



# Projet de recherche sur les Émeraudes

Arthur Touret

N°818983

FGA 2021-2022

# Sommaire

1. Résumé
2. Introduction
3. Matériaux et méthodes
4. Résultats et discussion
5. Conclusion
6. Bibliographie

## 1. Résumé

Dans cette étude, nous verrons dans quelle mesure l'observation et la magnification permettent l'identification des gemmes et à quel moment un gemmologue doit-il recourir à d'autres techniques d'analyse plus avancées.

Dans un premier temps, nous examinerons trois échantillons d'émeraude. Si les instruments standards de gemmologie ont été utilisés afin d'identifier les pierres avec leurs inclusions, nous verrons que c'est parfois insuffisant pour en déterminer la provenance. Nous recourrons ensuite aux méthodes avancées de gemmologie (UV-VIS-PIR) pour obtenir davantage d'informations. Nous commencerons par définir les matériaux et les méthodes utilisées pour obtenir nos résultats, nous parlerons des différents traitements appliqués aux émeraudes puis nous identifierons nos échantillons avec un rapport complet et les méthodes avancées en gemmologie. Nous étudierons aussi rapidement les caractéristiques qui affectent la valeur commerciale en fonction des différents gisements. Enfin, nous pourrons comparer nos résultats et en tirer une conclusion.

## 2. Introduction

L'émeraude est un minéral du groupe des silicates, variété de Béryl avec une structure cristalline hexagonale. Le Béryl est un minéral allochromatique, lorsqu'il est chimiquement pur, il est incolore. La gamme de couleur des Béryls (Aigue marine, Héliodore, Morganite, Émeraude etc..) est déterminée par les différents éléments chimiques qui viennent s'introduire dans la structure interne lors de la croissance du cristal. Les plus importants sont le fer (pour le vert, le bleu et le jaune), le manganèse (pour le rose et le rouge), et le chrome et vanadium (pour

le vert). Dans l'émeraude, les traces de chrome, de vanadium et de fer en sont la cause de couleur, qui est donc différente selon le pourcentage de ces derniers. D'autres éléments comme le magnésium et le sodium peuvent être présents dans l'émeraude sans en altérer la couleur. Les principaux pays producteurs sont la Colombie, le Brésil, la Zambie, le Zimbabwe, l'Afghanistan, le Pakistan, la Russie et Madagascar.

La mine de Muzo en Colombie, découverte par les Espagnols par hasard en 1560 et tenue secrète par les Indiens qui l'exploitaient depuis cinq siècles, est la plus connue internationalement, réputée pour produire les émeraudes les plus grandes et les plus pures du monde. Le Brésil est le plus gros producteur en termes de poids et la Colombie en termes de valeur

### **Traitements de émeraudes**

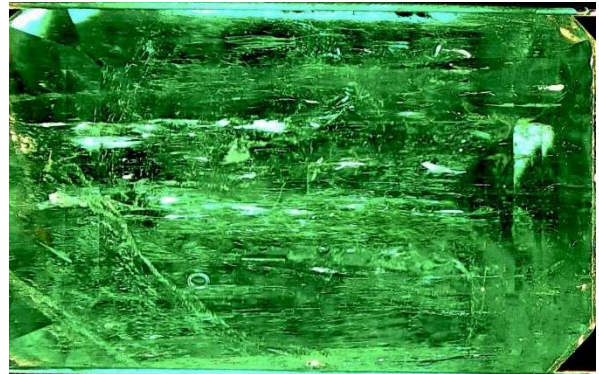
Avant de commencer, rappelons que l'émeraude est couramment traitée de deux façons. Elle peut être traitée par remplissage des fissures (traitement le plus courant), ou bien par teinture. En effet, les émeraudes sont parfois teintées pour en améliorer la couleur.

