

UNIVERSITÉ CLAUDE BERNARD LYON 1

Diplôme Universitaire de Gemmologie

2020/2021

*VANADINITE : PEUT-ON AFFIRMER QUE LES
CARACTÉRISTIQUES DE LA VANADINITE SONT
IDENTIQUES D'UN GISEMENT À UN AUTRE ?*



GHIZLANE ETTAHHRI

Table des matières

I. Historique :	4
1. Etymologie	4
2. Localisation et toponyme	5
3. Gisements	7
3.1 Formation : la géologie et géologie.....	7
3.1.1 Arizona : Mine Apache	8
4. Les minéraux associés	11
5.1 Les plus beaux spécimens au monde.....	12
II. Caractéristiques gemmologiques	14
1. Caractéristiques physiques	14
2. caractéristiques chimiques.....	14
3. les variétés de vanadinites	16
III. Cristallographie et structure	17
1. Cristallochimie : système hexagonale	16
2. Cristallochimie : série continue de l'apatite.....	18
IV. Traitements et synthèses.....	20
V. Vanadinite : dans le marché	21
1. Dans la bijouterie.....	21
2. Et dans d'autres domaines : l'acier.....	22
 PARTIE 2 : ECHANTILLON VANADINITE MIDELT MAROC ET COMPTE APACHE ARIZONA USA.....	
22	
I. Présentation des échantillons :	23
1. Les échantillons	23
2. caractéristiques physiques et chimiques des échantillons	24
II. Présentation des outils	26
1. Spectroscopie Raman, absorption, fluorescence et XRF.....	25
III. Analyses et études des échantillons	27
1. Analyse Raman.....	27
1.1 Echantillon 10.23 et 36.40 carats.....	27
1.2 Echantillon 10.23 et 36.40 carats graphique de comparaison.....	31
1.3 CrystalSleuth échantillon 10.23 et 36.40 carats graphique de comparaison.....	34
2. Absorption.....	37

3. Fluorescence.....	40
4. XRF	40
V. Conclusion.....	46
Références bibliographiques.....	48
Annexe.....	49

Tout au long de ce dossier nous étudierons les différents composants de la vanadinite d'un point de vue gemmologie conventionnelle mais aussi scientifique, afin de répondre au mieux à cette interrogation.

PARTIE 1 : GÉNÉRALITÉ

I. Historique :

1. Étymologie

Du jaune en passant par l'orange, le brun, translucide ou bien transparente, la vanadinite devient une pierre très précieuse pour les collectionneurs, en particulier celles provenant des gisements marocains. Très peu connue en bijouterie néanmoins elle a réussi à s'y faire une place, elle se décline en : pendentifs, colliers, boucles d'oreilles...

L'histoire de la découverte de cette pierre est plutôt « compliquée » car elle est le point de départ de la découverte du vanadium.

En 1801, dans la mine Purísima del Cardenal située à Zimapán, au Mexique est découvert pour la première fois ce minéral, il se présente sous une structure cristalline hexagonale.

Cette découverte a été faite par Andrés Manuel Del Río (1764-1849), chimiste et biologiste hispano-mexicain. Après l'avoir soigneusement analysée il découvre que la pierre contient un nouvel élément chimique jusqu'alors inconnu, d'où il isole 14.8% de celui-ci, l'« érythronium ». Il le baptise le « panchromium », puis change pour « eritronium », car eritros signifie « rouge » en grec, en référence à sa couleur.

En 1803, lors d'un voyage au Mexique Le baron Alexander Von Humboldt (1769-1859), géographe et « père » de la géographie moderne et naturaliste prussien, reçoit un échantillon du minéral découvert par Del Río afin qu'il procède à des tests.

Dès son retour en Europe en 1805, Le Baron Von Humboldt envoie l'échantillon pour analyse à un chimiste et minéralogiste français Hippolyte-Victor Collet-Descotils (1773-1815). Celui-ci déclara alors que l'échantillon remis par le Baron n'est que du chrome impur. Pour avancer cette théorie, Collet-Descotils et Von Humboldt pensaient que le minéral était entré en contact avec d'autres minéraux qui auraient pu contaminer l'échantillon.

En 1807, un minéralogiste français Alexandre Brongniart (1770-1847) étudie à son tour ce nouveau minéral seulement ses conclusions diffèrent de celles de Andrés Manuel Del Río. Dans son « *Traité élémentaire de minéralogie avec ses applications aux arts (vol 2)*, Alexandre Brongniart définit que cet échantillon est « un chromate de plomb qui est brun ; il diffère du rouge non seulement par sa couleur mais aussi par ses principes constituants » (texte repris des écrits de Brongniart).

En 1830, Nils Gabriel Sefström (1787-1845), chimiste et minéralogiste suédois, étudie un échantillon similaire mais cette fois-ci provenant d'un gisement suédois, il met alors en évidence le vanadium et démontre que le plomb brun découvert par Del Rio et son nouvel élément chimique l'érythronium sont le même minéral. Il le renomme l'élément « vanadium », faisant référence à Vanadis, déesse scandinave de l'amour et de la beauté.

Puis, Wöhler (1800-1882) chimiste allemand considéré comme le pionnier de la chimie organique grâce à sa synthèse de l'urée à partir du cyanate d'ammonium en 1828, découvre que l'érythronium et le vanadium ne sont pas deux éléments différents, mais bien un seul. Il démontre alors qu'il s'agit bien d'un vanadate. Son nom vient évidemment de l'élément vanadium, présent en grande quantité en son sein, et est reconnu par l'IMA (International Mineralogical Association).

C'est en 1833 que la description de Franz Ritter Von Kobel (1803-1882), minéralogiste et écrivain allemand, fut retenue et gardée en référence pour la vanadinite, malgré d'autres descriptions proposées.

Sa découverte reste attribuée à Andrés Manuel del Río et fut importante puisqu'elle conduit à la découverte d'un élément chimique, mais ceci explique aussi pourquoi l'identification de la pierre vanadinite a été compliquée

Synonymes de vanadinite :

- Banadinita (en langue basque)
- Chlorvanadinite (en allemand)
- Chromate de plomb brun (par A. Brognat en 1807)
- Johnstonite (par Chapman)
- Plomb brun (ancienne définition française)
- Plombo-vanadate
- Plomo pardo (en espagnol)
- Vanadate de plomb

2. Localisation et toponyme

Il est possible de trouver des gisements de vanadinite dans les quatre coins du monde, néanmoins certains gisements sont dits plus réputés, pour la qualité de leurs minéraux, notamment ceux des États Unis et le Maroc.

- ***USA mines d'Arizona***

L'Arizona est un État de l'Ouest des États-Unis. Sa capitale est Phoenix., dont sa superficie de 295 254 km

L'Arizona est un Etat montagneux. Traversé par le fleuve Colorado, l'État comprend de spectaculaires formations géologiques, tels que le Grand Canyon, le Meteor Crater et Monument Valley.

Monument Valley (en français, la « vallée du monument ») est un site naturel américain situé à la frontière entre l'Arizona et l'Utah, proche du Four Corners.

Il se distingue par ses formations géomorphologiques composées de mesas et buttes-témoins. Cette région fait partie d'une réserve des Navajos et du plateau du Colorado. Les Navajos nomment l'endroit Tsé Bii' Ndzisgaii, signifiant « la vallée des rocs ».

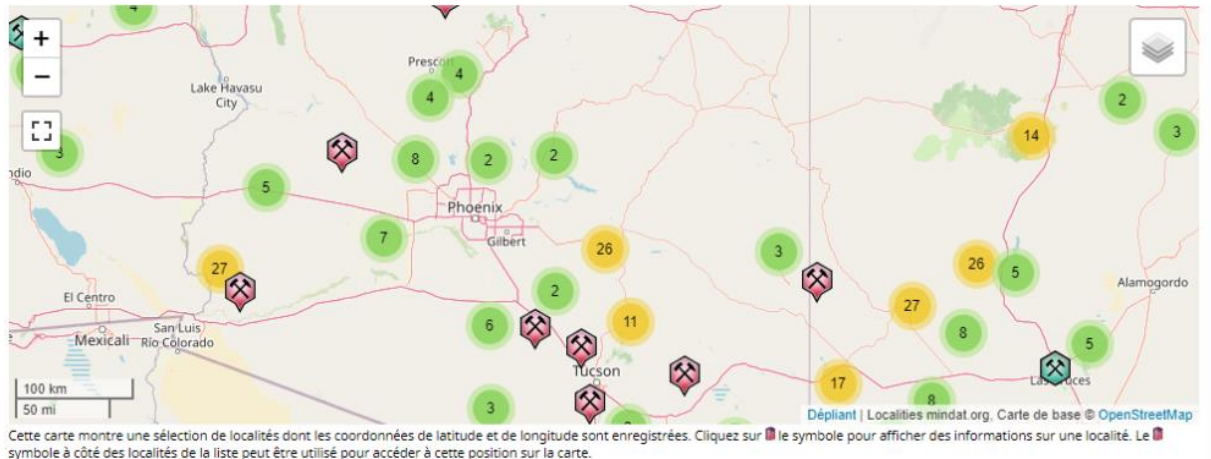


FIGURE 1 : CARTE LOCALITÉ ARIZONA USA. MINDAT.COM

- **Maroc Midlet mine de Mibladen**

Midelt est une ville du Maroc, au croisement des chaînes du Moyen Atlas et du Haut Atlas oriental.

Cette région est nommée le « Cercle de Midelt », en effet sa superficie représente 6 000 km² et dont les principaux centres sont , Aghbalou, Tounfite, Mibladen, Ahouli.

Mibladen, appelée aussi « capital minéralogique du Maroc », celle-ci est riche en minéraux, dont la vanadinite.



FIGURE 2: CARTE LOCALITÉ MIDELT MAROC. MINDAT.COM

3. Gisements

On observe la présence de vanadium dans deux types de gisements :

- Les gisements magmatiques ;
- Les gisements hydrothermaux.

Gisements magmatiques

Ce type de gisement est le plus courant et le volume de minéralisation en vanadium est important. Dans ces cas le vanadium sera souvent associé à d'autres minéraux :

- De magnétite-ilménite-apatite dans les complexes lités mafiques et ultramafiques (gabbro, gabbronorite, anorthosite, norite, pyroxénite).
- De magnétite-ilménite-hématite dans les suites anorthositiques (anorthosite, gabbro, norite, gabbronorite).
- De pyrite-pyrrhotite-chalcopryrite dans des roches mafiques (gabbronorite, gabbro).
- De magnétite-ilménite-chalcopryrite dans les intrusions de roches ultramafiques (pyroxénite, péridotite).
- De nickel-cuivre dans des intrusions mafiques et ultramafiques (gabbro, gabbronorite, péridotite, pyroxénite).
- A la formation de fer à magnétite.
- A la minéralisation de chromite dans des roches ultramafiques (dunite, pyroxénite).
- Aux minéralisations de pyrite-pyrrhotite dans des roches volcaniques mafiques amphibolitisées.

Gisements hydrothermaux

Il est également présent et associé :

- Aux veines de quartz hydrothermal (zone de cisaillement) minéralisées en pyrite, pyrrhotite, chalcopryrite et magnétite.
- Aux minéralisations uranifères dans des zones de cisaillement encaissées dans des dépôts de roches sédimentaires.
- Aux pegmatites granitiques uranifères (dyke ou amas).
- Aux minéralisations de pyrite-pyrrhotite-chalcopryrite dans des mudstones graphiteux et sulfurés.

3.1 Formation : la géologie et géologie

La vanadinite est un minéral « secondaire que l'on retrouve dans les zones oxydées des gisements plombifères ».

La Vanadinite s'établit principalement dans des « chapeaux de fer » des gisements plombifères conjoints à d'autres minéraux de vanadium, tels que la mottramite, descloiziteainsi que de plomb. Le vanadium est issu de l'oxydation de sulfures vanadifères ou « l'encaissant par lessivage des silicates ».

