



DIPLOME UNIVERSITAIRE DE GEMMOLOGIE

ANNEE 2012

Présenté devant l'Université Claude Bernard Lyon 1



Laboratoire de Physico-Chimie des Matériaux Luminescents



par **Geoffray RIONDET**

PREMIERES ANALYSES GEMMOLOGIQUES SUR SITE

DU GRAND SAPHIR DE LOUIS XIV

(MUSEUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE)



MNHN





SOMMAIRE

Liste des figures	3
Liste des tableaux	6
Remerciements	7
Introduction	8
Chapitre I : Historique du Grand Saphir de Louis XIV	10
1.1. Les bijoux de la Couronne de France	
1.1.1. François I ^{er} et la fondation des bijoux de la Couronne de France	10
1.1.2. D'Henri II à Henri III	10
1.1.3. D'Henri IV à la régence d'Anne d'Autriche	11
1.1.4. Louis XIV	11
1.1.5. Louis XV et Louis XVI	12
1.1.6. Les bijoux de la Couronne durant la Révolution	12
1.1.7. La Convention nationale et le Directoire	12
1.1.8. Le Consulat	13
1.1.9. Le Premier Empire	13
1.1.10. La Restauration	13
1.1.11. La Monarchie de Juillet	13
1.1.12. Le Second Empire	13
1.1.13. La vente des bijoux de la Couronne	13
1.2. Description de quelques gemmes des bijoux de la Couronne de France	15
1.2.1. La Côte de Bretagne	15
1.2.2. Le Diamant Bleu	15
1.2.3. Le Régent	16
1.2.4. Le Sancy	16
1.2.5. Le diadème de l'impératrice Eugénie	16
1.3. Le Grand Saphir de Louis XIV	17
Chapitre II : Caractéristiques gemmologiques et minéralogiques du saphir	19
2.1. Le saphir dans l'histoire	19
2.2. Composition chimique	20
2.3. Cristallographie	20
2.3.1. Symétrie et paramètres de la maille	20
2.3.2. Habitus	21
2.3.3. Macles	24
2.3.4. Inclusions	24
2.4. Propriétés physiques	25
2.4.1. Clivage, plans préférentiels de séparation et cassure	25
2.4.2. Dureté et élasticité	25
2.4.3. Point de fusion et solubilité	26
2.4.4. Densité	26
2.5. Propriétés optiques	26
2.5.1. Couleurs	26
2.5.2. Biréfringence, indices de réfraction et dispersion	26
2.5.3. Eclat	27
2.5.4. Astérisme et chatoyance	27



2.5.5. Changement de couleur	27
2.5.6. Luminescence	27
2.5.7. Pléochroïsme	27
2.6. Les différents types de gisements	27
2.7. Saphirs célèbres	29
Chapitre III : Méthodes d'analyse	31
3.1. Analyses gemmologiques classiques	31
3.1.1. Balance électronique	31
3.1.2. Microscope binoculaire	31
3.1.3. Réfractomètre	31
3.1.4. Polariscopes	32
3.1.5. Lampes à ultraviolets	32
3.2. Analyses de spectroscopies optiques	32
3.2.1. Spectroscopie Raman 532 nm et 785 nm	33
3.2.2. Spectroscopie d'absorption visible - proche infrarouge	34
3.2.3. Spectroscopie de luminescence	34
Chapitre IV : Résultats	36
4.1. Analyses gemmologiques classiques	36
4.1.1. Evaluation du poids	36
4.1.2. Observation visuelle et au microscope binoculaire	36
4.1.3. Mesure de l'indice de réfraction	37
4.1.4. Observation au polariscopes	39
4.1.5. Mesure des angles	40
4.1.6. Observation à la lampe à ultraviolets	40
4.2. Analyses par spectroscopies optiques	41
4.2.1. Spectroscopie Raman 532 nm et 785 nm	41
4.2.2. Spectroscopie d'absorption visible - proche infrarouge	43
4.2.3. Spectroscopie de luminescence	43
Chapitre V : Interprétations et discussions	46
5.1. Caractérisation du saphir	46
5.1.1. A partir des analyses gemmologiques classiques	46
5.1.2. A partir des analyses de spectroscopies optiques	46
5.2. Hypothèse sur la taille en rhomboèdre du Grand Saphir de Louis XIV	48
5.3. Hypothèse sur l'origine gîtologique du Grand Saphir de Louis XIV	48
5.3.1. Hypothèse sur l'origine gîtologique du Grand Saphir de Louis XIV à partir de l'étude historique des gisements de saphir	48
5.3.2. Hypothèse sur l'origine gîtologique du Grand Saphir de Louis XIV à partir des analyses gemmologiques classiques	51
5.3.3. Hypothèse sur l'origine gîtologique du Grand Saphir de Louis XIV à partir des analyses de spectroscopies optiques	53
Conclusion générale	55
Références bibliographiques	56



LISTE DES FIGURES

Fig. 1 : Vue générale des dispositifs d'analyses du Grand Saphir de Louis XIV sur le site du MNHN (27 avril 20012).

Fig. 2 : François I^{er} par le Titien, Musée du Louvre, Paris.

Fig. 3 : Les principaux diamants vendus à par Jean-Baptiste Tavernier à Louis XIV en 1669. Planche tirée des « Six voyages de Jean-Baptiste Tavernier ». Paris, édition de 1676.

Fig. 4 : Quelques-uns des bijoux de la Couronne de France présentés pour la vente de 1887. Gravure parue dans l'illustration en 1887.

Fig. 5 : La « Côte de Bretagne », spinelle rouge taillée en forme de dragon par Jacques Guay en 1750, Musée du Louvre, Paris.

Fig. 6 : Le diamant Régent (140,64 carats), Musée du Louvre, Paris.

Fig. 7 : L'impératrice Eugénie avec son diadème par Franz Xaver Winterhalter, Musée d'Orsay, Paris.

Fig. 8 : Le Grand Saphir de Louis XIV, MNHN, Paris.

Fig. 9 : Extrait de la troisième édition du *Dei Galli Poetae vetustissimi de lapidibus preafis...* de Marbode (1035 - 1123), paru en 1539. Sur cette représentation du pectoral du jugement du Grand Prêtre du temple de Jérusalem, parmi les douze pierres correspondant aux tribus d'Israël, figure le saphirus pour la tribu Zabulon.

Fig. 10 : Représentation cristallographique du corindon (oxyde d'aluminium de formule Al_2O_3) (www.wikipedia.org).

Fig. 11a : Projections stéréographiques des éléments de symétrie et formes générales des classes de symétrie du système rhomboédrique (*Lebrun, 2002 d'après Bariand et al., 1977*). Le rhomboèdre est représenté fig. 11.D.

Fig. 11b : Projections stéréographiques des éléments de symétrie et des faces de la forme rhomboèdre.

Fig. 12 : Saphir à l'état brut originaire de Ratnapura, Sri Lanka (2,1x1x1 cm) (www.gemologyonline.com).

Fig. 13 : Principaux habitus des saphirs du Sri Lanka (*Hughes, 1997*).

Fig. 14 : Principaux habitus des saphirs australiens (*Hughes, 1997*).

Fig. 15 : Saphir brut de forme rhomboédrique (3x2x2 cm) avec une face triangulaire du pinacoïde originaire de Zazafotsy Quarry (Amboarohy), Madagascar (Mindat).

Fig. 16 : Saphir du Sri Lanka montrant des aiguilles de rutile (*Gübelin Gem Lab, 2006*).

Fig. 17 : Les dix minéraux de l'échelle de Mohs (mon.univ-montp2.fr).



Fig. 18 : Saphir Logan (423 carats), Smithsonian Institution, Washington.

Fig. 19 : Saphir l'Etoile de l'Inde (563 carats), Muséum d'Histoire Naturelle, New-York.

Fig. 20 : Schéma explicatif du fonctionnement d'un réfractomètre (www.geminterest.com).

Fig. 21 : Matériel de laboratoire (Raman 532 nm) utilisé lors des analyses sur site du MNHN (27 avril 2012).

Fig. 22 : Schéma du spectromètre Ocean Optics QE 65000.

Fig. 23 : Schéma du spectromètre Ocean Optics USB200.

Fig. 24, a, b, c et d : Observations du Grand Saphir de Louis XIV selon deux orientations sous illumination en réflexion (a et c) et en transmission (b et d) permettant de mettre en évidence les inclusions solides (aiguilles de rutile et inclusion globuleuse).

Figure 25 : Orientations du Grand Saphir de Louis XIV pour les mesures des indices de réfraction.

Fig. 26 : Indices de réfraction (orientation 1) du Grand Saphir de Louis XIV.

Fig. 27 : Indices de réfraction (orientation 2) du Grand Saphir de Louis XIV.

Fig. 28, a et b : Examen du Grand Saphir de Louis XIV au polariscope mettant en évidence des zones de croissance en chevron.

Fig. 29 : Mesure des angles du Grand Saphir de Louis XIV.

Fig. 30 : Grand Saphir de Louis XIV aux ultraviolets ondes longues (366 nm).

Fig. 31 : Localisation des zones analysées par spectroscopies optiques du Grand Saphir de Louis XIV.

Fig. 32 : Comparaison des spectres Raman à 532 nm du Grand Saphir de Louis XIV (zone 1 : partie centrale ; zone 2 : partie sombre ; zone 3 : partie claire).

Fig. 33 : Comparaison des spectres Raman à 785 nm du Grand Saphir de Louis XIV (zone 1 : partie centrale ; zone 2 : partie sombre ; zone 3 : partie claire).

Fig. 34 : Comparaison des spectres d'absorption visible - proche infrarouge du Grand Saphir de Louis XIV (zone 1 : partie centrale ; zone 2 : partie sombre ; zone 3 : partie claire).

Fig. 35, a et b : Photos du Grand Saphir de Louis XIV illuminé en lumière blanche et par laser vert 532 nm.

Fig. 36 : Comparaison des spectres de luminescence excitée par lampe ultraviolets 365 nm du Grand Saphir de Louis XIV (zone 1 : partie centrale ; zone 2 : partie sombre ; zone 3 : partie claire).

Fig. 37 : Comparaison des spectres de luminescence excitée par laser 532 nm du Grand Saphir de Louis XIV (zone 1 : partie centrale ; zone 2 : partie sombre ; zone 3 : partie claire).



Fig. 38 : Comparaison du spectre Raman à 785 nm du Grand Saphir de Louis XIV avec le spectre de référence CrystalSleuth à 780 nm (R040096).

Fig. 39 : Comparaison des spectres d'absorption visible - proche infrarouge du Grand Saphir de Louis XIV (zone 1 : partie centrale ; zone 2 : partie sombre ; zone 3 : partie claire).

Fig. 40 : Principaux gisements de saphirs exploités avant 1691.

Fig. 41 a et b : Photos du Grand Saphir de Louis XIV illuminé en lumière blanche et par laser vert 532 nm.

Fig. 42 : Spectres d'absorption visible - proche infrarouge d'un saphir du Sri Lanka caractéristique d'un environnement métamorphique. Il est généralement dominé par un large transfert de charge $\text{Fe}^{2+} / \text{Ti}^{4+}$ avec un maximum à 575 et 700 nm. Les groupes d'absorption Fe^{3+} sont habituellement d'une intensité faible ou moyenne (*Gübelin Gem Lab, 2006*).



LISTE DES TABLEAUX

Tab. 1 : Les différents types de gisements primaires de corindon dans le monde suivant *Garnier et al. (2004) et Giuliani et al. (2007)*.

Tab. 2 : Indices de réfraction (orientation 1) du Grand Saphir de Louis XIV.

Tab. 3 : Indices de réfraction (orientation 2) du Grand Saphir de Louis XIV.

Tab. 4 : Variation des indices de réfraction (n_e et n_o) chez le saphir (*Hughes, 1997*).



REMERCIEMENTS

En premier lieu, je tiens à remercier Gérard Panczer (professeur à l'Université Claude Bernard Lyon 1) pour son aide précieuse pendant le cycle de formation et particulièrement pour son soutien et sa contribution dans les analyses effectuées dans le cadre de ce mémoire. J'aimerais également lui dire à quel point j'ai apprécié sa grande disponibilité.

Je souhaite exprimer toute ma reconnaissance à François Farges (professeur au Muséum National d'Histoire Naturelle) qui a permis que l'analyse du Grand Saphir de Louis XIV ait lieu. Je le remercie également pour son accueil chaleureux et la confiance qu'il m'a témoignée en fournissant de nombreuses informations sur cette gemme d'exception.

Mes remerciements vont également à Cristiano Ferraris (chargé de conservation de la Collection de Minéralogie au Muséum National d'Histoire Naturelle) pour nous avoir facilité l'accès à la Collection de Minéralogie et plus particulièrement à l'ancienne collection des bijoux de la Couronne de France.

Enfin, ces remerciements ne seraient pas complets sans mentionner Micheline Boudeulle (professeure à l'Université Claude Bernard Lyon 1) pour son aide à l'occasion du calcul des angles du rhomboèdre.



INTRODUCTION

Ce mémoire a été rédigé dans le cadre de la préparation au Diplôme d'Université de Gemmologie (DUGEM) de Lyon.

Antiquaire spécialisé dans les bijoux anciens (plus spécifiquement le bijou français du Directoire aux années 1950 avec une préférence pour le bijou traditionnel), j'ai repris cette activité familiale depuis maintenant plus de 10 ans dans les principaux salons d'antiquités hexagonaux.

Ma clientèle se compose de particuliers, de collectionneurs, de musées et plus récemment mon activité tend vers l'expertise.

Auteur de nombreux articles, notamment pour des magazines de référence comme « La revue de gemmologie », j'ai également publié un livre « La dernière gemme » explorant le monde du bijou ancien.

Titulaire d'un diplôme supérieur d'école de commerce et d'un troisième cycle en économie, je dispose également d'une formation en gemmologie : Gemmologie niveau 1 (SEPR Lyon), Diamond Grading and identification du Hoge Raad voor Diamant (HRD Anvers) et Diamond Grading du Gemological Institute of America (GIA Montréal). Le Diplôme Universitaire de Gemmologie de l'Université Claude Bernard Lyon 1 me semblait tout indiqué pour aborder la gemmologie de laboratoire.

D'aussi loin que je me souviens, j'ai toujours entendu parler de l'ancienne collection des joyaux de la Couronne de France.

Les gemmes préservées de la vente de 1887 furent réparties entre le Musée du Louvre, le Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) qui avait déjà bénéficié d'un dépôt effectué par l'Etat en 1796, et l'Ecole des mines. De cette prestigieuse collection, le Grand Saphir de Louis XIV a une place d'honneur au sein du MNHN.

Si ce corindon est extrêmement connu, il n'a pourtant jamais donné lieu à une analyse gemmologique. C'est ainsi qu'est né ce projet et le mémoire du Diplôme Universitaire de Gemmologie de l'Université Claude Bernard Lyon 1 a été l'occasion parfaite pour approfondir ce sujet.

Cette étude consiste en l'analyse du Grand Saphir de Louis XIV à l'aide de techniques gemmologiques classiques mais surtout de techniques de spectroscopies optiques non destructives (cf. fig. 1).

Principalement pour des raisons d'assurances il ne peut quitter la galerie de minéralogie du MNHN. Aujourd'hui, la miniaturisation des équipements à l'instar du micro Raman portatif permet de répondre au besoin d'identification sur site.

Ce travail de recherche a eu lieu le vendredi 27 avril 2012. L'étude de cette gemme d'exception a imposé un cahier des charges strict fondé sur l'emploi de techniques non destructives.

Pour cela, ce mémoire se divise en cinq chapitres.

Avant le travail d'analyse, une étude historique du Grand Saphir de Louis XIV s'impose.

Afin de bien comprendre la démarche employée pour les analyses gemmologiques, il est tout d'abord utile de rappeler les caractéristiques du saphir.

La caractérisation du Grand Saphir de Louis XIV a été effectuée grâce à des méthodes d'analyse reconnues en commençant par des techniques issues de la gemmologie classique.

Ensuite, la gemme a été analysée à l'aide de techniques de spectroscopies optiques (spectroscopie Raman, spectroscopie d'absorption visible - proche infrarouge et spectroscopie de luminescence).



Les résultats obtenus sont décrits puis interprétés. Quand cela est possible, la littérature a été employée pour faciliter ou obtenir une interprétation.
Nous tenterons ici de mettre en lumière, à partir des résultats d'analyse obtenus, des pistes à explorer permettant de poursuivre la recherche scientifique.



Fig. 1

Vue générale des dispositifs d'analyses du Grand Saphir de Louis XIV sur le site du MNHN (27 avril 2012).



CHAPITRE I HISTORIQUE DU GRAND SAPHIR DE LOUIS XIV

1.1. Les bijoux de la Couronne de France

Les bijoux de la Couronne de France, également appelés diamants de la Couronne désignent les bijoux qui, de la Renaissance au Second Empire, constituaient un trésor inaliénable. Le monarque et ses successeurs avaient uniquement un droit d'usufruit. Le Grand Saphir de Louis XIV est l'un des bijoux de la Couronne de France.

Les données relatives aux bijoux de la Couronne de France ont été obtenues à partir d'une recherche bibliographique dans les ouvrages des auteurs suivants : Bapst, 1889 ; Bloche, 1888 ; Dieulafait, 1887 ; Enault, 1884 ; Mabile, 2001 ; Morel, 1988.

1.1.1. François I^{er} et la fondation des bijoux de la Couronne de France

Les souverains français avaient bien acquis des bijoux, mais il fallait attendre François I^{er} (cf. fig. 2) qui a constitué officiellement la collection le 15 juin 1530. Par ses lettres patentes, il fait don de ces bijoux à ses successeurs et ordonne « *que à chascune mutacion l'inventaire d'icelles ensemble leur appréciacion, poix, paincture, plomp, soient vériffiez en leur présence, affin qu'ils baillent leurs lettres patentes obligatoires de les garder à leurs successeurs à la couronne* ». Il commence par sélectionner huit bijoux dont la plupart provient d'Anne de Bretagne, qui était la mère de son épouse Claude de France. Seul le spinelle dit la Côte de Bretagne (cf. 1.2. Description de quelques gemmes des bijoux de la Couronne de France) conservé au Louvre subsiste.



Fig. 2

François I^{er} par le Titien, Musée du Louvre, Paris.

1.1.2. D'Henri II à Henri III



Henri II ne développe pas les bijoux de la Couronne. Diane de Poitiers, la favorite du roi, pendant plus de vingt ans, possède nombreux bijoux mais à titre personnel.

Malgré son court règne, François II augmente et transforme la collection avec le joaillier François Dujardin. Il bénéficie notamment des bijoux rendus par Diane de Poitiers. Il s'agit notamment de la grande croix composée de neuf diamants et la Grande Table, le plus gros diamant connu en Europe à l'époque, évalué à 41,50 carats.

La régence de Catherine de Médicis et le règne de Charles IX, voit la collection s'enrichir de très belles pièces. L'inventaire de 1570 est constitué de 30 chapitres.

Sous le règne d'Henri III, la majeure partie des bijoux de la Couronne sont dispersés ou mis en gage du fait des difficultés financières liées aux guerres de religion.

1.1.3. D'Henri IV à la régence d'Anne d'Autriche

Henri IV, s'attache à reconstituer les bijoux de la Couronne et effectue d'importants achats.

Le manque de documents, concernant les bijoux de la Couronne sous le règne de Louis XIII, puis la régence d'Anne d'Autriche explique le peu de renseignements sur la collection. Le 6 juin 1636, le cardinal duc de Richelieu lègue à la Couronne de France un diamant taillé en rose de 19,52 carats.

Durant la Fronde et la guerre de trente ans, les bijoux de la Couronne sont mis une nouvelle fois en gage, une partie seulement réintègre la collection.

1.1.4. Louis XIV

Lors du règne de Louis XVI, la collection se développe pour devenir la plus importante d'Europe. En 1661, le cardinal Mazarin, amateur de pierres précieuses, lègue à la Couronne de France, dix-huit grands diamants portant son nom. Le premier des diamants est le Grand Sancy (cf. 1.2. Description de quelques gemmes des bijoux de la Couronne de France). En 1665, le Roi achète le diamant de la Maison de Guise.

En 1669, Louis XIV achète au grand voyageur et marchand Jean-Baptiste Tavernier le Diamant Bleu (cf. fig. 3). La même année, il achète au sieur Bazu, lapidaire et marchand, quatorze grands diamants, cent trente et un plus petits, des pierres de couleur et des perles. Le Grand Saphir a été acquis à la même époque. En 1691, la collection comptait 5 885 diamants, 1 588 pierres de couleur et 488 pierres.