Aussi, l'émeraude est une pierre très incluse et l'application d'huile pour atténuer ces inclusions est une pratique aussi vieille que son exploitation. Théophraste (372- 287 av. J.C.) donnait des indications quant à l'huilage : « Les émeraudes qui ne sont pas totalement vertes sont améliorées par le vin et l'huile. ». Et cette pratique a toujours été acceptée et conseillée durant des siècles par les lapidaires. Toutefois, ce traitement n'est pas permanent et l'huile s'évapore ou se retire à cause des changements de températures ou de pression (avion par exemple).

Ainsi, depuis maintenant 25 ans, les fissures des émeraudes sont le plus souvent remplies à l'aide de polymères tels que la résine époxy vendue sous le nom d'Opticon. Le but étant de fixer de manière plus durable le traitement dans la pierre car ce dernier est plus visqueux et le prix est très largement plus attractif que l'huile de Cèdre auparavant utilisée. De plus, il est difficile de détecter le polymère car son Indice de Réfraction est très proche de celui de l'émeraude (environ 1,57). Par ailleurs, la venue de colles ou résines endurcies telles que la Gematrat ou Permasafe qui servent à renforcer une pierre avant la taille ou même pour coller des morceaux fragiles et ainsi gagner du poids pour un meilleur rendement, sont-elles aussi largement utilisées aujourd'hui.

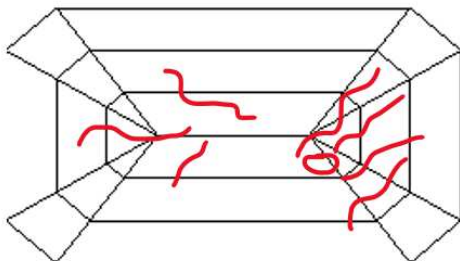
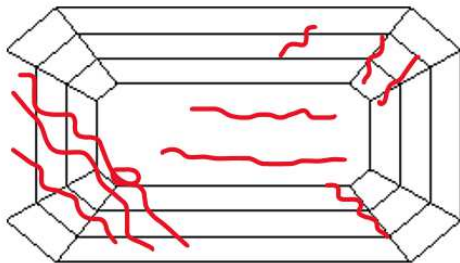
Dans notre échantillon de Colombie, sous grossissement, nous pouvons observer un remplissage des fissures. Effectivement, sur les clichés ci-dessous (images tirées en utilisant la

microphotographie au LGM) nous pouvons observer de multiples zones qui ont été remplies ainsi qu'une bulle qui s'est formée lors de l'exécution du traitement.



## Diagrammes de traitements

Ci-dessus, une reconstitution approximative du diagramme de remplissage des fissures qui donne une information sur la quantité des fissures remplies.



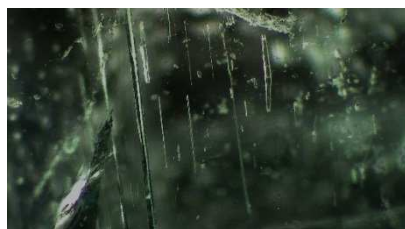
### 3. Matériaux et méthodes

Pour chaque échantillon, un rapport complet a été dressé avec les instruments standards de gemmologie. Les inclusions ont été observées avec le microscope triloculaire Motic, équipé d'une caméra. L'indice de réfraction et la densité avec la pesée hydrostatique ont été déterminés pour chaque échantillon. Les analyses spectrométriques ont été réalisées avec le spectromètre Ultraviolets, lumière visible, proche infrarouge (UV-VIS-PIR) de Gemspec de Cigem Canada. Cet outil est utilisé en laboratoire pour mesurer et enregistrer les motifs d'absorption caractéristiques dans le registre des UV-VIS-PIR et nous donnent des informations sur la cause de couleur détectée par spectromètre pour en déterminer la provenance par comparaison avec d'autres échantillons.

