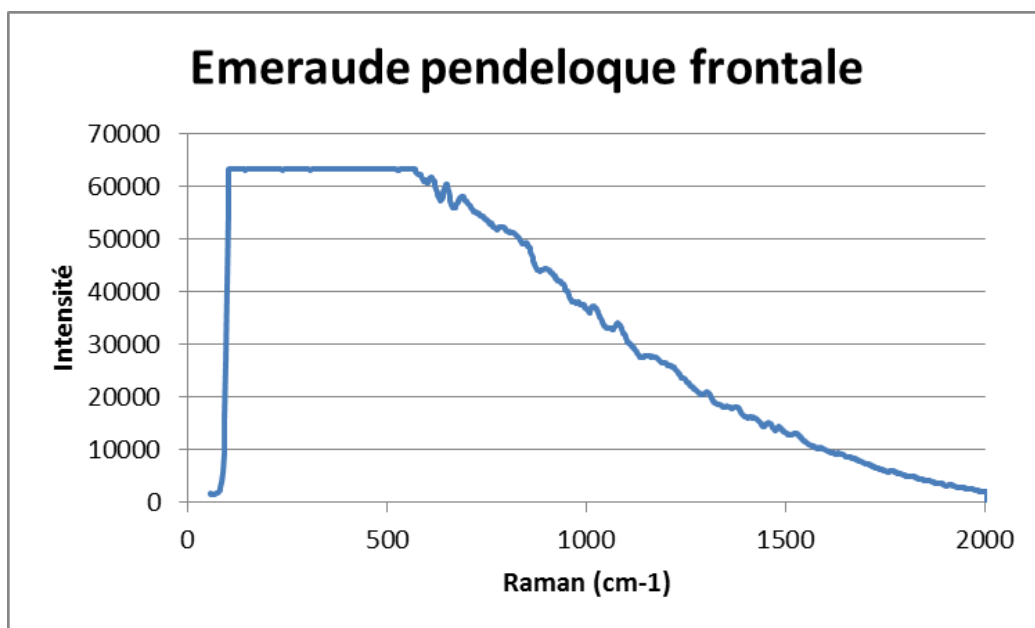


Figure 47: Spectre Raman de l'émeraude de la pendeloque frontale (figure 10).

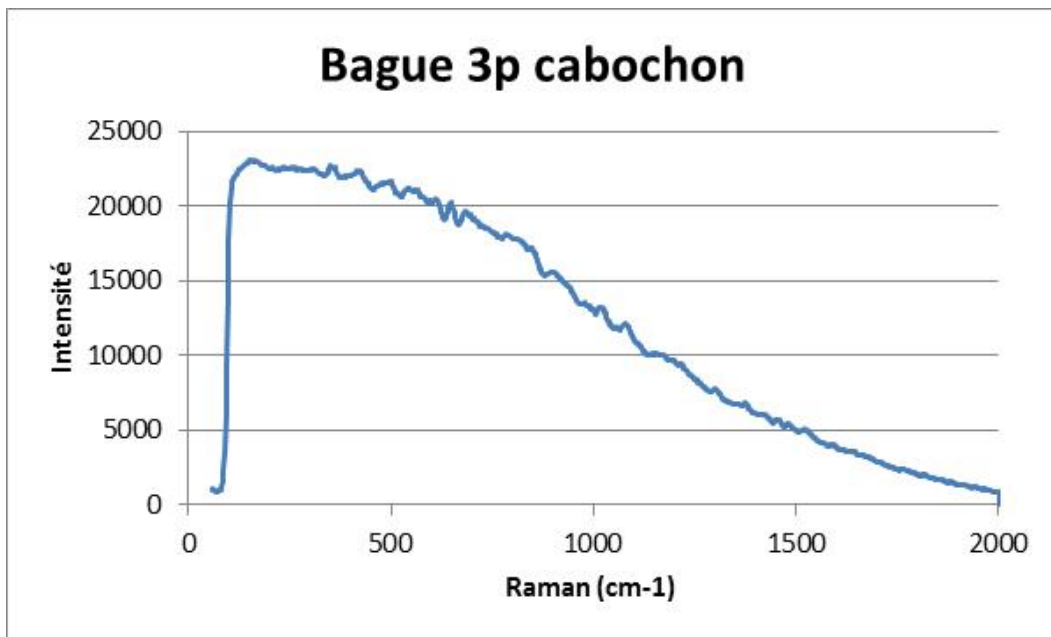


Figure 48: Spectre Raman du cabochon de la bague trois pierres (figure 6).