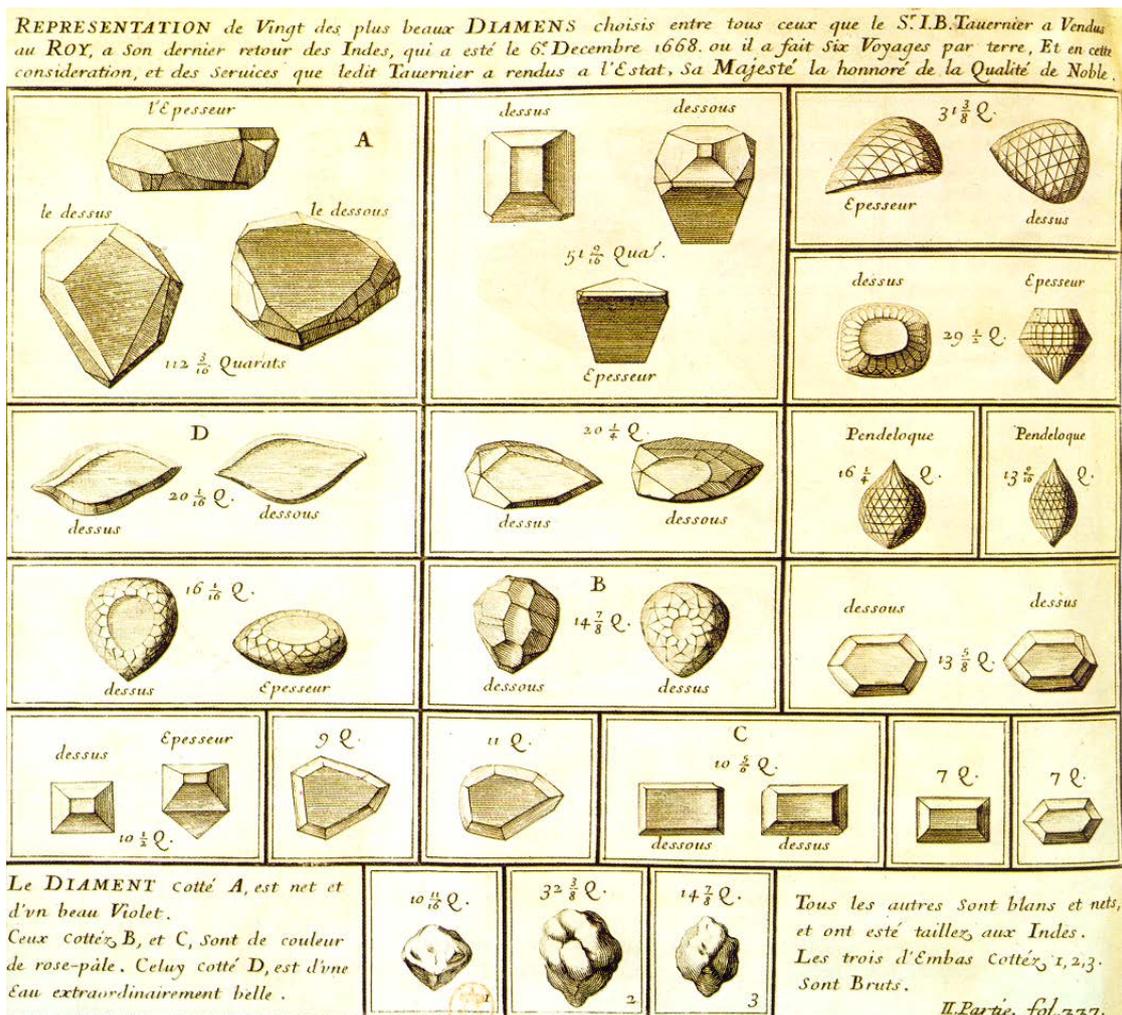


Fig. 3

Les principaux diamants vendus par Jean-Baptiste Tavernier à Louis XIV en 1669. Planche tirée des « Six voyages de Jean-Baptiste Tavernier ». Paris, édition de 1676.

1.1.5. Louis XV et Louis XVI

Le règne de Louis XV se caractérise surtout par l'acquisition du diamant Régent (cf. 1.2. Description de quelques gemmes des bijoux de la Couronne de France) et par des transformations des bijoux de la Couronne. Deux ensembles de décorations sont créés : la parure blanche constituée comme son nom l'indique de diamants et la parure de couleur qui réutilise pour la Toison d'or notamment le Diamant Bleu.

En 1775, une nouvelle couronne est créée pour le sacre de Louis XVI. Lors de son règne, de nombreux diamants sont retaillés, mais la Révolution empêche la création de nouvelles parures.

1.1.6. Les bijoux de la Couronne durant la Révolution

Les bijoux de la Couronne sont alors déposés au Garde-Meuble. L'Assemblée nationale décide par les décrets du 26, 27 mai et du 22 juin 1791 de faire dresser l'« Inventaire des diamants et pierreries de la Couronne ». L'inventaire compte 9 547 diamants, 506 perles, 230 rubis et spinelles, 71 topazes et 150 émeraudes, 35 saphirs et 19 pierres.

Une grande partie des bijoux est volée en 1792. Du 11 au 17 septembre, trente à quarante voleurs s'empare d'une bonne partie du trésor. À la suite des enquêtes menées entre 1792 et 1794, les deux tiers des bijoux sont retrouvés.

1.1.7. La Convention nationale et le Directoire



Sous la Convention nationale, les bijoux de l'Etat sont augmentés des pierres confisquées aux émigrés et des bijoux du roi de Sardaigne, Victor-Amédée III.

Mais l'Etat ayant besoin de ressources, le Directoire décide, en suivant les décisions prises sous la Convention, de vendre un lot important de bijoux de la couronne notamment la plupart des diamants Mazarins.

En 1796, l'Etat décrète « *que le choix de précieux objets conservés à la Monnaie fut fait par le Muséum avant tous autres Etablissements Nationaux, les citoyens Daubenton et Jussieu sont nommés Commissaires pour choisir et recevoir cette collection* ». Daubenton, professeur de minéralogie, choisit des pierres pour le Muséum d'Histoire Naturelle, dont le Grand Saphir.

De 1796 à 1800, les bijoux de la Couronne sont mis en gage pour financer les armées françaises.

1.1.8. Le Consulat

Sous le Consulat, une fois les finances de l'Etat équilibrées, Bonaparte entreprend de rassembler les bijoux disséminés. Peu de créations sont réalisées durant cette période, si ce n'est l'épée de Premier Consul avec le Régent.

1.1.9. Le Premier Empire

Avec Napoléon I^{er} la collection retrouve son nom de bijoux de la Couronne de France. Comme sous le règne de Louis XIV, une importante politique d'achat est engagée jusqu'en 1812.

Pour reconstituer et enrichir la collection, Napoléon écrit à l'intendant général de la maison de l'empereur le 8 février 1810 : « *Je n'ai pas besoin d'avoir ces parures sur-le-champ, ni de sacrifier pour cela plusieurs centaines de milliers de francs. Je désire, au contraire, que ces acquisitions se fassent, au contraire, sans précipitation et au meilleur marché possible* ».

L'impératrice Joséphine a également la passion des bijoux. Elle dispose d'une partie des bijoux de la Couronne, qu'elle rendra au moment de son divorce prononcé en 1809. Après le second mariage de l'empereur en 1810, des parures sont créées pour la nouvelle impératrice, Marie-Louise.

L'épée consulaire devient épée impériale lors du sacre de Napoléon I^{er}. Elle a été remplacée par un glaive en 1812.

L'empereur porte ainsi le nombre de pierres des bijoux de la Couronne à plus de 65 000.

1.1.10. La Restauration

Louis XVIII dispose dès 1814, des bijoux de la Couronne et du trésor impérial. Pendant les Cents-Jours, le Roi s'exile à Gand avec le trésor d'Etat.

De retour en France peu après l'arrivée de Louis XVIII, un inventaire est rédigé. La Restauration est marquée par la création de nouveaux bijoux.

Les diverses acquisitions de Louis XVIII et de Charles X ont augmenté sensiblement la valeur qu'avaient les bijoux de la Couronne à la fin du Premier Empire.

1.1.11. La Monarchie de Juillet

Louis-Philippe n'utilise pas les bijoux de la Couronne Ils restent jusqu'en 1848 sous la garde de l'administration de la liste civile située aux Tuileries. La reine Marie-Amélie possède, toutefois, de très beaux bijoux à titre personnel.

1.1.12. Le Second Empire

Après avoir été presque oubliés durant le règne de Louis-Philippe, les bijoux de la Couronne sont remontés sur instruction de Napoléon III pour des parures destinés à l'impératrice. Toutefois, la collection ne s'enrichit pas de nouvelles pièces.

L'impératrice Eugénie possède néanmoins de fabuleux bijoux personnels, qu'elle emporta dans son exil en Angleterre à la chute du Second Empire.

1.1.13. La vente des bijoux de la Couronne

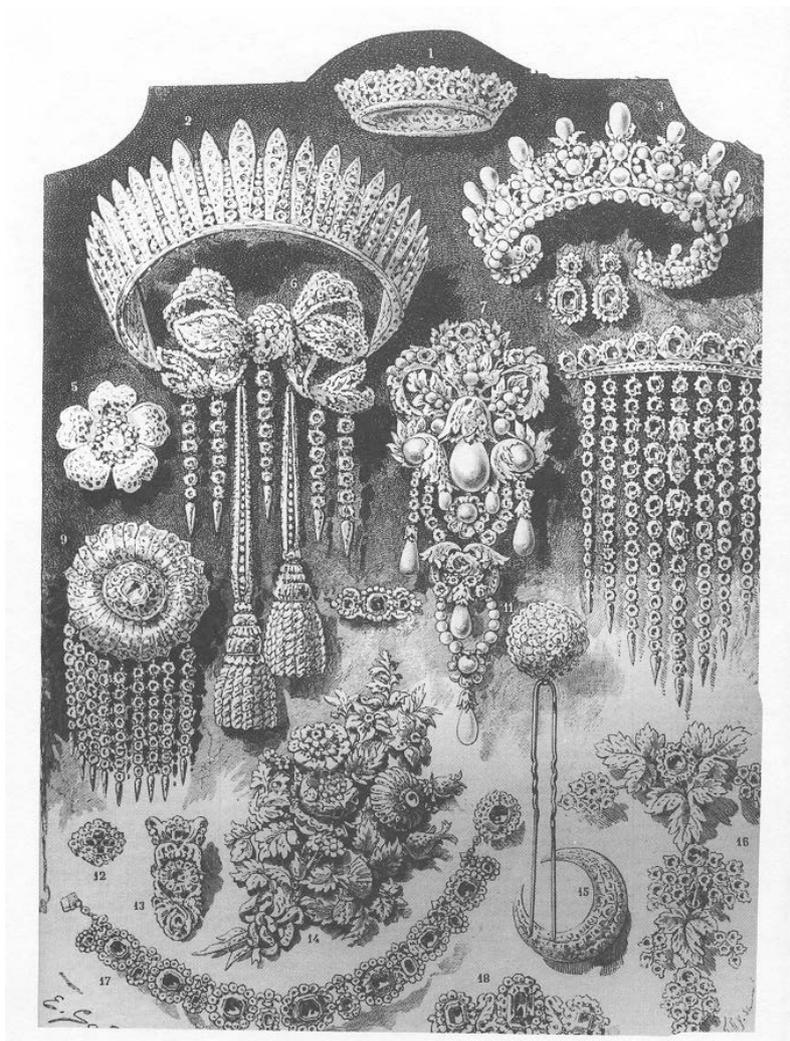


Durant la guerre de 1870, les bijoux sont conservés à l'arsenal de Brest avec les lingots et les valeurs de la banque de France. De retour à Paris en 1872, ils font l'objet 3 ans plus tard, d'une vérification par une commission. La collection réunissait 77 486 pierres et perles. Ils sont ensuite exposés avec succès à l'exposition Universelle de 1878 et une dernière fois en 1884 dans la salle des Etats au Louvre, pour la caisse des Ecoles des arts industriels.

Depuis 1848, la vente des bijoux de la Couronne est évoquée. Les raisons de cette vente sont plus politiques que financières. La Troisième République souhaite éradiquer toute idée de retour à la monarchie. Légitimistes, orléanistes, bonapartistes héritiers des trois expériences monarchiques du XIX^{ème} siècle – Restauration, Monarchie de Juillet, Second Empire – nourrissent encore certaines espérances. Ainsi pour consolider la République, le gouvernement de Jules Grévy souhaite la dispersion des bijoux de la Couronne (cf. fig. 4). La loi d'aliénation définitive est adoptée par le Sénat et la Chambre des Députés. Le *Journal Officiel* publie la loi le 11 janvier 1887. L'article premier est rédigé ainsi : « *Les diamants, pierreries et bijoux faisant partie de la collection dite des Diamants de la Couronne, et qui ne figurent pas sur les états A, B, C, annexés à la présente Loi, seront vendus aux enchères publiques. Le produit net de cette vente sera converti en rentes sur l'Etat* ».

La loi d'aliénation attribue des bijoux au musée du Louvre parmi lesquels le prestigieux Régent, le spinelle la Côte de Bretagne, le diamant Hortensia ou encore l'Epée militaire du sacre de Charles X.

D'autres bijoux sont partagés entre l'Ecole des Mines et le Muséum d'histoire naturelle. Ce dernier avait déjà bénéficié d'un dépôt effectué par l'Etat en 1796.



**Fig. 4**

Quelques-uns des bijoux de la Couronne de France présentés pour la vente de 1887.
Gravure parue dans l'illustration en 1887.

1.2. Description de quelques gemmes des bijoux de la Couronne de France**1.2.1. La Côte de Bretagne**

La Côte de Bretagne est un spinelle de 107,88 carats (cf. fig. 5). Il s'agit de la plus ancienne pierre de la Couronne de France.

Il appartenait à la duchesse Anne de Bretagne, mère de Claude de France, épouse de François I^{er}. Au cours du XVI^e siècle, il est plusieurs fois mis en gage.

Il est retaillé en forme de dragon pour être intégré à l'insigne de la Toison d'Or de Louis XV. Il est aujourd'hui conservé au Musée du Louvre.

**Fig. 5**

La « Côte de Bretagne », spinelle rouge taillée en forme de dragon par Jacques Guay en 1750, Musée du Louvre, Paris.

1.2.2. Le Diamant Bleu

Le Diamant Bleu, appelé aussi Bleu de France ou Bleu français ou encore Bleu de Tavernier, est un diamant acquis par Louis XIV en 1669 au grand voyageur et marchand Jean-Baptiste Tavernier suite à son retour d'Inde.

Il est retaillé par Jean Pittan en 1672-1673 sous une forme triangulaire selon une taille dite en « rose de Paris » et passe de 115,28 à 69 carats.

Louis XV le sélectionne pour orner l'insigne de la Toison d'or.

Après le vol de 1792, il semble perdu. En 1812, un diamant bleu plus petit, apparaît à Londres, soit quelques jours après la durée de prescription du délit. Il est acheté en 1824, par sir Henri Philip Hope, banquier qui lui donne son nouveau nom. Après de nombreux propriétaires, Harry Winston en fait don au Smithsonian Institute de Washington en 1958.

Dès le milieu du XIX^e siècle, on suspecte que le diamant a été retaillé entre 1792 et 1812. En 2007, le professeur de minéralogie François Farges découvre l'unique copie en plomb du diamant bleu dans les réserves du MNHN de Paris. La comparaison numérique de la copie de plomb avec celui du diamant Hope démontre comment le diamant français a vraisemblablement été retaillé.

Il reste le plus gros diamant bleu jamais découvert à ce jour. C'est le deuxième objet d'art le plus visité dans le monde (6 millions de visiteurs annuels) après la Joconde au Louvre (8 millions de visiteurs annuels).



1.2.3. Le Régent

Le Régent est un diamant de 140,64 carats (cf. fig. 6). Il est encore aujourd'hui l'un des plus beaux diamants du monde par sa pureté et la qualité de sa taille.

Il a été découvert en 1698 à Golconde, en Inde. Thomas Pitt, gouverneur anglais du fort Saint-Georges à Madras, fait l'acquisition de cet extraordinaire diamant qui atteint alors le poids de 426 carats. Réduit à 140,615 carats par un joaillier nommé Harris après deux ans de travail de 1702 à 1704 en Angleterre, il est revendu à Philippe d'Orléans, Régent de France. Avant de trouver acquéreur le diamant a été proposé à divers souverains d'Europe. A l'époque nommé le Grand Pitt, il prend alors le nom de Régent et rejoint la collection des bijoux de la Couronne de France.

Louis XV le portait sur sa couronne lors de son sacre en 1722. Une nouvelle couronne fut réalisée pour le sacre de Louis XVI (11 juin 1775) avec le Régent. Volé en 1792 puis retrouvé en 1793, il a été mis en gage.

Il orne l'épée du Premier consul puis le glaive de l'empereur.

Le Régent est aujourd'hui au Louvre.



Fig. 6

Le diamant Régent (140,64 carats), Musée du Louvre, Paris.

1.2.4. Le Sancy

Le Sancy autrement nommé Grand Sancy est un diamant de 55,232 carats, découvert en Inde probablement au XVe siècle.

Il tient son nom de Nicolas Harlay de Sancy, surintendant des Finances d'Henri IV, qui l'a acquis en 1570. Il est ensuite vendu à Jacques Ier d'Angleterre en 1604, puis par Henriette-Marie de France, reine d'Angleterre au cardinal Mazarin en 1657. C'est ce dernier qui le lègue à Louis XIV en 1661. Il apparaît sur les couronnes de Louis XV en 1722 et de Louis XVI en 1775.

Le diamant est volé en 1792 et retrouvé en 1794. Il est mis en gage par la Première République, puis vendu par le créancier. Il a été un temps propriété du prince russe Demidov et de William Waldorf Astor. Il a été acheté par le musée du Louvre en 1976.

1.2.5. Diadème de l'impératrice Eugénie

Ce diadème de 212 perles et de 1998 diamants est l'œuvre de d'Alexandre-Gabriel Lemonnier en 1853 (cf. fig. 7).

Les perles et les diamants proviennent d'une parure créée par Nitot pour l'impératrice Marie-Louise de 1810 à 1812, et modifiée en 1819-1820.

Lors de la vente des diamants de la Couronne en 1887, le diadème fut adjugé au joaillier Jacoby et par chance ne fut pas démonté. Il a été acquis en 1890 par Albert de Tour-et-Taxis, à l'occasion de son mariage. Il fut racheté par les Amis du Louvre en 1992.

**Fig. 7**

L'impératrice Eugénie avec son diadème par Franz Xaver Winterhalter, Musée d'Orsay, Paris.

1.3. Le Grand Saphir de Louis XIV

Le Grand Saphir de Louis XIV (cf. fig. 8) est l'un des plus beaux saphirs du monde. Son origine est incertaine. Il a intégré les collections du roi Louis XIV avant 1691.

Il est décrit dans l'*Inventaire des pierreries de la Couronne* de la même année : « *Un saphir violet en losange garny d'or pezant avec sa garniture 7 gros et demy 12 grains, estimé quarante mille livres* ». A l'époque violet signifiait bleu.

Le chapitre 1 de l'inventaire concerne trois pierres à l'usage du roi : le Sancy, le Diamant Bleu et le Grand Saphir.

A la fin du règne de Louis XVI, le Grand Saphir avec les bijoux de la Couronne sont transférés au Garde-Meuble. L'Assemblée nationale décide par décret des 26, 27 mai et 22 juin 1791 de dresser *L'Inventaire des diamans (sic) de la couronne, perles, pierreries, tableaux, pierres gravées, et autres Monuments des Arts et des Sciences existant au Garde-Meuble*.

Le Grand Saphir est présenté sans sa monture de 1691 de la manière suivante : « *Un gros morceau de saphir, forme losange à six pans, poli à plat sur toutes les faces, deux vives arêtes arrondies, vif et net, pesant cent trente-deux karats un seize, estimé cent mille livres* ».

Lors du vol du garde meuble en septembre 1792, les voleurs oublient le saphir dans l'une des vitrines.

En 1796, le 4 ventôse de l'an IV, l'Etat ordonne « *que le choix de précieux objets conservés à la Monnaie fut fait par le Muséum avant tous autres Etablissements Nationaux, les*



citoyens Daubenton et Jussieu sont nommés Commissaires pour choisir et recevoir cette collection ». Le 4 prairial de l'an IV, l'assemblée des professeurs du Muséum décide que « Daubenton, professeur de minéralogie choisira parmi les pierreries et les pierres fines de la caisse à trois clefs de la Monnaie déjà mise à part pour le Muséum d'Histoire Naturelle, celles qui seraient nécessaires pour l'instruction publique et en séparerait celles qui ne sont que des objets de luxe... ». Daubenton choisit en premier lieu le Grand Saphir de Louis XIV.

Le MNHN conserve aujourd'hui ce saphir exceptionnel sous numéro a.67.



Fig. 8

Le Grand Saphir de Louis XIV, MNHN, Paris.



CHAPITRE II CARACTERISTIQUES GEMMOLOGIQUES ET MINERALOGIQUES DU SAPHIR

2.1. Le saphir dans l'histoire

L'origine exacte du mot saphir est mystérieuse. Emprunté au grec *sâppheiros*, qui semble avoir aussi désigné une autre pierre bleue, le lapis-lazuli, il dériverait d'une langue sémitique. L'hébreu biblique connaît le *sappir*, l'araméen le *sampir* qu'il emprunte au sanscrit *sanipriyan* ou *sanipriya* pour désigner une pierre précieuse de couleur sombre, plus exactement *une pierre précieuse de la planète Saturne* ; notons que c'est un composé de *sani* pour Saturne et de *priya* pour précieux. Ce mot se retrouvera en latin classique sous la forme de *sappirus* qui deviendra *sapphirus* en bas-latin. Toutefois, l'origine indienne est contestée par des auteurs, tel que E. Masson. Dans la première moitié du XII^e siècle, on cite déjà les *saphires* comme pierres précieuses et, au XIII^e siècle, le vieux français *safir*. Le mot est admis par l'académie en 1694 (Deville, 2002).