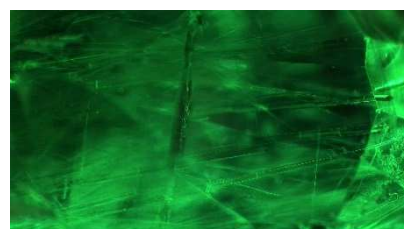
L'échantillon étudié a été comparé avec deux échantillons (échantillons 2 et 3) de la base de données de LGM (Laboratoire de Gemmologie de Marseille). Notre premier échantillon est une émeraude de Colombie, de 1,28 carats, le deuxième est une émeraude de Zambie de 0,70 carats et le troisième est une émeraude du Zimbabwe (Sandawana) de 0,97 carats. Nous verrons que nos trois échantillons ont des caractéristiques qui les distinguent du fait de leur origine géologique.



Échantillon 1 (Colombie)



Échantillon 2 (Zambie)



Échantillon 3 (Zimbabwe)

## 4. Résultats et discussion

N° 1 : Émeraude de « Colombie »

Poids : 1,28 ct

Dimensions : 7,5 x 5,4 x 4,3mm

Taille : Émeraude

Couleur : Vert Vif / Vivid Green (World Of Color Gemguide)

Eclat : Vitreux

Indice de réfraction : 1,577-1,584

Biréfringence : 0,007

Réaction au dichroscope : Pléochroïsme fort vert/bleu

Réaction au filtre Chelsea : Rosâtre

Densité : 2,69

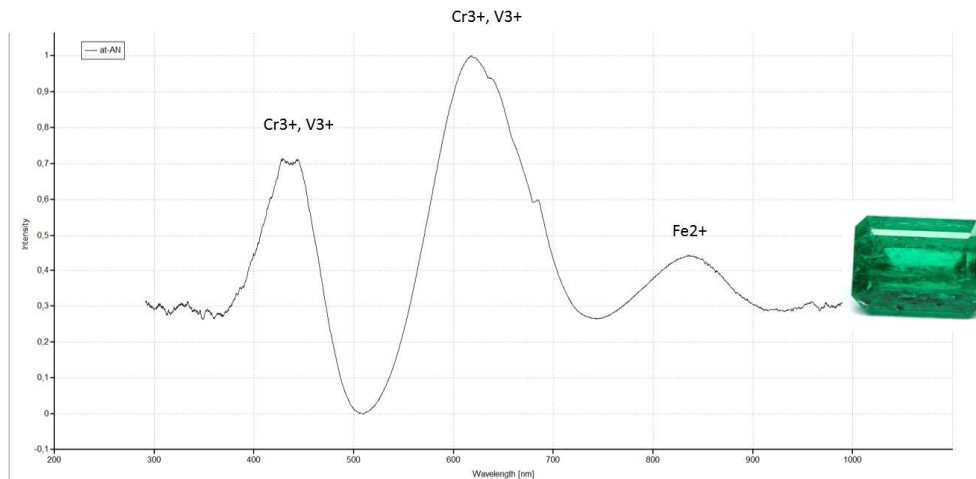
Provenance : Colombie

Observations internes : inclusions à 2 et à 3 phases, givres, bulle due au remplissage des fissures

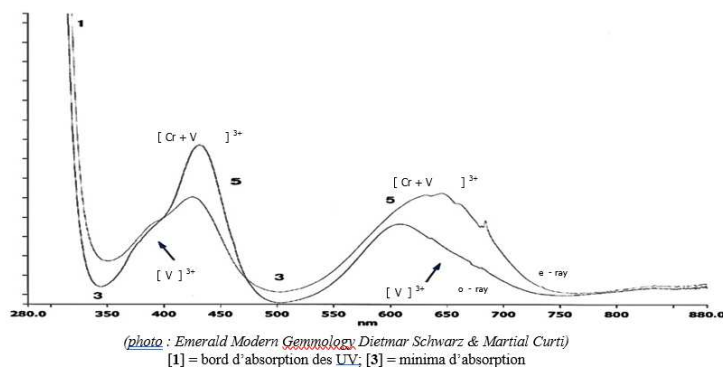


## Méthodes avancées de gemmologie

Concernant notre échantillon, Le spectre d'absorption UV-VIS-PIR a été réalisé avec l'orientation de la table de la pierre parallèle à l'axe C. Le spectre classique de l'émeraude riche en chrome a été détecté avec l'absorption générale à 620 nm dans la partie orange du spectre et des fines raies d'absorption dans le rouge. La couleur de l'émeraude est vert vif, qui indique une légère présence du Fer. Les impuretés du  $\text{Fe}^{2+}$  sont présentes à 830 nm.