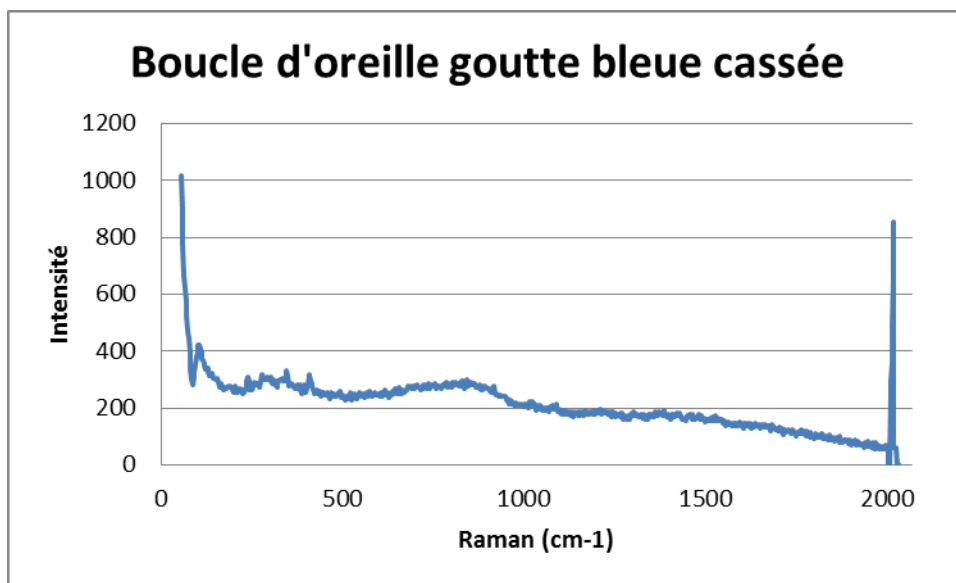


Figure 49: Spectre Raman du pendent de la boucle d'oreille à perle bleue (figure 9b).

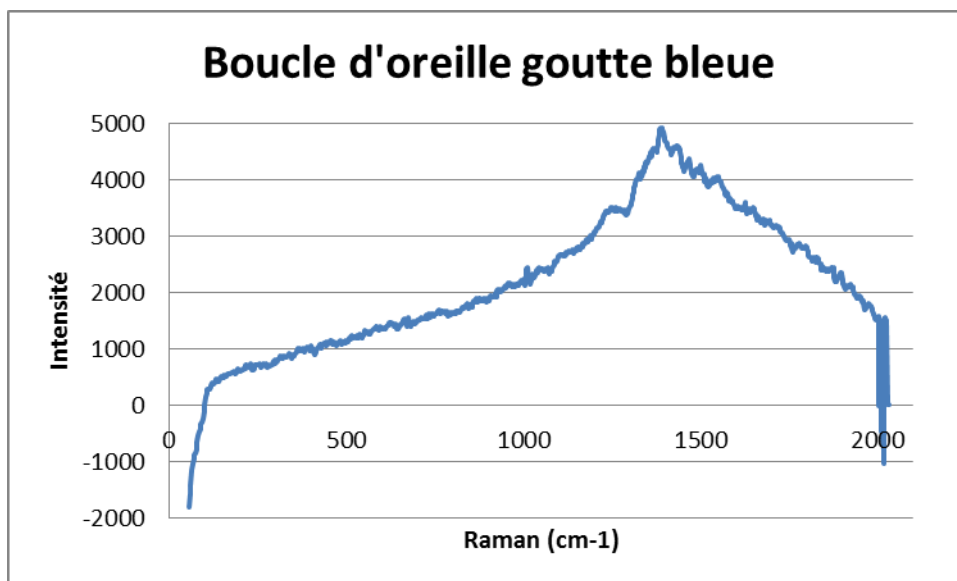


Figure 50: Spectre Raman du pendent bleu de boucle d'oreille (figure 9c).