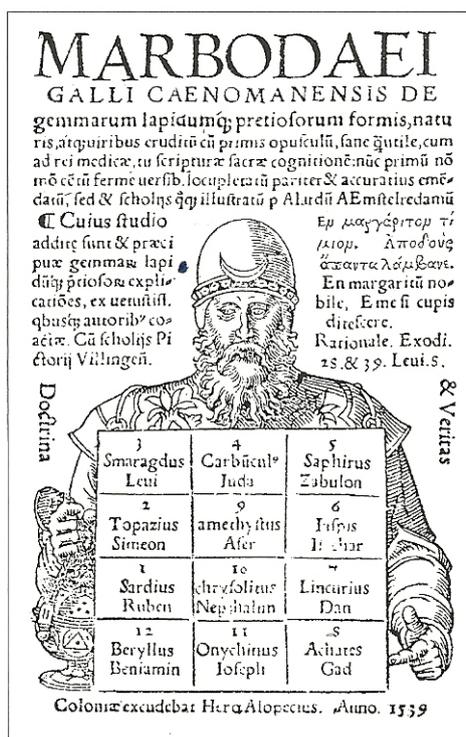


Fig. 9

Extrait de la troisième édition du *Dei Galli Poetae vetustissimi de lapidibus preoafis...* de Marbode (1035 - 1123), paru en 1539. Sur cette représentation du pectoral du jugement du Grand Prêtre du temple de Jérusalem, parmi les douze pierres correspondant aux tribus d'Israël, figure le saphirus pour la tribu Zabulon.

L'histoire de la découverte du corindon, sous ses variétés rubis et saphir, est présente dans les premiers écrits en anciens sanscrits comme par exemple l'ouvrage du bouddhiste Buddhahatta intitulé *Ratnaparīksā*, pouvant se traduire par *La gemmologie ou le classique Shilappakikaram* datant sans doute des années 180 à 200 (Deville, 2002). Plus tard, la



troisième édition du *Dei GalliPoetae vetustissimi de lapidibus preafis...* de Marbode paru en 1539 évoque également le saphir, *saphirus* (cf. fig. 9).

C'est à la fin du XVIII^e siècle que Romé-de-L'Isle (1784), Brisson (1787), Gréville (1798), de Bournon (1798, 1802) et Chenevix (1802) démontrèrent que le rubis et le saphir représentaient deux variétés colorés d'une même espèce minérale, le corindon.

2.2. Composition chimique

Le saphir est un oxyde d'aluminium de formule Al_2O_3 (cf. fig. 10) dont les premières analyses chimiques ont été réalisées au début du XIX^e siècle.

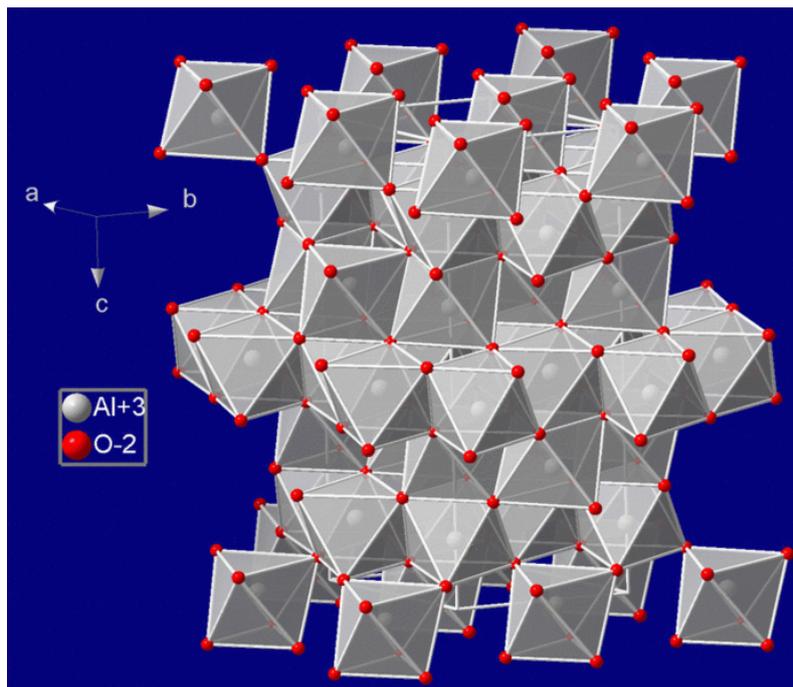


Fig. 10

Représentation cristallographique du corindon (oxyde d'aluminium de formule Al_2O_3) (www.wikipedia.org).

Bien que le corindon se compose principalement d' Al_2O_3 pur (avec une teneur variant typiquement de 96,2 et 98,84), divers éléments peuvent se substituer à l'aluminium, certains étant à l'origine de la coloration de cette espèce minérale qui, lorsqu'elle est pure, est incolore. Ces éléments sont principalement le silicium, le titane, le chrome, le fer ferreux et ferrique, le vanadium, le nickel, le magnésium, le manganèse et le calcium, plus rarement le cuivre, le cadmium et le molybdène. Depuis les travaux d'Ozerov (1945), il apparaît que la composition chimique influence ainsi l'habitus des cristaux de corindons ; les cristaux prismatiques, pyramidaux et rhomboédriques sont caractéristiques des roches ignées alcalines et des marbres tandis que les cristaux tabulaires se développent habituellement dans des roches métamorphiques à sillimanite (Lebrun, 2002).

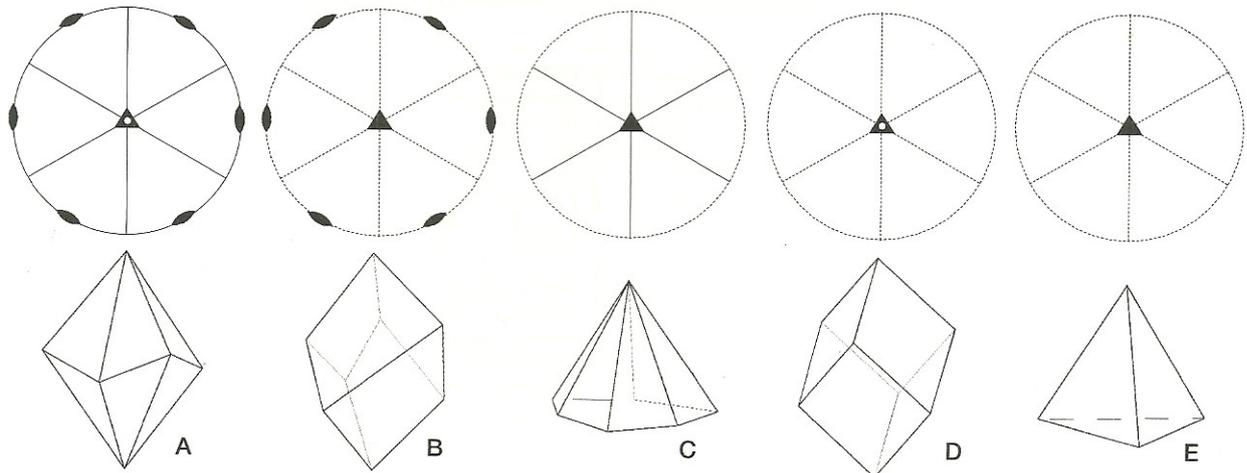
2.3. Cristallographie

2.3.1. Symétrie et paramètres de la maille

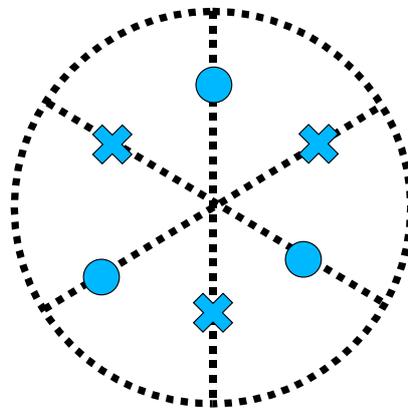
Le saphir cristallise dans la classe $32/m$ (holoédrie) du système rhomboédrique qui comprend les éléments de symétrie suivants : (i) un centre de symétrie (C) ; (ii) un axe de symétrie d'ordre 3 (A_3) confondu avec l'axe c et constituant avec le centre de symétrie un



axe inverse d'ordre 3 (\bar{A}_3) ; (iii) trois axes de symétrie d'ordre 2 (A_2) perpendiculaires à l'axe A_3 et correspondant aux trois axes cristallographiques horizontaux a_1 , a_1 , et a_3 (dans la maille multiple hexagonale) ; (iv) trois miroirs ou plans de symétrie (M) perpendiculaires aux axes A_2 et bissectant les angles entre les axes a . Les axes de coordonnées sont les trois côtés issus d'un même sommet du rhomboèdre et formant entre eux le même angle α , différent de 90° (cf. fig. 11a et 11b). On doit à Pauling & Hendricks (1925) et Ulriche (1925) les premières déterminations des paramètres de la maille cristalline du corindon (Lebrun, 2002).

**Fig. 11a**

Projections stéréographiques des éléments de symétrie et formes générales des classes de symétrie du système rhomboédrique (Lebrun, 2002 d'après Bariand et al., 1977). Le rhomboèdre est représenté fig. 11.D.

**Fig. 11b**

Projections stéréographiques des éléments de symétrie et des faces de la forme rhomboèdre

2.3.2. Habitus

Du fait du grand nombre de formes susceptibles de se développer lors de la croissance des cristaux de corindon, cet oxyde présente un habitus relativement stable. Les saphirs ont un aspect en tonnelet ou en fuseau caractéristique (cf. fig. 12).



Fig. 12

Saphir à l'état brut originaire de Ratnapura, Sri Lanka (2,1x1x1 cm)
(www.gemologyonline.com).

Les **saphirs srilankais** ont souvent un habitus en tonnelet caractéristique. Plus rarement, ils résultent de l'association du prisme hexagonal avec le pinacoïde (cf. fig. 13).

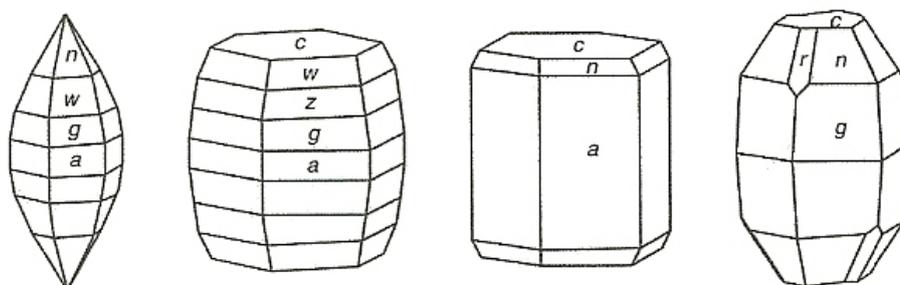
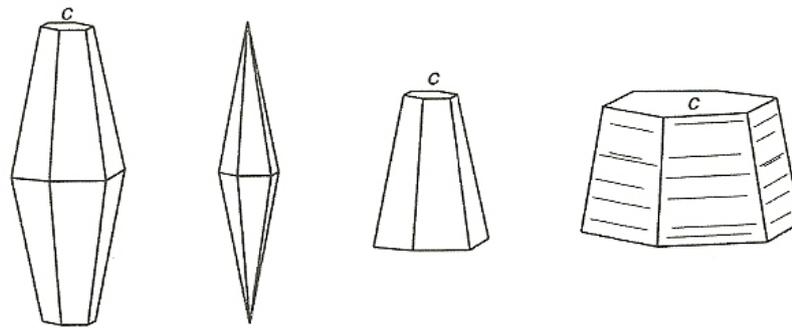


Fig. 13

Principaux habitus des saphirs du Sri Lanka (*Hughes, 1997*).

Les **saphirs australiens** présentent habituellement une forme en tonnelet liée au développement de dipyramides, plus rarement un habitus en « croc-de-chien » ou tubulaire ; leurs surfaces sont souvent corrodées par les solutions magmatiques lors de leur remontée à la surface (cf. fig. 14).

**Fig. 14**

Principaux habitus des saphirs australiens (*Hughes, 1997*).

Les **saphirs birmans** sont principalement des fragments corrodés ou des cristaux tabulaires associant un prisme hexagonal avec le pinacoïde ; des dipyramides terminées par le pinacoïde basal sont aussi communes. Ceux du Cambodge (Païlin), de Thaïlande (Bo Ploi, Chanthaburi) sont généralement des cristaux en tonnelet, des pyramides et des dipyramides ou des fragments corrodés ; ils présentent souvent des plans préférentiels de séparation selon le pinacoïde.

Les **saphirs de l'Azad Kashmir** (Cachemire libre), fusiformes, composent des dipyramides hexagonales dont les faces sont partiellement corrodées ; certains cristaux possèdent de petites faces pinacoïdales et sont parfois aplatis selon l'un des axes a . Ceux du **sud de Madagascar** possèdent un habitus comparable.

Les **saphirs chinois** de Mingxi (Fujian) possèdent une forme en tonnelet ou en « croc-de-chien » comparable à celle des cristaux australiens.

Les **saphirs tanzaniens** de la vallée de l'Umba, tabulaires, montrent les faces du pinacoïde, habituellement subdivisées en petits triangles par le développement de stries dues à la présence d'une macle polysynthétique, et du prisme hexagonal a mais sans face dipyramidale. Ceux de **Yogo Gulch** (Montana, Etats-Unis) parfois corrodés, ont un aspect inhabituel lié à la combinaison d'un rhomboèdre aplati avec le pinacoïde ; de petits triangles surélevés sont parfois observés sur les faces du pinacoïde. Les **saphirs de Rock Creek** (Montana, Etats-Unis) ont un habitus grossièrement équidimensionnel ; ces cristaux montrent communément une forme sphéroïdale secondaire résultant d'une corrosion d'origine alluviale ou magmatique. Ceux de **Missouri River et de Dry Cottonwood Creek** (Montana, Etats-Unis) combinent habituellement le prisme hexagonal a avec le pinacoïde.

Les **saphirs brésiliens** d'Indaiá (Minas Gerais), souvent brisés et idiomorphes, forment parfois des cristaux hexagonaux allongés (*Lebrun, 2002*).

**Fig. 15**

Saphir brut de forme rhomboédrique (3x2x2 cm) avec une face triangulaire du pinacoïde originaire de Zazafotsy Quarry (Amboarohy), Madagascar (Mindat).

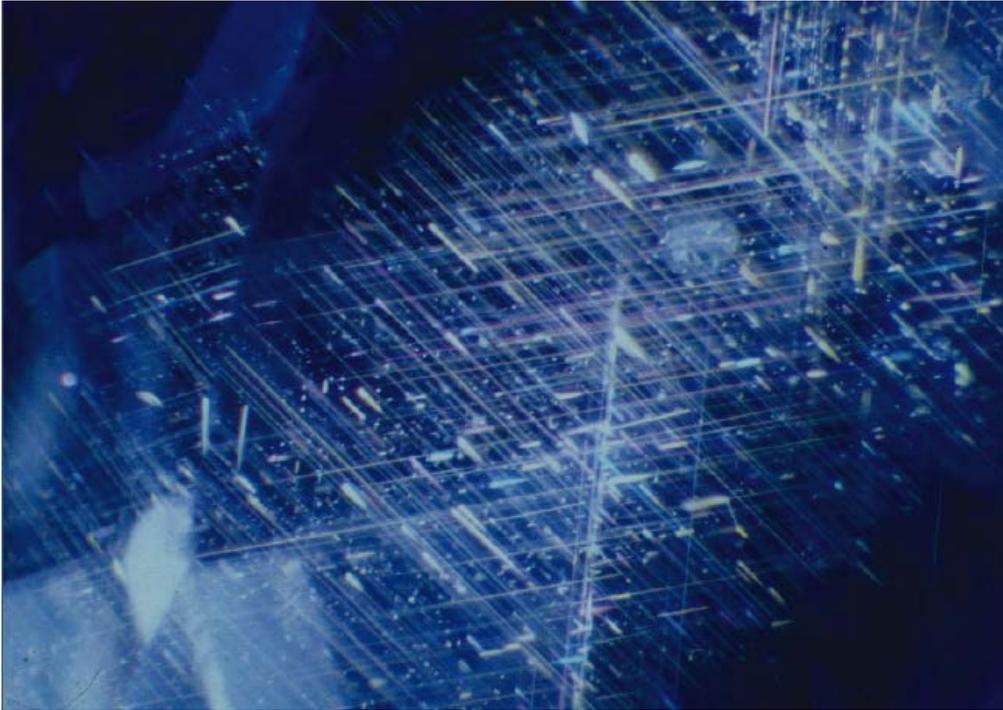
Notons enfin, qu'il existe quelques rares cas de saphir brut de forme rhomboédrique (cf. fig. 15).

2.3.3. Macles

Dans certains gisements, les cristaux de corindon sont souvent maclés lors de leur croissance, comme au Sri-Lanka et au Azad Kashmir. Toutefois, chez cet oxyde, les macles sont le plus souvent d'origine mécanique (*Lebrun, 2002*).

2.3.4. Inclusions

Les saphirs contiennent une grande variété d'inclusions dont la nature du remplissage peut être gazeux, liquide, solide ou un mélange de ceux-ci. Suivant les travaux de Gübelin (1973) et Gübelin & Koivula (1986), ces inclusions peuvent être réparties au sein de trois catégories, celles présentes avant la croissance du cristal (type protogénétique), celles formées durant la cristallisation du corindon (type syngénétique) et celles développées ultérieurement (type épigénétique). Les inclusions protogénétiques sont toujours de nature solide, elles sont communes chez les corindons qui sont formés dans les environnements métamorphiques. Les inclusions syngénétiques consistent en des cavités primaires habituellement formées lors d'une croissance rapide du cristal hôte. Les inclusions épigénétiques sont des inclusions solides résultant d'une exsolution. Il s'agit typiquement des fines aiguilles, ou soies de rutile TiO_2 (cf. fig. 16) (*Lebrun, 2002*).

**Fig. 16**

Saphir du Sri Lanka montrant des aiguilles de rutile (*Gübelin Gem Lab, 2006*).

2.4. Propriétés physiques

2.4.1. Clivage, plans préférentiels de séparation et cassure

Jusqu'à une époque récente, le corindon était considéré comme un oxyde dépourvu de clivage. En 1980, Belyaev a toutefois suggéré l'existence de deux plans de clivage à partir de l'étude de cristaux incolores synthétiques obtenus par cristallisation directe.

Le « sécabilité » du corindon est connue depuis longtemps. A la fin du XIX^e siècle, Judd (1895) distingua ainsi trois catégories de plans préférentiels de séparation qu'il attribua à la présence de plans d'exsolution. Ultérieurement, et jusqu'à la fin des années 1970, la nature de ces plans préférentiels de séparation fut attribuée au développement de macles. Vers la fin des années 1970, White montra cependant que les plans de macle n'étaient pas nécessairement des plans de faiblesse. Une analyse aux microscopes optique et à balayage électronique d'échantillons provenant de trois localités américaines lui permettait d'établir que les plans préférentiels de séparation étaient liés à la présence de fins réseaux d'inclusions de boehmite. Deux années plus tard, Weibel & Wessicken (1981) montraient que des « soies » d'hématite – ilménite étaient à l'origine de la « sécabilité » selon le pinacoïde c de saphirs à étoile noire, tout comme leur astérisme et leur couleur brunâtre très sombre.

Chez le corindon, la cassure est inégale, conchoïdale à subconchoïdale (*Lebrun, 2002*).

2.4.2 Dureté et élasticité

Par définition, le saphir correspond à la dureté 9 de l'échelle établie par Frederick Mohs (cf.fig. 17). Dans la nature, ce minéral particulièrement dur n'est ainsi dépassé que par le diamant (dureté 10). Comme chez les minéraux, la dureté absolue du corindon varie néanmoins en fonction de l'orientation de la mesure par rapport aux axes cristallographiques. La dureté du corindon est aussi légèrement dépendante de sa coloration : les saphirs étoilés sont légèrement plus durs que les variétés transparentes (*Lebrun, 2002*).

**Fig. 17**

Les dix minéraux de l'échelle de Mohs (mon.univ-montp2.fr).

Minéral relativement peu élastique, le corindon possède un module d'élasticité E (ou d'Young) de $4,410^6 \text{ kg.cm}^{-2}$ (Lebrun, 2002).

