

L'exploitation des mines d'émeraude d'Autriche et de la Haute Egypte à l'Epoque Gallo-romaine : mythe ou réalité ?

1: IRD et C.R.P.G./C.N.R.S., BP 20, 54501 Vandœuvre-lès-Nancy, France. e-mail: giuliani@crpg.cnrs-nancy.fr2 : C.R.P.G./C.N.R.S., BP 20, 54501 Vandœuvre-lès-Nancy, France.3: Musée de civilisation gallo-romaine de Lyon, 17 rue Cléberg, 69005 Lyon, France.4: Muséum National d'Histoire Naturelle, Laboratoire de Minéralogie, 61 rue Buffon, 75005 Paris, France. 5: St. Petersburg State University, Russie.6: Gübelin gemmological laboratory, Maihofstrasse, 102, CH-6000 Lucerne 9, Suisse.

État des connaissances sur l'origine géographique des émeraudes antiques

Les fouilles archéologiques menées dans les vestiges de la plupart des grandes civilisations antiques ont mis à jour des bijoux ou des objets embellis par des émeraudes. L'histoire des bijoux anciens est dans la plupart des cas inconnue et les écrits historiques mentionnant la localisation géographique des gisements d'émeraude sont rares (réf. synthèse bibliographique de Heuzé, 2000).

L'utilisation d'une sonde protonique (analyse par PIXE des éléments traces contenus dans l'émeraude) au Laboratoire de Recherche des Musées de France, au Palais du Louvre, à Paris ou d'une sonde ionique (analyse de la composition isotopique de l'oxygène de l'émeraude) du Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, du Centre National de la Recherche Scientifique, à Vandœuvre, a permis d'authentifier l'origine de quelques émeraudes historiques. Ainsi, l'émeraude d'une boucle d'oreille gallo-romaine datant du III^{ème} siècle après J.-C (Musée Carnavalet, Paris) proviendrait soit de la mine d'Habachtal (Autriche), soit de la Haute Egypte (Calligaro et al., 2000a) et une origine autrichienne est proposée pour 11 des 12 émeraudes serties sur la couronne de Guarrazar datée de la période Visigoth (VII et VIII^{ème} siècles après J.-C; Calligaro et al., 2000b). La mesure de la composition isotopique in situ de l'oxygène a déterminé une origine pakistanaise pour

l'émeraude montée sur la boucle d'oreille gallo-romaine découverte à Méribel, en 1997, et une origine autrichienne pour l'émeraude sertie sur la couronne de France, datant du XIII^{ème} siècle après J.-C (Giuliani et al., 2000a, b).

Ces premiers résultats montrent que les émeraudes autrichiennes étaient probablement exploitées dès l'époque gallo-romaine et sans aucun doute dès le Haut Moyen-Age où elles ornaient la couronne royale des Visigoths. En revanche, avec l'émeraude de la boucle d'oreille de Méribel, il apparaît qu'aux cotés des gemmes d'Autriche, certaines émeraudes commercialisées pendant l'Antiquité provenaient de Bactriane, notamment de la vallée de Swat dans l'actuel Pakistan, en empruntant une des routes de la Soie.

L'existence des gisements de la Haute Egypte a été mentionnée dans les textes anciens mais jusqu'à présent, l'émeraude égyptienne n'a jamais été formellement identifiée dans les bijoux historiques. Il faut cependant signaler l'étude menée dans les années 1980 par le Laboratoire de l'Université Pierre et Marie Curie de Paris, où les chercheurs, en se basant sur la composition isotopique de l'oxygène d'une émeraude d'Egypte et en la comparant avec celle obtenue sur une émeraude provenant du Trésor gallo-romain d'Eauze (Gers), ont identifié une origine égyptienne (Heuzé, communication personnelle). Une autre lointaine provenance des émeraudes dans l'Antiquité serait la Scythie, citée par Pline l'Ancien (23-79 après J.-C) dans le livre 37 de son Histoire Naturelle.

Mais où se situe le gisement ? Le gisement Scythe se situerait soit en Autriche, soit en Oural. Dans cette dernière région où les gisements sont exploités officiellement depuis 1830, les bijoux retrouvés lors des fouilles archéologiques et de l'époque gallo-romaine ne comportent aucune émeraude (Heuzé, 2000). La question reste ouverte.

