

Diplôme d'Université de Gemmologie
présenté

devant l'Université de Nantes
service de la formation continue
par

Pierre FUMEY

**CARACTERISTIQUES GEMMOLOGIQUES
DE L'EMERAUDE SYNTHETIQUE LENNIX**

Comparaison avec les différentes émeraudes
naturelles et synthétiques

soutenu le 26 avril 1984 au département de géologie
devant la commission d'examen

MM.	B LASNIER	President
	J-P POIROT	} Examineurs
	C WILLAIME	

A V A N T - P R O P O S

Ce travail a pu être réalisé dans le cadre des activités du Service de la Formation Continue de l'Université de Nantes, en fonction des accords bilatéraux existants entre l'Université de Nantes et l'Institut National de Gemmologie, ayant permis d'introduire cette formation gemmologique complémentaire au Brevet Professionnel de Gemmologie.

Cette étude a été réalisée au Département de Géologie de l'U.E.R. des Sciences de la Nature.

Je tiens à remercier tout particulièrement Monsieur B. LASNIER, Docteur ès Sciences Naturelles, Maître-Assistant à l'Université de Nantes, pour son aide précieuse et l'intérêt si amical qu'il m'a témoigné au cours de mes modestes recherches.

Je remercie également Lydie TOURET, du Laboratoire de Minéralogie du Teyler Museum de Haarlem, Pays-Bas, qui a bien voulu m'aider à décrire avec soin et minutie les inclusions variées présentes dans l'objet de mon étude.

R E S U M E

Après une revue systématique des principaux gisements d'émeraude naturelle et des principales synthèses réalisées à ce jour, l'auteur étudie plus particulièrement l'une des émeraudes synthétiques récentes réalisées en FRANCE par dissolution anhydre : l'émeraude Lennix.

Pour cette dernière ont été centralisées toutes les observations gemmologiques visuelles qui permettent de la différencier immédiatement des naturelles. Ces observations ont été confirmées par des analyses chimiques ponctuelles réalisées à la "Microsonde Electronique Ouest". Celles-ci ont montré les caractéristiques chimiques spécifiques à l'émeraude synthétique dont l'essentiel résulte en la présence de tungstène, molybdène, en l'absence de vanadium et absence ou très faibles traces d'alcalins et de fer.

I N T R O D U C T I O N

L'émeraude est ce béryl chromifère aux couleurs vert intense, connue et estimée depuis la Haute Antiquité. Cette pierre si fabuleuse que l'esprit de l'homme créa autour d'elle, depuis les premiers siècles de notre Histoire, légendes et superstitions pleines de richesses et fantaisies intarissables. Elle fut dédiée à Vénus pour sa grande beauté et resta jusqu'à nos jours très attachée à l'histoire de l'homme.

Convoitée et désirée pour sa beauté profonde et sa rareté, donc aussi pour sa valeur considérable, elle suscita le désir de l'imiter. Depuis le début du siècle des industriels ont abouti à sa réalisation commerciale, grâce à des travaux de laboratoire faits par des scientifiques.

L'étude ci-jointe, quoique très modeste, donne un bref aperçu de l'ensemble des émeraudes synthétiques par rapport aux émeraudes naturelles, sur le marché commercial actuel de ces gemmes, et tout particulièrement sur la dernière synthèse nouvellement fabriquée en FRANCE : l'émeraude synthétique Lennix.

La gemmologie moderne est confrontée aux nombreux problèmes que posent les progrès techniques des productions de pierres synthétiques. Les premiers travaux des scientifiques pour faire cristalliser les minéraux datent du siècle dernier. Depuis, l'évolution technique dans ce domaine a atteint des niveaux exceptionnels. Ces expériences ont été faites dans le seul but de la recherche fondamentale, recréer un milieu propice à la croissance cristalline et vérifier ainsi certaines théories et apporter les certitudes du bien fondé des chercheurs sur leurs hypothèses divergentes.

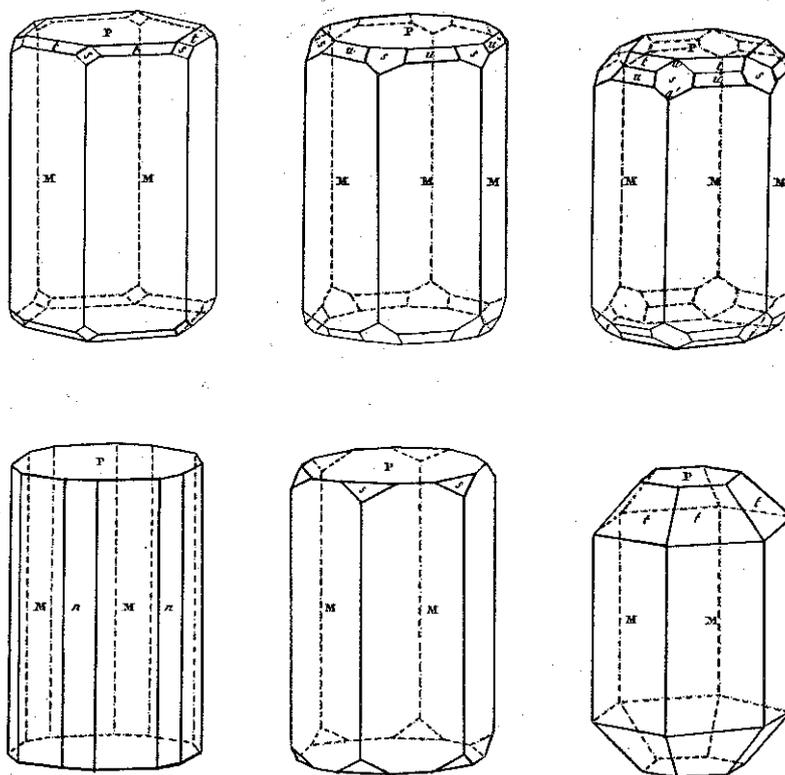
Les résultats éloquentes ainsi obtenus ont favorisé leur commercialisation par des esprits mercantiles.

Si toutes les pierres gemmes sont d'égales merveilles de la nature, l'homme a voulu donner son classement. Parmi elles, une aristocratie de gemmes est donc née, accompagnée indubitablement de la valeur commerciale basée sur leurs qualités intrinsèques. Il s'agit

du diamant, du rubis, de l'émeraude et du saphir. Leur grande valeur commerciale, conséquence d'une grande demande sans cesse croissante sur le marché de la pierre précieuse a favorisé leur reproduction par synthèse.

Pour le gemmologue amateur, souvent professionnel peu averti, il n'existe qu'une sensation qu'il ne traduit pas immédiatement en signe de distinction et c'est là qu'il y a une grande disparité entre lui et l'homme de laboratoire aguerri à l'interprétation judicieuse de certains tests scientifiques qui peuvent mettre en évidence les propriétés propres à chacune des pierres naturelles ou synthétiques. Il apparaît à l'évidence que les conditions requises pour obtenir la synthèse d'un minéral en laboratoire sont beaucoup plus simples que la complexité des processus que subit le minéral naturel pendant sa formation. La simulation des processus naturels se heurte toujours aux conditions particulières à la chimie de laboratoire, notamment à la simplification des systèmes.

Fig. 1 : CRISTAUX DE BERYL



CHAPITRE I

I - LES EMERAUDES SYNTHÉTIQUES

1 - Dissolution anhydre

Les premiers grands travaux dans l'histoire de l'émeraude synthétique sont dus, au siècle dernier, au chimiste Jacques Joseph EBELMEN.

Ce savant français, professeur à l'école des Mines et administrateur de la manufacture de Sèvres, réussit au laboratoire en 1847, la reconstitution de cristaux tel le béryl et le corindon, par voie sèche.

De 1877 à 1888, le chimiste et minéralogiste P. de HAUTEFEUILLE, professeur à la Faculté des Sciences de Paris, fit de remarquables travaux sur la synthèse des silicates alumineux, en dissolvant de l'oxyde de béryllium, de la silice, de l'aluminium plus une faible quantité d'oxyde de chrome, en proportions très étudiées dans du molybdate de lithium. Il obtint en sursaturation une solution de béryl maintenue pendant trois semaines en pression à 800°. Il cristallisa du béryl vert. Les travaux expérimentaux de ces deux savants furent repris par l'industrie au début du siècle.

En 1930, la société allemande I.G. FARBEN introduisit, sous le nom d'"Imerald", quelques émeraudes synthétiques sur le circuit commercial. Devenues très rares, elles sont pratiquement introuvables actuellement.

La méthode de dissolution dans un fondant des constituants du béryl avec apport substantiel de chrome, suivant la méthode améliorée du chimiste Paul de Hautefeuille fut reprise et développée industriellement. Une forte expansion de l'émeraude synthétique sur le marché commercial fut acquise grâce au chimiste américain Carrol CHATHAM de San Francisco depuis 1941. En Allemagne en 1963 un chimiste allemand W. ZERFASS d'Idar-Oberstein mit en oeuvre une production similaire. En France, en 1963, un céramiste ingénieur des Arts et Métiers à Champagne-les-Wardrecques, Pierre GILSON créa, toujours par la méthode de sels

fondus ou dissolution anhydre, une émeraude synthétique de bonne couleur et propre. De grands cristaux sont obtenus, ils se développent sur des germes. Les inclusions dans les cristaux Chatham et Gilson sont très similaires : inclusions de petits givres en forme de voile, constitué de fines lacunes emplies de fondant solidifié, cristaux de phénacite dus à l'appauvrissement de la solution en alumine ; petits cristallites noirs, zones d'accroissements rectilignes. Dans les émeraudes naturelles, des cristaux de phénacite sont rarement observés. Les inclusions en voiles de Gilson et Chatham leur sont très particulières.

2 - Procédé par fusion sèche

Le procédé par fusion sèche, méthode VERNEUIL, s'adapte mal aux silicates. Des expériences ont été faites en laboratoire en fondant au chalumeau une poudre de béryl et d'oxyde de chrome. Expérience sans suite (1963), car le béryl se décompose avant de fondre : il n'est pas "congruent".

3 - Procédé hydrothermal

En 1928, le Professeur NACKEN prépara de l'émeraude par procédé de dissolution hydrothermale ; une solution alcaline des oxydes constituant l'émeraude est placée en autoclave sous 1000 atmosphères à 380 à 400°, une différence de température de 20° centigrades étant maintenue entre le haut et le bas de l'autoclave. Les conditions physico-chimiques proches de l'état naturel de formation des cristaux de béryl étaient ainsi obtenues. La difficulté était de les maintenir longtemps pour l'obtention de gros cristaux et d'éviter une prolifération des germes. Ces cristaux contiennent comme inclusions des givres liquides en forme de plume avec inclusions à deux phases, des cavités cristallines en forme de clou à trois phases. L'Autrichien LECHLEITNER à Innsbrück entreprit de commercialiser le procédé du professeur Nacken. Des morceaux de béryl naturel facettés ou en cabochon, sont placés dans l'autoclave, où ils sont alors enrobés d'un dépôt hydrothermal d'émeraude artificielle. A la différence des autres émeraudes synthétiques, les pierres Lechleitner ne peuvent être identifiées par leurs constantes physiques macroscopiques, mais par le fait que les inclusions, les

défauts, fissures entrecroisées dans le manteau hydrothermal recouvrant le béryl, sont visibles, ainsi que par une coloration vert foncé à la bordure du rondis. Le procédé Lechleitner fut repris par la Division LINDE de l'Union Carbide aux Etats-Unis en 1966. Par ce procédé hydrothermal, des cristaux croissent lentement par périodes dans un autoclave sur des germes cristallins ; cette solution est complétée, par intermittence. Ses propriétés physiques et optiques sont plus faibles que celles de l'émeraude naturelle. Son identification se fait surtout par ses inclusions, cavités cristallines en forme de clou, formées d'un cristal de phénacite avec libelles orientées dans le sens de l'axe optique (axe principal du cristal), et la très vive fluorescence rouge sous un fort rayon de lumière blanche. La production Linde est actuellement reprise par la société REGENCY qui arrive à produire des synthèses pratiquement pures. D'autres productions d'émeraudes synthétiques arriveront sur le marché et pour le gemmologue une très grande attention et prudence sont à recommander, la collaboration du monde scientifique est alors son meilleur appui.

Une toute récente production australienne d'émeraude synthétique par procédé hydrothermal est apparue depuis 1982, sous le nom de "Biron", distribuée actuellement par la Société Perth Lapidary Center à Perth, Australie du Sud. Ses indices sont très supérieurs aux autres synthèses et une densité de 2,70 avec une biréfringence de 0,07, inclusions à deux phases, voiles. (Tombs G. 1983 Bulletin gemmologie australien 15-24) Grahams. Brown (Jewelery World mars 1984).