2.4.3. Point de fusion et solubilité

Le point de fusion du saphir est de 2030°C (Belyaev, 1980), voire de 2050°C selon d'autres auteurs. A 29°C , sa solubilité dans l'eau, extrêmement faible, est $9,8 \cdot 10^{-5} \text{ g}$. Dans l'acide nitrique fumant et dans l'acide orthophosphorique porté à 300°C , cet oxyde se dissout lentement. Dans le borax et le bisulfate de potassium portés respectivement à $800\text{-}1000^\circ\text{C}$ et $400\text{-}600^\circ\text{C}$, ce processus est nettement plus rapide (Lebrun, 2002).

2.4.4. Densité

Chez le corindon, la densité calculée à partir des paramètres de la maille cristalline atteint 3,997. Les valeurs obtenues pour des échantillons naturels montrent une faible dispersion. Webster (1994) a mesuré une densité de 3,989 pour un corindon pur tandis que celle d'un saphir et d'un rubis était de 3,997. Lorsque la teneur en fer ou en chrome est élevée, la densité peut atteindre 4,06 à 4,10. Plus généralement, elle est comprise entre 3,90 et 4,05 (Lebrun, 2002).

2.5. Propriétés optiques

2.5.1. Couleurs

L'appellation saphir désigne de nos jours tous les corindons de qualité gemme qui ne sont pas rouges. Le corindon rouge s'appelle rubis. Les autres couleurs sont précisées par un adjectif qualificatif : saphir vert, saphir jaune. Le mot *saphir* sans qualificatif est toujours réservé au saphir bleu. Le saphir incolore s'appelle *leucosaphir* (du grec *leukos*, blanc), le saphir orangé *padparadscha* (*fleur de lotus* en cinghalais). Un traitement thermique à $1700\text{-}1800^\circ\text{C}$ donne à certains saphirs troubles et ternes et teinte bleue, lumineuse ; à certains saphirs verts, une couleur bleu sombre (Schumann 2009).

2.5.2. Biréfringence, indices de réfraction et dispersion

Chez le saphir, optiquement uniaxe, la lumière est doublement réfractée lorsqu'elle traverse le cristal, ceci quelque soit sa direction, à l'exception de celle parallèle à l'axe c où une réfraction unique est observée. La biréfringence (Δ) est maximale selon un angle de 90° par rapport à l'axe c dénommé axe optique. La vitesse de propagation de la lumière dans cet oxyde étant minimale suivant l'axe c et l'indice de réfraction correspondant (n_o) étant maximal, on dit que le corindon est uniaxe négatif et de ce fait on affecte à la valeur de la biréfringence un signe « - ». Il existe néanmoins des cristaux qui sont anormalement biaxes



(2V jusqu'à 58°), probablement en raison de la présence de macles polysynthétiques. Bien que la composition chimique du corindon varie selon les localités, la biréfringence s'écarte peu de - 0,008 ; elle est typiquement comprise entre - 0,007 et - 0,0010 (*Lebrun, 2002*). Les indices de réfraction varient de 1,76 à 1,77 et de 1,77 à 1,78 (*Bariant et Poirot, 1985*). Chez le corindon, la dispersion (variation des indices de réfraction en fonction de la longueur d'onde) entre les lignes B et G de Fraunhofer, centrées respectivement sur 686,7 nanomètres (rouge) et 430,7 nanomètres (bleu), est relativement faible (0,018). Le « feu » n'est bien visible que chez les pierres de grandes dimensions et relativement pâles (*Lebrun, 2002*).

2.5.3. Eclat

Le corindon présente typiquement un éclat vitreux à sub-adamantin compris entre ceux du verre (vitreux) et du diamant (adamantin).

2.5.4. Astérisme et chatoyance

Ces deux caractéristiques optiques de certains corindons sont dues à la réflexion de la lumière sur des inclusions allongées extrêmement petites qui aboutit à la formation d'un « œil-de-chat » (chatoyance) lorsqu'elles sont parallèles à l'axe *c* ou d'un saphir ou d'un rubis étoilé (astérisme) lorsqu'elles sont entrecroisées – suivant trois directions formant des angles de 60° - perpendiculairement à l'axe *c*. La chatoyance est un phénomène rarissime chez les corindons (*Lebrun, 2002*).

2.5.5. Changement de couleur

Un changement de couleur (parfois dénommé alexandrisme) peut être observé tant chez les corindons naturels que synthétiques. En raison de leur absorption inhabituellement faible, ces pierres montrent une faible saturation de la couleur bleu-vert à la lumière du jour, ou fluorescente froide et une teinte rouge-pourpre sous une lumière incandescente. La plupart des saphirs montrant un changement de couleur sont des pierres bleu-violet devenant pourpres lorsqu'elles sont soumises à une lumière incandescente, en raison de la présence de Cr^{3+} (couleur rouge) et de Fe^{2+} et Ti^{4+} (couleur bleue) (*Lebrun, 2002*).

2.5.6. Luminescence

Le corindon, et plus particulièrement la variété rubis, montre plusieurs formes de luminescence.

La majorité des rubis, lorsqu'ils sont soumis aux ultraviolets longs (366 nm) et courts (253,7 nm) montrent une fluorescence rouge, rouge orangée ou orange d'intensité très variable. Cette fluorescence est beaucoup plus rare chez les saphirs.

2.5.7. Pléochroïsme

Les corindons possédant une couleur intense sont en général modérément à très fortement pléochroïques. Parmi les beaux corindons pléochroïques, citons les saphirs srilankais et australiens, respectivement bleu indigo/bleu pâle et bleu/vert-émeraude à jaune-vert, et les rubis birmans, pourpre foncé/jaune pâle (*Lebrun, 2002*).

2.6. Les différents types de gisements

Plusieurs classifications typologiques des gisements de corindon ont déjà été proposées par différents auteurs sur la base de critères minéralogiques et géologiques : *Ozerov (1945)* a établi une classification basée sur l'habitus du corindon qui dépend à la fois du milieu chimique et des conditions thermodynamiques dans lequel il a cristallisé; *Hughes (1990, 1997)* a classé les gisements suivant leur contexte géologique de formation, c'est-à-dire soit dans des roches ignées intrusives (lamprophyres) ou extrusives (basaltes alcalins), soit dans des roches issues du métamorphisme régional ou de contact (gisements de type marbre associés au faciès granulite), soit dans les gisements alluviaux et éluviaux formés par le remaniement de gisements primaires; *Schwarz (1998)* a basé sa classification sur la



lithologie des roches encaissant les corindons (basaltes alcalins, marbres, skarns, pegmatites, amphibolites, gneiss et anatexites); *Muhlmeister et al. (1998)* en se basant sur les différences de composition chimique des rubis analysés par fluorescence X, a classé les gisements en trois catégories : les gisements basaltiques, les gisements des marbres et les gisements métasomatiques (en incluant les gisements de type pegmatite déquartzifiée "les plumasites" de Tanzanie et du Kenya); *Simonet (1997, 2000)* subdivise les gisements de corindons gemmes en quatre catégories en se basant sur les processus génétiques de formation des gisements. Il distingue les gisements « magmatiques », les gisements « métamorphiques » en séparant ceux associés au métamorphisme général isochimique (gneiss granulitiques et charnockites à corindon du Sri Lanka, marbres à corindon de l'Asie centrale et du sud-Est) à ceux associés au métamorphisme métasomatique (les skarns de Madagascar et du Sri Lanka, les « plumasites » de la vallée d'Umba ou du Cachemire indien); les gisements « volcaniques » et les gisements « secondaires » (cf. tab. 1) ; *Garnier et al. (2004)* et *Giuliani et al. (2007)* proposent une classification fondée sur la nature du type de gisement et sur la lithologie des roches hôtes des corindons.

Types de gisement		Localisation dans le monde
Gisements magmatiques	Roches intrusives mafiques	Yogo Gulch, Montana, Etats-Unis. Loch Roag, Ecosse.
	Basaltes	Afrique : Cyangugu, Rwanda ; Kivu, République Démocratique du Congo ; Turkana, Kenya ; Kaduna, Nigeria ; Mamfe, Cameroun; Atakor, Sahara algérien ; Aïr, Niger. Madagascar : Soamiakatra, Antanifotsy ; Ambondromifehy, Antsiranana. Asie : Mingxi, Shandong et Pendlai, Ile de Hainan, Chine ; Bing Than, Lam Dong, Dong Nai Dak Lak, Viêt-Nam ; Pailin, Cambodge ; Chanthaburi-Trat, Kanchanaburi ; Denchai, Phrae, Thaïlande. Europe : Espaly, France ; Eifel, Allemagne ; Jinzerskà Louka, Trebivlice-Ceské, République Tchèque et Wilcza Poreka, Pologne ; Loch Roag, Ecosse. Australie: Queensland jusqu'en Tasmanie. Amérique du Sud : Mercaderes-Rio Mayo, Colombie.
	Syénites	Garba Tula, Kenya. Beforona, Madagascar.
Gisements métamorphiques	Skarns	Bakamuna, Sri Lanka. Andranondambo, Madagascar.
	Plumasites	Kalalani, Umba, Tanzanie. Buck Creek, Caroline du Nord, Etats-Unis. Haute-Loire, France. Transvaal, Afrique du Sud. Sunjam, Cachemire. Mangari, Kenya.
	Verdites	Barberton, Transvaal, Afrique du Sud et Zimbabwe. Hokitika, Nouvelle Zélande.
	Marbres	Asie centrale : Luc Yen, Viêt-Nam ; Mogok et Mong Hsu, Myanmar ; Chumar et Ruyil, Népal ; Nangimali, Azad, Kashmir ; Jegdalek, Pamirs, Tadjikistan ; Oural, Russie. Europe : Xanthi, Grèce ; Prilep, Macédoine ; Campolungo, Suisse.



	Amérique du Nord : Sussex, New Jersey. Afrique : Morogoro, Tanzanie.
Gneiss, granulites et charnockites	Azov, Russie. Froland, Norvège. Mysore, Inde Hida Japon. Ihosy et Antsirabe, Madagascar. Indaia, Minas Gerais, Brésil. Ceinture du Mozambique. Ushindi, Si Ndoto Tena, Kenya Paramati, Inde.
Amphibolites	Losongonoi, Tanzanie. Kittila, Finlande. Sittampundi, Inde. Dinarides, ex-Yougoslavie. Chantel, France. Kitui, Kenya Malawi et Tete Mozambique. Vohibory, Madagascar. Harts Range, Australie. Dir, Pakistan. Hokkaido, Japon.
Anatexites	Morogoro, Tanzanie. Stoer, Ecosse.

Tab. 1

Les différents types de gisements primaires de corindon dans le monde suivant *Garnier et al. (2004) et Giuliani et al. (2007)*.

Actuellement, les gisements de corindons sont classés en deux grands types : primaires et secondaires. Les gisements primaires se subdivisent ensuite en deux sous-groupes, selon qu'ils se développent en contexte magmatique ou métamorphique. Ici, ils seront considérés comme gisements primaires, tout gisement où les corindons sont trouvés soit dans la roche dans laquelle ils ont cristallisé, soit dans la roche qui les a transportés depuis leur lieu de cristallisation dans la croûte terrestre jusqu'à la surface.

Les gisements secondaires sont sédimentaires, d'origine détritique. Ils correspondent à l'accumulation dans des bassins de matériaux issus du démantèlement par l'érosion des gisements primaires. Ces matériaux sont transportés sur des distances plus ou moins importantes, essentiellement par les cours d'eau.

2.7. Autres saphirs célèbres

Il existe d'autres grands saphirs célèbres dans le monde. Deux saphirs célèbres, le St. Edouard et le Stuart sont placés sur la couronne impériale d'Angleterre.

Parmi les saphirs les plus gros se trouve le saphir Logan, taillé en coussin dans un cristal du Sri Lanka, de 423 carats, serti entouré de diamants sur un broche conservée à la Smithsonian Institution de Washington (cf. fig. 18). Le saphir de 258 carats d'un bleu vif et lumineux de la Couronne de Russie, est actuellement conservé au Fonds diamantaire de Russie, à Moscou.



Fig. 18

Saphir Logan (423 carats), Smithsonian Institution, Washington.

Quatre gros saphirs étoilés, provenant du Sri Lanka, sont exposés dans les musées américains : l'Etoile de l'Inde (563 carats) (cf. fig. 19) et l'Etoile de minuit (116 carats) à New-York, l'Etoile d'Asie (330 carats) et l'Etoile d'Artaban (316 carats) à Washington. Des cristaux translucides givreux peuvent atteindre des masses importantes, comme les trois saphirs d'environ 200 carats dans lesquels furent sculptées les têtes de Lincoln, Washington et Eisenhower.



Fig. 19

Saphir l'Etoile de l'Inde (563 carats), Muséum d'Histoire Naturelle, New-York.



CHAPITRE III METHODES D'ANALYSE

Toutes les techniques pour les analyses gemmologiques du Grand Saphir de Louis XIV mémoire sont présentées ici dans leur principe et en détaillant les protocoles expérimentaux.

3.1. Analyses gemmologiques classiques

Les techniques de gemmologie classiques sont décrites ci-dessous. Des descriptions complètes de ces techniques sont disponibles dans des ouvrages classiques de gemmologie.

3.1.1. Balance électronique

Le poids est mesuré avec une balance électronique. Elle permet de peser avec une grande précision les gemmes.

3.1.2. Microscope binoculaire

Nous avons, tout d'abord, utilisé un microscope.

L'appareil est monté directement sur la binoculaire offrant des grossissements choisis par l'utilisateur.

Cet instrument nous a permis d'observer les caractéristiques externes (surface), les caractéristiques internes (inclusions), mais aussi la répartition de la couleur.

3.1.3. Réfractomètre

La lumière se propage à des vitesses différentes dans l'air, dans le verre et dans une gemme. Le passage entre deux milieux de nature différente s'accompagne d'un changement de direction dans la propagation du rayon lumineux : c'est la réfraction de la lumière. L'angle de réfraction dépend des indices optiques des deux matériaux, de la longueur d'onde du rayon lumineux et de l'angle d'incidence.

Les indices de réfraction sont mesurés sur un réfractomètre (cf. fig. 20). La liqueur de contact est d'indice 1,790.

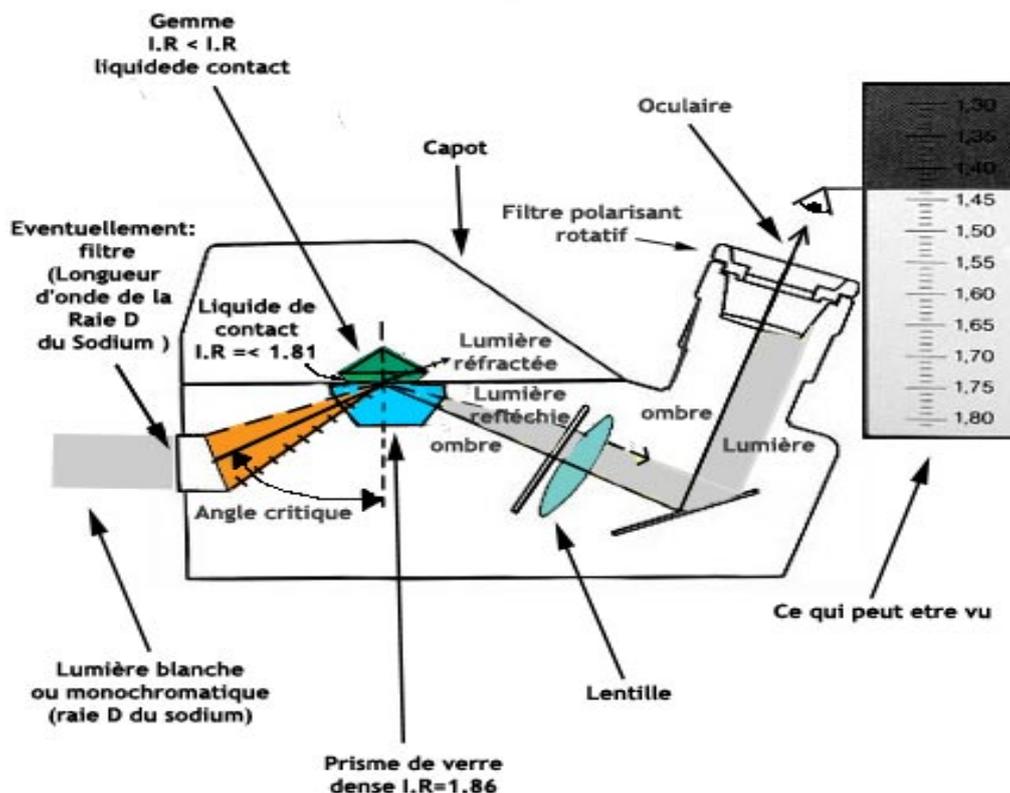


Fig. 20

Schéma explicatif du fonctionnement d'un réfractomètre (www.geminterest.com).

3.1.4. Polariscopes

Comme son nom l'indique, cet outil permet de visualiser de la lumière polarisée. Il est constitué de deux polariseurs alignés entre lesquels on positionne la pierre. L'éclairage transmis est généralement intégré. Le polariscopes permet de déterminer rapidement la nature isotrope ou anisotrope d'un cristal.

Les deux polariseurs filtrent les rayons de la lumière pour ne laisser passer des rayons que dans une unique direction. Si un cristal est placé entre les deux, seuls les rayons polarisés (par la pierre) dans la même direction passeront. Dans le cas où le cristal polarise une partie des rayons dans une direction opposée à celle des polariseurs du polariscopes, plus aucun rayon lumineux ne pourra être visualisée. On parle alors « d'extinction » de la pierre.

3.1.5. Lampe à ultraviolets

Nous avons utilisé la lampe à ultraviolets courts (253,7 nm) et longs (366 nm).

Le principe repose sur l'émission (rayonnement) de lumière par la matière sous l'effet d'une excitation en lumière ultraviolette. Lorsque celle-ci va absorber de l'énergie à une longueur d'onde donnée (absorption de photons), la matière va accumuler le surplus d'énergie et en libérant cette énergie elle va émettre des rayons lumineux.

On dira donc qu'une matière est fluorescente, si elle a la propriété d'émettre de la lumière d'une énergie plus basse que celle à laquelle on l'a exposée (lumière ultraviolette). Si cette émission persiste après que la lampe à ultraviolets est éteinte, c'est que la matière est phosphorescente.

3.2. Analyses de spectroscopies optiques

Les différentes techniques de spectroscopies optiques utilisées dans le cadre de l'analyse du Grand Saphir de Louis XIV (cf. fig. 21) sont décrites ci-dessous.

**Fig. 21**

Matériel de laboratoire (Raman 532 nm) utilisé lors des analyses sur site du MNHN (27 avril 2012).

3.2.1. Spectroscopie Raman 532 nm et 785 nm

L'effet Raman a été découvert en 1928 par Chandrasekhara Venkata Raman. Le principe de cet appareil consiste à envoyer une lumière monochromatique sous la forme d'un faisceau laser sur l'échantillon à étudier puis analyser la lumière « inélastique » diffusée en cm^{-1} par rapport à la longueur d'onde incidente. Une des principales utilisations est la caractérisation de la structure cristalline d'une pierre gemme cristallisée en comparant les courbes obtenues avec celles d'une base de données Raman (RRUFF) et le logiciel CrystalSleuth.

Un spectre Raman se présente comme une succession de bandes ou modes d'intensité et largeur variable, véritable « empreinte » du matériau analysé.

Les dispositifs utilisés sont deux spectromètres Raman compacts transportables (Ocean Optics QE 65000) respectivement excités par laser 532 et 780 nm (cf. fig. 22).

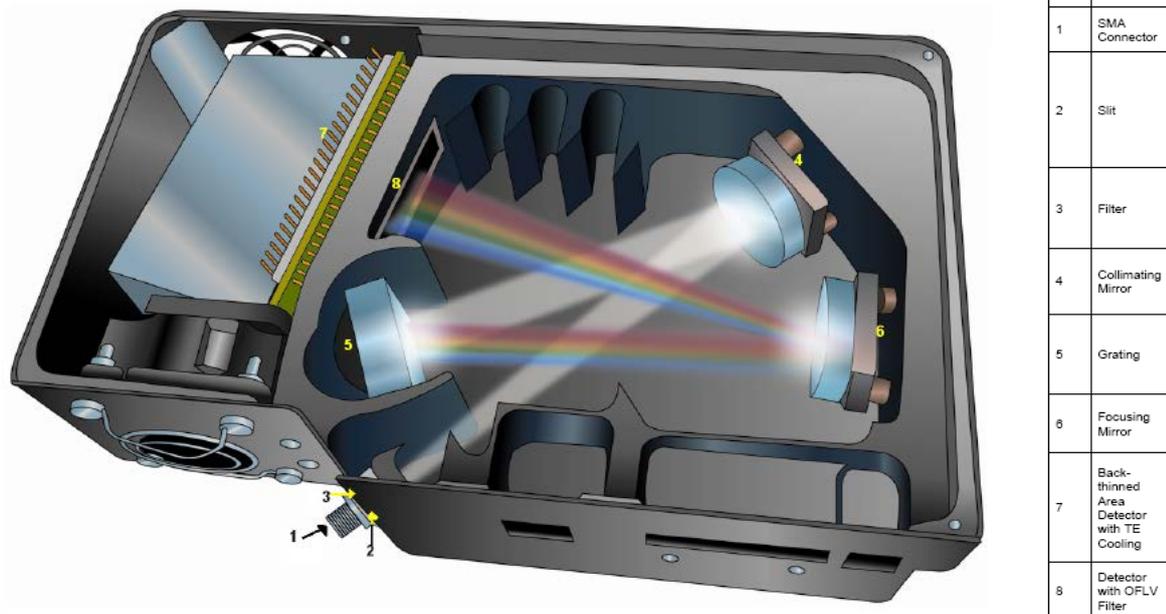


Fig. 22
Schéma du spectromètre Ocean Optics QE 65000.