Pour répondre à cette question, la composition isotopique de l'oxygène de 14 émeraudes provenant des gisements actuels d'Oural et de 2 émeraudes égyptiennes rapportées par l'expédition de Frédéric Caillaud en Egypte, au XIX^{ème} siècle, a été déterminée et comparée aux valeurs obtenues sur des émeraudes montées sur une boucle d'oreille gallo-romaine du Trésor de Vaise (Lyon, III^{ème} siècle après J.-C) et un collier de la période égyptienne (Nouvel Empire) du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris.

Les émeraudes d'Oural et de la Haute Egypte

La composition isotopique de l'oxygène de l'émeraude

L'analyse des isotopes stables de l'oxygène par spectrométrie de masse est une technique qui a permis d'élaborer une carte isotopique des gisements d'émeraude (Giuliani et al., 1998a). Les rapports isotopiques sont représentés par l'écart 18O (exprimé en pour mille, ‰; Giuliani et al., 1998b), entre un échantillon et un standard international qui pour



XAVIER FARAH

74, RUE LA FAYETTE, 75009 PARIS
TÉL. : 01 42 46 20 13

*ÉMERAUDES
RUBIS
SAPHIRS
DIAMANTS*



Gaston Giuliani¹, Marc Chaussidon², Christian France-Lanord², Hugues Savay Guerraz³, Pier-Jacques Chiappero⁴, Henri-Jean Schubnel⁴, Egor Gavrilenko⁵, Dietmar Schwarz⁶

l'oxygène est l'eau de mer moyenne, encore appelé SMOW (Standard Mean Ocean Water). Le rapport absolu de concentration des deux isotopes de l'oxygène de masse 16 et de masse 18 est pour le SMOW égal au rapport $18\text{O}/16\text{O} = 2,005 \times 10^{-2}$: $\delta^{18}\text{O} = \left[\frac{18\text{O}/16\text{O}_{\text{échantillon}}}{18\text{O}/16\text{O}_{\text{standard}}} - 1 \right] \times 1000$

Ces rapports isotopiques permettent d'identifier une partie des émeraudes des gisements découverts au XX^{ème} siècle mais surtout d'identifier l'origine des gisements anciens, notamment ceux antérieurs au XIII^{ème} siècle et reportés par les textes historiques de Théophraste et de Pline l'Ancien. En effet, les rapports isotopiques de l'oxygène ne présentent pas de recouvrement de valeurs pour les gisements d'Habachtal (Autriche), d'Oural (Russie), de Bactriane (Afghanistan-vallée du Panjshir, Pakistan-vallée de Swat) et de la Haute Egypte. Ils peuvent être utilisés, couplés à l'étude pétrographique des inclusions fluides piégées dans les émeraudes, comme un critère pertinent et fiable d'authentification des émeraudes historiques.

Pour chaque gisement, les valeurs des $\delta^{18}\text{O}$ sont homogènes depuis l'échelle du cristal, d'une veine minéralisée jusqu'à celle du district minier. Par exemple, à l'échelle du district à émeraudes de Carnaíba (Brésil), les variations des rapports isotopiques mesurés

pour les émeraudes provenant de 7 mines différentes sont insignifiantes ($\delta^{18}\text{O} = 9,0 \pm 0,1\text{‰}$; n = 15 échantillons). La composition isotopique de l'émeraude d'un gisement donné dépend des conditions dans lesquelles elle s'est formée, notamment de la température de cristallisation et de la composition isotopique des roches hôtes qui ont été partiellement dissoutes par le fluide minéralisant (Giuliani et al., 1998b). Ainsi pour une même région, suivant le type géologique de gisement, les variations isotopiques peuvent être restreintes ou bien très contrastées. De ce fait, il est important pour utiliser correctement les données de $\delta^{18}\text{O}$ de bien distinguer chaque type de gisement et de respecter les intervalles de valeurs de chaque mine. Il faut absolument tenir compte des discontinuités de valeurs isotopiques et surtout ne pas regrouper artificiellement les valeurs dans une seule « boîte » isotopique pour une région ou un pays donné, cette boîte n'ayant aucun sens logique. Par exemple, la figure 2 présentée à la page 81 d'un article de l'AFG n°141/142 (Cheilletz et al., 2001) qui reprend des données publiées sur les émeraudes de Bahia par Giuliani et al. (1998a), est erronée à cause du regroupement de plusieurs gisements qui ont des valeurs en oxygène très différentes et bien distinctes. De même, la