Il faut aussi mentionner l'extraordinaire fabrication de très gros cristaux de béryl et d'émeraude, toujours obtenu par procédé hydrothermal en laboratoire de l'Institut de géologie et géographie, Académie des Sciences d'U.R.S.S. division sibérienne Novosibirsk. Les caractéristiques optiques et physiques sont semblables aux émeraudes naturelles, l'indice de réfraction peut varier de 1,571 à 1,575 et augmente jusqu'à 1,587, la densité à 2,78 selon la teneur en alcalins. Des inclusions à deux phases et même trois phases y ont été observées. Il n'existe aucune commercialisation de cette émeraude, laquelle reste au stade expérimental. (Bulletin AFG 1983 N° 76 Lebedev Ilyin Klyaklin).

TABLEAU RECAPITULATIF DES SYNTHESSES DE L'EMERAUDE

PROCEDE	TYPE DE SYNTHESE				
DISSOLUTION ANHYDRE	EBELMEN France	DE HAUTEFEUILLE France		IGMERALD Allemagne	
	ZERFASS Allemagne	CHATHAM US	GILSON France	LENNIX France	INAMORI Japon
FUSION SECHE	VERNEUIL France				
HYDROTHERMAL	NACKEN	LECHLEITNER Autriche	LINDE US	REGENCY US	
	BIRON Australie	RUSSE Urss			

Fig.2 : Cristaux d'Emeraude synthétique
LENNIX.

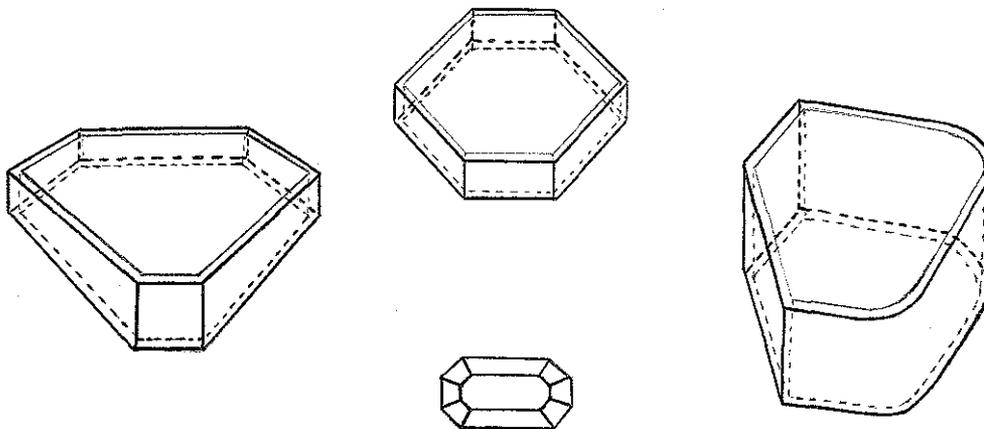
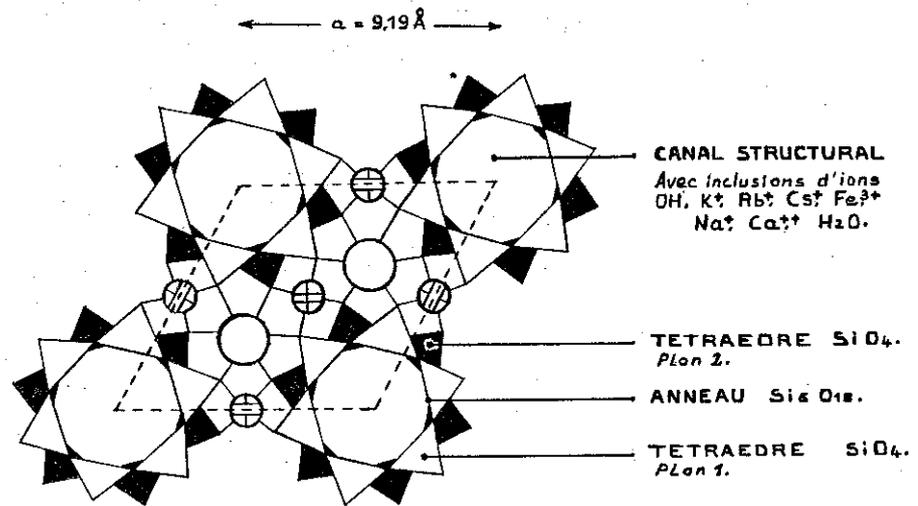


Fig. 3 : STRUCTURE DE L'EMERAUDE



⊕ Be : Chaque ion béryllium réunit entre eux quatre anneaux Si_6O_{18} de deux plans différents

○ Al : Chaque ion aluminium réunit entre eux six anneaux Si_6O_{18} de deux plans différents.
Il peut être remplacé par Cr^{3+} , V^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{3+} , Fe^{2+} .

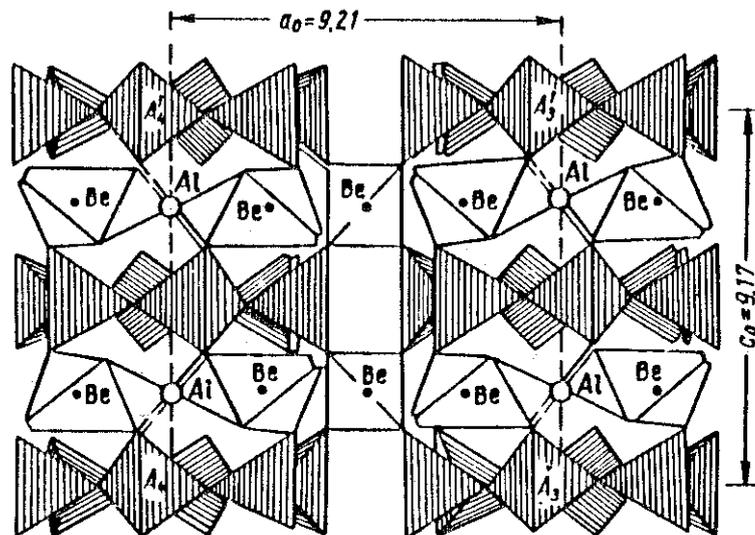


Fig. 4 : projection de la structure verticale du beryl

II - LES EMERAUDES NATURELLES

Ce béryl $(Al,Cr)_2 Be_3 Si_6 O_{18}$, qu'est l'émeraude naturelle doit sa couleur à la substitution en faibles proportions d'ions aluminium par des ions chrome. Sa composition exacte résulte aussi de substitutions isomorphiques du fer : Fe^{++} , Fe^{+++} , vanadium : V^{+++} , manganèse : Mn^{++} et la présence dans ses canaux structuraux d'ions alcalins (sodium, potassium : $Na^+ K^+$), calcium : Ca^{++} , césium : Cs^+ , rubidium : Rb^+ et oxyhydrile : OH^- et de molécules d'eau.

Une certaine logique géologique concernant la métallogénie du béryllium voudrait que la formation de l'émeraude comme celle de tous les béryls soit liée à des roches acides, les pegmatites. Paradoxalement en effet, les pegmatites potassiques, berceau des béryls et aigue-marines, ne contiennent pas d'émeraude (absence de chrome). La couleur verte de certains béryls est due au fer. Les pegmatites sodolithiques, à béryls parfois colorés (morganite rose...) ne contiennent pas davantage d'émeraude (absence de chrome). L'émeraude se forme en fait au contact de roches ultrabasiques, dont elle tire l'élément chrome. Dans les roches sédimentaires, surtout les calcaires, cette formation est complexe et mal définie surtout pour l'élément chrome. Le gisement émeraude est lié à des venues pegmatitiques en intrusion dans des roches basiques ce qui provoque la mobilisation de divers éléments. Le mica se forme souvent en compagnie de l'émeraude, d'où l'aspect de micaschiste de certaines gangues. Il semble néanmoins qu'il y ait des "micaschistes" et des "calcaires" émeraude.

Les inclusions dans les émeraudes sont des témoins des conditions et de son milieu de formation ; de précieux renseignements sont ainsi mis en évidence. Cette formation se situerait aux environs de $500^{\circ}C$, domaine des gîtes hydrothermaux.

III - LES GISEMENTS DE L'EMERAUDE

- 1 - Gites de "contact" dans les micaschistes. (Dans l'ordre chronologique des découvertes de cristaux d'émeraude dans le monde).

L'Egypte

Les très célèbres gisements historiques de la Haute Egypte, le Djebel de SABARA, de KOSSEIR dont la plus ancienne mine remonte à la XIIème dynastie vers 1900 avant Jésus-Christ, au moins, gite de schistes micacés (in Schubnel, 1972).

L'Autriche

Les gisements autrichiens des Alpes salzbourgeoises, la vallée d'HABACH où les Romains exploitaient l'émeraude dans les schistes micacés, pierres très chargées d'inclusions. (actinote, micas, givres) (in Schubnel, 1972).

La Russie

Beaucoup plus tard, en Oural, vers 1830, le long de la TAKOWAJA au nord-est de SVERDLOVSK, on découvrit dans la chaîne montagneuse qui la borde des gites d'émeraude aux cristaux volumineux sans grande couleur dans des schistes micacés avec biotite. Seuls les petits cristaux ont une bonne couleur, rappelant l'émeraude de Colombie ; cristaux avec inclusions d'actinote, micas, cristaux négatifs à deux phases (in Raguin, 1961).

Les Indes

Sans pouvoir affirmer l'époque de leur découverte, car depuis des siècles on taille cette gemme en grande quantité, venue des plus importants gites mondiaux. La ville de Jaipur au RAJASTAN est le principal centre de taille de l'émeraude. Les récents gisements connus sont tous des gites à micaschistes : Udaipur, Ajmere et Merwara. Ils produisent des cristaux de belle couleur et en bonne dimension très chargés en inclusions, faible production. Les inclusions caractéristiques sont biotite, cristaux négatifs (in Schubnel, 1972).

Le Brésil

Depuis 1913, de très grands cristaux légèrement givreux sont extraits dans une roche à micas de composition intermédiaire entre la biotite et le phlogopite formée au contact d'une pegmatite très apparente. Carnaiba, Pilao-Arcado : cristaux de couleur vert herbage, très spécifique du Brésil, givres très nombreux, lacunes cristallines à deux phases. Très forte production ces dernières années, mais la qualité reste médiocre. Deux nouveaux gisements sont à signaler, en 1978 à ITABIRA situé à quelque 100 kilomètres au nord-est de Belo Horizonte au Minas Gerais. La mine Belmont qui produit une très bonne qualité d'émeraude. En 1981 la découverte d'un très important dépôt d'émeraude à Santa Terezinha de Goiás à 300 kilomètres au nord de Goiana dans l'état de Goiás et à 230 kilomètres au nord-ouest de Brasilia. Les cristaux d'émeraude se rencontrent dans des schistes talqueux. Leur minéralisation est due aux fluides riches en béryl relâchés par les pegmatites avoisinantes. La production est très riche : 1100 t au m³. Santa Terezinha de Goiás est actuellement le 1er producteur d'émeraude du Brésil, ses pierres sont petites mais de bonne qualité. Les inclusions caractéristiques : cristaux de pyrite, chromite calcite - givres (in Cassedanne-Sauer, 1983).

L'Australie

En 1890 à Emmaville au nord-ouest de Glen Innes en Nouvelles Galles du Sud, des émeraudes furent découvertes dans une mine d'étain; ces émeraudes se rencontrent dans des veines de pegmatites au contact

des schistes métamorphisés. Les cristaux sont d'une couleur vert pâle. Très faible production sans grand intérêt commercial. De 1963 à 1964 de nouvelles prospections n'ont donné qu'une quantité très faible d'émeraude et de béryl vert à inclusions de grenat, biotite et givres. En 1912 fut découvert aux alentours de POONA des cristaux d'émeraude et de béryl vert. A l'époque, l'ingénieur des mines Montgomery devait mettre en valeur un important champ d'émeraude sur une surface de 23 km² qui se situe à environ 60 km au nord-ouest de la petite agglomération de Cue et à quelques 138 km au sud-ouest de la ville de Meekatharra. Actuellement la mine "l'Aga Kan" fournit des émeraudes de qualité très moyenne en petite quantité toujours d'un vert très pâle. Toutes les mines de la région de Poona connurent beaucoup de difficultés au cours des années passées. Les émeraudes se rencontrent au contact de mica-schistes traversés de filonnets pegmatitiques contenant du béryl. La production est très faible. Les inclusions sont la biotite, l'ilménite, l'apatite, le grenat, ainsi que des inclusions biphasées. En 1974, dans le district de Menzies au sud-ouest australien, on découvrit des émeraudes dans la vieille mine d'or de la station Riverina à quelques 50 km au nord-ouest de Menzies. De bons spécimens furent trouvés dans des micaschistes dont certaines émeraudes étaient associées avec de la dolomie et quartz. Les pegmatites à cet endroit contiennent des cristaux de béryl en abondance de couleur vert pâle. Depuis 1980 les travaux d'extraction semblent être arrêtés malgré la qualité des cristaux, bien supérieure à l'ensemble des gisements australiens. Les inclusions sont, le mica, la dolomie, et les inclusions biphasées.