3.2.2. Spectroscopie d'absorption visible - proche infrarouge

Cette technique repose sur l'absorption de l'énergie par les électrons passant ainsi de leur niveau fondamental à un niveau excité. Le spectromètre USB2000 mesure les fréquences de la lumière de l'ultraviolet (350 nm) au proche infrarouge (1000 nm). La différence entre le spectre de la source lumineuse halogène de l'appareil et le spectre de la lumière modifiée par la pierre placée dans une sphère intégrante est mesurée. C'est le spectre d'entrée amputé des longueurs d'ondes absorbées et additionné des éventuelles émissions des éléments présents.

L'information obtenue est relative à la chimie du minéral étudié, au travers des conséquences de la présence des éléments qui absorbent une partie de la lumière et font apparaître le minéral sous une couleur donnée (située dans la longueur d'onde la moins absorbée).

Cette technique permet aussi de voir des anomalies non perceptibles à l'oeil nu et qui sont les témoins de certains ions présents en traces ou directement responsables de la couleur.

La représentation du résultat se fait sous la forme d'une courbe d'intensité de la lumière en fonction de la longueur d'onde (en nm).

3.2.3. Spectroscopie de luminescence

La spectroscopie d'émission lumineuse repose sur l'émission spontanée ou luminescence d'un cristal après excitation avec une source laser (transition électronique radiative). Ici il s'agit de luminescence excitée par laser.

Le principe repose sur le retour d'un électron excité à l'état fondamental en émettant un photon. L'émission se faisant à des longueurs d'ondes spécifiques d'un élément chimique, dépendant toutefois du champ cristallin, les raies obtenues indiquent la présence d'ions dans un minéral.

La luminescence ne donne pas directement d'information structurale, celle-ci donne une information sur la nature de ou des éléments luminescents substitués au sein de la structure du minéral.



Le dispositif utilisé consiste en une excitation par lampe UV (365 nm), une collecte de la fluorescence par fibre optique et une analyse du signal par spectromètre compact Ocean Optics USB2000 dans la gamme 350 à 1000 nm (cf. fig. 23).

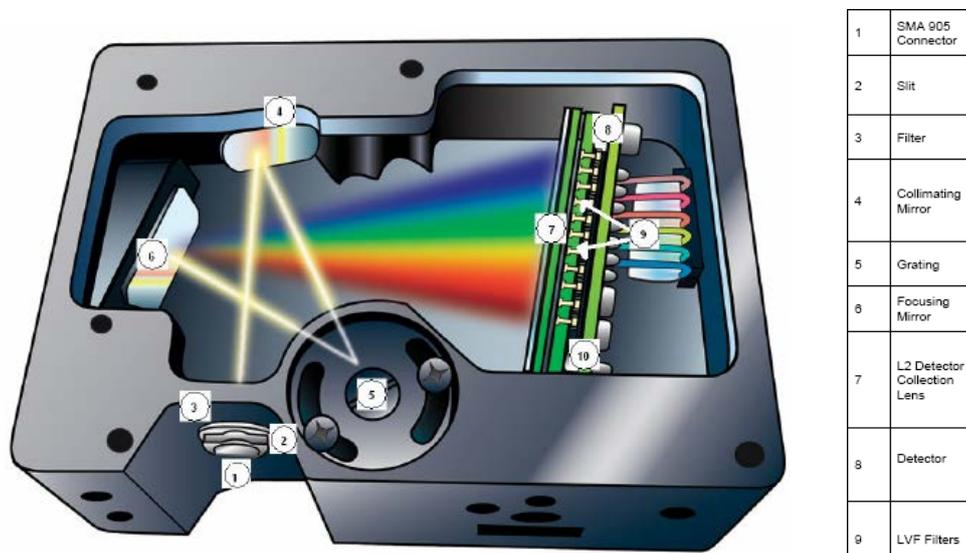


Fig. 23
Schéma du spectromètre Ocean Optics USB200.



CHAPITRE IV RESULTATS

Les résultats des analyses gemmologiques sont décrits dans cette partie. Précisons qu'il s'agit ici de résultats bruts. Ils ne font, dans cette partie du mémoire, l'objet d'aucune interprétation.

Ils n'ont pas encore donné lieu à interprétation et prendront tout leur sens ultérieurement.

4.1. Analyses gemmologiques classiques

4.1.1. Evaluation du poids

Le poids trouvé est de 27,148 grammes soit 135,74 carats.

Ce résultat est en cohérence avec les informations disponibles dans les archives (135,80 carats).

4.1.2. Observation visuelle et au microscope binoculaire

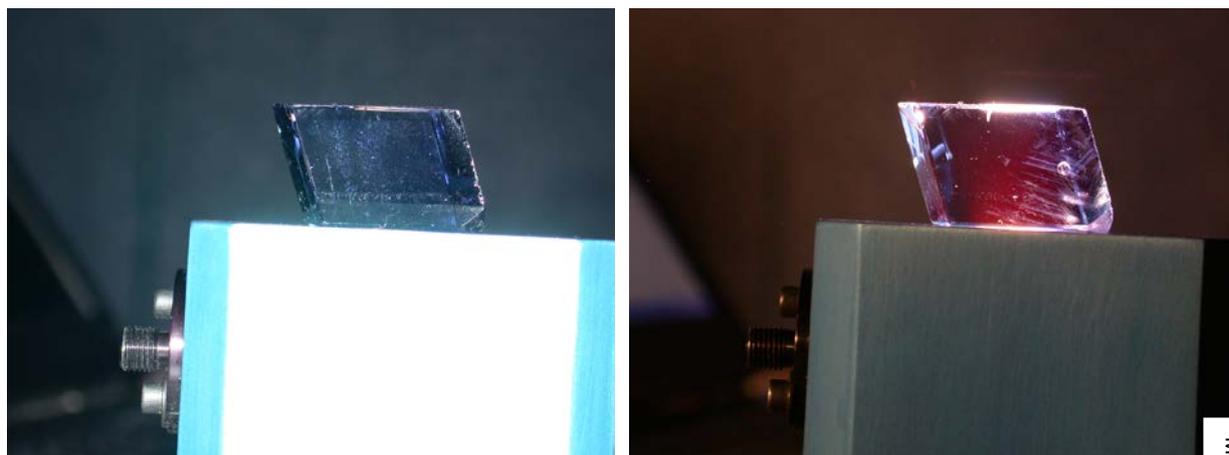
L'étude visuelle du Grand Saphir de Louis XIV en éclairage en transmission et au microscope binoculaire nous apporte de nouveaux éléments.

Tout d'abord, l'analyse révèle des inclusions qui pour la première fois ont été identifiées. Il s'agit en premier lieu de rutile sous forme d'aiguilles (cf. fig. 24 a et d). Le rutile est une espèce minérale composée de dioxyde de titane de formule TiO_2 avec des traces de Fe. Ces aiguilles de rutile ont été identifiées dès 1878 par Tschermak.

Deuxièmement, nous avons observé une inclusion globuleuse réfléchissante pouvant correspondre à de l'hématite ou un oxyde métallique (cf. fig. 24 a et d). L'hématite, est une espèce minérale composée d'oxyde de fer de formule Fe_2O_3 avec des traces de titane Ti, d'aluminium Al, de manganèse Mn et d'eau H_2O .

L'observation montre également que la coloration bleue n'est pas uniforme.

Il semble que le saphir a été abondamment manipulé durant son histoire et présente de nombreuses égrisures, rayures et ébréchures.



MNHM

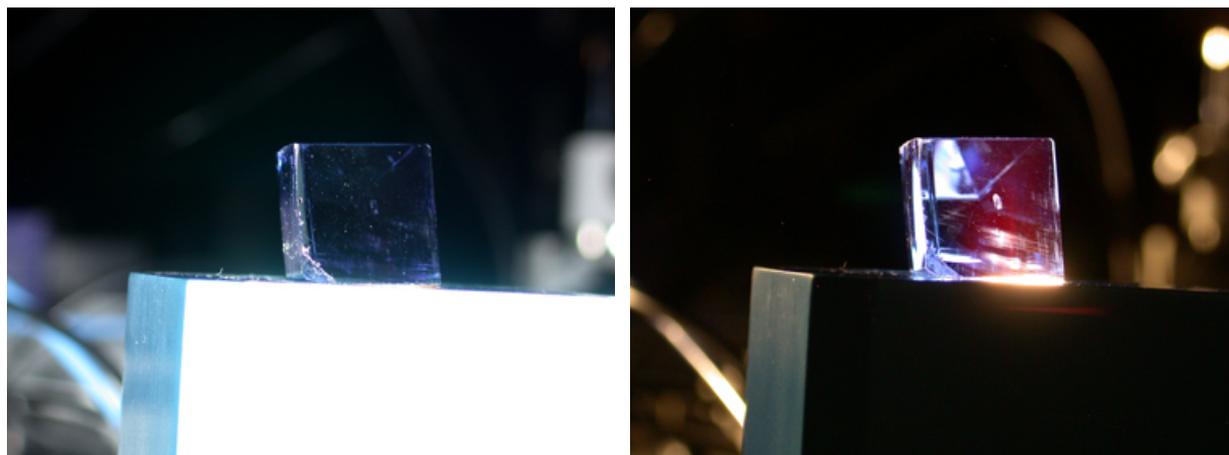


Fig. 24, a, b, c et d

Observations du Grand Saphir de Louis XIV selon deux orientations sous illumination en réflexion (a et c) et en transmission (b et d) permettant de mettre en évidence les inclusions solides (aiguilles de rutile et inclusion globuleuse).

4.1.3. Mesure de l'indice de réfraction

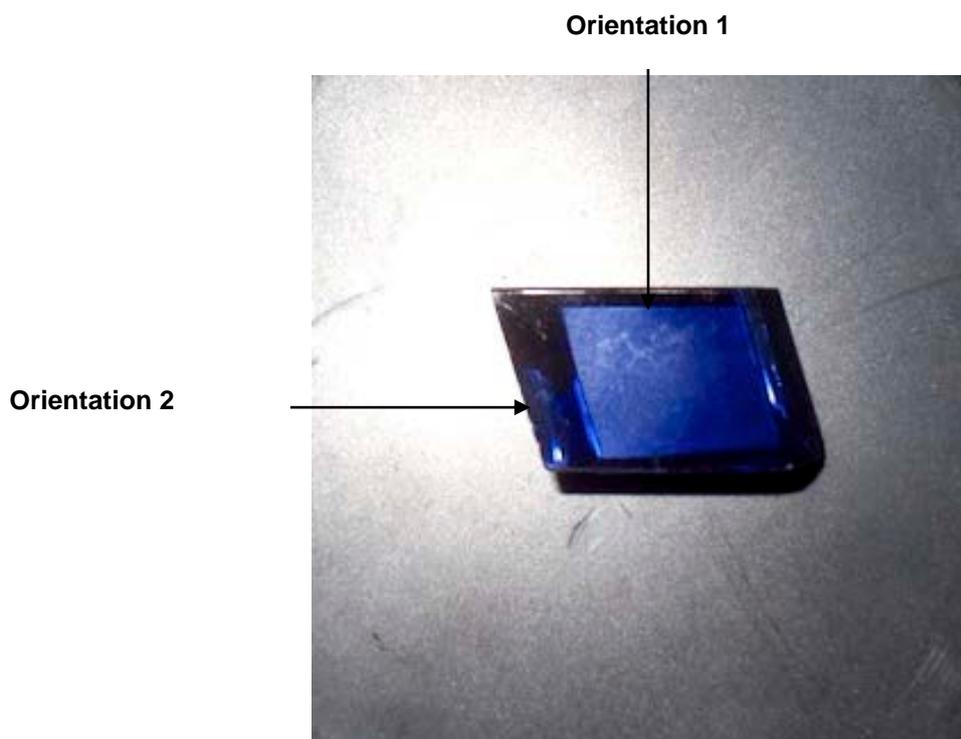


Figure 25

Orientations du Grand Saphir de Louis XIV pour les mesures des indices de réfraction.

Les mesures de l'indice de réfraction selon deux orientations (cf. fig. 25) nous donnent les valeurs suivantes (cf. tab. 2, fig. 26 et tab. 3, fig. 27) :

Orientation 1



Position	Indice 1	Indice 2
0°	1,764	1,772
45°	1,768	1,772
90°	1,770	1,772
135°	1,768	1,772
180°	1,765	1,772

Tab. 2

Indices de réfraction (orientation 1) du Grand Saphir de Louis XIV.

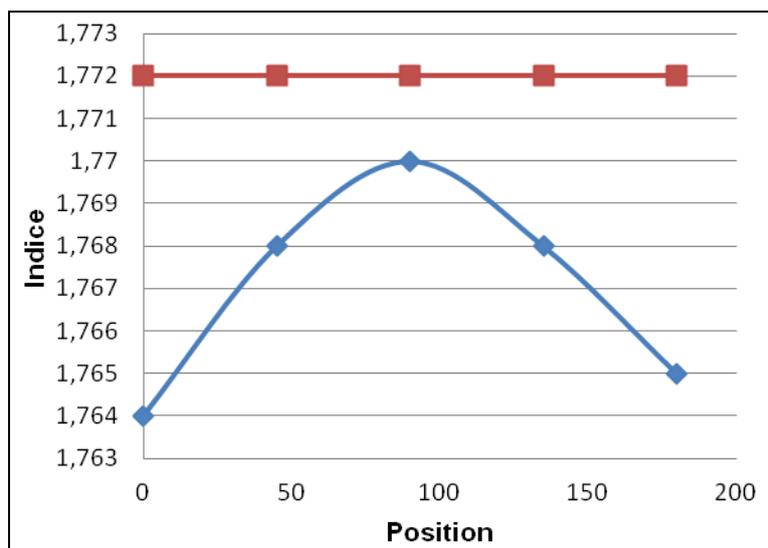


Fig. 26

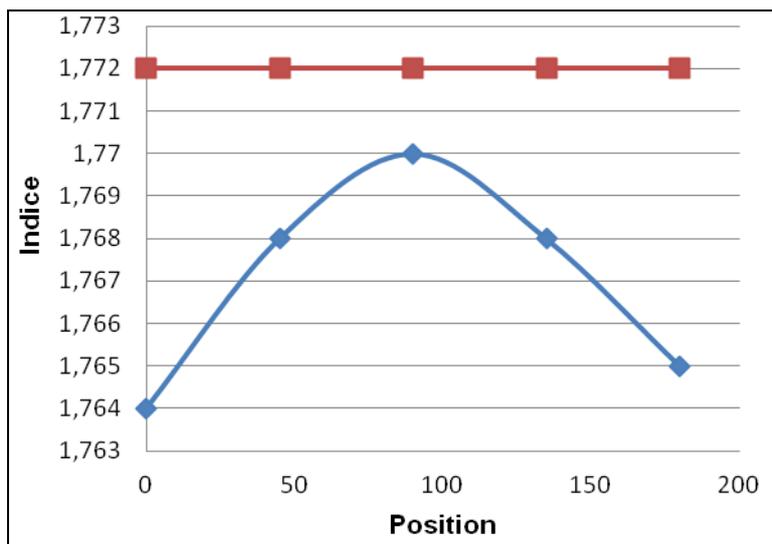
Indices de réfraction (orientation 1) du Grand Saphir de Louis XIV.

Orientation 2

Position	Indice 1	Indice 2
0°	1,764	1,772
45°	1,768	1,772
90°	1,770	1,772
135°	1,768	1,772
180°	1,765	1,772

Tab. 3

Indices de réfraction (orientation 2) du Grand Saphir de Louis XIV.

**Fig. 27**

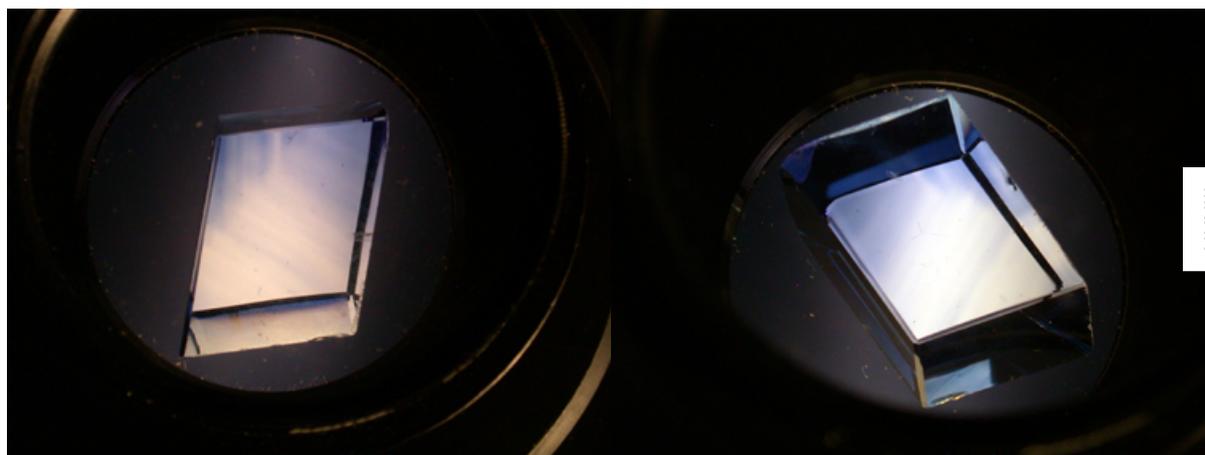
Indices de réfraction (orientation 2) du Grand Saphir de Louis XIV.

Tout d'abord, nous observons des valeurs comprises entre 1,764 et 1,772 (cf. tab. 2, fig. 26 et tab. 3, fig. 27). Nous retrouvons les indices de réfraction caractéristiques du saphir compris de 1,76 à 1,77 et de 1,77 à 1,78 (*Bariant et Poirot, 1985*).

Deuxièmement, nous pouvons calculer la biréfringence. Elle s'exprime numériquement par la différence entre le plus grand indice de réfraction et le plus petit.

Après comparaison, ces mesures correspondent à celles proposées dans le tableau des caractéristiques physiques et optiques des pierres précieuses avec une biréfringence de 0,008. Il s'agit d'un cristal uniaxe négatif.

4.1.4. Observation au polariscope

**Fig. 28, a et b**

Examen du Grand Saphir de Louis XIV au polariscope mettant en évidence des zones de croissance en chevron.

Le Grand Saphir de Louis XIV observé au polariscope montre un rétablissement lumineux 4 fois lors d'une rotation complète de 360°. On se trouve donc bien en présence d'une pierre biréfringente. En effet, la lumière est partiellement polarisée (pierre allumée) grâce au filtre du bas. Elle devient totalement polarisée (pierre éteinte) quand le filtre du haut est perpendiculaire au filtre du bas.



On distingue également au polariscope des zones de croissance en chevron allant d'un bleu prononcé à un bleu très clair (cf. fig. 28, a et b).

4.1.5. Mesure des angles

Le rhomboèdre modèle théorique a des angles entre $75,5^\circ$ et 76° . Les différentes mesures des angles du Grand Saphir de Louis XIV (cf. fig. 29) donnent les résultats suivants : 75° , 90° et 71° . Il ne s'agit pas d'un rhomboèdre de saphir naturel brut pour lequel les angles devraient être compris entre $75,5^\circ$ et 76° . La forme taillée est une forme triclinique (parallélépipède doublement oblique).