Les émeraudes d'Oural

L'analyse de la composition isotopique de 14 émeraudes provenant de différents gisements d'Oural a été réalisée par la méthode classique d'extraction de l'oxygène décrite par Clayton et Mayeda (1963). Les gisements étudiés sont ceux du km 23, d'Ostrovnoye, de Sretenskoye, de Cheremshanstoye et de Mariinskoye. Les valeurs du $\delta^{18}\text{O}$ des émeraudes sont comprises entre 9,3 et 11,7‰. Pour chaque gisement, les valeurs isotopiques sont homogènes (Tableau 1). La valeur moyenne du $\delta^{18}\text{O}$ est de $10,86 \pm 0,61\text{‰}$ (n = 14 échantillons, 5 mines) et est comparable à la valeur moyenne publiée par Giuliani et al. (1998a) pour les émeraudes du gisement de Malysheva ($\delta^{18}\text{O} = 10,6 \pm 0,3\text{‰}$, n = 3 échantillons). Ainsi, la valeur moyenne du $\delta^{18}\text{O}$ des émeraudes de l'Oural est de $10,81 \pm 0,57$ (n = 17). L'histogramme de la figure 1 montre que les valeurs du $\delta^{18}\text{O}$ des émeraudes sont plus élevées que celles obtenues pour les émeraudes de la Haute Egypte ($\delta^{18}\text{O} = 10,26 \pm 0,3\text{‰}$; n = 17) et d'Habachtal ($\delta^{18}\text{O} = 7,02 \pm 0,24\text{‰}$; n = 17). Cependant, quelques valeurs d'Oural recouvrent celles d'Egypte, notamment celles provenant des mines du km 23 et d'Ostrovnoye. Dans ce cas de recouvrement partiel des valeurs de $\delta^{18}\text{O}$, l'étude comparative de la pétrographie des inclusions fluides piégées par les émeraudes d'Oural et d'Egypte permet de lever l'ambiguïté sur l'origine du cristal analysé. En effet, les inclusions fluides diffèrent par la morphologie de leurs cavités, la nature de leurs constituants chimiques et solides (eau, gaz carbonique,...), leur degré de remplissage (rapports entre les phases vapeur et liquide présentes dans une cavité) ainsi que les phénomènes de re-équilibre des cavités qui se forment après le piégeage du fluide lors du refroidissement (étirement, dissolution et déformation des cavités).

Les émeraudes de la Haute Egypte échantillonnées au XIX^{ème} siècle

L'analyse de la composition isotopique de l'oxygène structural de deux émeraudes, propriété du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris, fruit de l'échantillonnage effectué par les expéditions françaises en Egypte,

numéro échantillon	Mine	$\delta^{18}\text{O}$ cristal (‰ SMOW)	$\delta^{18}\text{O}$ cristal moyen (‰ SMOW)	$\delta^{18}\text{O}$ moyen par mine (‰ SMOW)	$\delta^{18}\text{O}$ moyen OURL (‰ SMOW)
p8	"km 23"	9,6 9,8	9,7	9,7 ± 0,1	10,81 ± 0,57 (n = 17)
160	Ostrovnoye	9,4 9,1	9,35	9,35 ± 0,05	
p3	Sretenskoye	11,1	11,1	11,1	
99	Cheremshanstoye	11,0	11,0	10,96 ± 0,05	
101		10,9	10,9		
128		11,0	11,0		
p11 coeur	Mariinskoye	10,7	10,8	11,1 ± 0,27	
-		10,9			
p11 bordure		10,9	10,9		
p9	-	11,7	11,7		
-	-	11,7			
58	-	11,0	11,0		
81	-	11,1	11,1		
71	-	11,0	11,0		
107	-	11,4	11,4		
141	-	11,1	11,1		
Giuliani et al. (1998)					
OLR-3	Malysheva	10,6	10,6	10,6 ± 0,3	
OLR-4	-	10,2	10,2		
PRK-14/LRA	-	11,0	11,0		

Tableau 1 : Valeurs isotopiques des $\delta^{18}\text{O}$ (‰, SMOW) obtenues sur les émeraudes d'Oural.

au XIX^{ème} siècle, a été réalisée par la méthode classique d'extraction de l'oxygène. L'échantillon MNHN n°25-1 a été prélevé par Frédéric Caillaud au mont Zabara, «situé à 40 lieues au sud de Gorceir». L'échantillon MNHN n°62-121 est un prisme d'émeraude de 12x15 mm, contenu dans une veinule de quartz qui recoupe un schiste à mica blanc. Cet échantillon est un don de M. Koeng, ex-secrétaire du commandement du Vice-Roi d'Égypte (1862) et il a été ramassé spécialement pour le Muséum par M. Deney.