### Le trésor de Boistray :

#### **Résultats bruts des analyses des bagues :**

Les analyses des bagues présentent différents résultats. En effet, les bagues 1, 2, 4 et 9 présentent un spectre similaire (figure 51), mais avec des pics présentant une intensité qui varie et un léger décalage (de l'ordre de  $4 \text{ cm}^{-1}$ ) entre les différentes bagues. Le spectre ci-dessous est celui de la bague 4. On peut voir qu'il n'y a pas de pic de grande intensité, mais qu'il y a la présence de deux pics de moyenne intensité qui se situent à  $289 \text{ cm}^{-1}$  et  $404 \text{ cm}^{-1}$  ainsi qu'un autre pic d'intensité moindre à  $603 \text{ cm}^{-1}$ .

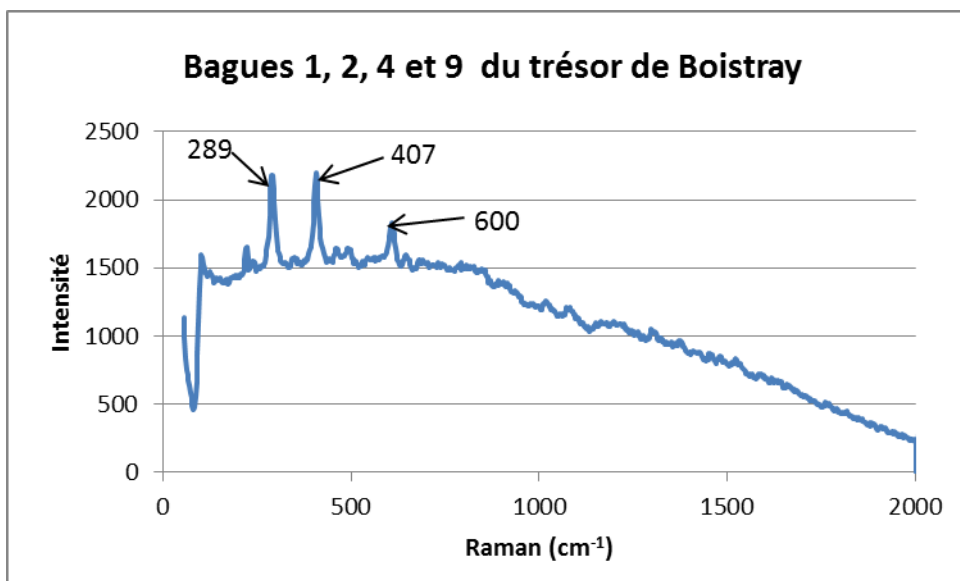


Figure 51: Spectre des bagues 1, 2, 4, 9 du trésor de Boistray.

Le spectre de la bague 7 (figure 52) ne semble pas être semblable aux spectres obtenus par les analyses des autres bagues. En effet, il présente un pic de forte intensité à 460  $\text{cm}^{-1}$ , auquel est adossé un pic de faible intensité à 472  $\text{cm}^{-1}$ . On voit également deux pics de faible intensité à 123  $\text{cm}^{-1}$  et 195  $\text{cm}^{-1}$ .