3.1.1 Arizona : Mine Apache

De 1945 à 1967, plusieurs mines furent exploitées dans le sud de l'Arizona, pour extraire le minerai d'uranium découvert en 1942 de façon aléatoire ; néanmoins du vanadium et du cuivre lui sont associés dans certains des gisements.

C'est en 1948, que la première mine dite « industrielle » fut ouverte et exploitée. C'est ainsi que cette région put donner ces premiers minéraux : vanadinite et la wulfénite.

Silver district, district d'Arizona voit son territoire traverser par des veines de quartz, compris entre du granit, porphyre, et renferme de la galène argentifère, sels de plombs : wulfénite, vanadinite et l'anglésite.

La mine de Hambourg, fut connue pour la beauté de ses vanadinites, dont les cristaux présentes de belles formes, de petites tailles, une couleur brillante allant du rouge, au rouge orangé en passant par le jaune rougeâtre et brun, elle fût également intéressante par sa production abondante.

L'échantillon recueilli pour cette étude provient de la mine Apache

Le comté d'Apache, c'est 2 282 concessions minières et 303 de mines répertoriées par le United States Geological Survey

Cette zone de faille minéralisée est concentrée de fragments de quartzite, de gouge de diabase qui a été altérée en une masse poreuse blanche d'argile, de séricite et de calcite finement disséminée. Les minerais semblent avoir été confinés en grande partie à une bande étroite dans la partie médiane de la zone. Les minéraux communs à la vanadinite sont la calcite, la mottramite et la descloizite. .(<http://www.jgeosci.org/detail/JCGS.999>).

3.1.2 Midelt Maroc

La région de Midelt est une province magmatique qui fut le théâtre de nombreux phénomènes de différents âges, nature et mode de gisement des roches.

« Ce magmatisme est exprimé à l'affleurement sous forme de plutons au niveau des rides et des dykes. Il est représenté essentiellement par le complexe de Tamazert dans l'Atlas de Midelt à caractère fortement alcalin » (Igmoullan et al.1987).

Avant d'entamer le développement de notre sujet, il convient de présenter les domaines structuraux du Maroc.

Géographiquement le Maroc se subdivise en trois grands domaines structuraux :

- Le Rif,
- Le domaine Atlasique
- Le grand sud marocain composé de l'Anti-Atlas et du Sahara (Figure 3).

Le domaine Atlasique, comporte :

- La Meseta, est partie formée de massifs anciens et de terrains paléozoïque (ère géologique qui s'étend de -541 à -252,2 millions d'années)
- Les Atlas est composé :
 - Le Haut Atlas
 - Et le Moyen Atlas

Le Moyen Atlas est un causse (*phénomènes karstiques où prédominent les dépressions fermées et plus particulièrement les dolines d'effondrement.*) ainsi qu'une partie plissée, le Haut Atlas est une composante importante de la géographie marocaine, elle traverse le royaume depuis la côte atlantique, d'Agadir à l'Algérie.

Le Haut Atlas est subdivisé en trois parties :

- Le Haut Atlas occidental,
- Le Haut Atlas central
- Le Haut Atlas oriental.

Le Haut Atlas atlantique désigne la partie influencée, au cours de son histoire géologique, par l'Océan atlantique.

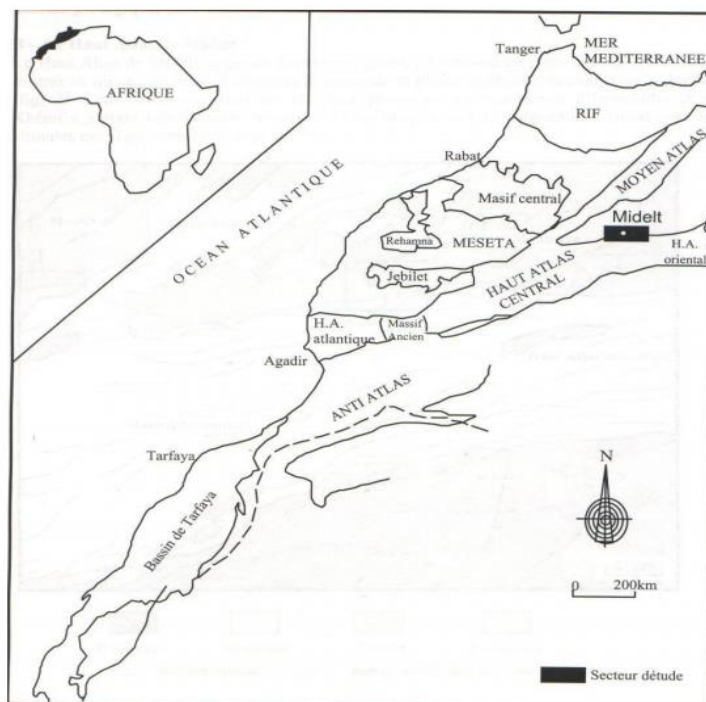


FIGURE 3 : LES DIFFÉRENTS DOMAINES STRUCTURAUX DU MAROC ET LOCALISATION DU SECTEUR D'ÉTUDE (IGMOULLAN ET AL. 1987)

Les vanadinites de Mibladen se situent dans la province du Haut Atlas, est font l'objet de la présente étude.

L'architecture chimique de la vanadinite $Pb_5(VO_4)_3Cl$, fournit les informations sur son histoire, ses ingrédients et sa recette sont simples : du plomb des filons de la mine de Mibladen, un peu de vanadium (métal rare) issu de granite lessivé après le rifting (grâce encore aux fluides hydrothermaux), de l'oxygène et du chlore de l'océan.

Plomb, vanadium, Oxygène et Chlore

Tout commença au Trias (*terrains sédimentaires de l'ère secondaire caractérisé par trois sortes de dépôts : le grès bigarré, calcaire coquillier et de marnes irisées (<https://www.cnrtl.fr/definition>)*), l'océan commençait à se former par un démarquage de la croûte continentale. Ce mécanisme interrompu (appelés aussi *rifting*) entraîne un phénomène de volcanisme décisif, qui favorisa la précipitation de gisement de plomb et d'autres métaux, grâce aux fluides hydrothermaux.

Cependant quelques millions d'années après, entre les périodes jurassique et crétacé, l'océan nappes alors Mibladen, des sédiments de calcaire déjà présent depuis la période du rifting et de la montée de l'océan. C'est alors que l'Atlantique dissout l'ensemble des métaux contenus dans les filons et les précipitent dans les interstices calcaires.

Ainsi donc est formée la vanadinite de Mibladen que l'on retrouve dans des puits de calcaire. Elle existe ailleurs où l'on peut retrouver les mêmes conditions géologiques qui l'ont façonnée, mais la version marocaine de celle-ci reste une valeur sûre parmi les collectionneurs du monde

- **Mibladen géologie et gisements**

Mibladen est géologiquement affilié au type MVT (Mouvement des Terres), Il s'agit donc de la mise place de couches sédimentaires, par remplissage de cavités karstiques, ou en substituant le sédiment initial, dolomie ou marne (phénomène de dissolution/précipitation). Au départ le plomb se présente sous forme de galène et de cérusite (minerais primaires). Par la suite ces minerais primaires se sont altérés et ont subi une modification pour devenir de la wulfénite, cérusite et vanadinite.

Les métaux plomb, zinc, cuivre résultent principalement des filons du socle (Aouli), le molybdène et le vanadium de l'altération du granite.

De plus une zone est parfaitement visible et observable d'Ouest en Est en s'éloignant du granite : vanadinite, puis wulfénite-cérusite, puis cérusite seule. Elle est due à une variation de la concentration en métaux dans les fluides : vers l'Ouest, les eaux sont chargées en vanadium, provoquant la modification du plomb sous forme de vanadinite.

Les gisements de vanadinites sont des simples trous creusés de manière et le plus souvent artisanale, évidemment il existe des sociétés minières sur place avec l'ensemble des outils et matériaux nécessaires, seulement ces sociétés n'ont pas vocation à extraire des cristaux mais plutôt le vanadium et le plomb, les vanadinites, ne sont que secondaires.

Mr Abdel Alaoui, mathématicien de formation en a fait son travail, en 2000 il crée sa société minière afin d'exploiter des gisements pour leur minerais, durant ces années, il va à l'aide de ces collaborateurs mais aussi de passionnés et de professionnels de vanadinite, sortir de terre plusieurs échantillons différents, à l'aide d'une sonde, d'un marteau piqueur et d'un moteur électrogène. Pour

cela il commence d'abord par creuser un trou de faible profondeur, ensuite en fonction des filons de plomb ou de barytine et minéraux trouvés, soit il continue de creuser ou pas en fonction de ses recherches, mais dans le cas de la vanadinite, lorsqu'il atteint une profondeur de 200 mètres, il s'arrête à ce niveau et continue par des galeries de plusieurs mètres de là, il extrait de la vanadinite, wulfenite, baritine, quartz

Les trois échantillons présents pour cette étude proviennent tous de cette région, cependant ils ont été collectés dans des gisements différents avec présence ou non d'autres minéraux associés.

Présentation brève de ces gisements :

Dans la ville Mibladen, les mines sont nommées par secteur exemple secteur A7, en effet il en existe 7, seulement mon intérêt s'est porté sur trois d'entre elles.

- Secteur 1 : dans ce secteur la vanadinite se cristallise sur de la baryte blanche ou noir.
Dont des profondeurs de puits atteignent généralement 16 mètres.
- Secteur 2 : il s'agit ici « de puits de cage d'oiseaux », elle fut d'abord exploitée par la Société minière Penaroya dont l'intérêt se porte sur le plomb, mais cette fois-ci les profondeurs atteignent les 200 mètres, dans ces puits la vanadinite prend une couleur brune en générale sur matrice, et dans ces puits les cristaux prennent une forme idéale.
- Secteur 4 : la Koudia, dans ce gisement d'une profondeur de 12 mètres, les vanadinites ont une taille plus appréciable puisque certains d'entre eux peuvent atteindre jusqu'à 3cm, avec une matrice argileuses et parfois des roches calcaireuses

4. Les minéraux associés

Les minéraux associés sont (par ordre alphabétique) :

- **l'anglésite,** :
 - ✓ Groupe de feldspath : série plagioclas
 - ✓ Composition chimique : $(\text{Na,Ca})(\text{Al,Si})_4\text{O}_8$
- **La barite,**
 - ✓ Composition chimique : BaSO_4
- **La calcite,**
 - ✓ Composition chimique : CaCO_3
- **La cérosite,**
 - ✓ Composition chimique : PbCO_3
- **La descloizite,**
 - ✓ Composition chimique : $\text{Pb}(\text{Zn,Cu})(\text{VO}_4)(\text{OH})$
- **La mimétite,**
 - ✓ Groupe des Apatites, série pyromorphite :
 - ✓ Composition chimique : $\text{Pb}_5(\text{AsO}_4)_3\text{Cl}$
- **La mottramite,**
 - ✓ Composition chimique : $\text{PbFe}^{\text{III}}_2(\text{VO}_4)_2(\text{OH})_2$
- **Les oxydes de fer,**
 - ✓ **Fe** : oxyde de fer(II) ou oxyde ferreux, appelé wustite sous sa forme minérale, poudre noire inflammable utilisée parfois dans la composition d'explosifs,
 - ✓ **Fe_3O_4 ou $\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$** : oxyde de fer (II,III), sesquioxyde de fer ou oxyde magnétique, appelé *magnétite* sous sa forme minérale,

- ✓ **Fe₂O₃** : oxyde de fer (III), ou oxyde ferrique se présentant sous quatre phases :
 - **α-Fe₂O₃ ou Hématite**, de couleur grise lorsqu'elle est cristallisée, mais rouge à l'état pulvérulent ou amorphe, couleur caractéristique de la rouille ainsi que de la planète Mars
 - β-Fe₂O₃,
 - γ-Fe₂O₃ ou maghémite,
 - ε-Fe₂O₃.