Les valeurs isotopiques de l'oxygène obtenues sur les deux échantillons sont identiques ($\delta^{18}O = 9,8\text{‰}$). Elles corroborent les valeurs que nous avons déjà obtenues sur des émeraudes échantillonnées très récemment sur les mêmes gisements par des géologues allemands (Grundmann et Morteani, 1993). Les intervalles de valeurs isotopiques obtenus pour les émeraudes des Djebels Zabara, Sikait et de Umn Kabo sont très restreints et compris entre 9,8 et 10,7‰ (n=17 échantillons). Cette remarquable homogénéité isotopique révèle des conditions de genèse similaires.

Les émeraudes du Trésor de Vaise, Musée de la civilisation gallo-romaine de Lyon

Rassemblements d'objets précieux souvent enfouis au cours de périodes troublées, les trésors sont en général les fruits de découvertes fortuites. Celui qui a été mis au jour en 1992 à Vaise, dans le 9^e arrondissement de Lyon, présente deux traits originaux : il a été découvert en fouille, lors d'une opération d'archéo-

logie préventive à l'emplacement d'une future zone d'aménagement concertée ; sa composition, très variée, associe des objets de diverses natures : statuettes, vaisselle, monnaies et bijoux (Aubin et al., 1999).

Deux dépôts distincts ont été retrouvés sous le sol d'une habitation construite au I^{er} siècle après J.-C. L'un contenait trois statuettes de divinités en tôle d'argent dorée (dont un Apollon et une Fortune), un petit buste masculin (empereur ?), divers fragments de statuettes et deux bracelets d'argent (figure 2, à gauche). L'autre, trois plats d'argent, un lot de 14 cuillères et de 81 monnaies d'argent, ainsi que des bijoux : un collier (or et émeraude), deux bracelets d'or, deux paires de pendants d'oreilles (or, émeraude et pierres fines), deux bagues en or et une monnaie en or montée en pendentif.

L'étude numismatique, qui n'est pas contredite par l'analyse typologique des différentes catégories d'objets, permet de dater cet enfouissement des années 260 après J.-C. Dans quelles conditions ce trésor a-t-il été enfoui ? Jadis, l'hypothèse unique avancée aurait été celle d'un contexte d'insécurité lié aux invasions. Aujourd'hui, les historiens sont plus prudents : de multiples causes sont possibles, parmi lesquelles l'invasion des Alamans en Gaule de 259 à 260.

L'origine d'un tel dépôt est également incertaine : s'agit-il d'un bien familial, ou d'un ensemble hétérogène rassemblé par un marchand ou un voleur ? Les statuettes peuvent provenir aussi bien d'un sanctuaire que d'un laraire privé. Le petit nombre de bijoux et la taille étroite du collier et des bracelets évo-

quent la parure courante d'une femme. Cet ensemble reflète « la bijouterie à la mode dans les classes aisées en Gaule au milieu du III^e siècle » (Aubin, 1999, p. 131).

Le collier est la pièce la plus originale : il présente une alternance de neuf émeraudes et de huit maillons d'or. Chaque maillon comporte un double nœud (dit «nœud d'Héraclès») réalisé à partir de petits tubes d'or. (figure 3) Il pourrait s'agir d'une production typique de l'orfèvrerie gallo-romaine.

Le pendentif d'oreille qui porte l'émeraude analysée à la microsonde ionique (inv. 98.1.201) est constitué d'un petit cadre en feuille d'or, avec une émeraude au centre, surmontant trois pendeloques garnies de pâtes de verre (figure 4). Trois fils d'or s'en détachent : celui du centre supporte une perle, tandis qu'aux deux fils latéraux sont suspendus des prismes d'émeraudes (hauteur totale : 3 cm ; poids de l'exemplaire complet : 3,8 g). Au revers, la tige de fixation est soudée sur un renfort cruciforme. (figure 5) Catherine Metzger, qui a étudié ces bijoux, note la fréquence des parallèles pour ces types de pendants d'oreilles. L'exemple le plus proche provient de Lyon même, du trésor dit des Lazaristes, découvert au XIX^e siècle (Comarmond, 1844). Parmi les bijoux de cet ensemble, un collier et deux paires de pendants d'oreilles confirment l'intérêt porté aux émeraudes par les orfèvres gallo-romains (figure 6).