(A. Mumme 1982 Australie - Oliver Chalmers 1979 Museum de Sydney).

Le Transvaal

En 1927, au nord-est du Transvaal, dans la région du Lataba à Gravelotte, on exploita des gites d'émeraude dans du micaschiste ; petits cristaux très verts mais aussi très givreux, petite production. (in Schubnel, 1972).

Le Zimbabwe

Depuis 1956, au Zimbabwe (ex-Rhodésie), près de Sanda Wana considéré comme l'un des principaux producteurs d'émeraude après la Colombie, les cristaux d'émeraude se rencontrent dans des zones de

contact avec des schistes à trémolite et chlorite de formation précambrienne. Couleur vert intense avec une nuance de jaune, des cristaux de petite taille rarement au-delà de 2 cts taillés pour les plus importants, pierres très appréciées. Inclusions très caractéristiques, cristaux aciculaires et flexueux de trémolite, nuages de minuscules cristaux, givres de décollement.

Le Pakistan

En 1958, dans la vallée de Swat, des émeraudes sont découvertes à Mingora. La mine de Mingora, exploitée depuis, produit des émeraudes de bonne qualité. Elles sont sorties d'un gîte de micaschiste à chlorite trémolite. Inclusions fluides, cristaux de belle couleur (in Gübelin, 1982).

La Zambie

Nouveau producteur d'émeraude depuis 1968, ce pays prend une importance considérable sur le marché de l'émeraude. Les difficultés internes que connaît ce pays ne permettent pas d'avoir de solides renseignements sur les exploitations. Cette émeraude de très bonne qualité saine, possède une couleur très particulière, un vert bleu cru. Elle est très appréciée actuellement par sa qualité et son prix plus modeste que celui de la Colombie. Les trois principales mines sont : Miku, situé à 56 km au sud, sud-ouest de Kitwe. Le champ d'émeraude de Kufubu avec sa nouvelle mine située à 35 km de Kitwe ; et Mufulira au nord-est de Kitwe, près de la frontière du Zaïre. Les émeraudes se rencontrent dans les micaschistes à biotite. Inclusions nombreuses, nuages minuscules, givres, inclusions solides, ilmenite, mica noir (biotite), rutile, (in A. MUMME, 1982).

Madagascar

La toute dernière découverte d'un gîte d'émeraude peu commercialisé et d'intérêt minéralogique est celui d'Ankadilalana à Madagascar. Gîte de micaschiste, émeraudes ayant une similitude avec celle de Zambie. Inclusions d'ilmenite, mica brun, apatite, inclusions à deux phases.

(in Dr. H. KLEIN H. HANNI, 1983).

La Tanzanie

Les mines d'émeraude ont été découvertes en 1969 près du lac Manyara aux abords du village de Maji Moto. Gîte de micaschistes à biotite et actinote. Ces émeraudes de bonne qualité ont une grande similitude avec celle de la région de Tokowaja en Oural. Elles sont souvent associées avec du chrysobéryl, Alexandrite apatite et grenat. (Bank 1974).

Le Mozambique

La découverte d'émeraude date de 1970 dans le district de Morrua. Elle se rencontre dans une zone de schistes métamorphisés adjacents des pegmatites exploitées pour le béryl, la tantalite et le mica.

2 - Gisements de roches calcaires

La Colombie

La complexité de son mode de gisement où les phénomènes de contact ne sont pas observés, les théories expliquant la formation de l'émeraude sont très divergentes : filons hydrothermaux, dolomito-calcaires traversant un complexe sédimentaire, schistes calcaires bitumineux où la venue du chrome serait faite par intrusion magnésio-chromifère ayant métamorphisé cette formation sédimentaire, ou amas chromifère antérieurs dissouts par la venue des filons hydrothermaux. Cette formation de l'émeraude est à très basse température, mais supérieure à 300° C comme peuvent l'indiquer les mesures thermométriques des inclusions fluides faites en laboratoire (Touray et Poirot, 1968)*. Paradis de l'émeraude de haute qualité, les mines colombiennes étaient exploitées depuis deux mille ans. Cette gemme était déjà l'objet d'échange dans toute l'Amérique du Sud et Centrale, du Pérou au Mexique, comme en témoignent les objets d'art des civilisations incas, aztèques et mayas. La découverte de cette partie du Nouveau Monde par Cortes en 1558, permit de mettre en évidence les mines d'émeraude. C'est à partir de cette époque et jusqu'à nos jours que toutes les exploitations des gîtes éméraldifères de Colombie vont connaître beaucoup de vicissitudes.

* communication personnelle.

Les principaux centres de production sont Chivor-Muzo, Coscuez qui font de la Colombie le premier producteur d'émeraude dans le monde par les qualités exceptionnelles de cette gemme dont la couleur extraordinaire de son vert est unique et inégalable (vert bleuté, à vert jaune). Les inclusions sont très caractéristiques ; givres de guérison contenant trois phases principales : liquide ; solution minéralisée, gaz : anhydre carbonique ; solide : chlorure de sodium, cristallites, cristaux de calcite, pyrite.

IV - LE MARCHÉ ACTUEL DE L'ÉMERAUDE.

L'analyse sur le marché actuel de l'émeraude au niveau commercial et gemmologique témoigne de deux impératifs : la faible production de gemmes vraiment pures et leur prix exorbitant. Depuis plusieurs années, une demande excessive a fait que tous les types de qualité étaient employés. Un net ralentissement de la demande s'est produit depuis ces deux dernières années, surtout sur la qualité inférieure. On assiste à une légère reprise de ce marché, grâce à la commercialisation d'une émeraude très saine et de qualité moyenne : l'émeraude de Zambie.

Le prix de l'émeraude de qualité a aussi amorcé une chute dans son prix au carat. Quelle est la place des émeraudes synthétiques par rapport aux impondérables du marché de l'émeraude fine ? Les synthétiques ont suivi la progression de ce marché, mais sans jamais faire une percée. Actuellement l'Europe est peu sensible à cette production, contrairement à l'Amérique, surtout les U.S.A. et le Japon, qui commercialisent convenablement les synthèses. Une nouvelle émeraude synthétique est apparue sur le marché français ; elle fait l'objet de l'étude présentée dans les paragraphes qui suivent. Une étude comparative entre les synthèses existantes et les émeraudes naturelles sous forme de tableau avec l'analyse des constantes optiques et physiques terminera ce travail.

V - Inclusions les plus caractéristiques
 dans les émeraudes fines,
 d'après Dina LEVEL
 cours de gémmologie de M^r GOBEL

Fig. 5

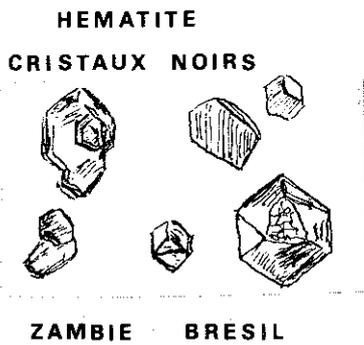


Fig. 6

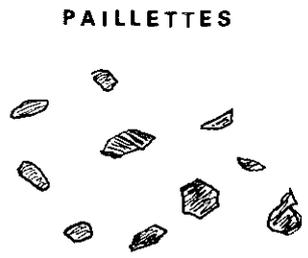


Fig. 7



Fig. 8
 MICAS



Fig. 9

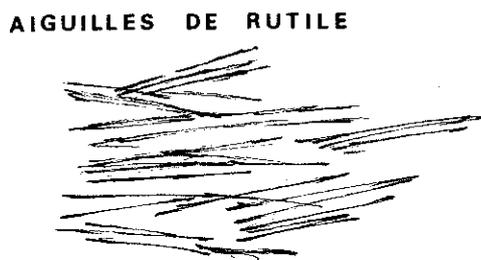


Fig. 11

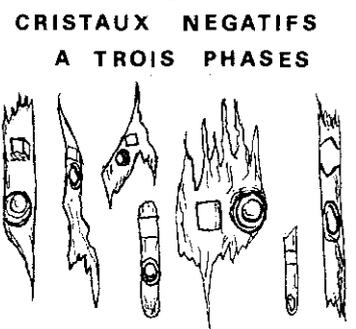
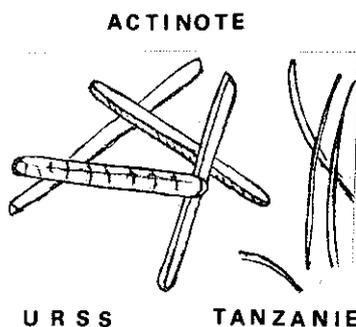


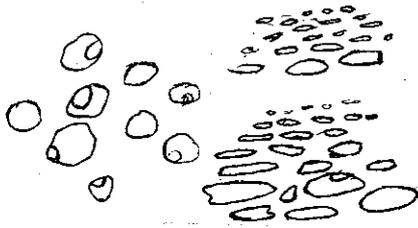
Fig. 10



COLOMBIE

Fig. 12

CRISTAUX NEGATIFS PLATS



SIBERIE

Fig. 13

ZONES DE COULEUR

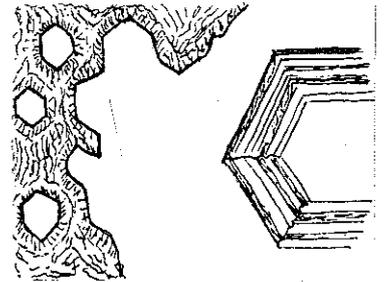
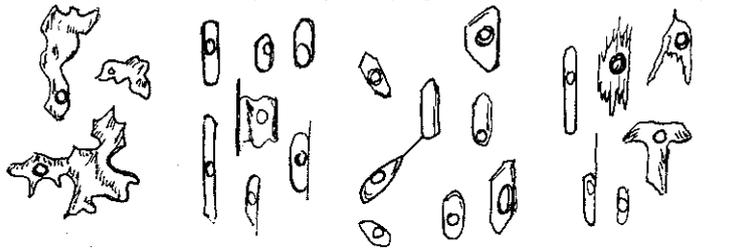


Fig. 14

CRISTAUX NEGATIFS AVEC OU SANS LIBELLE



BRESIL

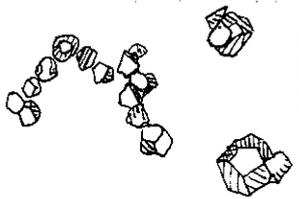
PAKISTAN

COLOMBIE

AFRIQUE

Fig. 15

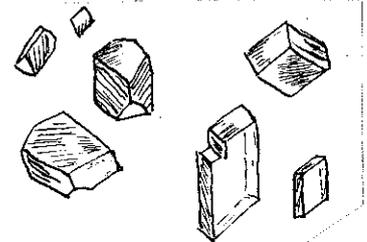
CRISTAUX PYRITE



COLOMBIE

Fig. 16

DOLOMIE CALCITE



COLOMBIE

Fig. 17

FLOCONS



C H A P I T R E I I

I - L'ÉMERAUDE SYNTHÉTIQUE : "LENNIX".

Une autre émeraude synthétique est commercialisée sur le marché français, après celle introduite par Monsieur GILSON en 1965. Elle est vendue en France, par la Société Française de Produits Manufacturés, firme spécialisée dans l'import-export de pierres précieuses et fines ou synthétiques, dont le siège social est situé à Cannes. Cette émeraude synthétique a été créée par Monsieur LENS, ingénieur chimiste, qui la produit lui-même d'une façon très artisanale dans son propre laboratoire. Cette réalisation lui a valu une récompense : la médaille de vermeil au Salon International des Inventions et Techniques Nouvelles à Genève en 1982.

Une dizaine d'échantillons, taillés ou bruts, ont été observés. L'aspect macroscopique reste identique : manque de limpidité, une certaine opacité du matériau très chargé en inclusions, une couleur homogène dans la teinte vert herbage foncé assez floue.

L'observation au polariscope ne donne pas d'anisotropie apparente. L'examen en lame mince d'une section perpendiculaire à l'axe d'ordre 6 montre une mosaïque de plages diversement polarisantes, ce qui semble consécutif aux chocs thermiques inérents aux divers stades de la fabrication de ce "cristal" artificiel. L'examen en lumière polarisée convergente montre nettement une figure de biaxe ($2V = 15-20^\circ$).★

On observe en effet des "sous grains" qui polarisent dans des orientations différentes, on n'a plus affaire à un monocristal rétablissant la lumière mais à un empilement de microcristaux plus ou moins individualisés, lesquels statistiquement ne donnent qu'une teinte globale ni éteinte ni allumée.