- **La pyromorphite**
 - ✓ Composition chimique : Pb₅(PO₄)₃Cl
- **La wulfénite**
Composition chimique : PbMoO₄

5. Les gisements de part le monde et leurs plus beaux spécimens

On compte plus de 730 gisements dans le monde. Mais les plus réputés sont

- Maroc Mine Mibladen Aloui
- USA Arizona Mine Hamburg et mine YUMA (Apache)



FIGURE 4 : CARTE MONDE MINDAT.COM

5.1 Les plus beaux spécimens au monde

Ce minéral en raison de la grosseur de ses cristaux, de la forme parfaitement hexagonale, de la brillance, de leur belle couleur rouge et du contraste étonnant avec la barytine blanche sur laquelle les cristaux se sont développés, font de cet échantillon le plus beau spécimen et le plus cher. Cet ensemble a apparemment été trouvé dans la mine, sans attaches visibles, « flottant » Il a d'abord appartenu à James Horner, compositeur de musique de grands films

américains (Titanic, Braveheart...). Puis il a été acheté par un marchand de minéraux new-yorkais pour sa propre collection avant d'être acquis par le MIM en 2008, le montant n'a malheureusement pas été communiqué.



FIGURE 5 : [HTTP://WWW.LORIENTJUNIOR.COM/ARTICLE/1108/DES-MINERAUX-A-COUPER-LE-SOUFFLE.HTML](http://www.lorientjunior.com/article/1108/des-mineraux-a-couper-le-souffle.html)

II. Caractéristiques gemmologiques

1. Caractéristiques physiques

Densité : 6.8 à 7.1

Clivage : aucun

Cassure : conchoïdale à irrégulière

Ténacité : très fragile à fragile

Comportement à la chaleur : faible

Resistance chimique : soluble dans l'acide nitrique

Indices de réfraction : $n_e=2.350$ $n_o=2.416$

Biréfringence : -0.066

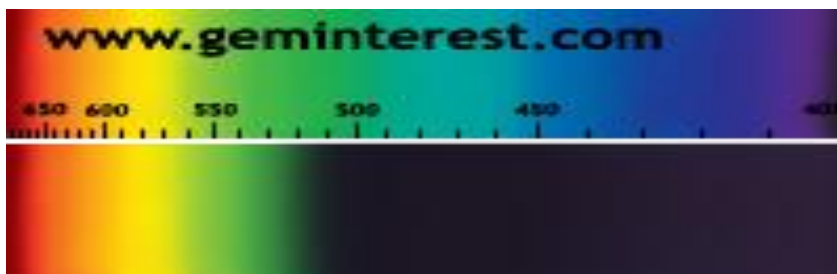
Dispersion : 0.202

Transparence : généralement translucide à opaque parfois transparente

Pléochroïsme : Très Faibles : nuances de rouge - orange à jaune foncé - jaune à brun

Luminescence : Nulle

Spectre d'absorption : Large absorption jusque dans le vert



Inclusions : Cristaux prismatiques, pyramidaux, tabulaires (en tablettes hexagonales, doublage)

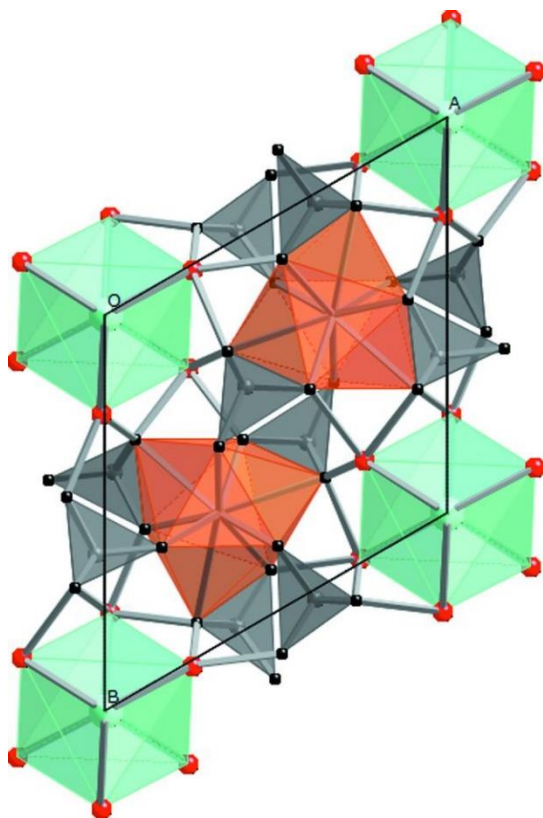
2. caractéristiques chimiques

Il est conducteur de chaleur et d'électricité.

Il est cristallisé dans le système hexagonal, généralement prismatique ou tabulaire non clivable. Les cristaux vanadinites se présentent soit creux ou groupés semblables à ceux de la pyromorphite. De dureté 2.5 à 3, elle est donc fragile, son éclat est vitreux à adamantin et a pour couleur du rouge foncé au brun-rouge, en passant par des jaune paille et des jaune-brun, avec possibilité de zonations.



FIGURE 6 : [HTTPS://CRYSTALSYMMETRY.FILES.WORDPRESS.COM/_VANADINITE MIBLADEN](https://CRYSTALSYMMETRY.FILES.WORDPRESS.COM/_VANADINITE_MIBLADEN)



Structure de la vanadinite, projetée vers le bas [001].

La structure contient des polyèdres VO₄ (gris) et Pb₁₀O₉ (orange). Les polyèdres Pb₂O₆ Cl₂ ne sont pas représentés. Les atomes de Cl (en bleu) sont dans les 6/3 canaux et forment Cl-Pb₂O₆ octaèdres (en bleu). Les sites Pb₂ sont représentés en rouge et les sites O en noir. Les bords des cellules unitaires hexagonales sont soulignés.

Figure 7 <https://journals.iucr.org/> (Volume 25 | Partie 1 | Janvier 2018 | Pages 214 à 221 <https://doi.org/10.1107/S1600577517014217>)

La vanadinite est l'un des pôles dans une triple substitution entre :

Phosphate (pyromorphite $Pb_5(PO_4)_3Cl$, isomorphe de l'apatite),

Arséniates (mimétite $Pb_5(AsO_4)_3Cl$)

Vanadates (vanadinite), entre lesquels existent de parfaites solutions solides

Cette géochimie démontre les combinaisons possibles entre la pyromorphite et la vanadinite. Ce minéral renferme 78,1% de PbO et 19,4 % de V_2O_5 est un minéral de vanadium et parfois de plomb. La vanadinite est par conséquent très souvent combinée à de la pyromorphite, césurite, limonite, wulfénite.

3. les variétés de vanadinites

- Statut : Minéral agréé par l'I.M.A.

L'*endlichite*, est une variété de minéral intermédiaire entre la mimétite et la vanadinite ; elle est souvent appréciée comme une variété de vanadinite riche en arsenic. Pour comparaisons :

- ✓ Formule de la vanadinite : $Pb_5(VO_4)_3Cl$;
- ✓ Formule de la mimétite : $Pb_5(AsO_4)_3Cl$;
- ✓ Formule de l'endlichite : $Pb_5([V,As]O_4)_3Cl$.

- L'*Endlichite* est un minéral intermédiaire entre la mimetite ($Pb_5(AsO_4)_3Cl$) et la vanadinite ($Pb_5(VO_4)_3Cl$). Appelée "Vanadinite grise", sa couleur varie du gris-beige au brun-grisâtre. C'est un minéral secondaire rare.



FIGURE 8: [HTTPS://WWW.PINTEREST.FR/SEARCH/PINS/?Q=ENDLICHITE&](https://www.pinterest.fr/search/pins/?q=endlichite&)

➤ **Mimetite :**

Etymologie : du grecque mimethes = imitateur

Couleur : incolore, blanc, jaune foncé, orange, brun, vert

Eclat : Subadamantin à Résineux

Système cristallin : Hexagonal

Transparence : Translucide

Caractère optique : U- mais parfois B+/-

Indice de réfraction : 2.128 à 2.147

Biréfringence : 0.0199

Dispersion : nulle

Spectre d'absorption : non visible

Luminescence : rouge-orange

UV : L inerte

C rouge orange

Densité : 3 à 4

Clivage : imparfait

Cassure : conchoïdale, irrégulière

Trait : blanc

Resistance au choc : faible

Inclusions : cristaux



FIGURE 9:

[HTTPS://WWW.PINTEREST.FR/SEARCH/PINS/?Q=MIMITITE&RS](https://www.pinterest.fr/search/pins/?q=mimetite&rs)

III. Cristallographie et structure

1. Cristallographie : système hexagonal

Tous les minéraux se développent selon des systèmes cristallins définis. Les propriétés physico-chimiques d'un cristal sont liées à l'arrangement spatial des atomes dans la matière. L'état cristallin est défini par un caractère périodique et ordonné à l'échelle atomique ou moléculaire. Le cristal est obtenu par translation dans toutes les directions d'une unité de base appelée maille élémentaire. (Extrait /Pierres précieuses fines et ornementales de Wlater Schuman)

Cette science mise en avant par Monsieur René Just Haüy (1743 – 1822) classe les cristaux en sept systèmes qui se différencient par leurs éléments de symétrie, ou par l'architecture de leur maille

élémentaire: les arêtes de la maille caractérisent les trois axes de cristallographiques, qui forment les angles α , β , γ , et déterminent comme unités les longueurs a, b, c des arêtes de la maille, ces axes sont notamment employés par les cristallographes afin de déterminer les faces cristallines selon une notation dite de Miller.

Le système hexagonal :

- ✓ La maille du système hexagonal est un prisme droit, défini par deux paramètres égaux « $\alpha = \beta$ » égaux à 90° , mais différents du troisième « γ » qui prend la valeur de 120° . Il s'ensuit la présence d'un axe de symétrie d'ordre 6 d'un miroir M perpendiculaire à celui-ci

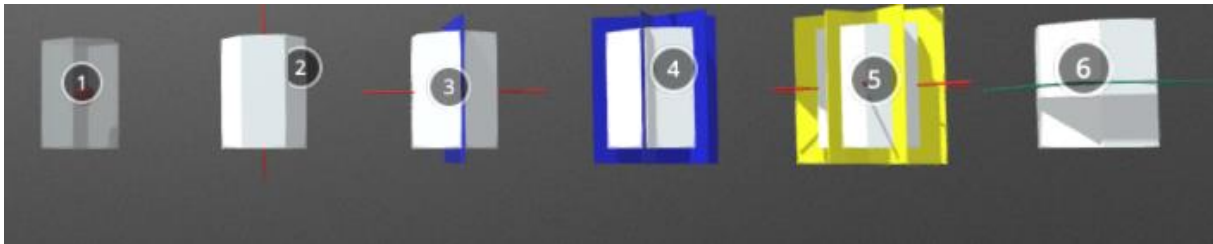


FIGURE 10: [HTTPS://SKETCHFAB.COM/3D-MODELS/HEXAGONAL](https://sketchfab.com/3D-MODELS/HEXAGONAL)

Schema :

- ✓ Vue 1 : Centre de symétrie.
- ✓ Vue 2 : 1 seul axe de symétrie d'ordre 6.
- ✓ Vue 3 : 1 axe de symétrie d'ordre 2, médiatrices des faces opposées (rouge).
Un plan de symétrie des diagonales parallèles opposées (bleu).
- ✓ Vue 4 : Les trois plans de symétries des diagonales parallèles opposées.
- ✓ Vue 5 : Trois axes de symétrie des arêtes opposées parallèles (rouge).
Trois plans de symétrie médians (jaune).
- ✓ Vue 6 : Plan de symétrie.