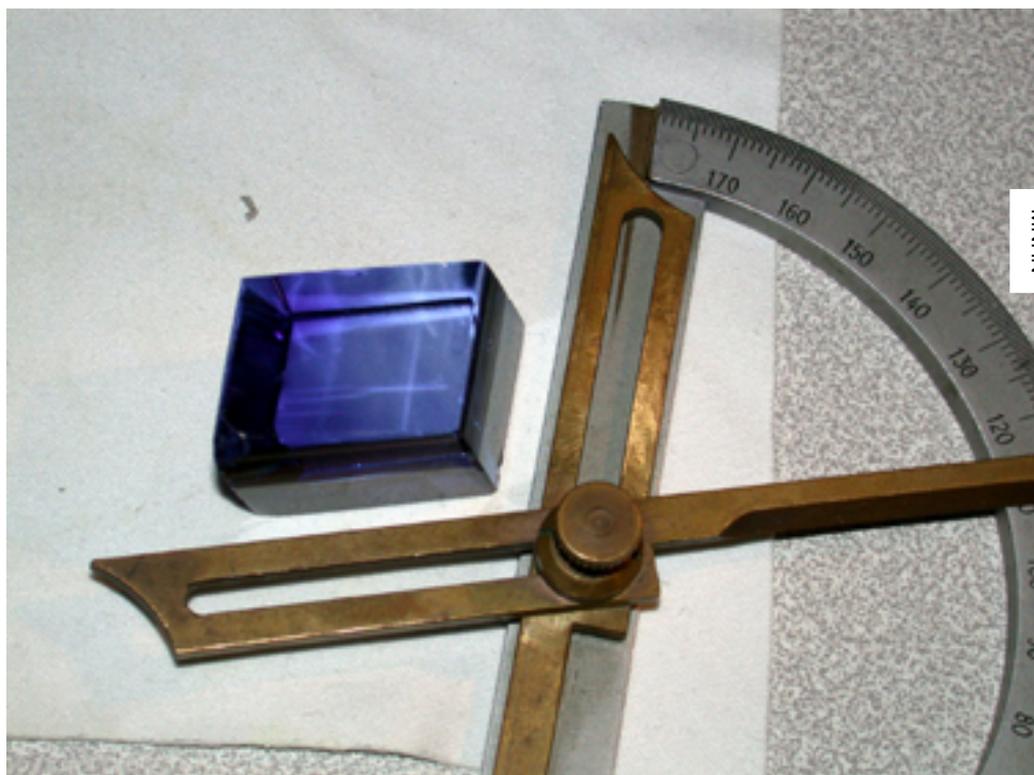


Fig. 29

Mesure des angles du Grand Saphir de Louis XIV.

4.1.6 Observation à la lampe à ultraviolets

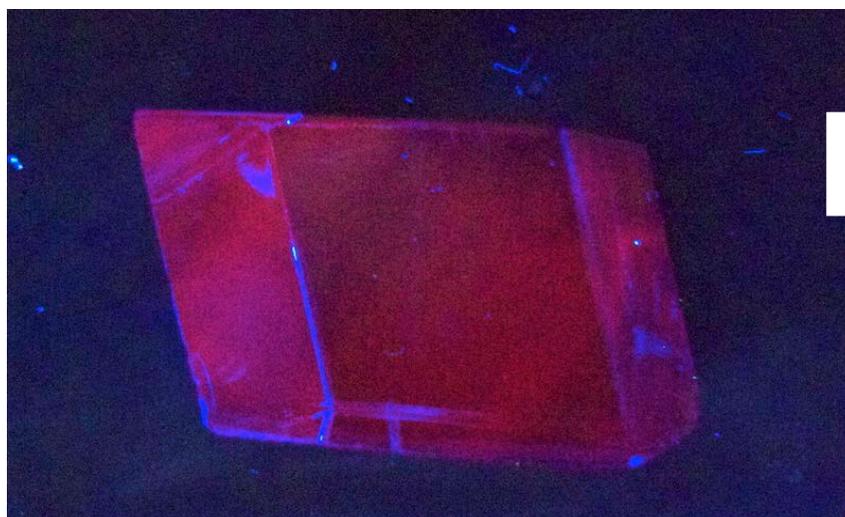


Fig. 30



Grand Saphir de Louis XIV aux ultraviolets ondes longues (366 nm).

Le Grand Saphir de Louis XIV a été très réactif aux ultraviolets longs (366 nm). Il présente une fluorescence nette, rouge vif (cf. fig. 30).

Le phénomène est soit une propriété intrinsèque du minéral, soit lié à la présence d'impuretés que l'on nomme des activateurs et des co-activateurs de fluorescence. Dans le premier cas la fluorescence est pratiquement constante quelque soit la localisation du minéral alors que dans le second cas la fluorescence sera rendue aléatoire puisque liée à la présence ou non de ces substances.

Il s'agit sans doute d'une fluorescence activée par les ions chrome Cr^{3+} qui devra être vérifiée par spectroscopie.

Aux ondes courtes (253,7 nm), il dégage une faible intensité.

4.2. Analyses par spectroscopies optiques

Nous avons sélectionné plusieurs zones à analyser par spectroscopies optiques (cf. fig. 31).

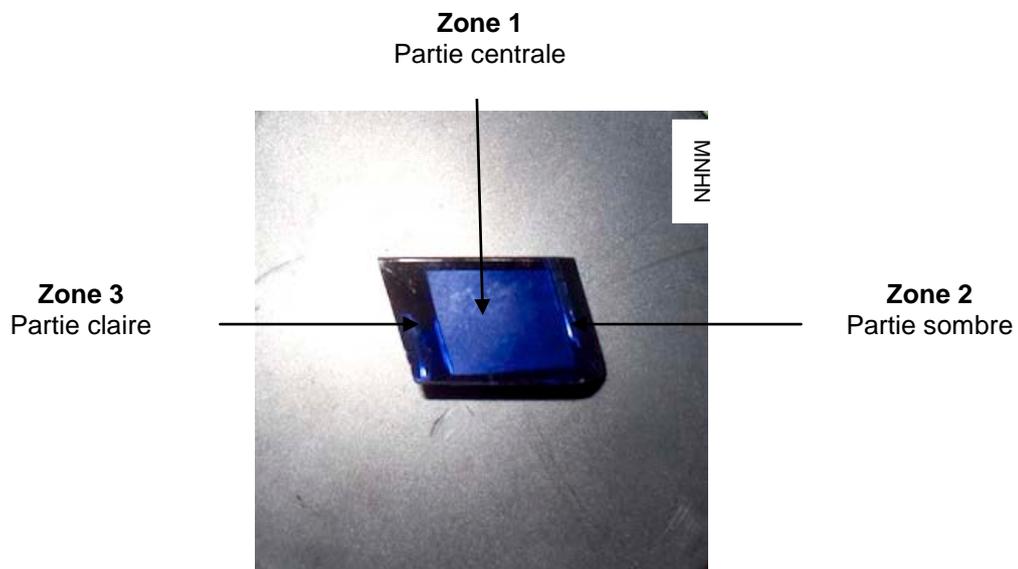


Fig. 31

Localisation des zones analysées par spectroscopies optiques du Grand Saphir de Louis XIV.

4.2.1. Spectroscopie Raman 532 nm et 785 nm

En fonction de l'orientation du Grand Saphir de Louis XIV, les spectres observables sont comparables (cf. fig. 32 et 33) avec seulement de légères variations de positions.

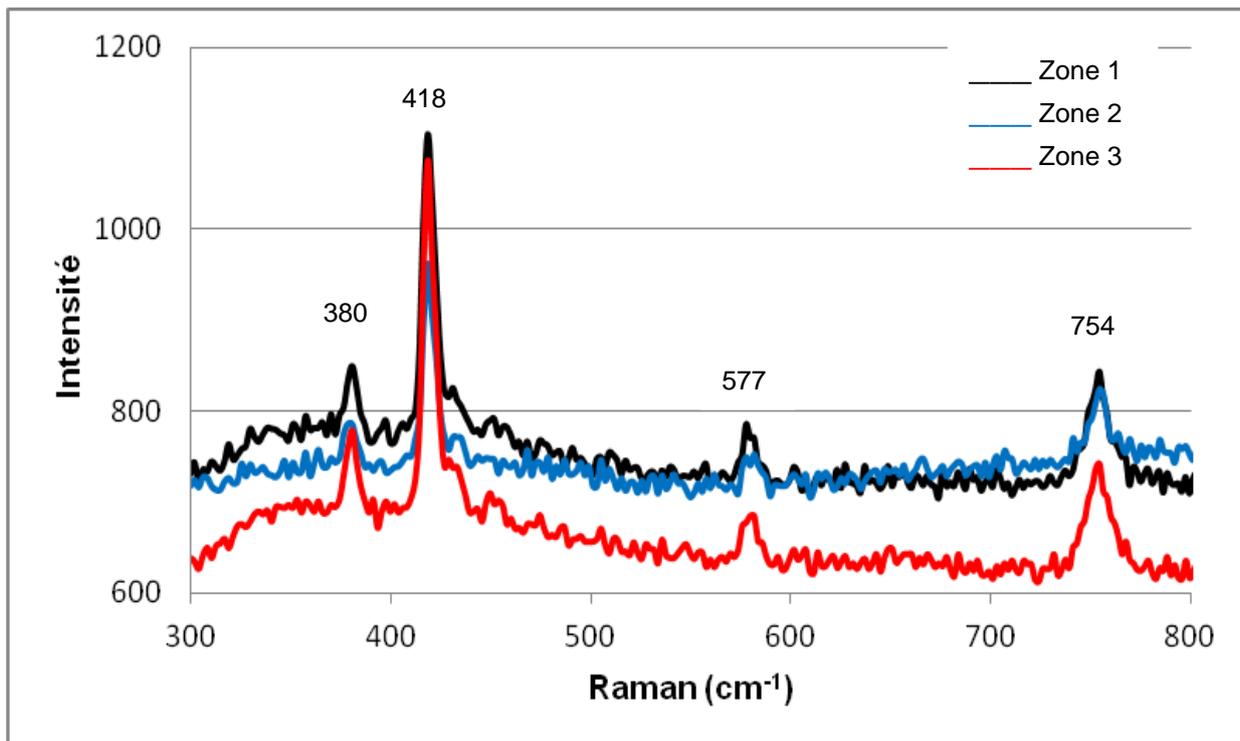


Fig. 32

Comparaison des spectres Raman à 532 nm du Grand Saphir de Louis XIV (zone 1 : partie centrale ; zone 2 : partie sombre ; zone 3 : partie claire).

A 532 nm, il y a une ligne de base qui varie (sans doute fluorescence), mais les raies sont identifiables (cf. fig. 32).

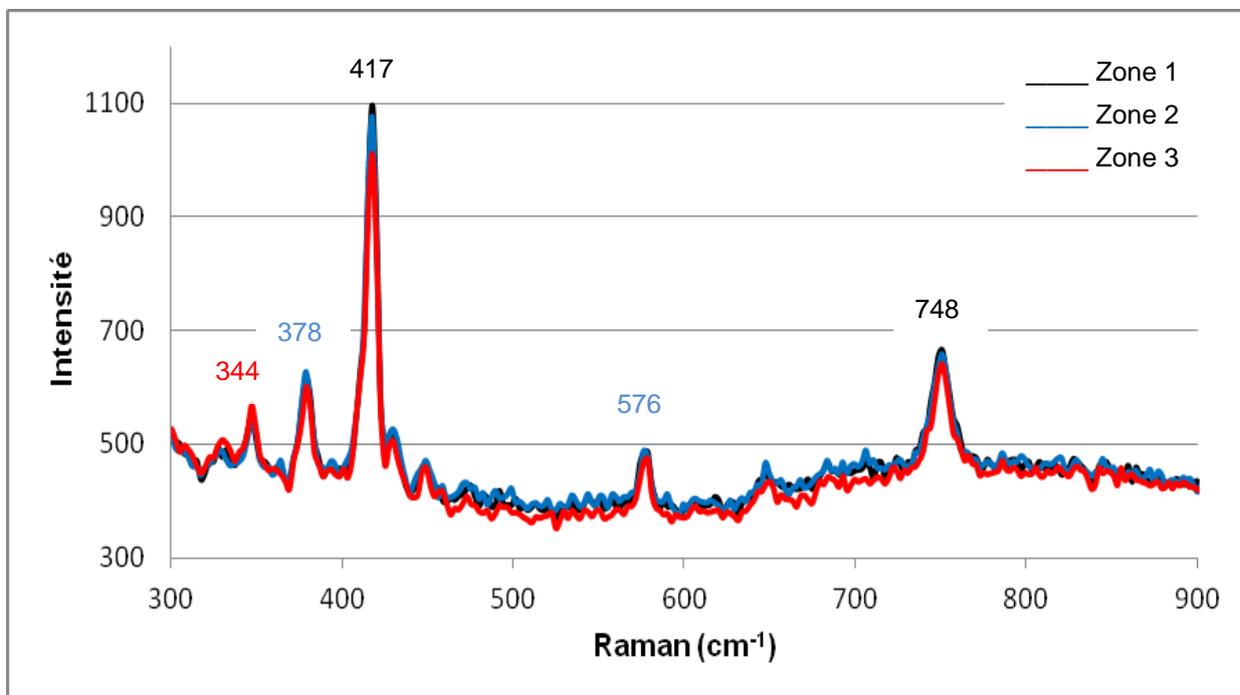


Fig. 33

Comparaison des spectres Raman à 785 nm du Grand Saphir de Louis XIV (zone 1 : partie centrale ; zone 2 : partie sombre ; zone 3 : partie claire).



A 785 nm, la fluorescence interfère mais et le spectre est de meilleure qualité. Les spectres sont comparables. Les valeurs des raies sont 344, 378, 417, 576 et 748 (cf. fig. 33).

4.2.2. Spectroscopie d'absorption visible - proche infrarouge

La figure 34 présente les spectres d'absorption du Grand Saphir de Louis XIV sous différentes orientations. Même si les spectres présentent la même allure générale, elle met en évidence des courbes d'absorption légèrement différentes en fonction des zones d'observation.

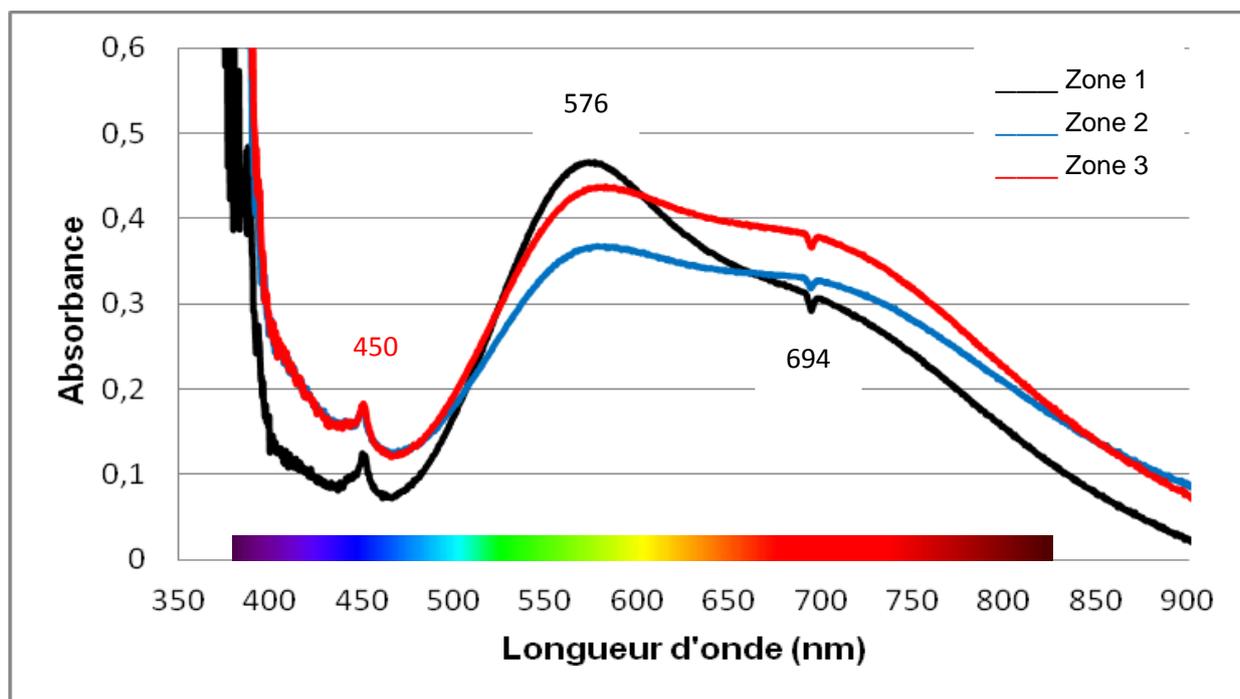


Fig. 34

Comparaison des spectres d'absorption visible - proche infrarouge du Grand Saphir de Louis XIV (zone 1 : partie centrale ; zone 2 : partie sombre ; zone 3 : partie claire).

On relève des bandes d'absorption dans le domaine du vert, jaune, orange et rouge avec un maximum 576 nm laissant paraître une zone de transmission dans le bleu induisant la couleur visuelle bleu du saphir.

La coloration bleue du saphir peut avoir plusieurs causes faisant intervenir des transferts de charge intervalences (en anglais IVCT : intervalence charge transfer).

Une raie d'absorption relativement fine est observée à 450 nm.

Enfin, un élément notable est une raie inversée correspondant à une raie d'émission à 694 nm.

4.2.3. Spectroscopie de luminescence

Comme nous l'avons vu, le Grand saphir émet une forte fluorescence rouge sous illumination par lampe à ultraviolets (366 nm) (cf. fig. 30). La même fluorescence spectaculaire est produite lors de l'excitation laser 532 nm lors de l'analyse Raman. Cette fluorescence rouge intense est localisée précisément sur le trajet du rayon laser vert à travers le saphir (cf. fig. 35).

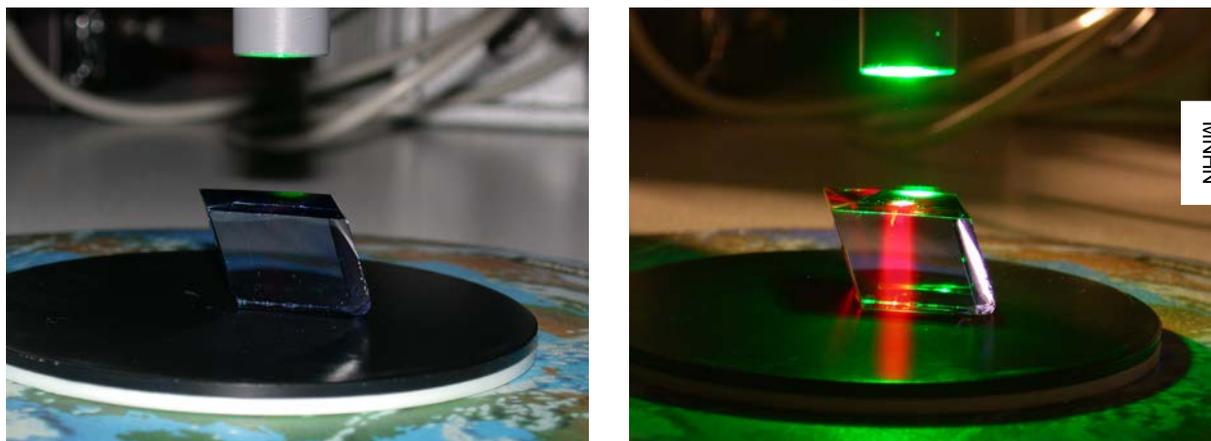


Fig. 35, a et b

Photos du Grand Saphir de Louis XIV illuminé en lumière blanche et par laser vert 532 nm.

La spectroscopie de luminescence présente une raie d'émission très intense à 694 nm (cf. fig. 36 et 37) maximale dans la zone bleu foncé pour l'excitation à 365 nm et dans la zone claire pour l'excitation à 532 nm.

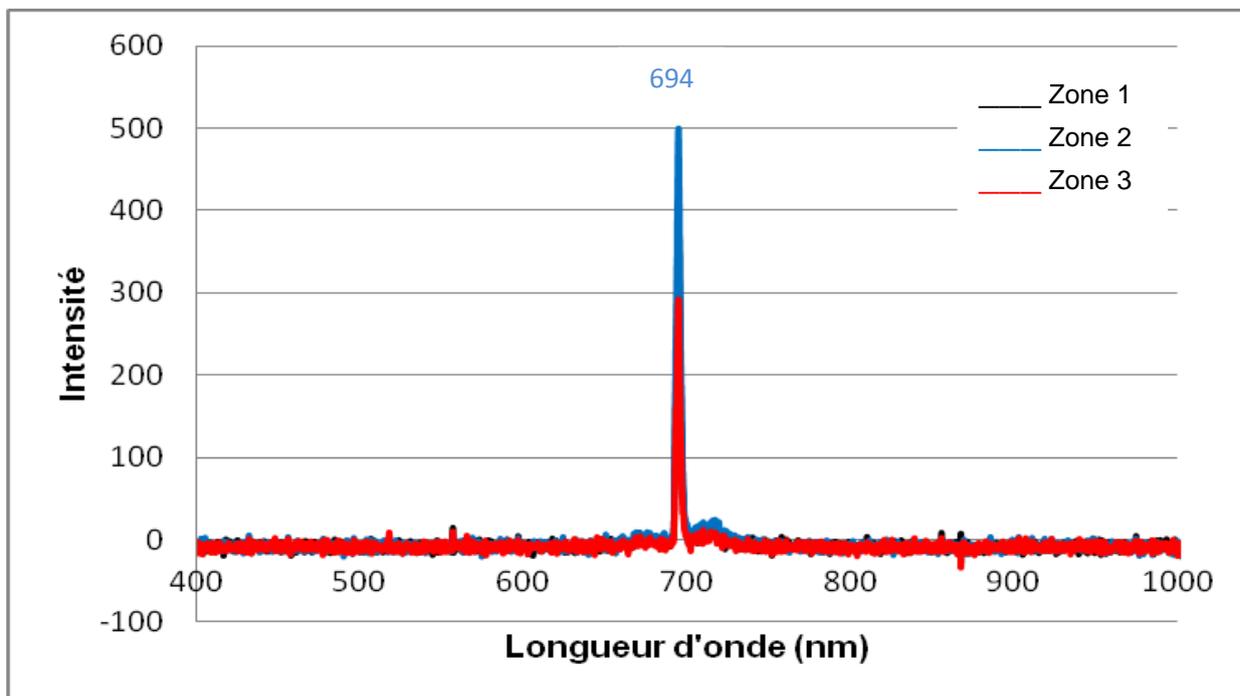


Fig. 36

Comparaison des spectres de luminescence excitée par lampe ultraviolets 365 nm du Grand Saphir de Louis XIV (zone 1 : partie centrale ; zone 2 : partie sombre ; zone 3 : partie claire).