L'émeraude de la boucle d'oreille (inv. 98.1.201) a été analysée à la sonde ionique. La valeur mesurée de $\delta^{18}O = 6,8 \pm 0,02\text{‰}$ (n=3) indique sans ambiguïté une origine



Figure 2 : Le trésor de Vaise (photo Christian Thioc, Musée de la civilisation gallo-romaine)



Figure 3 : Collier d'émeraudes alternant avec des doubles nœuds d'or (photo Christian Thioc, Trésor de Vaise, Musée de la civilisation gallo-romaine).



Figure 4 : Les pendants d'oreilles du trésor dit des Lazaristes (photo Christian Thioc, Musée de la civilisation gallo-romaine).



Figure 5 : Le revers des pendants d'oreilles du trésor de Vaise (photo Christian Thioc, Musée de la civilisation gallo-romaine).



Figure 6 : Les pendants d'oreilles du trésor de Vaise (photo Christian Thioc, Musée de la civilisation gallo-romaine). Le pendent étudié est celui qui comporte deux prismes d'émeraude. Le cristal analysé est l'émeraude de droite.

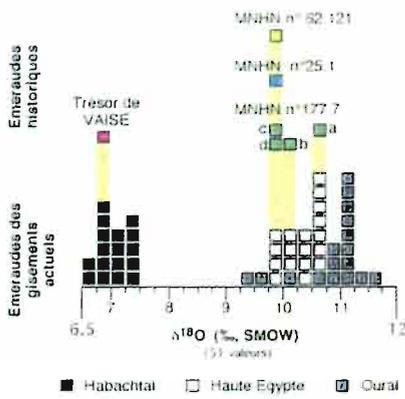


Figure 1 : Rapports isotopiques de l'oxygène des émeraude des gisements actuels (Habachtal, Haute Egypte et Oural) analysés par spectrométrie de masse classique (carrés noir, blanc et gris) et des sept émeraude historiques analysées par sonde ionique (carrés colorés). Tous les échantillons ont un rapport isotopique 180/160 caractéristique d'une origine spécifique. Trésor de Vaise: boucle d'oreille gallo-romaine (carré rouge); Collection du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris: i) collier égyptien: MNHN n°177.7 (carrés verts) avec les quatre émeraude (a, b, c et d); ii) émeraude prélevées en Egypte au XIXème siècle: MNHN n°25.1 (carré bleu) et MNHN n°62.121 (carré jaune).

autrichienne pour ce cristal. Ce résultat démontre que les mines d'Habachtal étaient exploitées dès le IIIème siècle après J.-C.

Les émeraude du collier égyptien (Nouvel Empire) du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris

Il s'agit d'un collier égyptien, MNHN n° 177-7, datant de la période égyptienne (Nouvel Empire) et recomposé avec des pierres d'époque ptolémaïque et de l'occupation romaine. Ce collier est un assemblage de gemmes trouvées en Egypte par Barthoux. Il est constitué d'émeraude, d'albâtre, d'améthyste, de cornaline et d'agate. Les analyses isotopiques ont été réalisées sur 4 des 5 émeraude du collier et les résultats sont reportés dans les figures 1 et 7. Les valeurs obtenues pour les différentes émeraude sont les suivantes:

émeraude a : $\delta^{18}O = 10,7 \pm 0,2\text{‰}$ (n=2),
 émeraude b : $\delta^{18}O = 10,2 \pm 0,2\text{‰}$ (n=2),
 émeraude c : $\delta^{18}O = 9,79 \pm 0,8\text{‰}$ (n=2),
 émeraude d : $\delta^{18}O = 9,74 \pm 0,14\text{‰}$ (n=3).
 Ces différentes valeurs et la valeur moyenne calculée pour les quatre pierres ($\delta^{18}O = 10,1 \pm 0,44\text{‰}$) coïncident avec l'intervalle et la valeur moyenne des valeurs isotopiques ($\delta^{18}O = 10,26 \pm 0,3\text{‰}$; n=17) définis pour les émeraude de la Haute Egypte. D'autre part, l'observation microscopique des cristaux a permis d'identifier et de caractériser des cavités d'inclusions fluides similaires à celles observées dans nos échantillons de référence. Les techniques de fabrication sembleraient indiquer que les émeraude ont été polies pendant l'occupation romaine, les autres gemmes étant antérieures (Ier millénaire avant J.-C.).