Le spectre d'absorption de cette émeraude colombienne est une combinaison de  $[\text{Cr} + \text{V}]^{3+}$  avec deux bandes d'absorptions autour de 400 et 600 nm [5]. De tels spectres sont typiques des émeraudes de la Cordillère orientale colombienne qui ont un contenu élevé en V. Les parties Cr et V respectives des bandes d'absorption ne peuvent, en général, pas être séparées les unes des autres. Cependant, dans de nombreux spectres d'émeraudes colombiennes, les « épaules d'absorption » d'environ 400 nm et 680 nm qui sont liées à  $\text{V}^{3+}$  sont clairement développées. Les spectres combinés  $[\text{Cr} + \text{V}]^{3+}$  sont courants dans les émeraudes colombiennes de haute qualité.



## N° 2 : Émeraude de Zambie

Poids : 0,70ct

Dimensions : 6 x 4 x 3mm

Taille : Émeraude

Couleur : Vert

Eclat : Vitreux

Indice de réfraction : 1,582-1,590

Biréfringence : 0,008

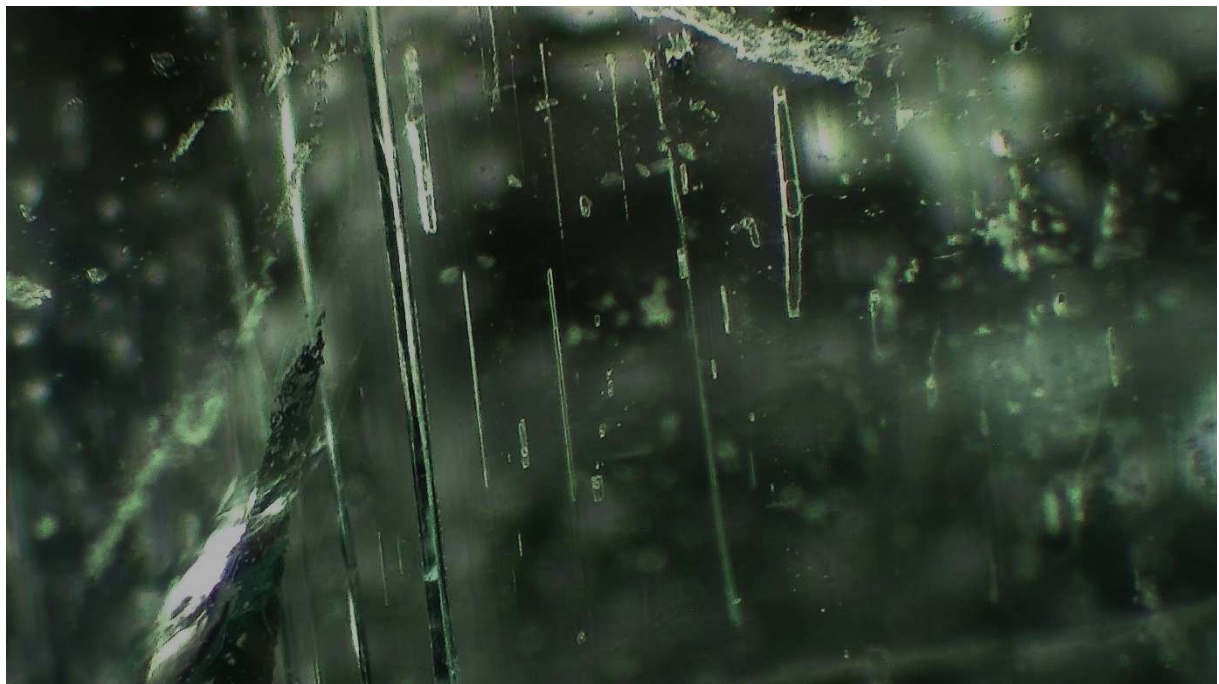
Réaction au dichroscope : Pléochroïsme fort vert/bleu