L'examen d'une lame mince taillée parallèlement à l'axe d'ordre 6 montre en lumière polarisée une extinction globale droite, "statistique". Des plages rectilignes parallèles à l'axe 6 présentent

★ curieusement comme pour toutes les émeraudes (et les béryls) naturelles, comme l'avait signalé Mallard au siècle dernier. On n'aurait pas encore observé de section perpendiculaire à l'axe d'ordre 6 présentant une figure d'uniaxe, à telle enseigne que l'on pourrait considérer le béryl comme triclinique ! (Wyart, comm. orale).

des extinctions légèrement différentes, d'où un aspect cannelé particulier, témoin, là encore, des conditions de fabrication.

Des zones légèrement plus colorées et plus biréfringentes, plus ou moins parallèles (cf. fig. 19) et perpendiculaires à l'axe d'ordre 6, témoignent des cycles d'accroissement successifs et des nouveaux apports (notamment de chrome) lors de la fabrication.

Les observations laissent voir nettement des reprises et arrêts successifs et rapides de croissance cristalline qui provoquent des chocs thermiques très brutaux et donnent l'aspect trouble de cette pierre. Nous sommes en présence d'une fabrication par dissolution anhydre accélérée.

L'ensemble des pierres commercialisées ont la table taillée perpendiculairement à l'axe optique. Du fait de la diffusion due aux nombreuses inclusions, le cristal s'observe difficilement par le côté.

Les mesures suivantes ont été effectuées sur 12 échantillons.

Sur le réfractomètre, lecture des indices n 1,560 - 1,559 et ω 1,563 à 1,564, valeurs très faibles pour un béryl, ce qui doit donner l'éveil.

Biréfringence très faible de 0,003 à 0,004.
La biréfringence des émeraudes naturelles est de 0,006 à 0,010.

Densité très faible de $2,565 \pm 0,002$. Les émeraudes naturelles ont une densité supérieure à 2,70 (cf. annexe).

Sous le filtre de Chelsea : aspect rouge vif cramoisi qui attire particulièrement l'attention ; les émeraudes naturelles les plus riches en chrome ne paraissent que rouge sombre (Colombie).

Luminescence rouge aux rayons ultraviolets courts et longs. Les émeraudes naturelles sont inertes aux rayons ultraviolets courts et longs à quelques exceptions près pour certaines émeraudes de Colombie particulièrement riches en chrome et pauvres en fer.

Spectre d'absorption du chrome dans le béryl à 682 - 681 nm (doublet

INCLUSIONS CARACTERISTIQUES DE L'EMERAUDE SYNTHETIQUE LENNIX (x100)



fig. 18

GRAINS RÉTABLISANTS EN LUMIÈRE POLARISÉE

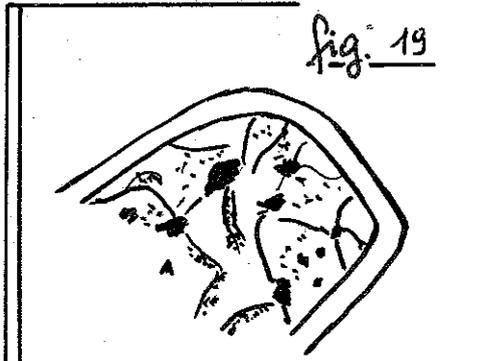


fig. 19

ZONAGE SUR LE POURTOUR DE COULEUR PLUS COLORÉE SOUVENT EXEMPT D'INCLUSION

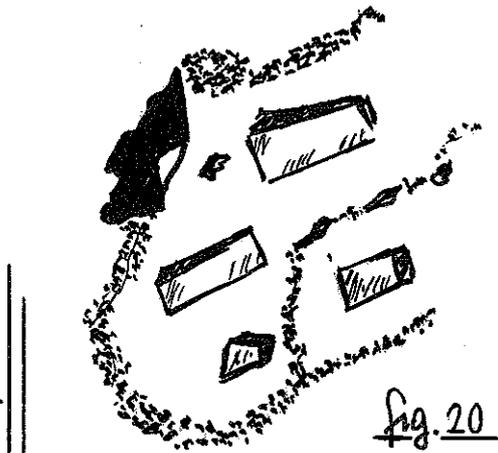


fig. 20

CRISTAUX TRÈS PLATS de SECTION RECTANGULAIRE OU CARRE RETABLISANT EN L.P.



fig. 21

NUAGE de PLAQUETTES NOIRES et RESEAU de FISSURES.

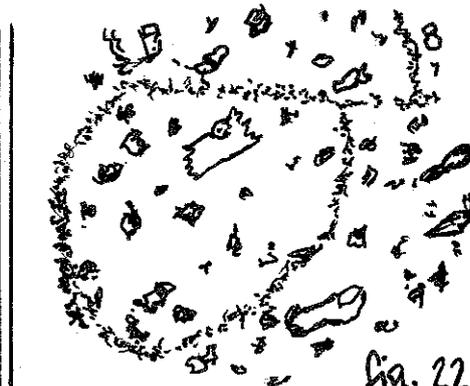


fig. 22

CONCENTRATION, GRANULATION et INCLUSIONS avec BULLE de GAZ.

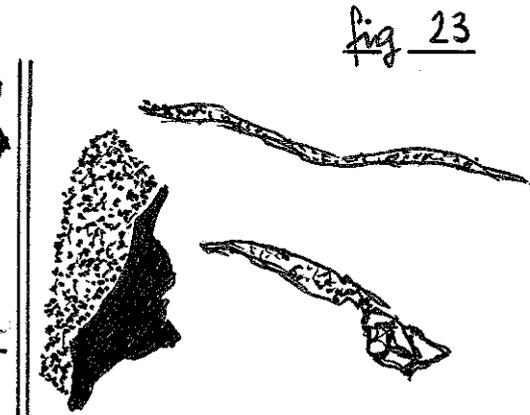


fig. 23

VOILE avec TRÈS FINE GRANULATION



fig. 24

NUAGE de PETITES PLAQUETTES NOIRES

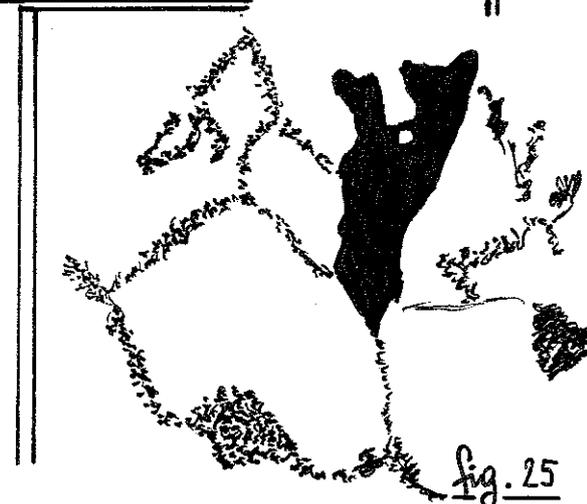


fig. 25

INCLUSION TACHE d'ENCRE RÉSEAU de FISSURES RAMIFIÉES à FIGURE POLYGONALE.

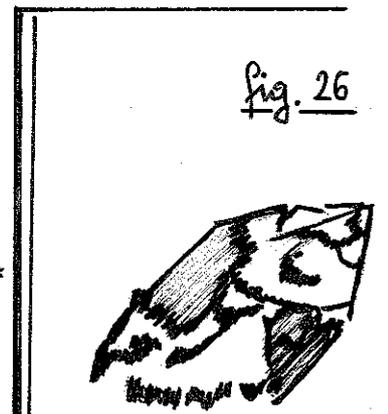


fig. 26

INCLUSION FORMES CRISTALLINES RETABLISANT EN P.L.

du chrome) très marqué, du violet à environ 480 au jaune orangé à 600 - 650 nm, analogue à celui des émeraudes naturelles classiques, mais plus marqué.

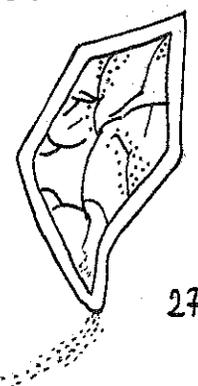
Le domaine très important des inclusions reste certainement l'élément déterminant pour assurer l'identification complète. L'ensemble des nombreuses inclusions piégées ne saurait tromper un observateur attentif.

Dès l'examen fait à la loupe 10x, on observe une multitude de petites plaquettes à formes géométriques et d'autres informes imitant l'éponge, et qui, suivant l'éclairage, sont de couleur noire ou dorée. Des séries de nuages d'inclusions floconneuses laissent à supposer des dépôts de fondant mal digéré dans la solution lors de la formation. Toutes ces inclusions sont reliées entre elles par des fissures ou givres en voiles remplis de points noirs. Ces voiles sont similaires aux inclusions typiques des émeraudes synthétiques fabriquées par dissolution anhydre et commercialisées depuis 1945 par Chatham, Gilson, etc...

Observations des inclusions de l'émeraude Lennix faites sur lame mince perpendiculaire à A6 d'un cristal brut par Lydie TOURET.
Laboratoire de minéralogie Museum Haarlem.

Figure 27, découpant des secteurs prismatiques formant des sortes de "sous-grains". Très nombreux plans d'inclusions pratiquement perpendiculaires à la surface de la pierre.

(x 50)



27

Figure 28, parfois leurs traces sur la surface dessinent un réseau polygonal irrégulier.

Dans ces plans un réseau inextricable d'inclusions biphasées à contours très ramifiés avec de nombreux appendices



28

aciculaires. Elles contiennent pour la plupart (biphasées ou monophasées) une pluie de granulation. Dans les biphasées, ces grains solides et le verre écrasent et déforment la bulle de gaz.

Figure 29, parallèle au bord de l'échantillon il existe une bande continue (2% environ) de couleur plus marquée que celle du centre du cristal.

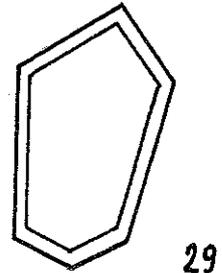
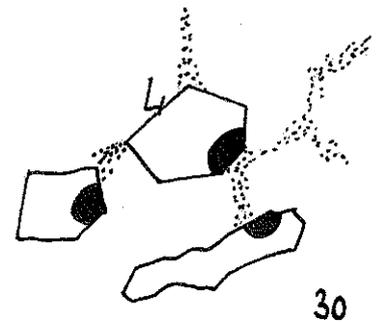
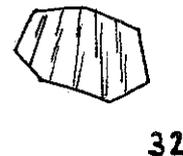
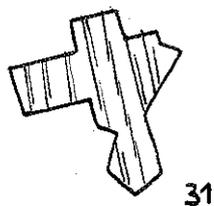


Figure 30, il y a de très grosses inclusions solides et des inclusions décrépitées. Situé à peu près transversalement, un voile à peu près continu d'inclusions biphasées.



Dans la masse de l'échantillon, il y a :

- Figures 31 - 32, des inclusions solides disséminées très anguleuses, incolores, petites.



- de "gros" cristaux solides granuleux bruns xénomorphes anisotropes, rappelant des grains de sphène (présents aussi dans la bande extérieure de 2%)

- des inclusions monophasées disséminées

- Figures 33 - 34, d'innombrables minéraux à section rectangulaire ou plus ou moins carrée, anisotrope (du 1er ordre) du même indice que l'émeraude contenant de très grosses inclusions biphasées bien visibles en L.P.



33



34

Sont à retenir :

- Les minéraux anisotropes à section rectangulaire ou carrée d'indices voisins de l'émeraude contenant des inclusions biphasées.
- La dissémination de solides géométriques.
- La multitude des inclusions surtout biphasées, pratiquement toujours remplies de grains brunâtres à forme inhabituelle. Appendices à canalicules à ramifications.

II - ANALYSES CHIMIQUES

Une méthode moderne d'analyse chimique permet d'étudier les éléments présents à l'état de trace dans les différents gisements de pierres naturelles et selon les modes de fabrication des synthétiques. Elle a été appliquée par le docteur Hans Werner SCHRADER, Université de Mainz, West Germany. Grâce à l'application combinée de techniques d'analyses d'activité neutronique (NAA) et de spectroscopie d'émission optique, il a montré des différences considérables dans les teneurs en oligo-éléments. Cette méthode d'analyse est très sensible : certains éléments peuvent être décelés à quelques p.p.m. Couramment utilisée par les chercheurs, cette méthode présente cependant des inconvénients qui sont :

- la nécessité d'un réacteur nucléaire ;
- la longue période de temps pour obtenir une analyse ;
- le fait que certains éléments ne peuvent être examinés par cette méthode ;

- les frais élevés qu'il faut engager.