Les exploitations des mines d'émeraude d'Autriche et de la Haute Egypte dans l'Antiquité: une réalité

Les premières authentifications d'émeraude historiques antérieures au XIIIème siècle permettent en s'appuyant sur les récits historiques de Théophraste et de Pliny l'Ancien d'établir la chronologie la plus précise de l'exploitation et de la valorisation des éme-



Figure 7 : Le collier égyptien (Nouvel Empire) de la collection du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris. Il est composé d'émeraude, d'albâtre, d'améthyste, de cornaline et d'agate. Les rapports isotopiques 180/160 obtenus sur les quatre émeraude analysées par sonde ionique démontrent l'origine égyptienne de ces pierres. (Cliché B. Rondeau, échelle x1)

Contrairement à Théophraste, Pliny l'Ancien cite dans son Histoire Naturelle les émeraude d'Egypte. Les mines de la Haute Egypte furent exploitées à l'époque romaine et l'extraction a commencé au plus tard au IIIème siècle avant notre ère, sous le règne de Ptolémée IV Philopator (Heuzé, 2000; Giuliani et al., 2000b). Cette gemme était à la mode dans l'Empire romain et les émeraude s'égrenèrent le long de colliers, seules ou avec des perles. Elles sont montées sur des boucles d'oreilles en formant des grappes ou des mosaïques (figures 4, 5 et 6). Les émeraude ne sont pas facettées mais les angles des faces cristallines sont polis. Les témoins de l'exploitation des mines égyptiennes sont désormais identifiés par l'étude des émeraude sur le collier égyptien (Nouvel Empire), propriété du Muséum National d'Histoire Naturelle, le trésor d'Eauze et probablement sur la boucle d'oreille (IIIème après J.-C) du Musée Carnavalet de Paris.

Le premier document qui mentionne l'exploitation des mines d'Habachtal par les Romains daterait de 1622 (Giuliani et al., 2000). L'analyse d'une émeraude d'une boucle d'oreille du Trésor de Vaise prouve l'existence de l'exploitation de cette mine dès le IIIème siècle après J.-C. Les expertises réalisées sur la Couronne de Guarrazar (VII-VIIIème siècle après J.-C) et la Sainte couronne de France (XIIIème siècle) confirment

Objet	Époque	Musée	Âge	origine émeraude	Auteurs
boucle d'oreille	Gallo-romaine	Musée Carnavalet (Paris)	IIème siècle AP J.-C	Autriche Égypte	Calligaro et al. (2000a)
couronne royale (12 émeraudes)	Visigoth. Médiévale	Musée Moyen âge (Paris)	VII-VIIIème siècle AP J.-C	Autriche Égypte	Calligaro et al. (2000b)
couronne royale	St. Louis. Médiévale	Museum National d'Histoire Naturelle (Paris)	XIIIème siècle AP J.-C	Autriche	Giuliani et al. (2000a)
boucle d'oreille	Gallo-romaine (Méribel, Ain)	Museum National d'Histoire Naturelle (Paris)		Pakistan Swat	Giuliani et al. (2000a)
boucle d'oreille	Gallo-romaine	Musée gallo-romain (Lyon)	IIème siècle AP J.-C	Autriche	ce travail
émeraude brute	échantillonnée au XIXème siècle	Museum National d'Histoire Naturelle (Paris)	XIXème siècle	Égypte	ce travail
émeraude brute	échantillonnée au XIXème siècle	Museum National d'Histoire Naturelle (Paris)	XIXème siècle	Égypte	ce travail
collier (4 émeraudes)	Période égyptienne	Museum National d'Histoire Naturelle (Paris)	Nouvel Empire	Égypte	ce travail

Tableau 2. Synthèse des origines géographiques déterminées sur quelques émeraudes historiques antérieures au XIIIème siècle. Les données publiées par Calligaro et al. (2000a, b) ont été obtenues par sonde protonique (caractérisation des éléments traces de l'émeraude) du Laboratoire de Recherche des Musées de France, au Palais du Louvre, à Paris. Les analyses publiées par Giuliani et al. (2000a, b) ont été obtenues par la sonde ionique (analyse de la composition isotopique de l'oxygène de l'émeraude) du Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques (CNRS), à Vandœuvre. Autriche*. L'origine autrichienne a été proposée après un traitement statistique des données par analyse discriminante.