Réaction au filtre Chelsea : Grisâtre

Densité : 2,58

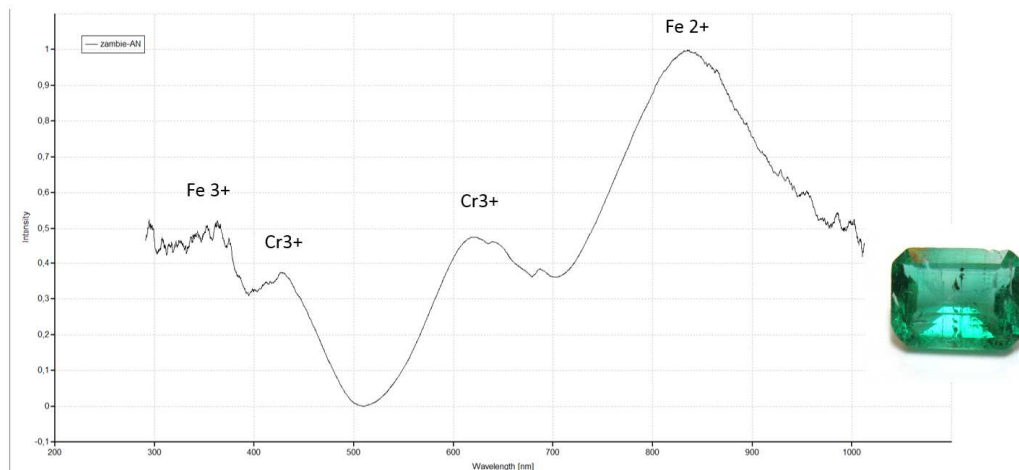
Provenance : Zambie

Observations internes : inclusions à deux phases, petites particules de mica muscovite, hématite, magnétite et prismes d'amphiboles

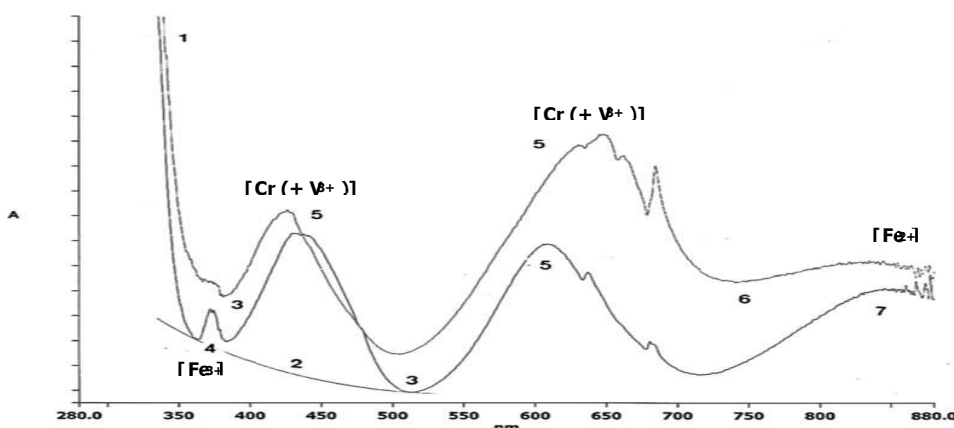


## Méthodes avancées de gemmologie

Ci-dessus le spectre d'absorption de notre échantillon de Zambie. Les bandes à 440 et 610, ceux à 425 et 650 nm, et le pic à 684 nm indiquent la présence de  $[\text{Cr}^{3+}]$ , qui provoque la couleur verte. La bande à 830 nm indique la présence de  $[\text{Fe}^{2+}]$ .