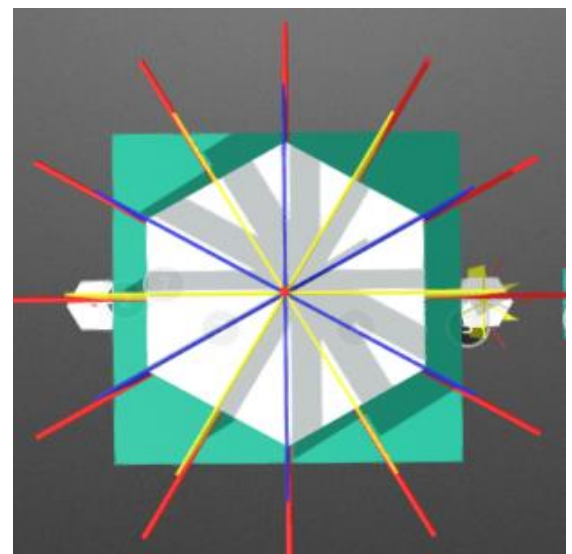
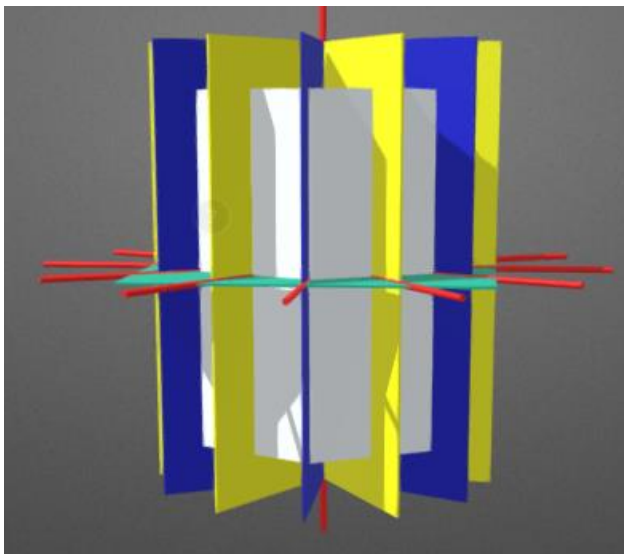


FIGURE 11,10 : [HTTPS://SKETCHFAB.COM/3D-MODELS/HEXAGONAL/](https://sketchfab.com/3D-MODELS/HEXAGONAL/) VUE DE FACE ET VUE DE HAUT TOUTS LES ÉLÉMENTS DE SYMÉTRIE

Schéma

- ✓ Vue 7 : avec tous les éléments de symétries :
 - Un centre de symétrie
 - 6 axes d'ordre 2
 - 1 axe d'ordre 6
 - 7 plans de symétries

1. Cristallochimie : série continue de l'apatite

La vanadinite appartient au supergroupe de l'apatite et plus précisément au sous-groupe de la pyromorphite :

L'apatite est la référence à un groupe de minéraux iso structuraux dont l'architecture générale se présente : $A_5(XO_4)_3Z_q$. Ainsi donc la formule de l'apatite est $Ca_5(F,Cl OH)(PO_4)_3$

Dans lesquels

- Le calcium est remplacé par :

Le strontium, cérium, manganèse, yttrium, plomb

Le phosphore est remplacé par :

- ✓ l'arsenic, le vanadium ,le soufre, le silicium...
pyromorphite, vanadinite, mimétite, fluorellestadite ...

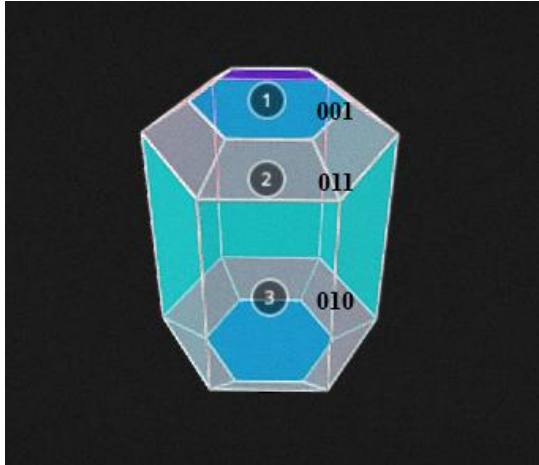
Tous ces minéraux se présentent sous forme hexagonale, contenant des arséniates, des phosphates et de vanadates.

On peut distinguer deux sous-groupes : l'apatite et la pyromorphite.

- Groupe de l'apatite
 - Chlorapatite $Ca_5(PO_4)_3Cl$
 - Fluorapatite $Ca_5(PO_4)_3F$
 - Hydroxyapatite $Ca_5(PO_4)_3(OH)$
 - Fluorstrophite $SrCaSr_3(PO_4)_3F$
- Groupe de la pyromorphite
 - Mimétite $Pb_5(AsO_4)_3Cl$
 - Pyromorphite $Pb_5(PO_4)_3Cl$
 - Vanadinite $Pb_5(VO_4)_3Cl$

- **Structure de l'apatite :**

L'apatite est un groupe de minéraux phosphatés dont composition chimique est comme suit : $\text{Ca}(\text{PO}_4)_3\text{F}$,



Classification : Phosphate (Groupe Apatite)
 Formule : $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{Cl} / \text{F} / \text{OH})$
 Système cristallin : hexagonal
 Indices de Miller (hkl) : (011), (010), (001)
 Classe de cristal : $6/m$ - Dipyramidal
 Cellule unitaire : $a = b = 9,38 \text{ \AA}$, $c = 6,89 \text{ \AA}$ // $\alpha = \beta = 90^\circ$, $\gamma = 120^\circ$
 Groupe de points : $6/m$

FIGURE 12 : D'APRÈS DES DESSINS DE « L'ATLAS DER KRYSTALLFORMEN » DE VM GOLDSCHMIDT (1913-1923)

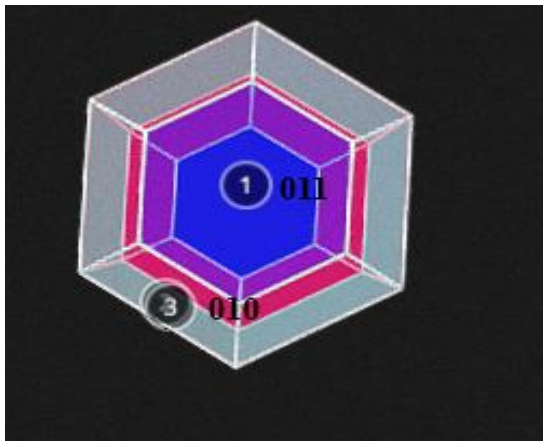


FIGURE 13 : FACE DU DESSUS / D'APRÈS DES DESSINS DE « L'ATLAS DER KRYSTALLFORMEN » DE VM GOLDSCHMIDT (1913-1923)

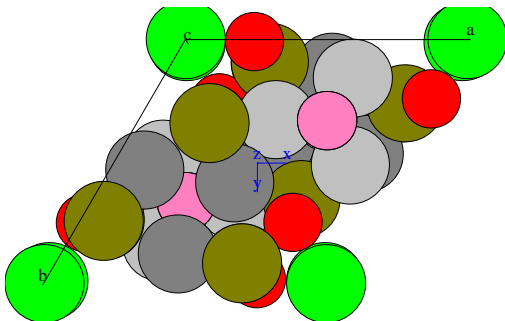


FIGURE 14 : CARINE/CRISTOLLOGRAPHIE APATITE

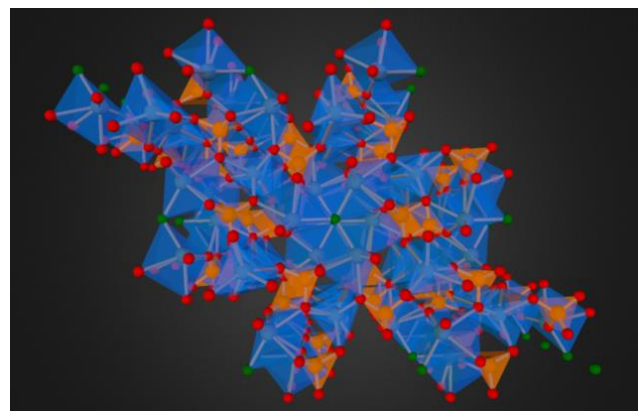


FIGURE 15 : [HTTPS://SKETCHFAB.COM/APATITE-3D-models/p63m](https://sketchfab.com/apatite-3d-models/p63m)

IV. Traitements et synthèses

Extrait d'article paru sur site :

https://www.persee.fr/doc/bulmi_0037-9328_1958_num_81_1_5228, évoque une synthèse de la vanadinite.

Dans la démonstration de cet article, la genèse tient compte du fait de la montmorillonite.

Il s'articule autour de 4 étapes :

1-La galène se décompose en libérant des ions de Plomb, ces mêmes ions sont fixés par la montmorillonite de l'argile du filon

2-Le lessivage par des eaux riches en ions (Cl-) permet une concentration en sein de l'argile de chlorure ou oxychlorure de plomb

3-Les apatites vanadifère de grès permians la libération des ions vanadinique qui sont fixés par des colloïdes humiques qui sont eux-mêmes absorbés par la montmorillonite.

4- Entre les feuillets argileux : ions (P^{II}+) ; (Cl-) et (VO₄⁻⁻⁻). Et donc formation in situ Vanadite.

Après plusieurs recherches, il n'est pas possible de confirmer si cette synthèse de vanadinite, et accepté dans le monde gemmologique.

Alors l'heure actuelle aucun traitement de vanadinite n'est connu.

V. Vanadinite : dans le marché

Poids sp. : 6.0 g/cm ³	Prod. annuelle 80'000 t.
Dureté : 7	Réserves estimées 15'000'000 t.
Point de fusion : 1'910°	Prix approximatif 60'000 € la tonne

L'année 2019, les ventes totales de vanadinite au Maroc à dégagé un chiffre d'affaire de 3 millions de Dirhams soit environ 280 .000 euros.

1. Dans la bijouterie

Malgré mes nombreuses recherches, et la mise à contribution de certains contacts, il est impossible d'apporter une information exhaustive ou une estimation. Néanmoins la vanadinite apparait dans a bijouterie sous forme non-facette, pendentifs, bagues... toutefois il est intéressant de noter que celle-ci se vend plus facilement en brut et est destinée à des collectionneurs dont le prix varie en fonction de plusieurs facteurs tels : la couleur, transparence, taille du brut, ...



FIGURE 16 ET 17: [HTTPS://WWW.FREE-BOUDDHA.FR/BAGUES-PIERRES-NATURELLES/14758-BAGUE-ARGENT-CRISTAL-DE-VANADINITE-T-58.HTML](https://www.free-bouddha.fr/bagues-pierres-naturelles/14758-bague-argent-cristal-de-vanadinite-t-58.html)/PENDENTIFS-PIERRES-NATURELLES/19385-PENDENTIF-ROND-EN-CRISTAL-DE-VANADIUM.HTML

2. Et dans d'autres domaines : l'acier

Depuis 2013, le marché de l'acier connaît d'importantes difficultés. Le ralentissement du secteur de la construction en Chine et du boom économique a créé un important surplus de production. Les aciéries chinoises se retrouvent avec une surcapacité de production (Roskill, 2015).

Étant donné que le vanadium est principalement utilisé comme alliage dans le secteur de l'acier, les perspectives de croissance demeurent fortement liées à la demande pour l'acier, particulièrement en Chine.

Malgré la problématique relative aux marchés de l'acier chinois, les analystes s'attendent à ce que la demande pour le vanadium demeure croissante étant donné son importance grandissante dans le secteur de l'acier. De plus, d'autres débouchés émergent pour le vanadium. Même si ces nouveaux créneaux demeurent marginaux comparativement à celui de l'acier, les accumulateurs d'énergies et les batteries au vanadium offrent de belles perspectives d'avenir pour l'utilisation du vanadium. Une tendance à la hausse est anticipée pour le prix du vanadium au cours des prochaines années (Roskill, 2015).

Le vanadium est de plus largement utilisé dans des applications de technologie verte et plus spécifiquement la technologie des batteries pour stockage de l'énergie (batterie Redox).