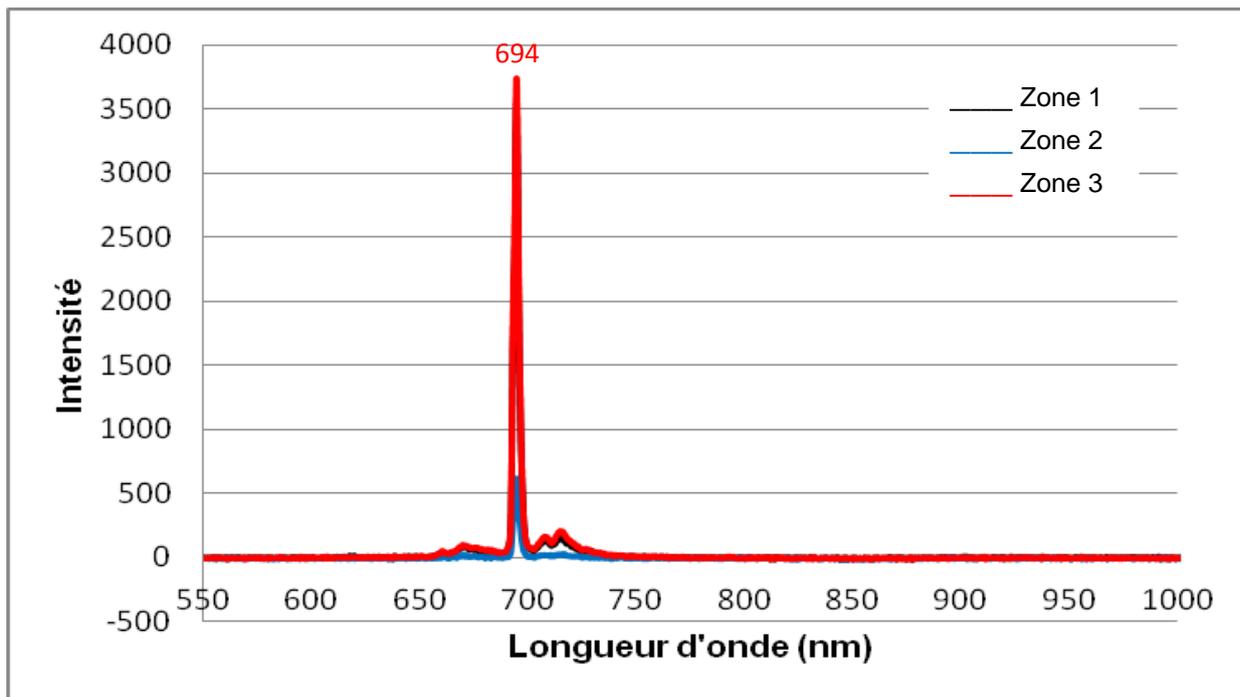


Fig. 37

Comparaison des spectres de luminescence excitée par laser 532 nm du Grand Saphir de Louis XIV (zone 1 : partie centrale ; zone 2 : partie sombre ; zone 3 : partie claire).



CHAPITRE V INTERPRÉTATIONS ET DISCUSSIONS

5.1. Caractérisation du saphir

5.1.1. A partir des analyses gemmologiques classiques

En premier lieu, les résultats des mesures des indices de réfraction confortent le fait que la gemme étudiée est bien un saphir.

A l'aide du polariscope, nous avons enfin démontré le caractère biréfringent de cette gemme.

L'observation visuelle donne quelques pistes.

La présence de rutile sous forme d'aiguilles est fréquente dans les saphirs. Soulignons que les aiguilles de rutile ne sont pas altérées. Nous pouvons conclure que le Grand Saphir de Louis XIV n'a pas eu de traitement thermique ou inférieur au point de fusion du rutile. Le saphir est un des cas les plus typiques d'application de traitements thermiques. Il s'agit de pratiques très anciennes. Ce traitement permet la dissolution du rutile et est capable de modifier la valence des impuretés. Le rutile a un point de fusion de 1830°C, mais les aiguilles de rutile de 1 à 5 µm de diamètre se dissoudront rapidement à 1600°C. Un saphir chauffé à des températures inférieures comprises entre 800°C et 1100°C ne présente pas de modifications d'inclusions.

Enfin, les zones colorées suivant les lignes de croissances caractérisent aussi le saphir.

5.1.2. A partir des analyses de spectroscopies optiques

Les analyses de spectroscopies optiques sont ici déterminantes.

Tout d'abord, le spectre Raman à 785 nm a été importé dans le programme de base de données CrystalSleuth (RRUFF). Les résultats (cf. fig. 38) montrent que le Grand Saphir de Louis XIV correspond au saphir de référence (R040096). Il n'y a donc aucune ambiguïté sur la nature du minéral.

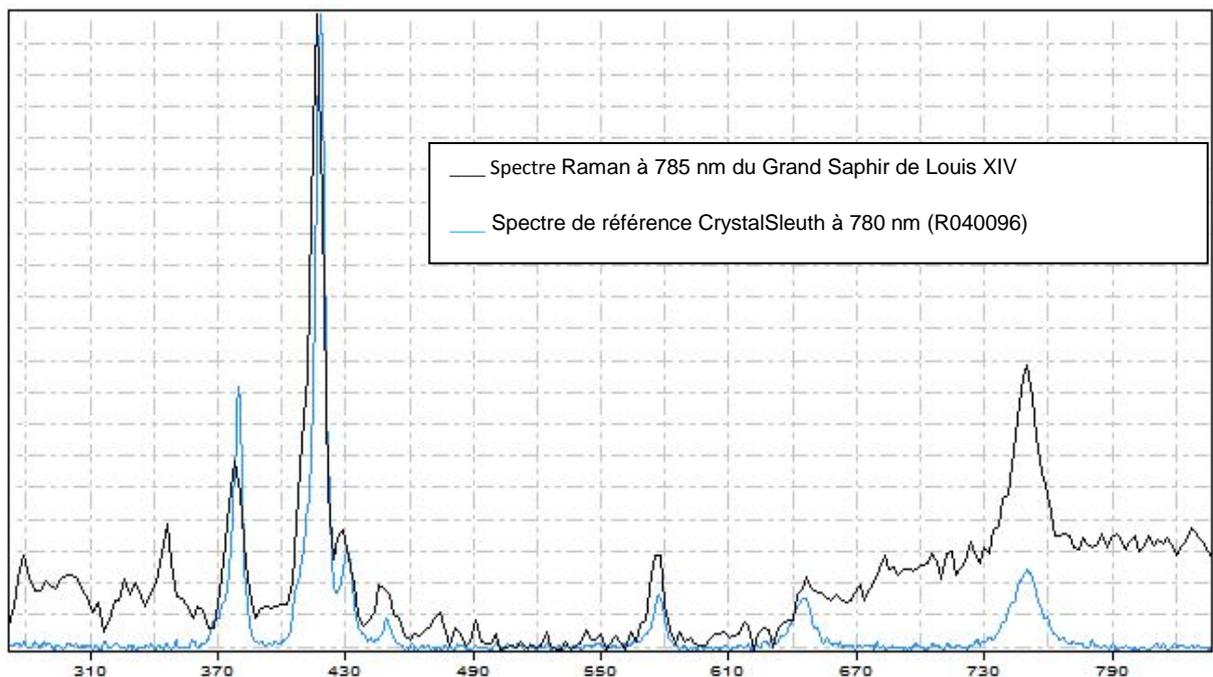


Fig. 38
Comparaison du spectre Raman à 785 nm du Grand Saphir de Louis XIV avec le spectre de référence CrystalSleuth à 780 nm (R040096).

La spectroscopie d'absorption visible - proche infrarouge (cf. fig. 39) nous donne corrélativement des informations précieuses.

Notre cas fait intervenir la paire Fe^{2+} et Ti^{4+} qui provoque une absorption culminant à 576 nm du fait de la réaction d'oxydo-réduction $Fe^{2+} + Ti^{4+} / Fe^{3+} + Ti^{3+}$; elle est associée à l'absorption due au couple Fe^{2+} / Fe^{3+} qui absorbe le jaune, l'orangé et le rouge. La présence de quelques centièmes de pour cent de ces éléments est suffisante (Cesbron 2002).

Le spectre met également en évidence la présence de chrome avec une raie négative à 694 nm.

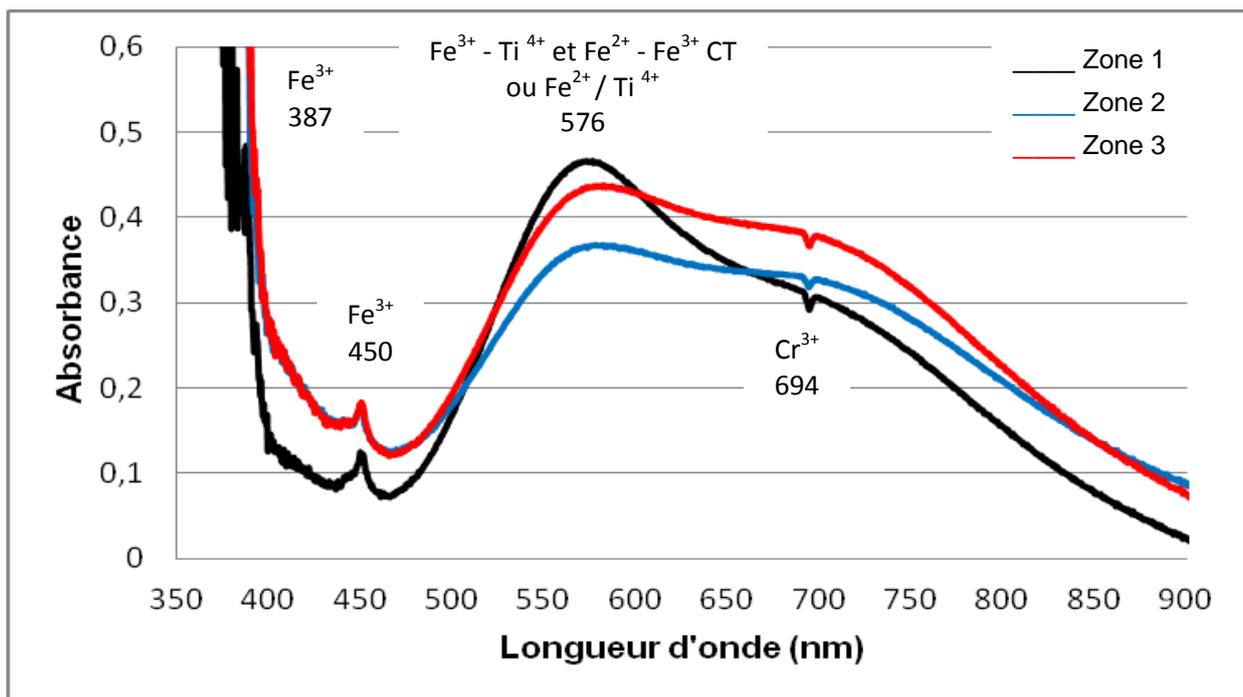


Fig. 39



Comparaison des spectres d'absorption visible - proche infrarouge du Grand Saphir de Louis XIV (zone 1 : partie centrale ; zone 2 : partie sombre ; zone 3 : partie claire).

Enfin, la spectroscopie de luminescence émet encore une raie caractéristique de la présence de chrome (cf. fig. 36 et 37). Il apparaît que le chrome peut-être présent dans les saphirs (*Bariant et Poirot, 1985*).

Les différentes analyses ont permis de caractériser le saphir à la fois à l'aide de la gemmologie classique et des analyses de spectroscopies optiques. Ce résultat était naturellement attendu.

5.2. Hypothèse sur la taille en rhomboèdre du Grand Saphir de Louis XIV

Les résultats du calcul des angles, démontre que le Grand Saphir de Louis XIV n'est pas un rhomboèdre de saphir naturel brut. Il s'agit d'une forme taillée triclinique (parallélépipède doublement oblique). La taille n'a donc pas de rapport avec des faces cristallines naturelles (*Bariant et Poirot, 1985*). Il ne fait donc pas partie des rares formes rhomboédriques naturelles (cf. fig. 15).

Lors de la taille initiale, le lapidaire a certainement voulu, de façon délibérée, préserver le maximum de matière, comme cela se faisait couramment au XVII^e siècle. La taille du brut initiale reste donc un mystère.

Nos observations permettent de dire que le Grand Saphir de Louis XIV a été taillé.

5.3. Hypothèse sur l'origine gîtologique du Grand Saphir de Louis XIV

L'origine gîtologique du Grand Saphir de Louis XIV reste toujours entourée d'un important mystère.

La détermination de la provenance géographique des gemmes est une question de plus en plus posée et qui reste complexe. Les méthodes permettant de caractériser l'origine géographique utilisent les *signatures* propres à chaque gisement référencé que l'on peut mettre en évidence. Cela n'est pas toujours possible car certaines pierres ne présentent pas ou très peu des caractéristiques de leur lieu de formation. De plus selon la règle de distribution des caractéristiques représentant une population, certains individus seront atypiques, ce qui mènera soit à une absence d'indication d'origine, soit à une erreur d'identification (*Notari et Grobon, 2002*).

Encore aujourd'hui, il est difficile de déterminer l'origine des saphirs avec certitude (*Gübelin Gem Lab, 2006*) contrairement aux émeraudes (*Giuliani et al., 2000*). Cette question fait encore l'objet de travaux récents (*Giuliani et al., 2012*).

Toutefois, une combinaison de critères permet d'émettre une hypothèse. Dans ce but, les résultats des différentes techniques de spectroscopies optiques sont notamment d'une grande importance afin de contraindre les hypothèses sur les provenances possibles.

5.3.1. Hypothèse sur l'origine gîtologique du Grand Saphir de Louis XIV à partir de l'étude historique des gisements de saphir

Le saphir est connu dans de très nombreuses localités dont la liste ne cesse de s'accroître. Avant 1691 (date de l' « *Inventaire des pierreries de la Couronne* »), l'histoire du Grand Saphir de Louis XIV est difficile à établir. Aussi, il s'agit tout d'abord de revenir sur l'histoire des principaux gisements.

Australie



Les gisements australiens du Queensland, sont connus depuis 1870 (*Schumann, 2009*). Les mines australiennes de Nouvelle-Galles-du-Sud produisent également depuis 1918 des saphirs.

Cachemire

Les saphirs du Cachemire n'ont été découverts qu'à la fin du XIX^e siècle dans la région de Paddar suite à un glissement de terrain (*Mallet, 1882 ; Shepard, 1883 ; La Touche, 1890*). Le corindon était connu depuis longtemps des habitants de la région, qui l'utilisaient pour affûter leurs outils (*Bariant et Poirot, 1985*).

France

Les gisements français sont rares et ils exploités occasionnellement, du Moyen Age jusqu'au XIX^e siècle, notamment dans la région d'Espaly - Le Puy, en Haute-Loire (*Forestier 1993*). Le saphir fut exploité et commercialisé mais les cristaux étaient de taille limitée, même si en 1861, Bertrand de Lom découvrit un saphir de 34 grammes.

Etats-Unis

C'est en 1894 que furent découverts les premiers gisements de saphir du Montana (*Schumann, 2009*).

Madagascar

En 1547, le capitaine Jean Fonteneau, dit Alphonse le Saintongeais visite l'île et mentionne la présence de pierres précieuses. De nombreux voyageurs des XVII^e et XVIII^e siècles évoquent également la présence de gemmes. Les malgaches accordent alors peu d'importance à l'exploitation des gemmes. C'est seulement à la fin du XIX^e siècle qu'Alfred Grandidier a présenté les premiers échantillons des pierres précieuses malgaches provenant du Vakinankaratra, et c'est E. Gautier qui le premier a apporté des informations précises sur les gisements des pierres qu'il a rapportés en France. L'exploitation des gemmes ne commence qu'en 1904, à la suite de la découverte de rubellites de très bonne qualité dans le gisement de Maharitra (vallée de la Sahatany).

Au cours de la première moitié de la période coloniale, les exportations de pierres précieuses, malgré les variations de la production, constituaient avec l'or une importante source de revenus.

Myanmar (Birmanie)

Au nord du Myanmar, la région de Mogok est connue depuis très longtemps comme source de saphirs mais surtout de rubis. Si des documents chinois du VI^e siècle mentionnent déjà une activité minière, ce n'est qu'au XV^e siècle que les premiers voyageurs européens, des aventuriers et des missionnaires, feront connaître le district, notamment Nicolo di Conti (1420 - 1444), Hieronimo di Santo Stefano (1495), Ludovico di Varthema (1496), Duarte Barbosa (1501 - 1516), César Fredericke (1563) et Ralph Fitch (1586). On doit au père Giuseppe d'Amatola la première description des mines de Mogok après qu'il ait pu les visiter au début du XIX^e siècle. Dans cette région, les saphirs ne représentent que 15 % des corindons gemmes. Ils peuvent être facilement confondus avec les pierres du Sri Lanka, particulièrement ceux ayant les teintes les moins intenses (*Cesbron et Le Cléac'h, 2002*).

Sri Lanka

L'ancienneté de l'exploitation des gisements du Sri Lanka est attestée.

L'extraction du saphir près de Ratnapura est plusieurs fois millénaire (*Deville, 2002*).

C'est à Néarque, navigateur crétois qui suivit la campagne d'Alexandre Le Grand que l'on doit en 334 avant J.-C. le premier témoignage sur les saphirs de la larme de l'Inde.

Tous les gros saphirs antiques ramenés à Rome avec les trésors des souverains vaincus à l'est de la Méditerranée proviennent du Sri Lanka (*Schubnel, 2010*).



Grâce à Marco Polo, l'homme occidental dispose, dès le XIII^e siècle de connaissances de première main sur l'île de Ceylan. Dans le *Livre des merveilles* (chapitre 159 à 234), il atteste de la présence de pierres précieuses.

Robert Knox évoque également les saphirs dans ses mémoires (*An historical relation of the island Ceylon, in the East Indies, 1691*) : « Il y a aussi quelques rivières, d'où on dit communément qu'on tire des rubis, des saphirs et des yeux de chats pour le roi ».

Au XVI^e siècle, les marins portugais, les marchands hollandais en rapportent des pierres précieuses ; des centaines de milliers de carats de pierres diverses (saphirs, rubis...) ont été exploités depuis des siècles (*Bariant et Poirot, 1985*).

Thaïlande - Cambodge

Cette région est célèbre depuis des siècles pour ses mines.

En 1548, le portugais Fernand Mendez Pinto visite le royaume du Siam et déclare que les saphirs et les rubis sont abondants. Nicolas Gervaise, prêtre des Missions Etrangères de Paris mentionne également de la présence de saphirs en 1688. Cinq ans plus tard, Simon de La Loubère diplomate français, envoyé extraordinaire de Louis XIV au Siam atteste de la présence de mines de rubis et de saphirs.

A la fin du XIX^e siècle, les mines se développent sous l'impulsion des britanniques.

Les corindons proviennent de deux régions diamétralement opposées. La première est la région de Chantaburi, au sud-est de Bangkok. La seconde est située au nord-ouest du pays, aux environs de Kanchanaburi.