Le Fer (Fe).

Les émeraudes naturelles ont des teneurs variables 0,4% à 0,5% pour le Brésil, l'URSS, l'Australie, le Pakistan ; l'Afrique : moins de 0,4% et la Colombie 0,1%.

Toutes les émeraudes synthétiques possèdent nettement moins de fer : Lennix 0%. Seule une génération de Gilson présente 0,05% qui peut d'ailleurs se déceler par un spectre optique caractéristique.

Le Magnésium (Mg).

On a trouvé aussi de 0,3% à 0,5% de magnésium dans les émeraudes naturelles à l'exception de certaines émeraudes du Transvaal. Le magnésium est non décelable dans les synthétiques : Lennix 0%.

Le Manganèse (Mn).

Grâce aux méthodes d'examen très sensibles, le manganèse peut se déceler, de 10 p.p.m. à 35 p.p.m. pour les naturelles, il est non décelable dans les synthétiques : Lennix 0%.

Le Molybdène (Mo).

Le molybdène est seulement présent dans les émeraudes synthétiques. La quantité varie de 10 ppm à 1120 ppm. Il peut être utilisé pour différencier clairement les émeraudes synthétiques des naturelles ; mais l'absence de molybdène ne prouve pas nécessairement l'origine naturelle de l'émeraude du fait que la composition d'un flux dépend généralement du système de synthèse. Lennix avec molybdène.

Le Tungstène (W).

De très faibles teneurs de tungstène ont été trouvées dans les émeraudes synthétiques : 1 p.p.m.

Le Chrome (Cr).

Le chrome est présent dans toutes les émeraudes naturelles et synthétiques.

Naturelles de 0,05% à 0,4%

Synthétiques de 0,13% à 0,5%

En général il y a une plus forte teneur en chrome dans les synthétiques : Lennix avec chrome de 0,5% à 1,4%.

Le Vanadium (V).

Toutes les pierres naturelles, avec des variations, ont du vanadium. Aucune synthétique n'en a, exceptées certaines Gilson (de 289 p.p.m. à 430 p.p.m.). Lennix : 0%.

Calcium (Ca) et Zinc (Zn).

Difficilement décelables dans les émeraudes naturelles.
Lennix : Ca et Zn 0%.

Le Scandium (Sc).

Dans toutes les émeraudes naturelles : Pakistan de 0,1% à 0,17% et les autres provenances 0,03%.

Non décelable dans les émeraudes synthétiques : Lennix 0%.

Le Nickel (Ni).

Des teneurs relativement élevées ont été trouvées dans les émeraudes d'Afrique et du Pakistan.

Les synthétiques Chatham et Gilson ont peu de nickel. L'émeraude japonaise Inamori en a une quantité élevée : 0,029%.

Lennix : 0%.

Yttrium (Y), Titane (Ti), Cuivre (Cu), Zirconium (Zr).

Ces éléments ont été trouvés dans toutes les émeraudes et ne peuvent être déterminants entre pierres synthétiques et pierres fines. Seule l'émeraude du Japon Inamori possède une quantité remarquablement élevée de titane : 126 p.p.m.

Le Potassium (K).

Les émeraudes naturelles ont des teneurs plus élevées que les synthétiques.

Naturelles de 200 à 3300 p.p.m.

Synthétiques de 4 à 110 p.p.m.

Cesium (Cs) et Rubidium (Rb).

Les teneurs en cesium et rubidium montrent des variations très importantes. Les teneurs en cesium sont de loin plus importantes dans les spécimens d'Afrique et du Brésil, de Colombie et du Pakistan. Faible teneur dans les synthétiques.

Concentration très faible de rubidium dans les naturelles.

Comparaison entre les émeraudes synthétiques et naturelles.

Une émeraude naturelle ou synthétique peut être caractérisée au cours d'analyses chimiques par l'absence d'un élément particulier. Toutefois, il faut cependant avoir conscience que dans l'avenir de nouvelles productions d'émeraudes synthétiques pourront contenir les éléments rencontrés jusqu'à ce jour uniquement dans les pierres naturelles.

Les éléments molybdène, rhodium, platine, zinc, tungstène peuvent être utiles pour caractériser la fabrication synthétique de l'émeraude. On peut aussi considérer que la présence de fer, vanadium, sodium, potassium, cesium, scandium et selon des examens très récents du manganèse (plus de 10 p.p.m.) et magnésium sont des indicateurs généraux de l'origine naturelle.

En résumé, les travaux de Schrader montrent que l'émeraude synthétique Lennix contient :

Chrome	0,5%	
Vanadium	non décelable	0,001%
Fer	non décelable	0,001%
Magnésium	non décelable	0%
Scandium	non décelable	0%
Sodium	non décelable	0%
Nickel	non décelable	0%
Manganèse	non décelable	0%
Molybdène	0,11%	

Une analyse faite à la microsonde électronique par le docteur H.A. HANNI de l'Université de Bâle donne des résultats peu

suffisants en eux-mêmes pour permettre de caractériser l'émeraude Lennix :

Si O ₂	66,4	66,0
Al ₂ O ₃	18,1	18,7
Cr ₂ O ₃	1,4	1,9

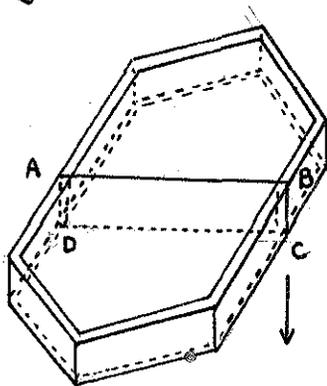
Béryllium probable : environ 14,1%

Éléments non détectés : Ti, Fe, Mg, Mn, V, Na, Cl.

Sur une section hexagonale basale (parallèle à 0001) d'un prisme d'émeraude synthétique Lennix automorphe, nous avons effectué une série d'analyses chimiques ponctuelles à la microsonde électronique "Ouest" à Brest le 10 juin 1983. (N° 28 à 43).

Une traversée de ce prisme en 15 points d'analyses d'éléments majeurs a montré une teneur variable relativement faible en chrome bien que les bordures de ce cristal soient beaucoup plus vertes, avec une teneur en chrome supérieure à celle observée au milieu du prisme.

Fig.35



Lame mince perpendiculaire à (0,001)

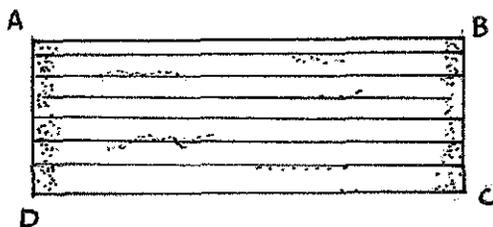
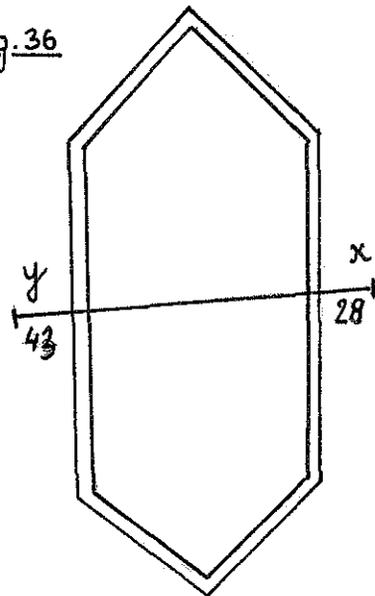


Fig.37

Fig.36



Lame mince parallèle à (0,001)

Répartition inhomogène du chrome
Zones plus colorées parallèles à (0,001)
et plus biréfringentes.

The cosecant of the take off angle is 1.556

Total number of elements : 11

10 Elements are analyzed :

Standard no. 1 is a compound of	K	W.F.	0.1404	line:KA at	15. kV
	MG	W.F.	0.0002		
	AL	W.F.	0.0899		
	SI	W.F.	0.3040		
	NA	W.F.	0.0024		
	CA	W.F.	0.0002		
	FE	W.F.	0.0054		
	O	W.F.	0.4575		
Standard no. 2 is a compound of	NA	W.F.	0.0852	line:KA at	15. kV
	MG	W.F.	0.0009		
	AL	W.F.	0.1012		
	SI	W.F.	0.3194		
	K	W.F.	0.0018		
	CA	W.F.	0.0045		
	FE	W.F.	0.0005		
	O	W.F.	0.4865		
Standard no. 3 is a compound of	SI	W.F.	0.2398	line:KA at	15. kV
	CA	W.F.	0.3392		
	MN	W.F.	0.0012		
	FE	W.F.	0.0083		
	O	W.F.	0.4115		
Standard no. 4 is a compound of	FE	W.F.	0.6994	line:KA at	15. kV
	O	W.F.	0.3006		
Standard no. 5 is a compound of	CA	W.F.	0.3392	line:KA at	15. kV
	SI	W.F.	0.2398		
	MN	W.F.	0.0012		
	FE	W.F.	0.0083		
	O	W.F.	0.4115		
Standard no. 6 is a compound of	MG	W.F.	0.3040	line:KA at	15. kV
	SI	W.F.	0.1915		
	FE	W.F.	0.0668		
	O	W.F.	0.4377		
Standard no. 7 is a compound of	AL	W.F.	0.5293	line:KA at	15. kV
	O	W.F.	0.4707		
Standard no. 8 is a compound of	MN	W.F.	0.2853	line:KA at	15. kV
	SI	W.F.	0.2109		
	FE	W.F.	0.1059		
	MG	W.F.	0.0027		
	CA	W.F.	0.0285		
	O	W.F.	0.3667		
Standard no. 9 is a compound of	TI	W.F.	0.5995	line:KA at	15. kV
	O	W.F.	0.4005		
Standard no.10 is a compound of	CR	W.F.	0.6842	line:KA at	15. kV
	O	W.F.	0.3158		

Non analyzed element (by stoec. with normalization) 0

Analyses chimiques ponctuelles à la Microsonde Electronique

"Ouest" de Brest de l'émeraude synthétique Lennix

Eléments majeurs et traces

	28	29	30	31	32	33	34	35
K ₂ O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Na ₂ O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Si O ₂	65,7	64,2	65,5	65,4	65,8	64,4	65,0	65,9
Fe O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ca O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mg O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Al ₂ O ₃	18,3	19,4	19,7	19,9	18,9	19,8	19,2	18,3
Mn O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ti O ₂	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cr ₂ O ₃	0,6	0,6	0,6	0,3	0,8	0,6	0,4	0,7
Total %	84,6	84,2	85,8	85,6	85,5	84,8	84,6	84,9
	36	37	38	39	40	41	42	43
K ₂ O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	0,0
Na ₂ O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Si O ₂	65,6	65,0	64,8	62,2	64,2	65,5	65,2	65,3
Fe O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Ca O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mg O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Al ₂ O ₃	18,9	19,7	19,6	19,8	19,9	19,2	19,7	19,6
Mn O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ti O ₂	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cr ₂ O ₃	0,6	0,2	0,8	0,5	0,9	0,7	0,7	0,6
Total %	85,1	84,9	85,2	82,5	85,3	85,5	85,7	85,5

Points 28 - 35 et 43 proches d'inclusions brunes

Recherche d'autres éléments

	1	2	3
V ₂ O ₅	0,0	0,0	0,0
Si O ₂	67,1	67,1	65,6
Zr O ₂	0,0	0,0	0,0
Cr ₂ O ₃	0,3	0,5	0,5
Ti O ₂	0,0	0,0	0,0
Al ₂ O ₃	19,5	19,4	19,7
Y ₂ O ₃	0,0	0,0	0,0
Ga ₂ O ₃	0,0	0,0	0,0
Sr O	0,0	0,0	0,0
Total %	86,9	87,0	85,9

En date du 10 juin 1983 N° 1 à 3

Analyse chimique ponctuelle à la Microsonde Electronique "Ouest"
de Brest d'une inclusion très caractéristique de l'émeraude
Lennix en forme de grain rétablissant en lumière polarisée
(Inclusion de quartz ?)

	45	46
K ₂ O	0,0	0,0
Na ₂ O	0,0	0,0
Si O ₂	97,0	97,0
Fe O	0,0	0,0
Ca O	0,0	0,0
Mg O	0,0	0,0
Al ₂ O ₃	0,0	0,0
Mn O	0,0	0,0
Ti O ₂	0,0	0,0
Cr ₂ O ₃	0,0	0,0
Total %	97,0	97,0

En date du 10 juin 1983 N°45 - 46

Recherche d'autres éléments que les majeurs et ceux recherchés en juin 1983 à la Microsonde Electronique "Ouest" de Brest sur cristal d'émeraude synthétique Lennix. Seul le tungstène a été identifié.