PARTIE 2 : ECHANTILLONS MAROC MIDELE ET U.S.A ARIZONA

I. Présentation des échantillons :

1. Les échantillons

Echantillon vanadinite 0.22ct USA



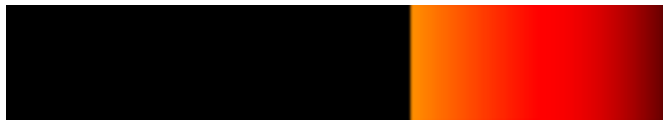
Echantillon 10.23 ct Maroc



Echantillon 36.40 ct Maroc



2. caractéristiques physique et chimiques des échantillons

Echantillons Vanadinite Mibladen Maroc 36,40ct	
<p>Polariscope : Rétablit tous les 1/4 tours</p> <p>Conoscope :</p> <p>Indices de réfractions :</p> <p>n1 :</p> <p>n2 : ≥ 1,790</p> <p>n3 :</p> <p>Δn : Non déterminable</p> <p>Caractère optique :</p> <p>Non déterminable</p> <p>Pléochroïsme :</p> <p>Tons : Rouge foncé - Rouge orangé</p> <p>Intensité : Moyen</p>	<p>Forme : Brut</p> <p>Taillé :</p> <p>Couleur : Rouge-Brun</p> <p>Luminescence :</p> <p>UVL (365nm) : inerte / taches blanches sur la roche mère</p> <p>UVC (254 nm) / inerte</p> <p>Densité : 6,53</p> <p>Poids : 36,40 ct</p> <p>Spectre d'absorption :</p>  <p>Elément Chromogène : V</p>
<p>Observation / Autres :</p> <p>Cassure irrégulière et conchoïdale</p> <p>Plusieurs cristaux négatifs</p> <p>Gangue</p> <p>Nombreux givres (fouillis)</p> <p>Ces nombreuses inclusions rendent la vanadinite translucide</p>	

Echantillons Vanadinite Mibladen Maroc 10,23 ct

Polariscope : opaque

Conoscope :

Indices de réfractions :

n1 :

n2 : $\geq 1,790$

n3 :

Δn : Non déterminable

Caractère optique :

Non déterminable

Pléochroïsme :

Tons :

Intensité :

Forme : Brut

Taillé :

Couleur : Rouge-Brun

Luminescence :

UVL (365nm) : inerte

UVC (254 nm) / inerte

Densité : 6,67

Poids : 10.23 ct

Spectre d'absorption :



Élément Chromogène : V


Observation / Autres :

Cassure irrégulière et conchoïdale

Plusieurs cristaux négatifs

* irisées

Cristaux blanc (Quartz ???)

Echantillons Vanadinite Apache/Arizona USA 0,220	
Polariscope : Rétablit tous les 1/4 tours Conoscope : Indices de réfractions : n1 : n2 : ≥ 1,790 n3 : Δn : Non déterminable Caractère optique : Non déterminable Pléochroïsme : Tons : Rouge - Rouge jaune : Intensité : Moyen	Forme : Brut Taillé : Couleur : Rouge-Brun Luminescence : UVL (365nm) : inerte UVC (254 nm) / inerte Densité : 6,87 Poids : 0.220 ct Spectre d'absorption :  Élément Chromogène : V
Observation / Autres : Cassure irrégulière et conchoïdale Plusieurs cristaux négatifs * irisées Veines / Fractures Nombreux givres (fouillis) Ces nombreuses inclusions rendent la vanadinite translucide	

II. Présentation des outils d'analyse

1. Spectroscopie Raman, Absorption, XRF et fluorescence

- ✓ **Spectroscopie Raman** est une méthode d'analyse chimique appliquée pour caractériser la structure des molécules présentes dans des matériaux. Cette méthode non invasive, à savoir elle n'est pas destructive. La **spectroscopie Raman**, permet d'accéder aux niveaux vibrationnels des molécules. (<https://www.physitek.com/blog-groupe-physitek/spectre-raman-identification-chimie>)
- ✓ La **spectrométrie d'absorption** est une méthode de **spectroscopie** électromagnétique utilisée pour déterminer la concentration et la structure d'une substance en mesurant l'intensité du rayonnement électromagnétique qu'elle absorbe à des longueurs d'onde différentes. ([https://fr.wikipedia.org/wiki/spectrometrie d'absorption](https://fr.wikipedia.org/wiki/spectrometrie_d'absorption))

- ✓ **La XRF** est une technique analytique non destructive utilisée pour identifier la composition élémentaire des matériaux ou déterminer son « empreintes digitales ». Il permet de déterminer la chimie d'un échantillon en mesurant les rayons X fluorescents (ou secondaires) émis lorsqu'il est excité par une source de rayons X. (<https://www.physitek.fr/blog-groupe-physitek/fluorescence-x/>)
- ✓ **La fluorescence** est une émission lumineuse provoquée par l'excitation des électrons d'une molécule (ou atome), généralement par absorption d'un photon immédiatement suivie d'une émission spontanée. La fluorescence peut également servir à caractériser un matériau. (<https://fr.wikipedia.org/wiki/Fluorescence>)