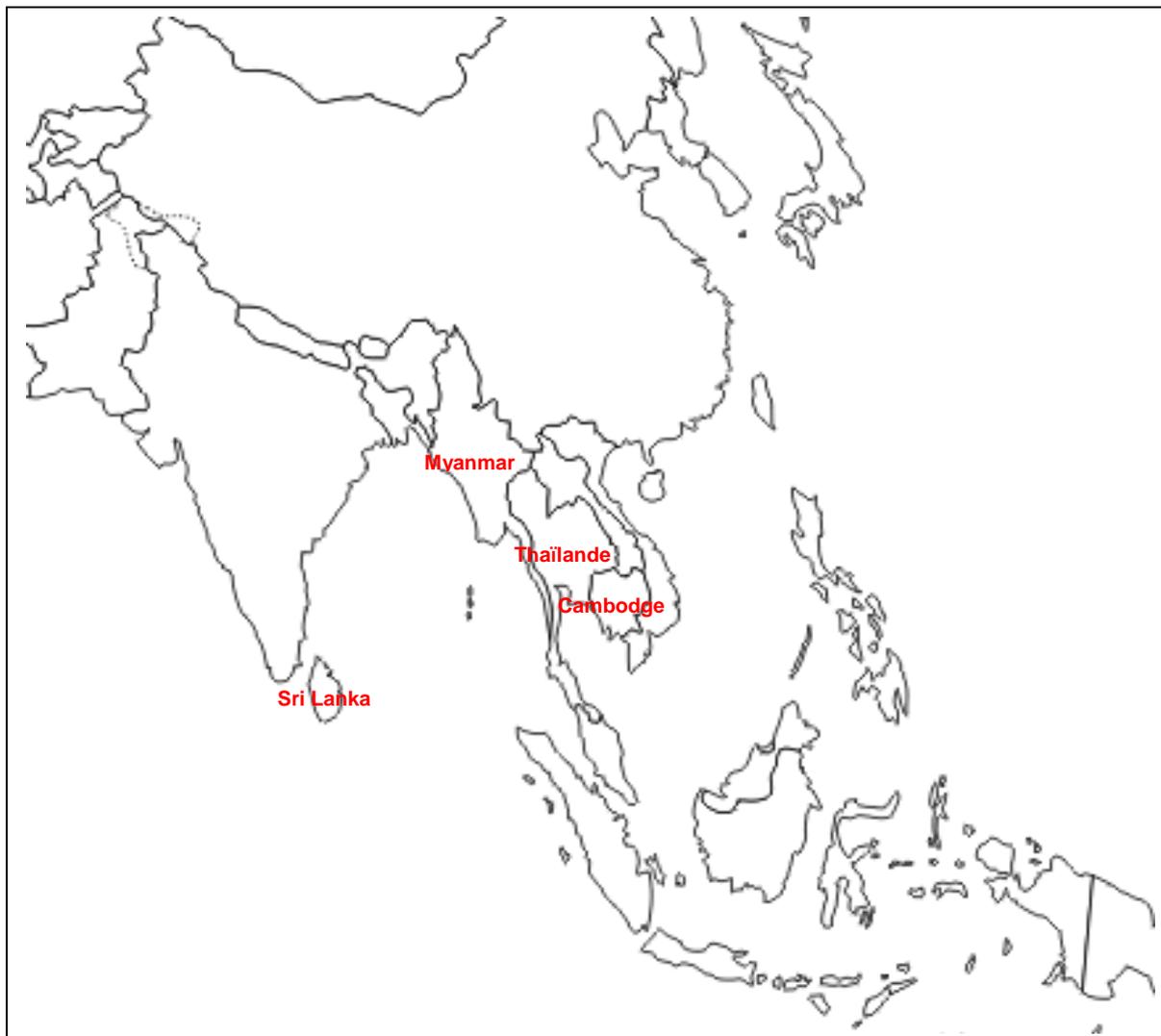
Viêtnam

Les corindons sont connus depuis le début des années 1970 (*Hughes, 1997*).

Autres provenances

Des gisements se rencontrent également en Afrique, en Chine, en Colombie, au Brésil, en Russie, au Népal.

Nous pouvons donc retenir comme actifs à partir du XVII^e siècle, les gisements suivants : Myanmar (Birmanie), Sri Lanka et Thaïlande - Cambodge (cf. fig. 40).

**Fig. 40**

Principaux gisements de saphirs exploités avant 1691.

5.3.2. Hypothèse sur l'origine gîtologique du Grand Saphir de Louis XIV à partir des analyses gemmologiques classiques

Observation

Les inclusions peuvent également apporter des indices sur la provenance des saphirs. Ainsi, l'examen des inclusions se révèle utile en complément d'autres techniques de détermination de provenance.

Les zones de couleurs visible sur le Grand Saphir de Louis XIV sont très présentes dans les saphirs du Sri Lanka et quasiment absentes dans les saphirs birmans. C'est une des principales différences entre les deux localités (*Hughes, 1997*).

Les saphirs du Sri Lanka sont souvent un peu claire, et parfois très irrégulièrement répartie, si bien qu'un cristal peut-être partiellement incolore (*Bariant et Poirot, 1985*).

Les aiguilles de rutiles et l'hématite sont des inclusions très répandues dans les saphirs du Sri Lanka mais également dans les saphirs birmans des mines de Mogok Toutefois, les aiguilles de rutiles sont plus courtes et plus denses à Mogok (*Hughes, 1997*).



Il convient de souligner que ces caractéristiques sont présentes dans d'autres gisements du monde.

Indices de réfraction

Selon Webster (1983), les indices de réfraction n_e et n_o d'un corindon pur atteignent respectivement 1,7606 et 1,7687 tandis que ceux de cristaux colorés sont en général compris respectivement entre 1,758 et 1,772 et 1,766 et 1,780. Cette dispersion des indices de réfraction est principalement liée à la teneur en fer/ou en chrome. Les échantillons les moins riches en fer (Sri Lanka) ont typiquement des valeurs plus basses ; à l'opposé, les saphirs jaunes, verts et bleus riches en fer (Thaïlande, Australie) possèdent des indices plus élevés. Une telle augmentation s'observe aussi pour des cristaux de plus en plus chromifères (cf. tab. 4) (Lebrun, 2002).

	n_e	n_o
Australie Inverell et Anakie	1,761 - 1,765	1,769 - 1,774
Brésil Indaia Mercaderes	1,760 - 1,762 1,762	1,768 - 1,772 1,770
Cambodge Païlin	1,760 - 1,762	1,768 - 1,770
Malawi	1,759 - 1,770	1,768 - 1,780
Myanmar Mogok	1,757 - 1,765	1,766 - 1,774
Nigeria Nisama et Jemas	1,759 - 1,768	1,768 - 1,776
Pakistan Hunza	1,762	1,770
Azed Kachemir	1,762	1,770
Sri-Lanka	1,759 - 1,763	1,767 - 1,771
Tanzanie Vallée de l'Umba	1,760 - 1,769	1,768 - 1,778
Thaïlande Bo Ploi Chanthaburi	1,762 - 1,764 1,764 - 1,770	1,770 - 1,772 1,772 - 1,778
Vietnam	1,760 - 1,764	1,769 - 1,772

Tab. 4

Variation des indices de réfraction (n_e et n_o) chez le saphir (Hughes, 1997).

Les indices de réfraction du Grand Saphir de Louis XIV compris entre 1,764 et 1,772 tendent à se rapprocher des indices des gisements de Myanmar, Thaïlande, Cambodge. Mais la présence de chrome dans le Grand Saphir peut modifier ces résultats.

Luminescence

Le Grand Saphir de Louis XIV a été très réactif aux ultraviolets longs. Il présente une fluorescence nette, rouge vif (cf. fig. 30).

Une fluorescence bien marquée n'est observée que chez certaines pierres srilankaises, cachemiries, birmanes et vietnamiennes. Les saphirs australiens, chinois, colombiens,



nigériens, thaïlandais, cambodgiens sont inertes en lumière ultraviolette (*Hughes, 1997 et Lebrun, 2002*).

5.3.3. Hypothèse sur l'origine gîtologique du Grand Saphir de Louis XIV à partir des analyses de spectroscopies optiques

Nous avons démontré la présence du chrome par spectroscopie d'absorption visible - proche infrarouge et de luminescence. La spectroscopie de luminescence (365 et 532 nm) (cf.fig. 41) avec une raie à 694 nm caractérise le Cr^{3+} en champ cristallin fort dans le corindon.

Il apparaît que le chrome est très courant dans les saphirs du Sri Lanka (*Bariant et Poirot, 1985*). Mais ce critère ne permet pas de caractériser l'origine géographique du Grand Saphir de Louis XIV.

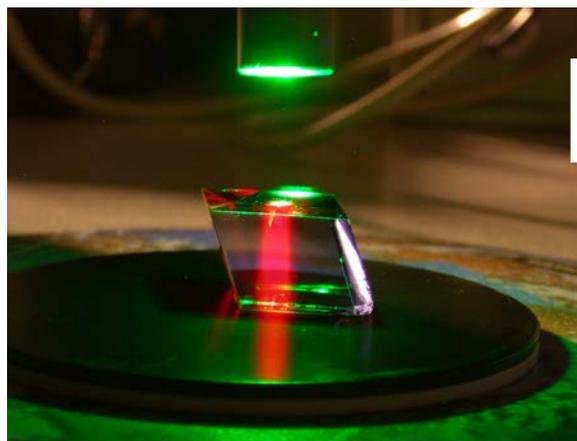
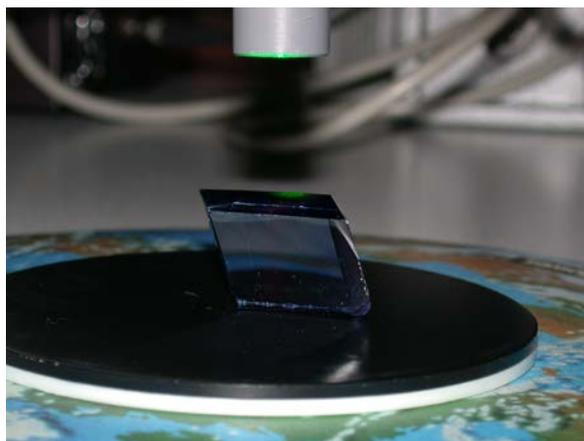


Fig. 41 a et b

Photos du Grand Saphir de Louis XIV illuminé en lumière blanche et par laser vert 532 nm.

La spectroscopie d'absorption visible - proche infrarouge fournit des indications utiles. En effet, elle permet de déterminer s'il s'agit d'un saphir d'origine métamorphique (Mogok en Birmanie, Ratnapura au Sri Lanka, Ilakaka à Madagascar) ou basaltique (Sud-Est asiatique, Chine, Afrique).

Le Grand Saphir de Louis XIV révèle un spectre d'absorption visible - proche infrarouge (cf. 38) considéré comme typique des corindons issus d'un environnement métamorphique. En effet, il est généralement dominé par un large transfert de charge $\text{Fe}^{2+} / \text{Ti}^{4+}$ avec un maximum à 575 et 700 nm. Les groupes d'absorption Fe^{3+} sont habituellement d'une intensité faible ou moyenne (cf. fig. 42) (*Hughes, 1997 et Gübelin Gem Lab, 2006*).

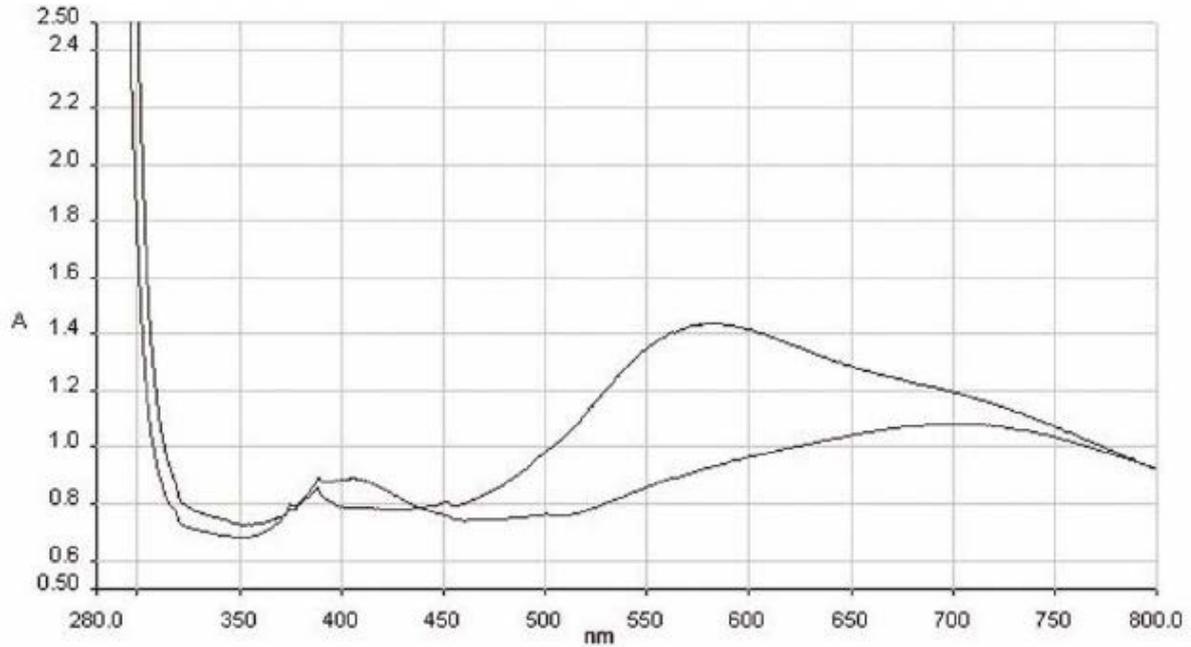


Fig. 42

Spectres d'absorption visible - proche infrarouge d'un saphir du Sri Lanka caractéristique d'un environnement métamorphique. Il est généralement dominé par un large transfert de charge $\text{Fe}^{2+} / \text{Ti}^{4+}$ avec un maximum à 575 et 700 nm. Les groupes d'absorption Fe^{3+} sont habituellement d'une intensité faible ou moyenne (*Gübelin Gem Lab, 2006*).

Cette étude permet de conclure que les caractéristiques gemmologiques, spectroscopiques (obtenues à partir de techniques non-destructives) et historiques du Grand Saphir de Louis XIV sont cohérentes avec une origine du Sri Lanka (anciennement Ceylan).



CONCLUSION GENERALE

Le but de ce travail de recherche était d'analyser le Grand Saphir de Louis XIV. Grâce à la mise en œuvre des méthodes d'analyses non-destructives les plus performantes, il a été possible de parvenir à des résultats significatifs qui corroborent les quelques données gemmologiques antérieures, les précisent mais surtout nous a permis d'approfondir considérablement la connaissance de cette gemme historique avec des données inédites.

L'analyse a commencé par une présentation historique. Les caractéristiques gemmologiques et minéralogiques du saphir ont été rappelées.

Les résultats obtenus avec la gemmologie classique ont apporté des renseignements exploitables.

Mais surtout les différentes techniques de laboratoire ont permis un niveau d'analyse plus poussé.

Trois conclusions essentielles découlent de ce travail :

Premièrement, les différentes analyses ont permis de caractériser le saphir à la fois à l'aide de la gemmologie classique et des analyses de spectroscopies optiques. Ce résultat était naturellement attendu.

Deuxièmement, nos observations permettent de dire que le Grand Saphir de Louis XIV a été taillé.

Cette étude permet de conclure que les caractéristiques gemmologiques, spectroscopiques (obtenues à partir de techniques non-destructives) et historiques du Grand Saphir de Louis XIV sont cohérentes avec une origine du Sri Lanka (anciennement Ceylan).

Les premières analyses gemmologiques du Grand Saphir de Louis XIV s'avèrent concluantes.

Toutefois, il convient de souligner qu'elles ont été réalisées dans un temps réduit (une journée de travail) et des investigations plus longues pourraient encore améliorer la connaissance de cette gemme.



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bapst G. (1889) Histoire des bijoux de la Couronne de France. Hachette, Paris.
- Bariant P., Poirot J.P. (1985) Larousse des pierres précieuses, fines, ornementales, organiques. Librairie Larousse, Paris.
- Belyaev L.M. (1980) Ruby and Sapphire. New Delhi, Armid, English translation.
- Bloche A. (1888) La vente des diamants de la couronne : son histoire, ses préparatifs, ses résultats avec le catalogue raisonné des bijoux. Imprimerie Quantin, Paris.
- Cesbron F. (2002) Corindon et spinelles. Coloration du rubis et des saphirs. Le Règne Minéral, Hors-Série 15, 45-47.
- Cesbron F. et Le Cléac'h J.-M. (2002) Corindon et spinelles. Rubis et saphirs de la région de Mogok (Myanmar). Le Règne Minéral, Hors-Série 15, 86-88.
- Coates J.S. (1935) - The geology of Ceylon. Ceylon. J. Sci., Sect. B, 19, 101-187.
- Collectif sous la direction de Marguerite de Cerval (1998) Dictionnaire International du Bijou. Editions du Regard, Paris.
- Dahanayake K. (1980) Mode of occurrence and provenance of gemstones of Sri Lanka. Mineral. Deposita, 15, 81-86.
- Dahanayake K., Ranashinghe A.P. (1981) Source rocks of gem minerals, A case study from Sri Lanka, Mineral. Deposita, 16, 103-111.
- De Maesschalk A. A., Oen, I.S. (1989). Fluid and mineral inclusions in corundum from gem gravels in Sri Lanka. Mineralogical Magazine, Vol. 53, 539-545.
- Deville J. (2002) Corindon et spinelles. Corindon et spinelle dans l'histoire. Le Règne Minéral, Hors-Série 15, 6-10.
- Dieulafait L. (1887) Diamants et pierres précieuses. Librairie Hachette et Cie, Paris.
- Emerson Tennent J. (1860) Ceylon, Physical, Historical and Topographical (Ceylan, Physique, Historique et Topographique) London K.C.S. LL.D. &c.
- Enault L. (publié avec le concours pour la partie technique de Emile Vanderheyem) (1884). E. Bernard, Paris.
- Finot L. (1896) Les lapidaires indiens, Paris, Émile Bouillon (Bibliothèque de l'École des hautes études).
- Forestier F.H. (1993) Histoire de l'un des gisements de gemmes le plus anciennement connu d'Europe occidentale : saphirs, grenat, et hyacinthes du Puy-en-Velay, Cahier de la Haute-Loire 43, 81-148



Garnier V., Gioliani G., Ohnenstetter D., Schwarz D. (2004) Saphirs et rubis. Classification des gisements de corindons. *Le Règne Minéral*, 55, 4-47.

Gemology on line www.gemologyonline.com.

Giuliani G., Fallick A.E., Garnier V., France-Lanord C., Ohnenstetter D., Schwarz D. (2005) Oxygen isotope composition as a tracer for the origin of rubies and sapphires. *Geology*, 33, 249-252.

Giuliani G., Chaussidon M., Schubnel H.-J., Piat D., Rollion-Bard C., France-Lanord C., Giard D., De Narvaez D., Rondeau B. (2000) Oxygen isotopes and Emerald Trade Routes since Antiquity. *Science*, vol. 287, 631-633.

Giuliani G., Heuze M., Chaussidon M. (2000) Sur la route des émeraudes. *Pour la Science*, n°277, 58-65.

Gübelin Gem Lab (2006) The limitation of Origin Determination, *Jewellery News Asia*, 52-62

Hughes R. W. (1997). *Ruby & Sapphire*. Boulder, CO, RWH Publishing.

Joyaux de la Couronne de France présentés pour la vente de 1887, *l'Illustration* (1887).

Kane R.E. (1999). *Ruby and Sapphire Occurrences Around the World*. *Gems & Gemology*, Vol. 35, No 3, 60-61.

La Touche T.D., (1890): The sapphire mines of Kashmir, *Records of the geological Survey of India*, vol. 23, 59-69.

Lebrun P. (2002) Corindon et spinelles. Introduction. *Le Règne Minéral*, Hors-Série 15, 15-44.

Mabille G. (2001) *Les Diamants de la Couronne*. Hors-série découvertes Gallimard / Réunion des Musées Nationaux, Paris.

Mallet F.R., (1882): On Sapphires recently discovered in the north-west Himalaya, *Records of the geological Survey of India*, vol.15, 138-141.

Marbode (1539) : *Dei GalliPoetae vetustissimi de lapidibus preafis*, troisième édition.

Mindat www.mindat.org.

Ministère des Finances, direction des Domaines de la Seine (1887). *Diamants, perles et pierreries provenant de la collection dite des joyaux de la couronne*, Catalogue de vente. Imprimerie nationale, Paris.

Morel B. (1988). *Les joyaux de la Couronne de France*. Fonds Mercator et Albin Michel, Anvers.

Munasinghe T., Dissanayake C.B. (1981) The origin of gemstones of Sri Lanka. *Econ. Geol.*, 76, 1216-1225.

Muhlmeister S., Fritsch E., Shigkey J.E., Devouard B., Laurs M. (1988). Separating natural and synthetic rubies on the basis of trace-element chemistry. *Gems & Gemology*, 34, 80-101.



Notari F., Grobon C. (2002) Corindon et spinelles. Gemmologie du corindon et du spinelle. Le Règne Minéral, Hors-Série 15, 48-59.

RRUFF Base données Raman <http://rruff.info/>.

Schubnel H.-F. (2010). Regards sur les saphirs antiques.

Schumann W. (2008) Guide des pierres précieuses, pierres fines et ornementales, Delachaux & Niestlé, Paris.

Shepard C.V., (1883) Notice of corundum gems in the Himalaya region of India, American Journal of Science, vol. 126, 339-340.

Simonet C. (1997) Géologie des gisements de saphirs. Rev. Gemmologie AFG, 132, 21-23.

Tavernier J.-B. (1676), Les six voyages de Jean-Baptiste Tavernier,... : qu'il a fait en Turquie, en Perse, et aux Indes.... [Vol. 1]. G. Clouzier et C. Barbin Paris.

Waltham T. (2011). Sapphires from Sri Lanka. Geology Today, Vol. 27, 20-24

Ward F. (1992) Rubies and sapphires. Gem Book.

Webster R. (1994) Gems : Their sources, Descriptions and Identifications. Oxford, Butterworth-Heinemann, 5th ed par P.G. Read, 1026 p.

Zwaan P. C. (1982). Sri Lanka: The gem island. Gems & Gemology, Vol. 18 (No. 2), 62–71.