			SIN(A)	C/S	W/Si	W
N°1	W	6.781	0,26394	402	0,22	0,14%
	Si	7.135	0,27773	17862		

			SIN(A)	C/S	W/Si	W
N°2	W	6.768	0,26347	487	0,28	0,18%
	Si	7.128	0,27745	16680		

En date du 12 octobre 1983. Analyses N°1 - 2.

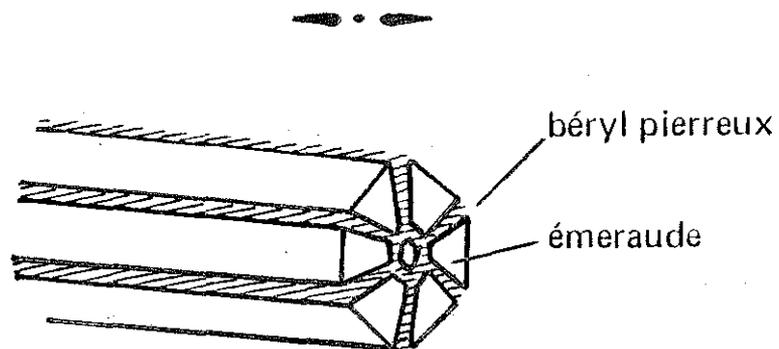


Fig. 38: Emeraude "Trapische"

Les résultats obtenus confirment ceux obtenus par le docteur Hans Werner SCHRADER :

Teneur très faible à négligeable des alcalins. De tels résultats suffisent à différencier ces émeraudes des naturelles.

Teneur très faible à peine décelable en fer (Fe). Certains points analysés montrent cependant une teneur supérieure (analyse n° 40).

Dans ce même échantillon, la recherche systématique des autres éléments a révélé (cf. Tableaux 1-2-3, p. 31) :

Absence de vanadium (V)

Absence de zirconium (Zr) et de titane (Ti).

Recherche d'autres éléments que les majeurs et ceux recherchés en juin 1983 (cf. Analyses N° 1-2, p. 32) :

Seul le tungstène a été identifié, il oscille entre 0,14 à 0,22%

Parmi les inclusions observées, les grains composites, bruns en lumière naturelle, rétablissent sous lumière polarisée, ont été analysés à la microsonde (cf. Tableaux N°45-46, p. 31) :

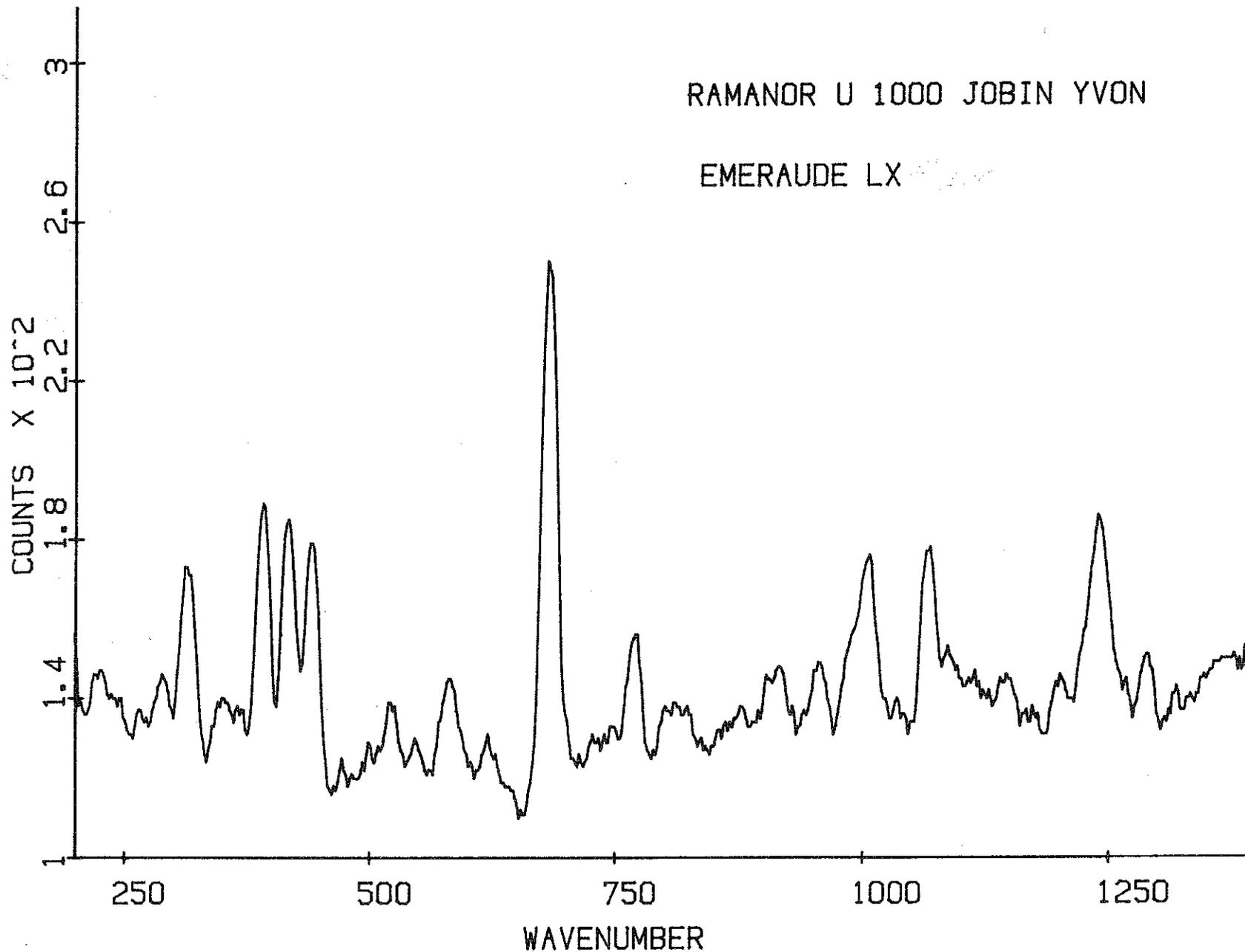
Elles correspondent probablement à du quartz (Si O_2) 97%.

L'émeraude synthétique Lennix passée à la microsonde moléculaire laser à effet Raman a permis d'enregistrer une matrice de béryl (p.34-35). Les inclusions en lamelles rectangulaires ou carrées polarisantes (p.24, fig33-34) à extinction droite n'ont pu être déterminées, elles n'ont pas donné le spectre Raman de phénacite.

Je tiens à remercier ici Madame JAESCHKE-BOYER, de la Division Jobin-Yvon de Instruments S.A. de Longjumeau, pour l'obligeance avec laquelle elle a bien voulu procéder à cette analyse avec le Ramanor U 1000, en mode multicanal.