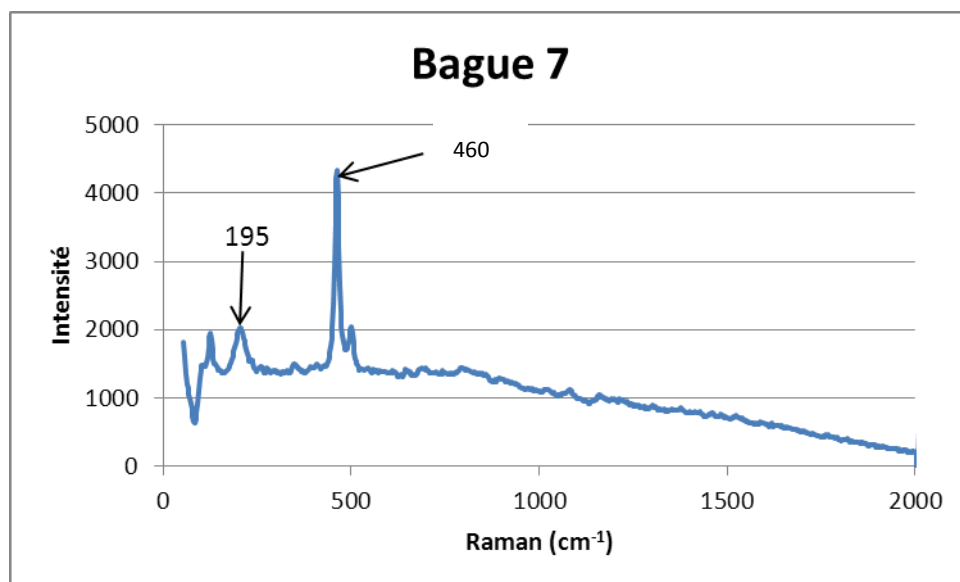


Figure 52: Spectre de la bague 7 du trésor de Boistray.



Les spectres des bagues 5 et 8 (voir annexes) n'est pas lisible à part la présence d'un pic à  $460\text{ cm}^{-1}$ , ce qui peut nous laisser penser que les pics à  $123\text{ cm}^{-1}$  et  $195\text{ cm}^{-1}$  sont masqués par un fond de fluorescence.

Trésor	Parure	Nom du fichier
Lazaristes	Collier avec les perles de corails et de malachites	Collier en corail
		Collier corail corodé
	Collier avec des perles d'améthystes	Collier améthyste
	Collier avec des perles de grenat sertis clos	Collier grenat (pendants)
		Collier (pendant P5)
		Collier grenat (corps)
	Pendeloque Frontale	Pierre rouge de la pendeloque frontale
	Bague trois pierres taillées en cabochons (dont deux manquantes	Bague trois pierres du trésor des Lazaristes
		Bague 3p cabochon
	Boucles d'oreilles trois pendants	Cabochon rouge boucle d'oreille
		Perle de boucle d'oreille
		Cabochon rouge paire de boucle d'oreille
	Boucles d'oreilles avec perles pendantes en pâte de verre bleue	Perle bleue du trésor des Lazaristes
		BO cassé goutte
		BO goutte
		BO goutte bleue
Vienne	Collier orné de grenats non sertis	Collier pierre rouge lenticulaires
		Pierre collier grenat autre
	Bracelet avec camée trouvé dans la Vienne	Camée du bracelet du trésor de la Vienne
Vaise	Boucle d'oreille	Pierres rouges des boucles d'oreilles
		Perle
Boistray	Collier	Perle collier du trésor de Boistray
	Bagues	Bagues 1, 2, 4 et 9 du trésor de Boistray
		Bague 7

Figure 53: Noms des spectres présents dans le mémoire.