III. Analyses et études des échantillons

1. Analyse Raman

1.1. Echantillon 10.23 et 36.40 carats

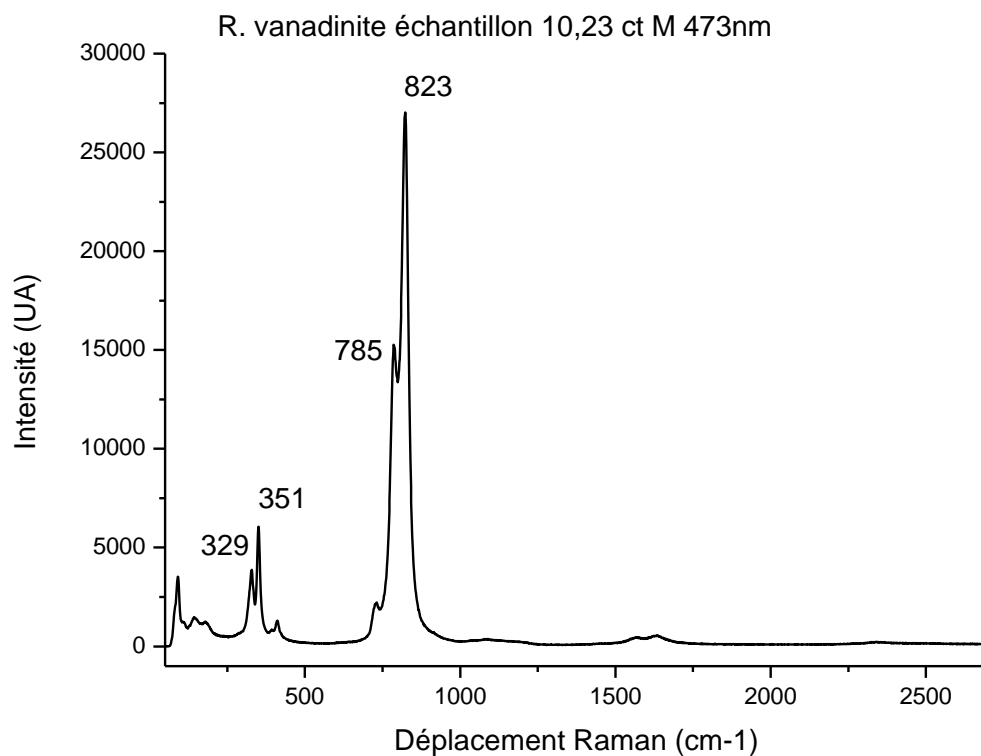


FIGURE 17

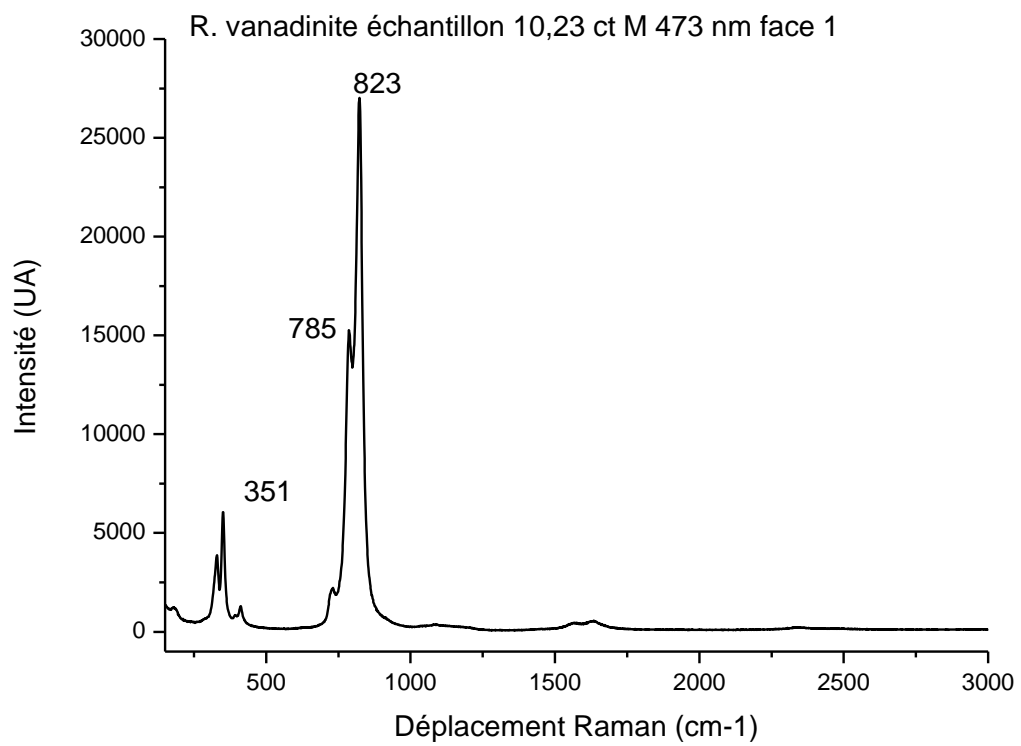


FIGURE 18

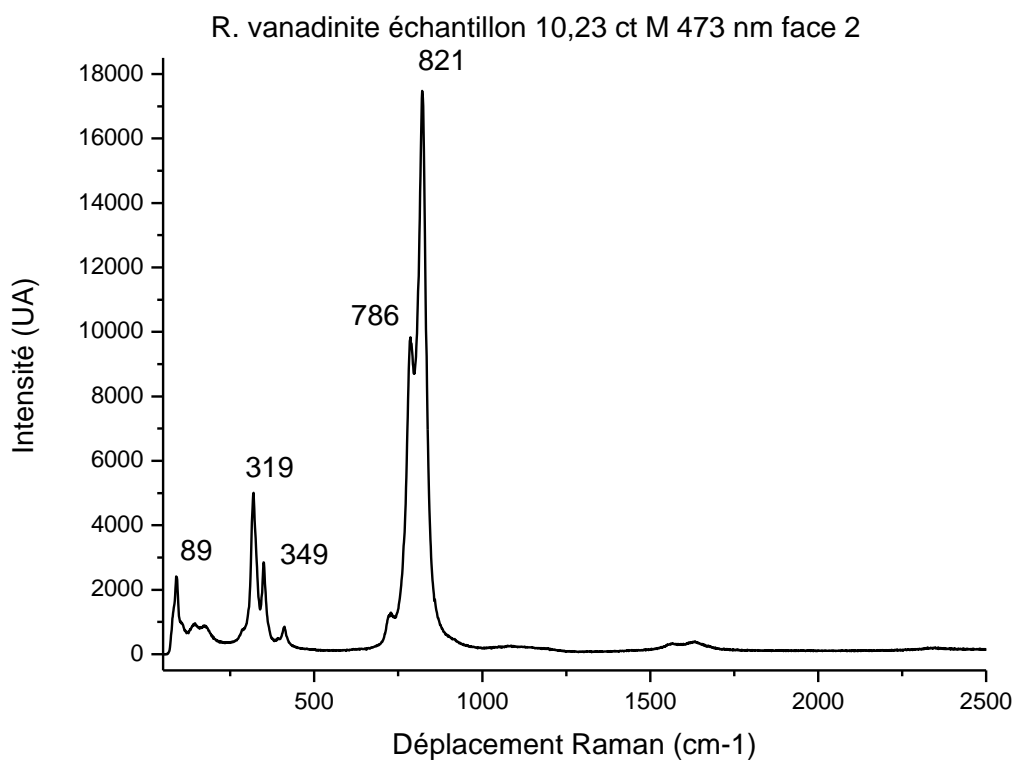


FIGURE 19

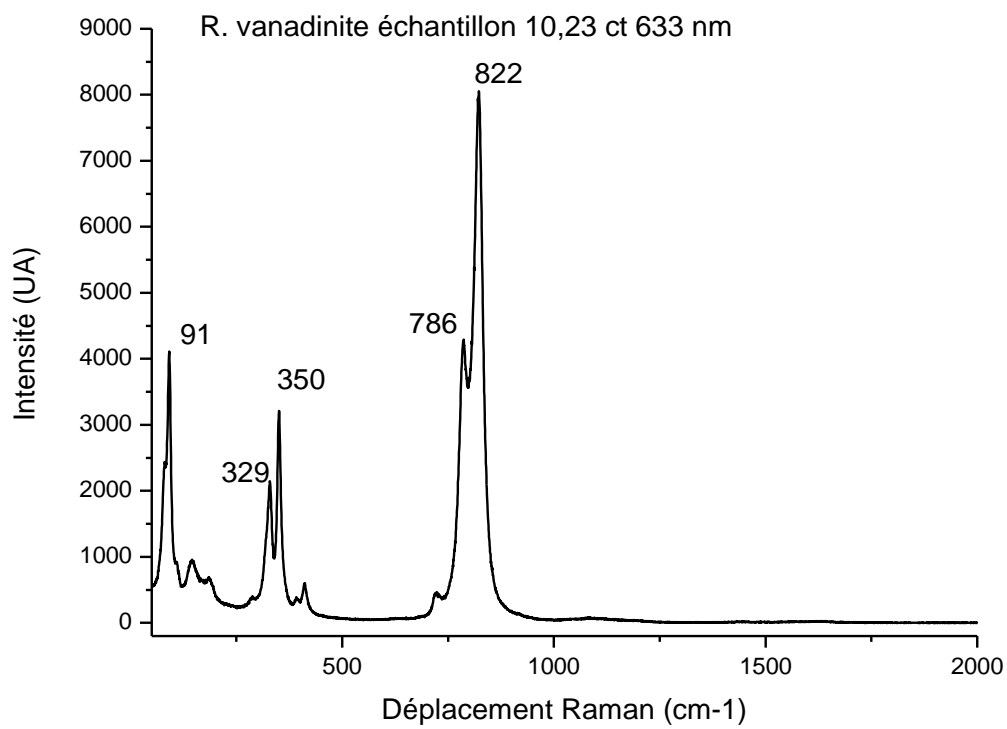


FIGURE 20

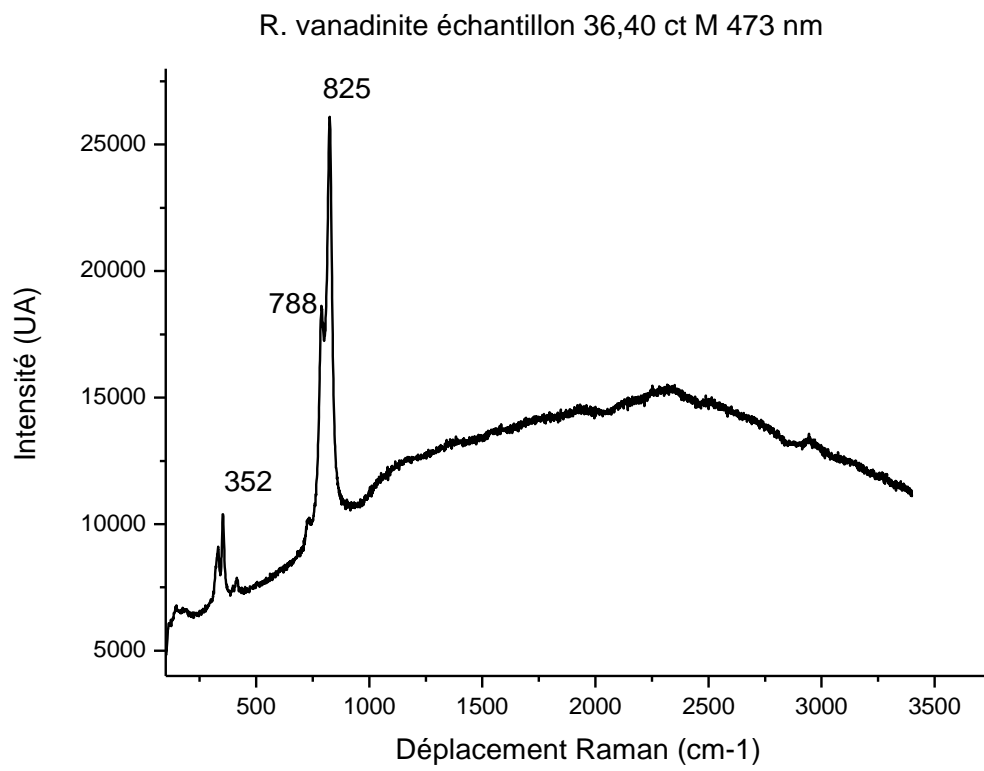


FIGURE 21

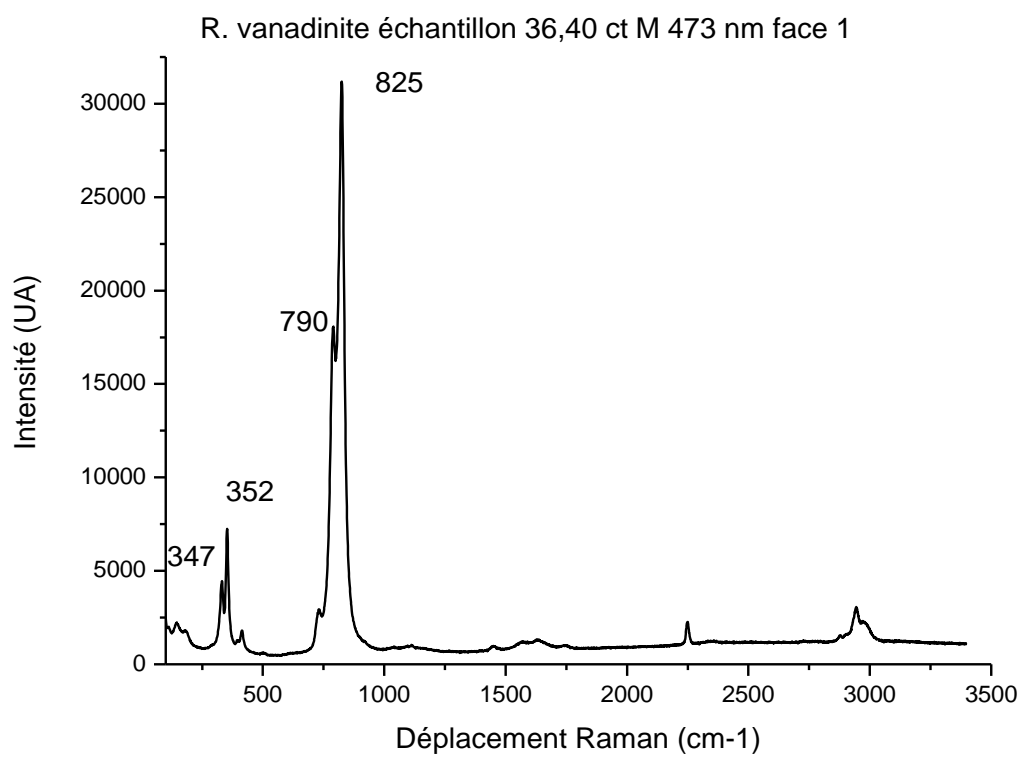


FIGURE 22

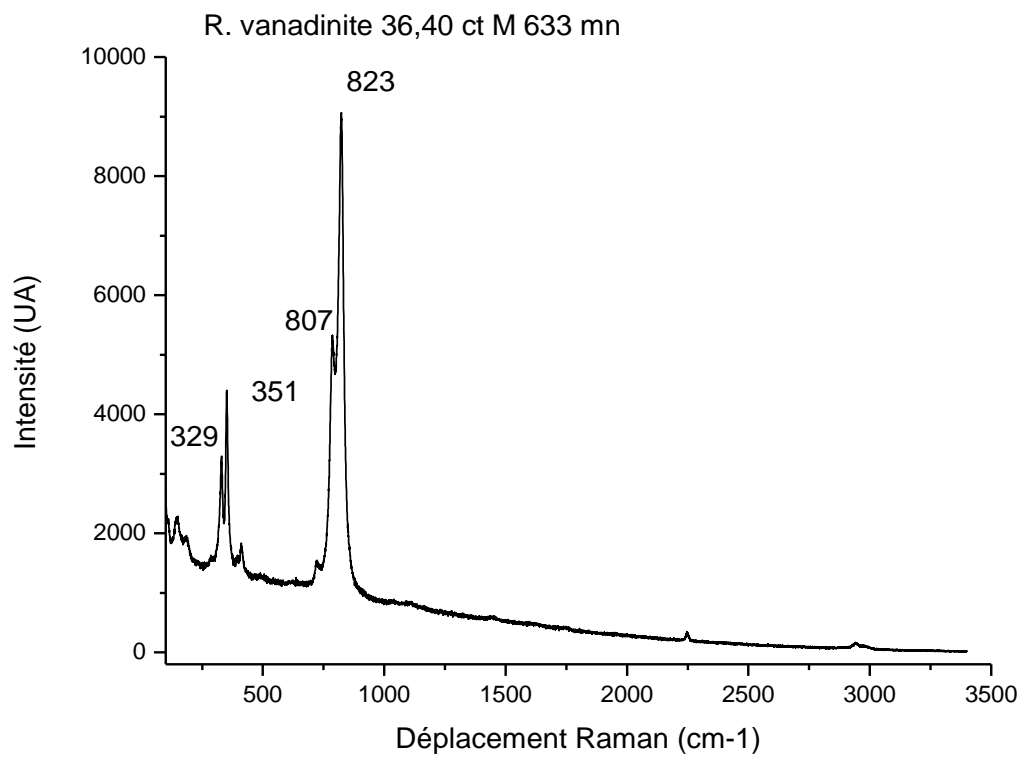


FIGURE 23

1.2 Echantillon 10.23 et 36.40 carats graphiques de comparaison.

R. vanadinite échantillon 36,40 ct graphique de comparaison à 473 nm et 633 nm

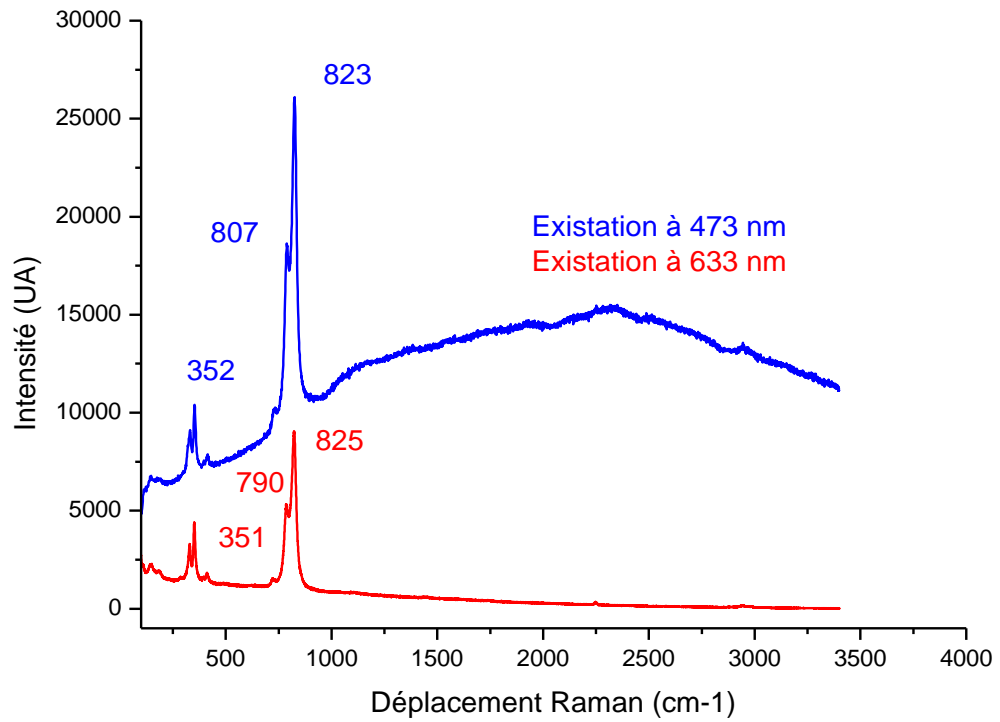


FIGURE 24

R. vanadinite échantillon 10,23 ct graphique de comparaison à 473 nm et à 633 nm

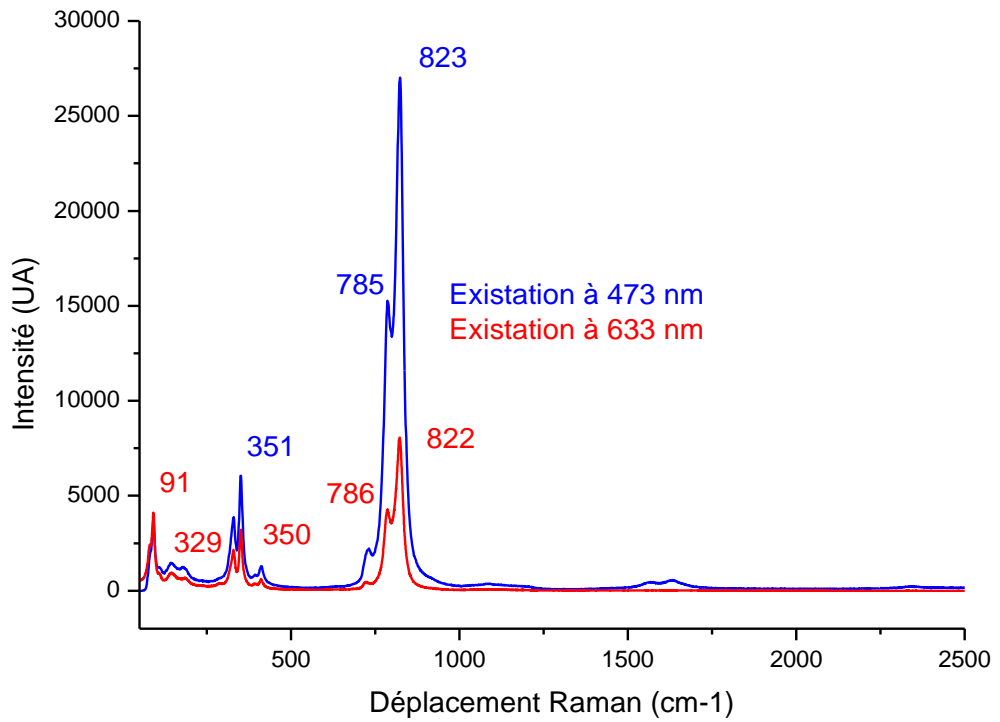


FIGURE 25

R. vanadinite échantillons 10,23 ct et 36,40 ct graphique de comparaison à 473 nm

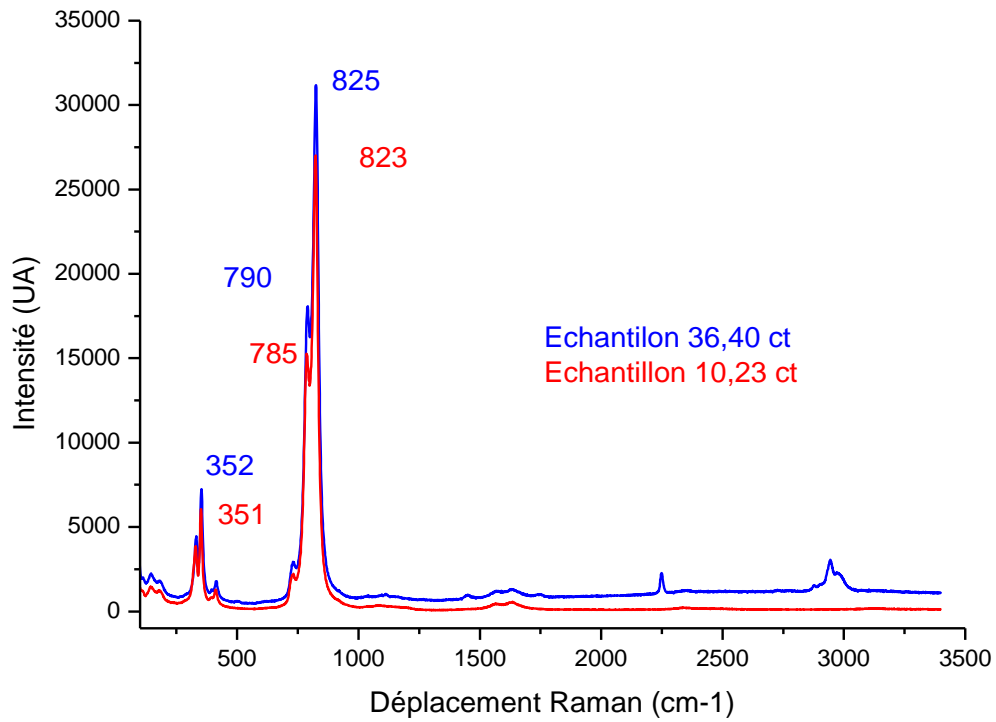


FIGURE 26

R. vanadinite échantillon 10,23 ct et 36,40 ct graphique de comparaison à 633 nm

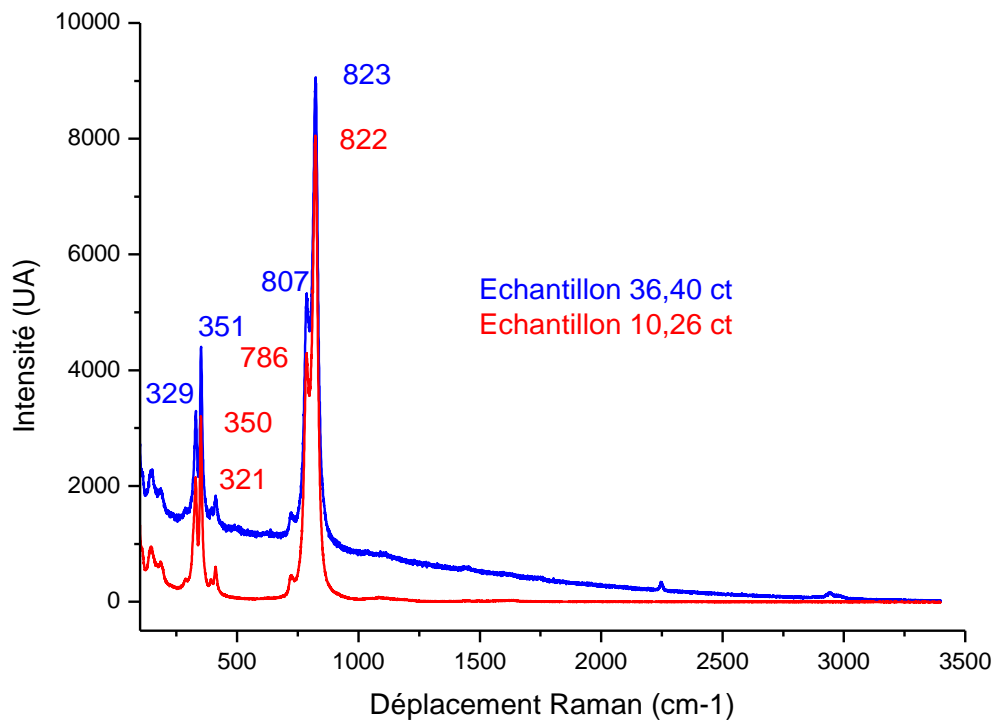