la continuité de l'exploitation de l'émeraude autrichienne après la chute de l'Empire romain ou tout du moins de l'utilisation d'émeraudes extraites à l'époque romaine. Les mines d'émeraudes de l'Oural pourraient

correspondre à l'autre source d'émeraudes évoquée dans l'Antiquité par Pline l'Ancien au sujet de la Scythie. Cette source potentielle d'émeraudes antiques n'a pas encore été identifiée dans les bijoux jusqu'à présent ana-

lysés par les différents laboratoires. Par contre, l'émeraude d'origine pakistanaise de la boucle d'oreille de Méribel démontre que les émeraudes de Bactriane décrites par Théophraste n'étaient pas un mythe.

Les résultats présentés par cette étude et ceux publiés antérieurement montrent que la Haute Égypte et l'Autriche étaient des mines actives durant l'époque gallo-romaine et que des échanges commerciaux avec l'Orient étaient réalisés via la route de la soie.

Remerciements:

Nous devons à l'aimable autorisation de Jacques Lasfargues, conservateur du Musée et directeur du Pôle archéologique du département du Rhône, d'avoir pu réaliser l'analyse d'une des émeraudes du trésor de Vaise. Nous remercions Benjamin Rondeau pour la préparation des échantillons du MNHN.

Références bibliographiques

Aubin G, Bonate P, Lescoux J-P, Metzger C (1999) Le trésor de Vaise, à Lyon. *Documentes d'Archéologie en Rhône-Alpes (DARA)*, 17, Lyon, 191 p.

Calligaro T, Duran J-C, Poirat J-P, Querre G, Salomon J, Zouaghi J-C (2000a) PIXE-PIGE characterization of emeralds using an external α -beam. *NIM B* 161-163, 769-774.

Calligaro T, Duran J-C, Poirat J-P, Querre G, Salomon J, Antoine E, Pouch A (2000b) Sourcing of emeralds from the Visigothic treasure of Gournay-sur-Aronne by accelerated mass spectrometry. *Extended abstract, 32nd International Symposium on Archaeometry, Mexico, May 15-19, 11p.*

Chelliez A, Donato P, Barès O (2001) La triabilité des émeraudes: une triabilité décisive obtenue par microscopie intracristalline (IRIT). *Revue de Gemmologie*, n°141-142, 81-83.

Clayton RN, Muevchi TK (1963) The use of bromine pentafluoride in the extraction of oxygen from oxides and silicates for isotopic analysis. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 27, 32-45.

Comarmond A (1844) Description de l'écrin d'une dame romaine trouvée à Lyon en 1841. Paris-Lyon, 1844, 45 p.

Giuliani G, France-Lanord C, Coget P, Schwarz D, Chelliez A, Branquet E, Girard D, Povel A, Martin-Pand A, Piaz DH (1998a) Oxygen isotope systematics of emerald: relevance for its origin and geological significance. *Mineralium Deposita*, 33, 513-519.

Giuliani G, France-Lanord C, Coget P, Schwarz D, Notary F, Chelliez A, Chauvissière M, Girard D, Piaz D, Barraud P (1998b) Vers une carte d'identité (isotopique $^{18}O/^{16}O$) des émeraudes naturelles et synthétiques. In: Girard D, Giuliani G, Chelliez A, Fritsch E, Gombier E, ed., *L'émeraude. Connaissances actuelles et perspectives*, 55-70.

Giuliani G, Chauvissière M, Schubert H-J, Piaz DH, Beillon-Baud C, France-Lanord C, Girard D, de Narvaez D, Rondeau B (2000a) Oxygen isotopes and emerald trade routes since Antiquity. *Science*, 287, 631-633.

Giuliani G, Heuzé M, Chauvissière M (2000b) La route des émeraudes. *Pour La Science*, 277, 58-65.

Grimmman G, Morteani G (1993) Emerald formation during regional metamorphism: the Zabara Sikeh and Umun Kabri deposits (Eastern Desert, Egypt). *Geoscientific Research in Northeast Africa, Balkema, Rotterdam*, 495-498.

Heuzé M (2000) Le jardin secret des émeraudes. *L'Estampille/L'Objet d'Art*, 345, 52-65.