## Table des illustrations :

Figure 1: localisation de la montée Saint Barthélémy à Lyon.....	5
Figure 2: a) Photo de l'ensemble du collier à perles vertes et rouges du Trésor des Lazaristes, b) détail. ....	6
Figure 3: a)Photo du collier à pierres violettes du Trésor des Lazaristes, b) Détail. ....	7
Figure 4: a) Collier à pierres de couleur grenat du Trésor des Lazaristes, b) Détail.....	8
Figure 5: a) Collier perles bleues et pelves en or Trésor des Lazaristes, b) Détails. ....	9
Figure 6: a) Collier de perles bleues des trésors des Lazaristes, b) Détail d'une perle corrodée.....	9
Figure 7: bague trois pierres.....	10
Figure 8: Bagues avec plateau en pierre bleues présentent dans la vitrine du trésor des Lazaristes .....	11
Figure 9: Deux paires de boucles d'oreilles ornées de pierres vertes du trésor des Lazaristes, a) Première paire décrite, et b) Seconde paire.....	12
Figure 10: Les trois paires de boucles d'oreilles ornées de perle bleues du trésor des Lazaristes, a) Première paire de boucle d'oreille, b) Seconde paire de boucle d'oreille, c) Troisième paire de boucle d'oreille.....	13
Figure 11: Pendeloque frontale du trésor des Lazaristes a) vue globale, b) Détail du grenat et des émeraudes. ....	14
Figure 12: localisation de Saint-Georges-de-Reneins dans le Rhône.....	15
Figure 13: Collier en maille double huit, pierres vertes et perles du trésor de Boistray. ....	16
Figure 14: Ensemble des bagues du trésor de Boistray, a) Bagues1 à 5, b) Bagues 6 à 14 (sans les bagues 12 et 13).....	17
Figure 15: Localisation de Vaise dans la ville de Lyon. ....	19
Figure 16: Boucles d'oreilles du trésor de Vaise.....	19
Figure 17: Collier du trésor de Vaise. ....	20
Figure 18: Bracelet trouvé dans la Vienne, orné d'un camée.....	21
Figure 19: Collier trouvé dans la Saône orné de pierres rouges lenticulaires, a) vue générale, b) détail.....	22
Figure 20: Schéma explicatif de l'effet Raman. ....	23
Figure 21: Analyse Raman avec le laser à 532 nm du collier orné de grenats serti du trésor des Lazaristes. ....	24
Figure 22 : Schéma d'une coupe de réfractomètre.....	25
Figure 23 : Réfractomètre du laboratoire de gemmologie de Lyon qui permet la lecture de l'indice de réfraction par la lecture cabochon.....	26
Figure 24: Classification des grenats en fonction des pôles. ....	27
Figure 25: structure chimique de l'almandin.....	29
Figure 26: Evolution du spectre Raman de spessartite en fonction du pourcentage d'almandin entre $80\text{cm}^{-1}$ et $400\text{cm}^{-1}$ ...	30
Figure 27: Evolution du spectre Raman du pyrope en fonction du pourcentage de grossulaire entre $100\text{cm}^{-1}$ et $400\text{cm}^{-1}$ .	31
Figure 28: Structure d'un béryl avec le site Si en gris, le site Al en bleu, et le site Be en vert. ....	32
Figure 29: Spectre d'une perle en corail du collier du trésor des Lazaristes. ....	34
Figure 30: Spectre d'une améthyste du collier du trésor des Lazaristes .....	35
Figure 31: Spectre d'un grenat du collier du trésor des Lazaristes.....	35
Figure 32: Spectre d'un grenat du corps du collier du trésor des Lazaristes. ....	36
Figure 33: Spectre du cabochon de la bague à trois pierres (fig. 6) du trésor des Lazaristes.....	36
Figure 34: Spectre d'un cabochon rouge des boucles d'oreille du trésor des Lazaristes. ....	37
Figure 35: Spectre de la perle de la paire de boucle d'oreille du trésor des Lazariste (figure 8).....	37
Figure 36: Spectre du cabochon rouge de la paire de boucle d'oreille du trésor des Lazariste (figure 9).....	38
Figure 37: Spectre des perles bleues des boucles d'oreilles du trésor des Lazaristes .....	38
Figure 34: Spectre du grenat de la pendeloque frontale du trésor des Lazaristes. ....	39
Figure 39: Spectre représentatif des grenats analysés du collier du trésor des Lazaristes. ....	39
Figure 40: Spectre différent du collier avec grenats de forme lenticulaires du trésor des Lazaristes. ....	40
Figure 41: Camée du bracelet du trésor de la Vienne (figure 16).....	40
Figure 42: Spectre des grenats des boucles d'oreilles du trésor de Vaise.....	41
Figure 43: Spectre perle des boucles d'oreilles du trésor de Vaise .....	41
Figure 44: Spectre des perles du collier du trésor de Boistray. ....	42
Figure 45: répartition des grenats dans le collier du trésor des Lazaristes figure 4 et le collier, avec A pour Almandin, P pour Pyrope et S pour Spessartite. ....	46
Figure 46: Spectre Raman d'une perle de corail présentant des marques de corrosions (figure 1).....	52
Figure 47: Spectre Raman de l'émeraude de la pendeloque frontale (figure 10). ....	52
Figure 48: Spectre Raman du cabochon de la bague trois pierres (figure 6).....	53
Figure 49: Spectre Raman du pendant de la boucle d'oreille à perle bleue (figure 9b). ....	53

Figure 50: Spectre Raman du pendent bleu de boucle d'oreille (figure 9c). .....	54
Figure 51: Spectre des bagues 1, 2, 4, 9 du trésor de Boistray.....	55
Figure 52: Spectre de la bague 7 du trésor de Boistray.....	55
Figure 53: Noms des spectres présents dans le mémoire. ....	57