FIGURE 27

Analyse des figures :

Figure 25 et 26 : dans ce graphique l'échantillon 10.23ct Maroc est soumis à deux rayons d'excitation d'abord 473 nm puis 633 nm, on constate une similitude dans les pics Raman exemple 822 et 833 nm

Figure 27 et 28 : dans ces deux graphiques de comparaison, les échantillons ont été soumis aux même rayonnement 473 nm et 633 nm présente le même graphique.

On peut donc on déduire, que bien que ces deux échantillons proviennent de deux gisements différents ils présentent tous deux les mêmes graphique Raman et par conséquent les mêmes caractéristiques.

1.3 CrystalSleuth Echantillon 36.40 et 10.23 carats graphiques de comparaison.

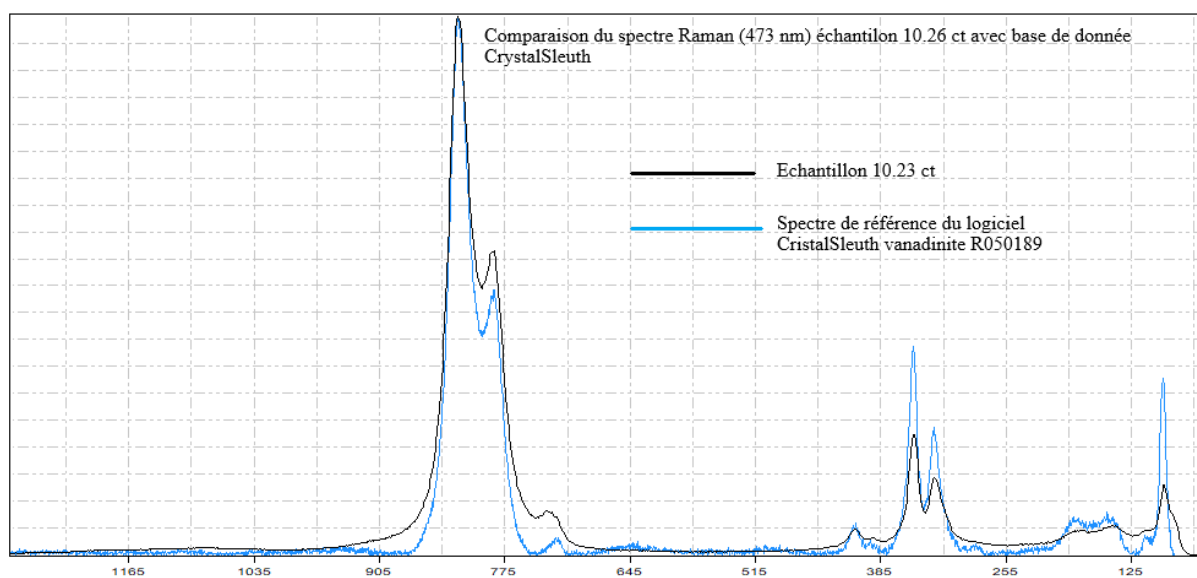


FIGURE 28

Vanadinite R050189



Name: Vanadinite

RRUFF ID: R050189

Ideal Chemistry: $Pb_5(VO_4)_3Cl$

Locality: Puzzler mine, Yuma County, Arizona, USA

Source: Dave Bunk Minerals

Owner: RRUFF

Description: Red and green hexagonal prisms

Status: The identification of this mineral has been confirmed by X-ray diffraction and chemical analysis