Des spectres d'absorption typiques pour les émeraudes zambiennes examinés par Zwaan et al. (2005) montrent des bandes d'absorption qui indiquent la présence non seulement de  $\text{Cr}^{3+}$  et de  $\text{Fe}^{2+}$ , mais aussi de  $\text{Fe}^{3+}$ . Les intensités des bandes d'absorption varient très légèrement entre les échantillons, mais aucune relation directe n'a pu être établie entre les intensités de bande d'absorption et les concentrations de Cr et de Fe.



(Emerald Modern Gemmology - Dietmar Schwarz & Martial Curti)  
Spectre d'absorption typique d'une émeraude Zambienne

### **N° 3 : Émeraude de Zimbabwe**

Poids : 0,97ct

Dimensions : 6 x 4 x 3 mm

Taille : Ovale mixte

Couleur : Vert

Eclat : Vitreux

Indice de réfraction : 1,582-1,589

Biréfringence : 0,007

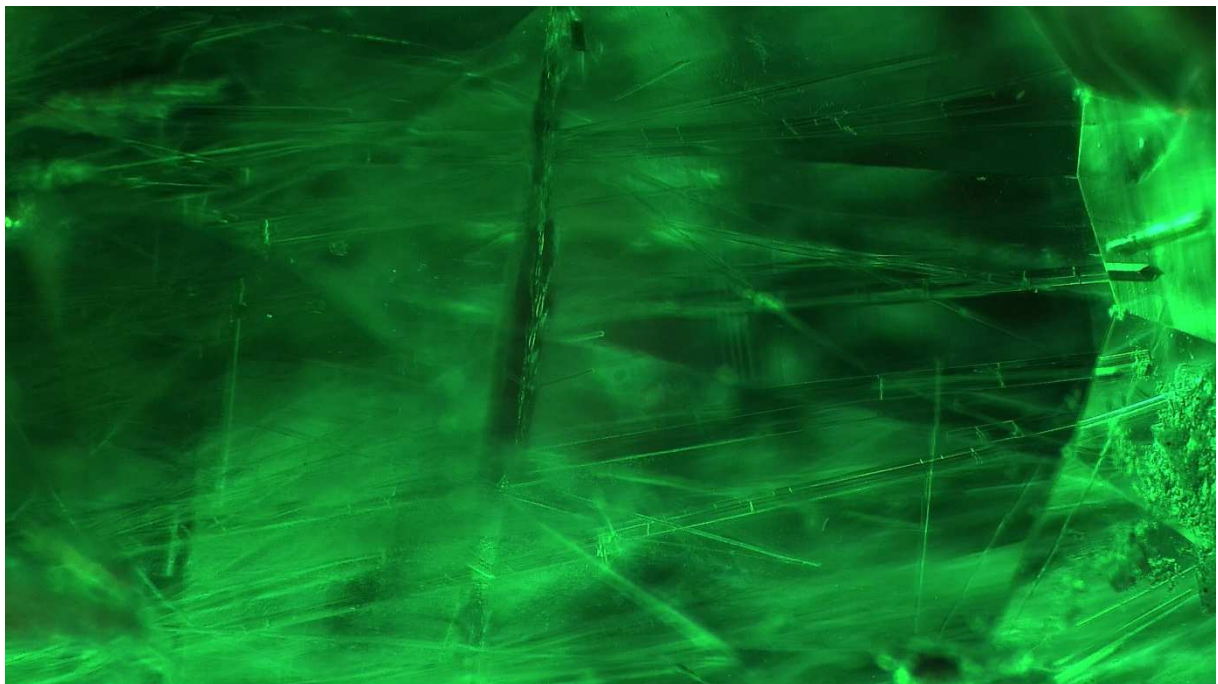
Réaction au dichroscope : Pléochroïsme fort vert/bleu