RAMANOR U 1000 JOBIN YVON

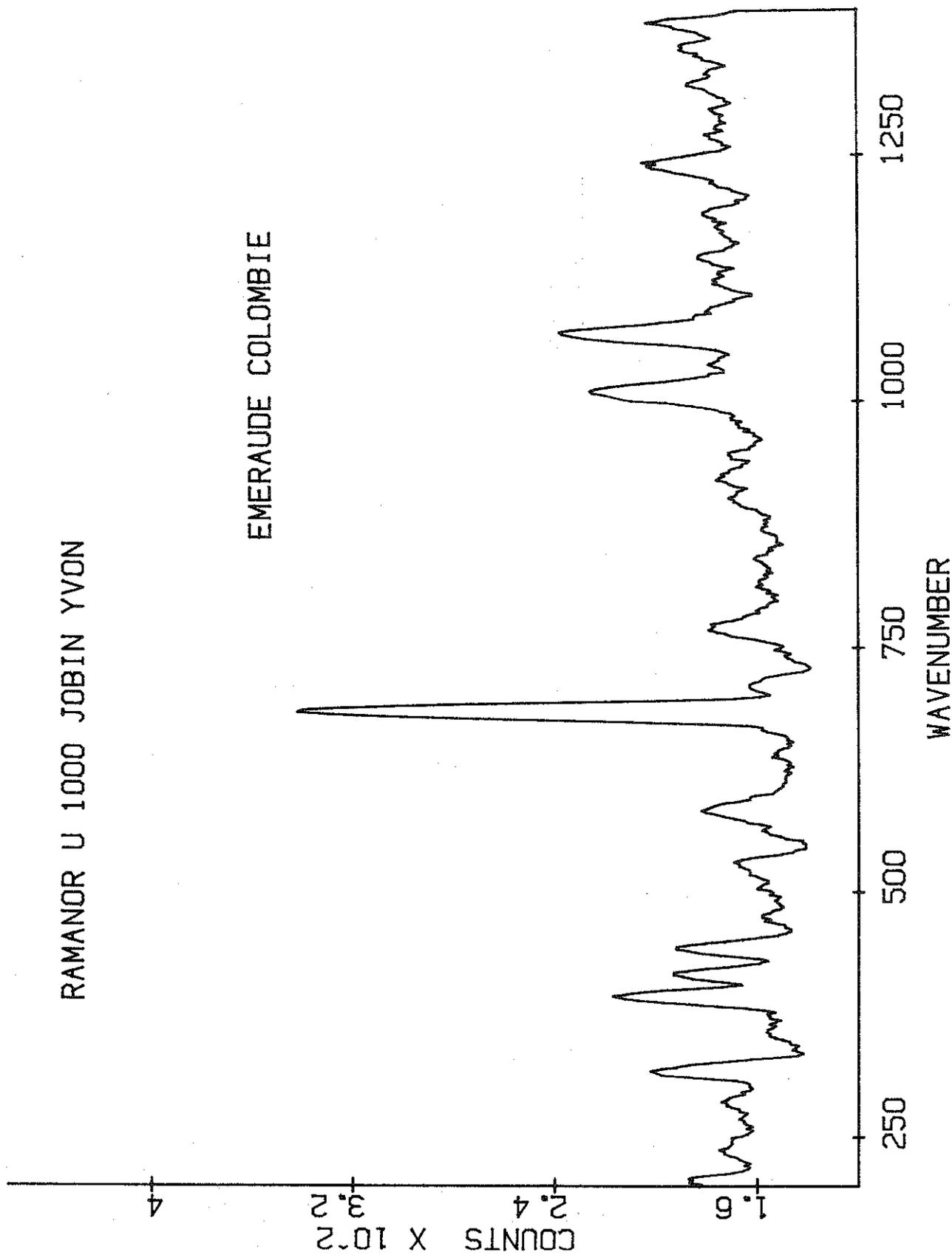
EMERAUDE LX



LASER: 600 MW @ 514.5 NM. SLITS: 400 MIC. DATE 18-4-83
1 SCAN(S), TIME: 1 SEC/PT, PTS SPACED BY 2 WAVENUMBER

RAMANOR U 1000 JOBIN YVON

EMERAUDE COLOMBIE



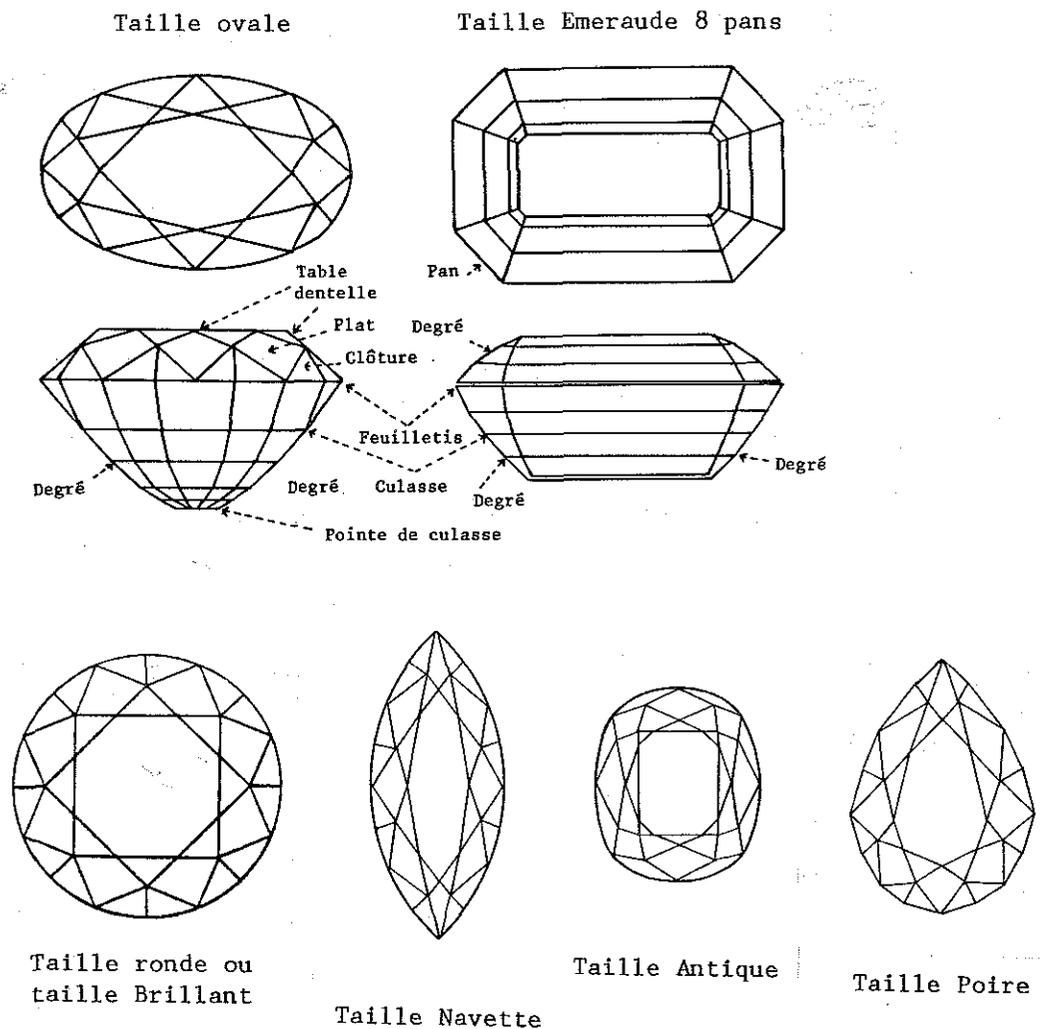
LASER: 600 MW @ 514.5 NM. SLITS: 400 MIC. DATE 18-4-83 LISSAGE 15 P.
1 SCAN(S), TIME: 1 SEC/PT, PTS SPACED BY 2 WAVENUMBER

III - MESURE DES CONSTANTES OPTIQUES ET PHYSIQUES.

La mesure des constantes optiques et physiques des émeraudes synthétiques actuellement sur le marché peut aussi donner les preuves déterminantes de leur origine synthétique. Il existe une légère différence entre ces constantes et celles des émeraudes naturelles, suffisante cependant pour éclairer le gemmologue attentif.

Se reporter aux tableaux ci-joints

Fig. 39 : PRINCIPALES TAILLES DE L'EMERAUDE



MESURES DES CONSTANTES OPTIQUES ET PHYSIQUES DES EMERAUDES NATURELLES

Nombre d'échantil. analysés	GISEMENTS	n		Δ	D	Filtre Chelsea	LUMINESCENCE		INCLUSIONS
		ϵ	ω				UVL	UVC	
3	PAKISTAN Swat	1,590	1,597	0,007	2,77	Rouge Rosé	Inerte	Inerte	Givres à liquide Paillettes de mica
3	Mingora								
GUBELIN 1982	AUTRICHE Habatchal	1,584	1,591	0,007	2,74	Rosé	Inerte	Inerte	Trémolite verte flexueuse
1	INDE Ajmer	1,585	1,593	0,008	2,74	Gris	Inerte	Inerte	Cavité rectangulaire à libelle
MUMME 1982	TANZANIE Manyara	1,578	1,585	0,007	2,72	Gris	Inerte	Inerte	Actinote. Mica noir. Givre liquide.
	MOZAMBIQUE Morrua	1,585	1,592	0,007	2,73	Gris	Inerte	Inerte	
GUBELIN 1982	U.S.A. Caroline du N.	1,581	1,588	0,007	2,73		Inerte	Inerte	
2	MADAGASCAR Ankadilalana	1,585	1,591	0,006	2,73	Gris	Inerte	Inerte	Micas noirs apatite ilmenite
	AUSTRALIE Poona	1,572	1,579	0,007	2,70		Inerte	Inerte	Inclusion de grenat andratite. Givres
	Emmaville	1,570	1,576	0,006	2,73	Gris rosé	Inerte	Inerte	Biotite. Inclusions 2 phases.
2	Menzies	1,566	1,572	0,006	2,70	Gris rosé	Inerte	Inerte	Biotite. Dolomie. Inclusions 2 phases

Mesures IR établies sur réfractomètre Topcon en lumière monochromatique, lampe au sodium (5893 Å)
 Densité établie par immersion dans liqueur de densité suivant méthode personnelle.
 L'ensemble des mesures sont très proches de celles établies par M. Gübelin (Gem. et gemmoly 1982)
 A. Mumme Australie 1982.

MESURE DES CONSTANTES OPTIQUES ET PHYSIQUES DES EMERAUDES NATURELLES

Nombre d'échantil. analysés	GISEMENTS	n		Δ	D	Filtre Chelsea	LUMINESCENCE		INCLUSIONS
		ξ	ω				UVL	UUVL	
	COLOMBIE								
8	Muzo	1,570	1,577	0,007	2,72	Rouge	Inerte	Inerte	3 phases - calcite
3	Chivor	1,572	1,579	maxi			à rosé	à rosé	3 phases - pyrite
	BRESIL								
12	Carnaíba	1,581	1,588	0,007	2,72	Rosâtre	Inerte	Inerte	Lacune cristalline 2 phases
6	Pilao-Arcado	1,581	1,588	maxi		à gris			givres nombreux
	BRESIL								
4	Itabira	1,580	1,589	0,009	2,72	Rose à	Inerte	Inerte	Givres liquides assez limpides
10	Ste Thérèse de Goiás	1,580	1,588	0,008	2,70	gris	Inerte	Inerte	Solide : pyrite chromite ilmenite givres liquides
	ZIMBABWE								
3	Sandawana	1,584	1,590	0,006	2,72	Rouge clair	Inerte	Inerte	Fibres courbes de trémolite
	Mayfied	1,584	1,590			gris			givres liquides
	TRANSVAAL								
2	Gravelotte	1,584	1,595	0,007	2,75	Gris	Inerte	Inerte	Paillettes de mica fuschite. Givres
	ZAMBIE								
3	Miku	1,582	1,589	0,008	2,77	Gris	Inerte	Inerte	Paillettes de mica chromifère, Biotite noire. Givres.
12	Mufulika	1,581	1,588	0,007	2,70	Gris	Inerte	Inerte	Libelle à 2 phases ilmenite.
	U.R.S.S.								
2	Takowaya	1,580	1,588	0,008	2,75	Rose à gris	Inerte	Inerte	Lame d'actinote - givres Paillettes de mica.

Sur ces tableaux, les chiffres indiqués donnent la moyenne des mesures prises sur les échantillons.

CARACTERISTIQUES MOYENNES DES EMERAUDES SYNTHETIQUES ACTUELLES

Nombre d' échantil. analysés	FABRICATION	n		Δ	D	Filtre Chelsea	LUMINESCENCE		INCLUSIONS
		ξ	ω				UVL	UVC	
6	GILSON Dissol. anhydre FRANCE	1,560	1,565	0,005 maxi	2,65	Rouge vif	Rouge sombre Vert jaun.	Rouge	Givres en voile. Cristallites noires. Zones planes. Phénacite.
3	CHATHAM Dissol. anhydre U.S.A.	1,559	1,562	0,003	2,65	Rouge vif	Rouge	Rouge	Givres en voile.
4	LENNIX Dissol. anhydre FRANCE	1,559 1,562	1,563	0,003 0,004	2,65 ⁺	Rouge très vif	Rouge	Rouge	Amas à forme géométrique. Voiles. Fissures reliant chaque inclusion Inclusions biphasées.
1	LECHLEITNER Béryl enrobé Hydrothermale AUTRICHE	1,572	1,580	0,007	2,70	Rouge	Verdâtre		Germe de béryl avec ses inclusions sur le pourtour. Voiles. Cristallites noires (clous).
2	LINDE Hydrothermale U.S.A.	1,565	1,570	0,007	2,65	Rouge vif	Rouge vif	Rouge	Inclusion en forme de clou avec libelle.
2	REGENCY Hydrothermale U.S.A.	1,565	1,570	0,005	2,65	Rouge vif	Rouge	Rouge	Clous avec libelle, souvent pure.
Grahame Brow	BIRON Hydrothermale AUSTRALIE	1,570	1,577	0,007	2,70	Rouge faible	Inerte	Inerte	Voiles, inclusions 2 phases. Zones droites en épis. Clous.
1	INAMORI Dissol. anhydre JAPON	1,560	1,565	0,005	2,65	Rouge vif	Rouge	Rouge	Givres en voile Cristallites noires.
JP Poirot	ZERFASS Dissol. anhydre ALLEMAGNE	1,560	1,565	0,003 0,005	2,66	Rosé à gris	Rouge vif	Rouge	Givres véliformes Phénacite oligiste.

C O N N C L U S I O N S

Au regard de ces tableaux, il ressort les constats suivants :

Les indices des émeraudes synthétiques sont très faibles, surtout pour la Lennix : 1,559 - 1,563.

Les émeraudes naturelles aux indices les plus bas sont les émeraudes de Colombie avec 1,570 - 1,577.

La biréfringence de l'émeraude synthétique faite par dissolution anhydre est très faible, seules les synthèses par voie hydrothermale se rapprochent des naturelles.

Lennix 0,003

Naturelle de 0,006 minimum à 0,009.

La densité des synthétiques est faible : 2,65 en général, et sa mesure paraît être un moyen pratique pour différencier émeraudes naturelles des synthétiques (Cf. annexe).

Lennix : 2,65

Naturelles de 2,70 à 2,77.

La réaction est forte au filtre de Chelsea : rouge vif pour les synthétiques (rouge vif cramoisi pour la Lennix) ; de rouge rosé à gris pour les naturelles. (Ce filtre présente deux bandes passantes : une dans le vert et une dans le rouge lointain et détermine la présence de rouge dans le spectre de transmission optique des pierres.)

La luminescence aux UV est indicative pour différencier les émeraudes synthétiques des fines. Réaction rouge dans la plupart des cas et verdâtre à jaune pour certaines fabrications (Gilson et Lechleitner). Les pierres naturelles sont généralement inertes aux UV. Cette non fluorescence serait due à des traces de fer qui annihileraient la réaction du chrome aux UV (Webster).

La Lennix est rouge sous UVL et UVC.

L'ensemble de ces inclusions, très nombreuses, donnent aussi la sensation de distorsion et de tensions internes violentes

pendant la croissance du cristal (choc thermique). Les inclusions dont la forme rappelle des libelles sont en réalité des lacunes de cristallisation avec verre incolore à brun et libelle gazeux figé, parfois déformé (cf. schéma n° 22). Quelques inclusions en cristaux négatifs en forme de prisme sont également visibles. Les plans d'accroissement sont très visibles par les reprises de cristallisation, des étages très marqués par l'apport de nouvelles dissolutions anhydres.

L'examen d'une section perpendiculaire à l'axe optique d'un prisme automorphe a révélé une zonation dans la coloration avec une périphérie plus colorée et plus verte que le coeur du cristal.

Le coeur du cristal est découpé en cellules par des fractures soulignées par des inclusions. Ces fractures s'arrêtent à la couche périphérique qu'elles ne traversent pas (Fig. 40a). La couche périphérique, dernière cristallisation, ne semble pas aussi affectée par des chocs thermiques aussi conséquents que ceux qu'a subi le coeur du cristal (Fig. 40a et 40b).

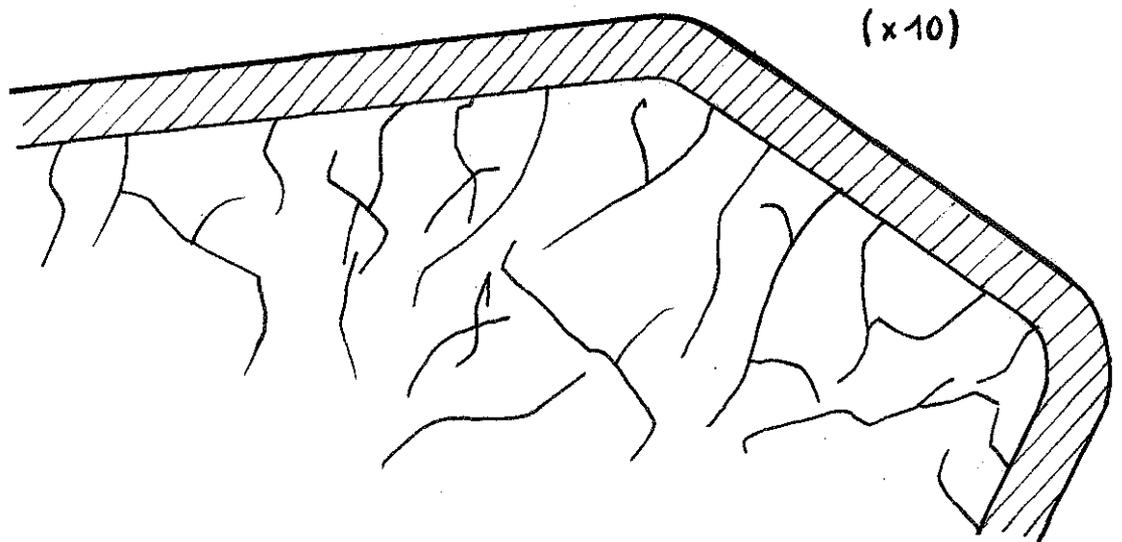


Fig. 40a: Emerald synthétique Lennix. Lame mince d'un prisme "brut" perpendiculaire à l'axe d'ordre 6.