Réaction au filtre Chelsea : Rougeâtre

Densité : 2,81

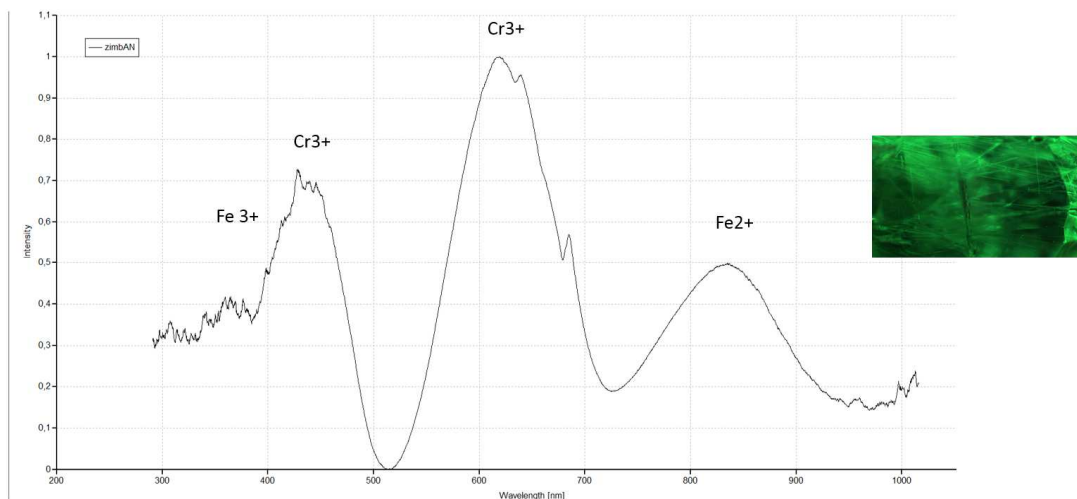
Provenance : Zimbabwe

Observations internes : Inclusions aciculaires courbes (aiguilles de Trémolite), inclusions cristallines et inclusions à deux phases



## Méthodes avancées de gemmologie

Dans notre échantillon du Zimbabwe, nous avons obtenu un spectre très similaire à celui de Colombie. Présence du  $\text{Fe}^{2+}$  à



Pour Zwaan et al. (1997), un spectre d'absorption typique pour les émeraudes de Sandawana se compose de larges bandes d'absorption d'environ 430 nm et 610 nm (pour le rayon ordinaire) et le pic à 683 nm seraient causés par le  $\text{Cr}^{3+}$ , alors que la large bande d'environ 810 nm est attribuée au  $\text{Fe}^{2+}$ .

Le spectre est caractéristique d'une «  $\text{Cr}^{3+}$  émeraude », dans laquelle la couleur est uniquement due à  $\text{Cr}^{3+}$ . La faible absorption minimale dans le vert et les bandes d'absorptions  $\text{Cr}^{3+}$  produisent la couleur vert vif.