 Zone d'accroissement externe plus colorée (plus riche en chrome).

Une observation attentive des inclusions est déterminante (p. 21).

Les analyses chimiques de la littérature consultée et citée précédemment et celles que nous avons déterminées sur un échantillon montrent qu'il n'y a aucune ambiguïté pour différencier l'émeraude synthétique Lennix des émeraudes naturelles. Les critères discriminatoires retenus sont les suivants :

Présence de Mo et de W

Absence de V

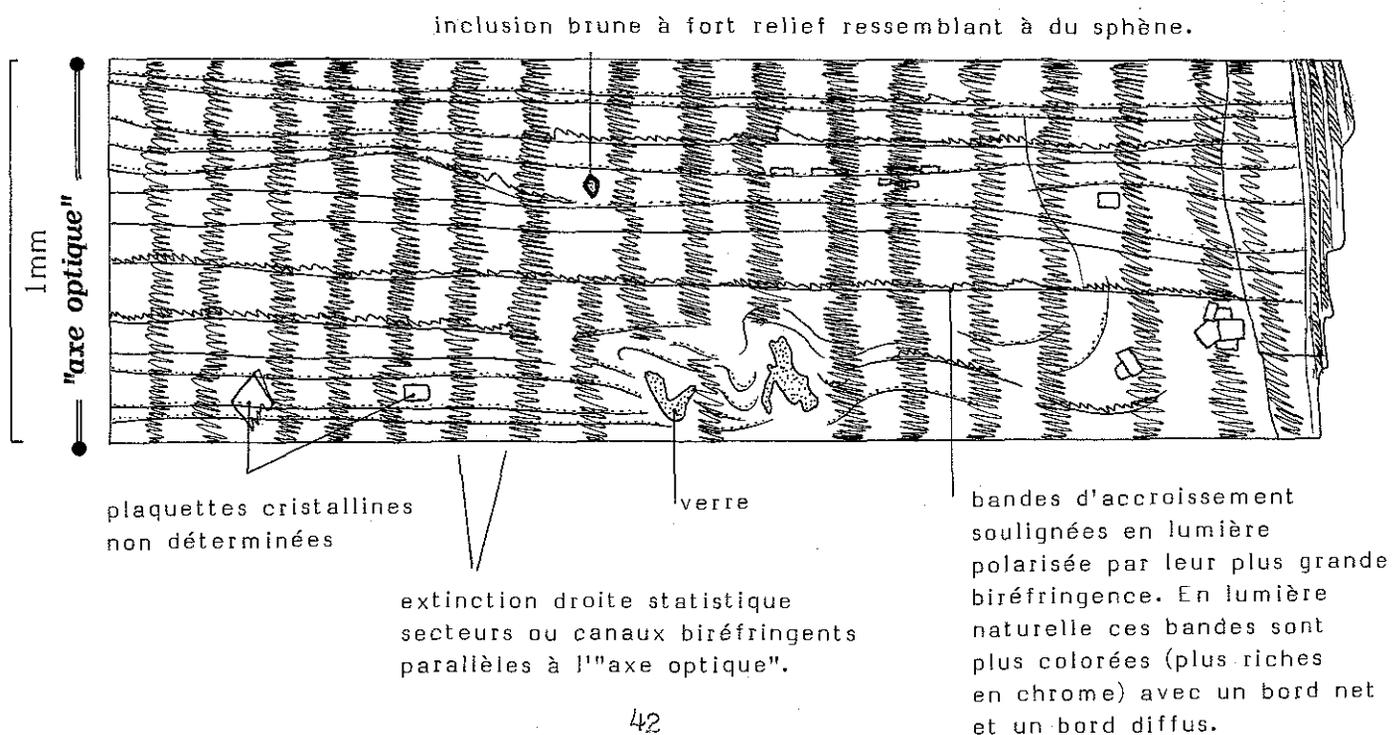
Absence ou très très faible teneur en alcalins et fer.

Absence d'eau.

En conclusion générale, l'émeraude synthétique Lennix ne présente absolument pas de difficulté d'identification par les tests de comparaison et d'observation d'une gemmologie primaire que confirme l'analyse chimique.

Nous sommes en présence d'une fabrication artisanale qui cherche à copier les émeraudes naturelles de bas de gamme, par un procédé de fabrication peu sophistiqué où alternent et se cumulent chocs thermiques et séquences de cristallisation peu régulières.

Fig. 40b: Émeraude synthétique Lennix. Lame mince parallèle à l'axe d'ordre 6.



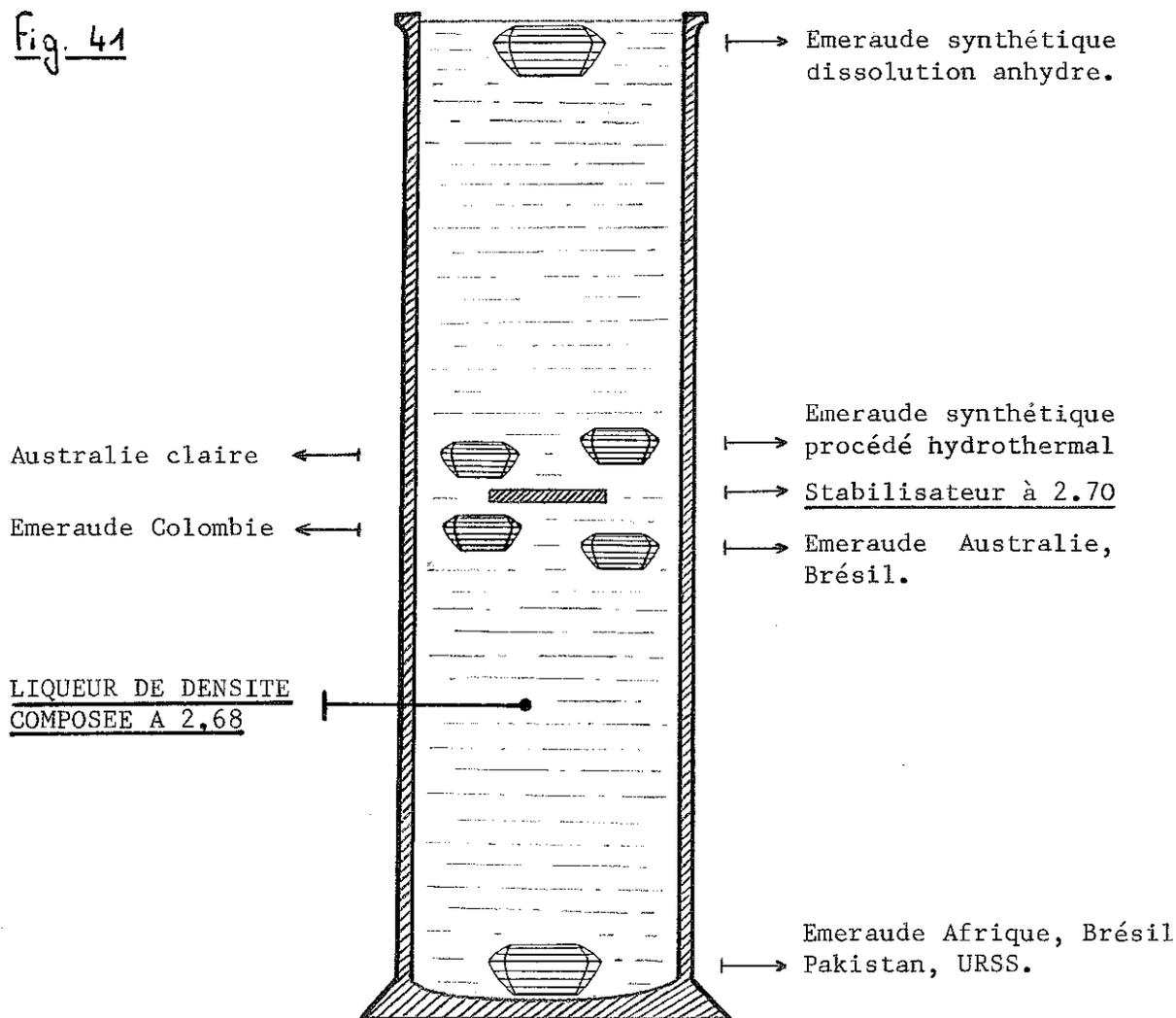
de leur gisement.

Les émeraudes de Colombie restent très près du témoin.
Les émeraudes africaines vont au fond du tube.

Cette expérience très modeste sur le fond, donne un élément comparatif, mais ne peut servir à elle seule de critère absolu de détermination.

A chaque fois que l'on se sert de cette liqueur de densité, il est recommandé de restabiliser très précisément le témoin de 2,70 à moitié de la hauteur du tube.

Fig. 41



B I B L I O G R A P H I E

- Commission pierres de couleur (1983) Revue de gemmologie AFG N° 75
- HANNI H.A. - KLEIN (1983) Revue de gemmologie AFG N°74
- HANNI H.A. (1983) Revue de gemmologie AFG N°76
- LEVEL Dina (1974) Cours de gemmologie
- MUMME A. (1982) L'émeraude (Mumme Publication)
- CHALMERS Oliver (1979) Roches et minéraux d'Australie
(Warne publi)
- POIROT J.Paul (1980) Cours de gemmologie (ING)
- RAGUIN E. (1961) Les gites minéraux (Masson)
- SCHUBNEL H.J. (1972) Pierres précieuses dans le monde
(Horizon de France)
- SCHRADER H. (1983) Journal de gemmologie XVIII 6

TABLE DES SCHEMAS ET TABLEAUX

Cristaux d'émeraude naturelle	P. 1	Fig. 1
Tableau récapitulatif des émeraudes synthétiques	P. 8	
Cristaux d'émeraude synthétique Lennix	P. 8	Fig. 2
Structures du béryl	P. 9	Fig. 3 - 4
Inclusions des émeraudes naturelles	P.17-18	Fig. 5 à 17
Inclusions de l'émeraude synthétique Lennix	P.21	Fig. 18 à 26
Inclusions de l'émeraude synthétique Lennix par Lydie TOURET	P.22-23-24	Fig. 27 à 34
Lames minces d'un cristal d'émeraude synthétique Lennix	P.28	Fig.35-36-37
Tableaux d'analyses chimiques ponctuelles à la microsonde électronique "Ouest" de Brest	P.30-31-32	
Cristal d'émeraude "Trapische"	P.32	Fig.38
Analyse au Ramanor V 100 en mode multicanal	P.34-35	
Principales tailles de l'émeraude	P.36	Fig.39
Mesure des constantes optiques et physiques des émeraudes naturelles	P.37-38	
Mesure des constantes optiques et physiques des émeraudes synthétiques	P.39	
Schémas d'une section de prisme d'émeraude synthé- tique Lennix	P.41-42	Fig.40 a et b
Schéma d'un tube à densité	P.44	Fig.41

T A B L E D E S M A T I E R E S

AVANT-PROPOS	P. 1
RESUME	P. 2
INTRODUCTION	P. 3-4
CHAPITRE I	
I - LES EMERAUDES SYNTHETIQUES	P. 5 à 8
II- LES EMERAUDES NATURELLES	P. 9 - 10
III- LES GISEMENTS	P.11 à 16
IV - LE MARCHÉ ACTUEL DE L'EMERAUDE	P.16
V - LES INCLUSIONS DE L'EMERAUDE NATURELLE	P.17 - 18
CHAPITRE II	
I - L'EMERAUDE SYNTHETIQUE LENNIX	P.19 à 23
II- ANALYSES CHIMIQUES	P.24 à 35
III- ANALYSE DES CONSTANTES OPTIQUES ET PHYSIQUES	P.36 à 39
CONCLUSIONS	P.40 à 42
ANNEXE : TESTS DE DENSITE	P.43 - 44
BIBLIOGRAPHIE	P.45
TABLE DES SCHEMAS ET TABLEAUX	P.46
TABLE DES MATIERES	P.47