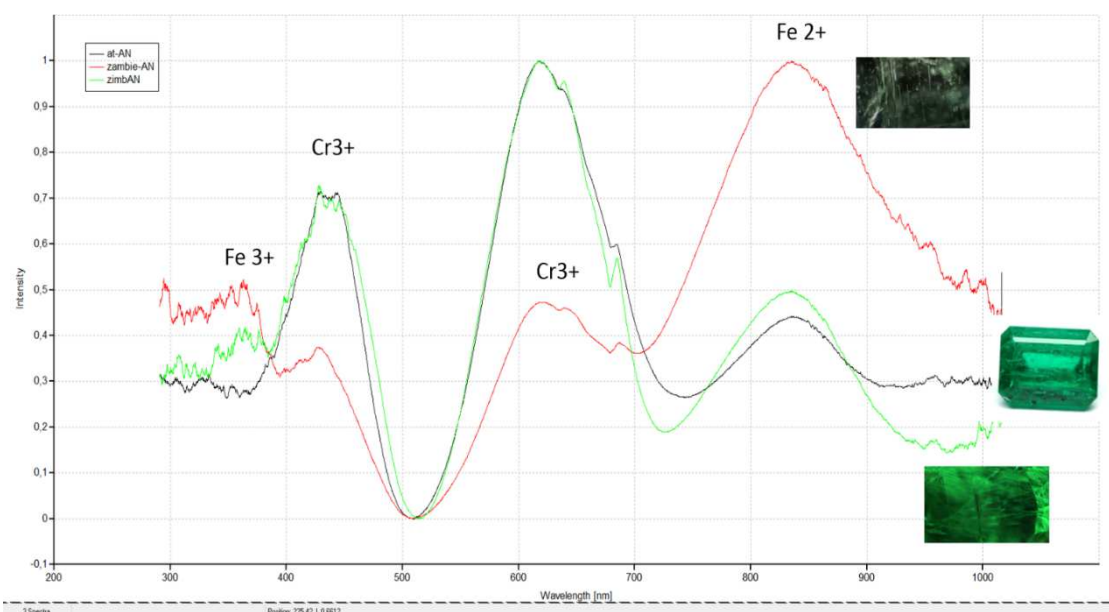
Dans notre échantillon du Zimbabwe, nous avons obtenu un spectre très similaire à celui de Colombie. En effet nous pouvons constater qu'elle est légèrement plus riche en  $\text{Fe}^{3+}$  que notre échantillon de Zambie, riche en  $\text{Cr}^{3+}$  avec une très grande absorption à 620 nm et un pic de  $\text{Fe}^{2+}$  identique à notre échantillon de Colombie.

## 5. Conclusion

La différence entre les gisements se traduit par les observations internes, leurs propriétés physiques. Application des méthodes avancées, particulièrement UV-VIS-PIR contribue considérablement pour comprendre la présence des impuretés et identifier le gisement plus facilement. Dans nos trois échantillons, on retrouve des impuretés de  $\text{Fe}^{2+}$  autour de 810-830nm. Les différents pics d'absorptions entre 400 et 700nm indiquent la présence du  $\text{Cr}^{3+}$  et en est la cause de leur couleur, plus ou moins vert vif selon la quantité de  $\text{Fe}^{2+}$ .

On constate que l'émeraude de Zambie est riche en  $\text{Fe}^{2+}$ . L'émeraude de « Colombie » a un spectre identique à l'émeraude de Zimbabwe. On peut se poser la question, s'il s'agit vraiment de l'émeraude de Colombie. Les émeraudes de Colombie sont très similaires avec les émeraudes d'Afghanistan. Sauf les échantillons d'Afghanistan, contient plus de fer  $\text{Fe}^{2+}$ .

Pour trouver la réponse à notre question, nous devons faire des études supplémentaires, comme FTIR et comparer nos résultats avec les données scientifiques. D. Swartz et al  
Emeralds from the Silk Road Countries – A Comparison with Emeralds from Colombia



## 6. Bibliographie

Schwarz, D., Curti, M., & Rozet, T. (2021). *Modern Gemmology : Emerald*. Bellerophon Gemlab.

Cours de diplôme Gem-A, The Gemmological Association of Great Britain

Photos prises avec le microscope triloculaire Motic, du Laboratoire de Gemmologie de Marseille (LGM)

[https://www.researchgate.net/profile/Vincent-Pardieu/publication/264973416\\_Emeralds\\_from\\_the\\_Silk\\_Road\\_Countries\\_-\\_A\\_Comparison\\_with\\_Emeralds\\_from\\_Colombia/links/53f8673a0cf2c9c3309dfa59/Emeralds-from-the-Silk-Road-Countries-A-Comparison-with-Emeralds-from-Colombia.pdf?origin=publication\\_detail](https://www.researchgate.net/profile/Vincent-Pardieu/publication/264973416_Emeralds_from_the_Silk_Road_Countries_-_A_Comparison_with_Emeralds_from_Colombia/links/53f8673a0cf2c9c3309dfa59/Emeralds-from-the-Silk-Road-Countries-A-Comparison-with-Emeralds-from-Colombia.pdf?origin=publication_detail)