Mineral Group : [Apatite (55)]

Quick search : [All Vanadinite samples (5)] (www.handbookofmineral.com)

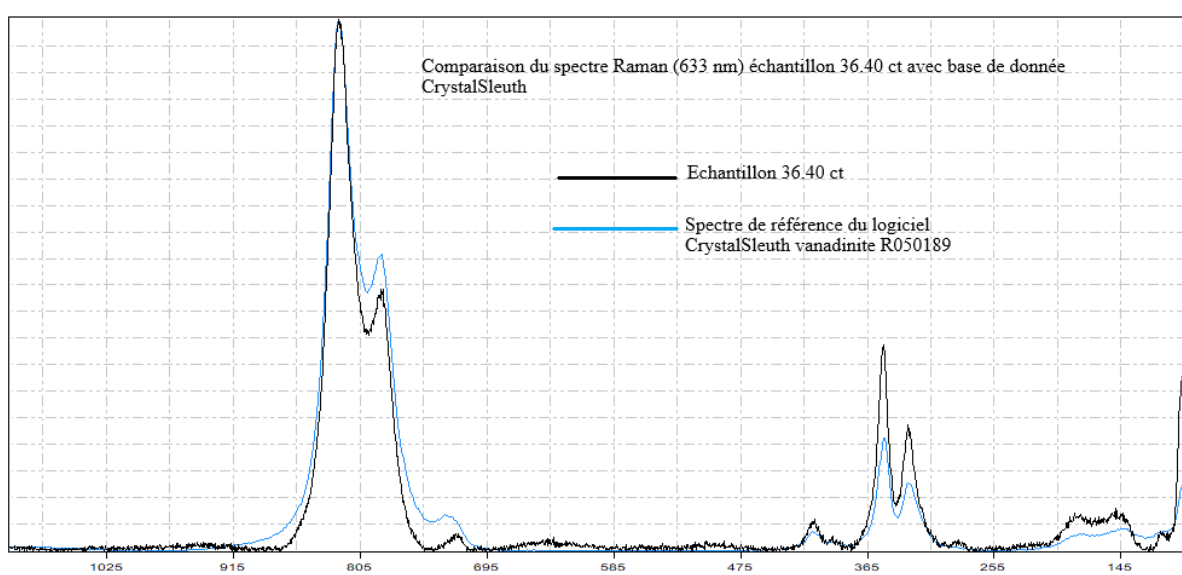


FIGURE 29

Vanadinite R050189



Name: Vanadinite

RRUFF ID: R050189

Ideal Chemistry: $Pb_5(VO_4)_3Cl$

Locality: Puzzler mine, Yuma County, Arizona, USA

Source: Dave Bunk Minerals

Owner: RRUFF

Description: Red and green hexagonal prisms

Status: The identification of this mineral has been confirmed by X-ray diffraction and chemical analysis

Mineral Group : [Apatite (55)]

Quick search : [All Vanadinite samples (5)] (www.handbookofmineral.com)

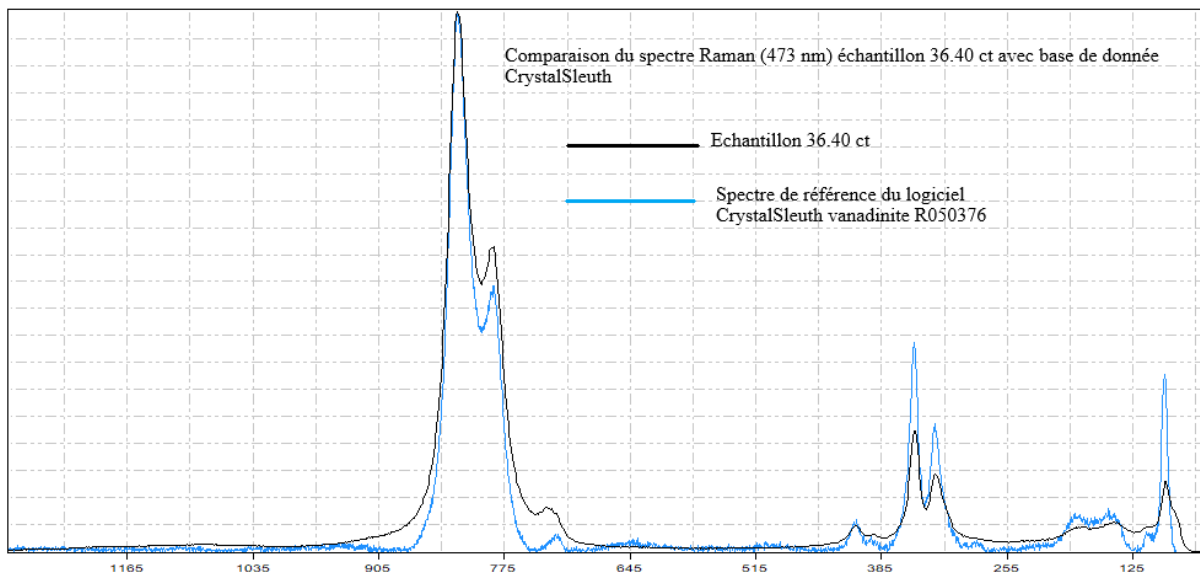


FIGURE 30

Vanadinite R050376



Name: Vanadinite

RRUFF ID: R050376

Ideal Chemistry: $Pb_5(VO_4)_3Cl$

Locality: Morocco

Source: Eugene Schlepp

Owner: RRUFF

Description: Red hopped crystal

Status: The identification of this mineral has been confirmed by X-ray diffraction and chemical analysis

Mineral Group : [Apatite (55)]

Quick search: [All Vanadinite samples (5)] (www.handbookofmineral.com)

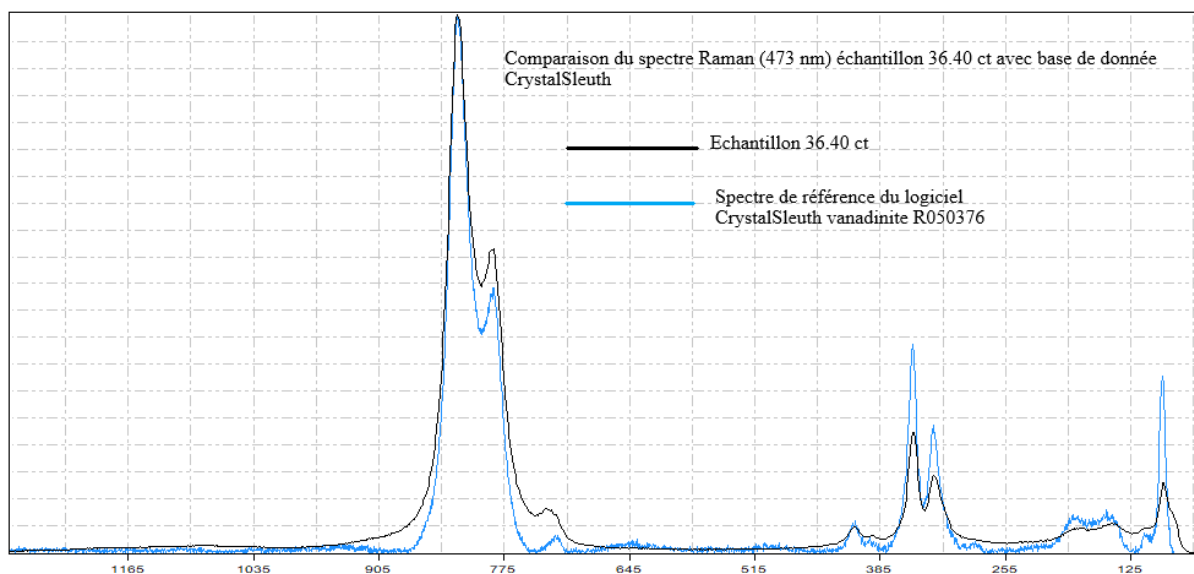


FIGURE 31

Vanadinite R050189



Name: Vanadinite

RRUFF ID: R050189

Ideal Chemistry: $Pb_5(VO_4)_3Cl$

Locality: Puzzler mine, Yuma County, Arizona, USA

Source: Dave Bunk Minerals

Owner: RRUFF

Description: Red and green hexagonal prisms

Status: The identification of this mineral has been confirmed by X-ray diffraction and chemical analysis

Mineral Group : [Apatite (55)]

Quick search : [All Vanadinite samples (5)] (www.handbookofmineral.com)

Analyse CrystalSleuth :

Après observation des graphiques Raman des échantillons 10.23 ct et 36.40 ct, nous pouvons déjà conclure que ces deux vanadinites ont une spectrométrie similaire.

Néanmoins afin de déterminer que nous sommes bien face à des vanadinites, nous avons comparés ces graphiques avec la base de données de CrystalSleuth.

D'où nous avons pu comparer les spectres Raman avec deux vanadinites dont les références sont :

- ✓ R050189 provenant d'un gisement de Puzzler mine, Yuma County, Arizona, USA
- ✓ R050376 provenant d'un gisement du Maroc.

A l'issus de cette analyse, il possible de constater que les pics sont similaires, et que les graphiques sont quasi-identiques. Nous pouvons donc conclure à ce stade que les échantillons 10.23 ct et 36.40 ct sont bien des vanadinites.

2. Analyse l'absorption

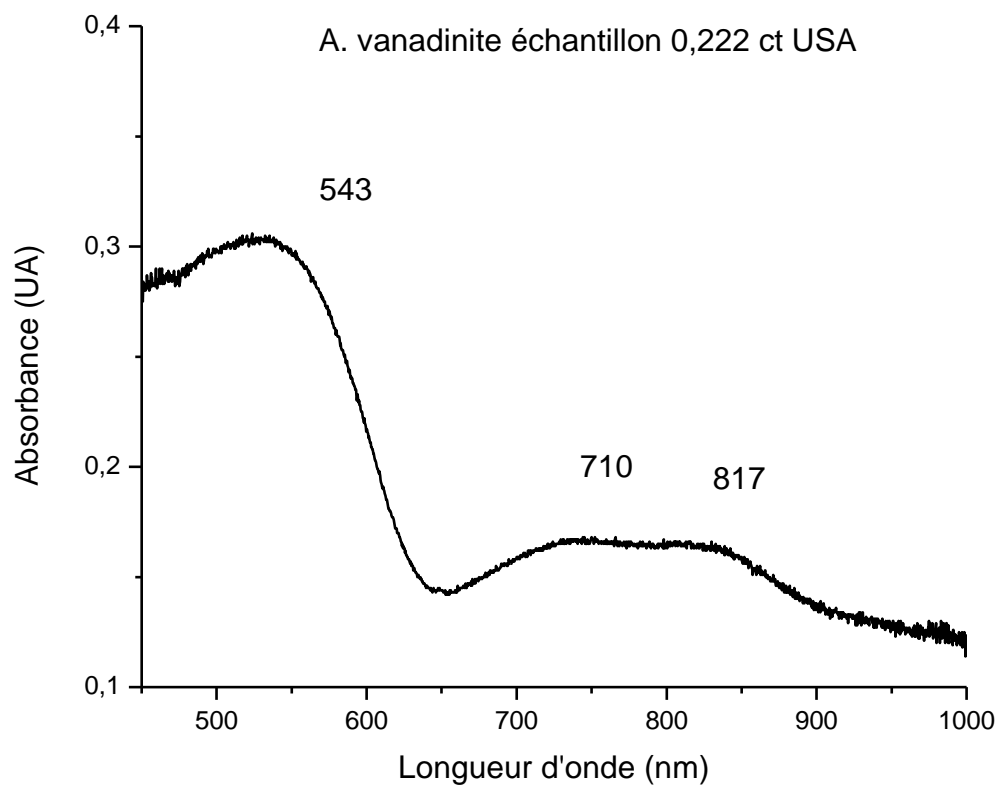


FIGURE 32

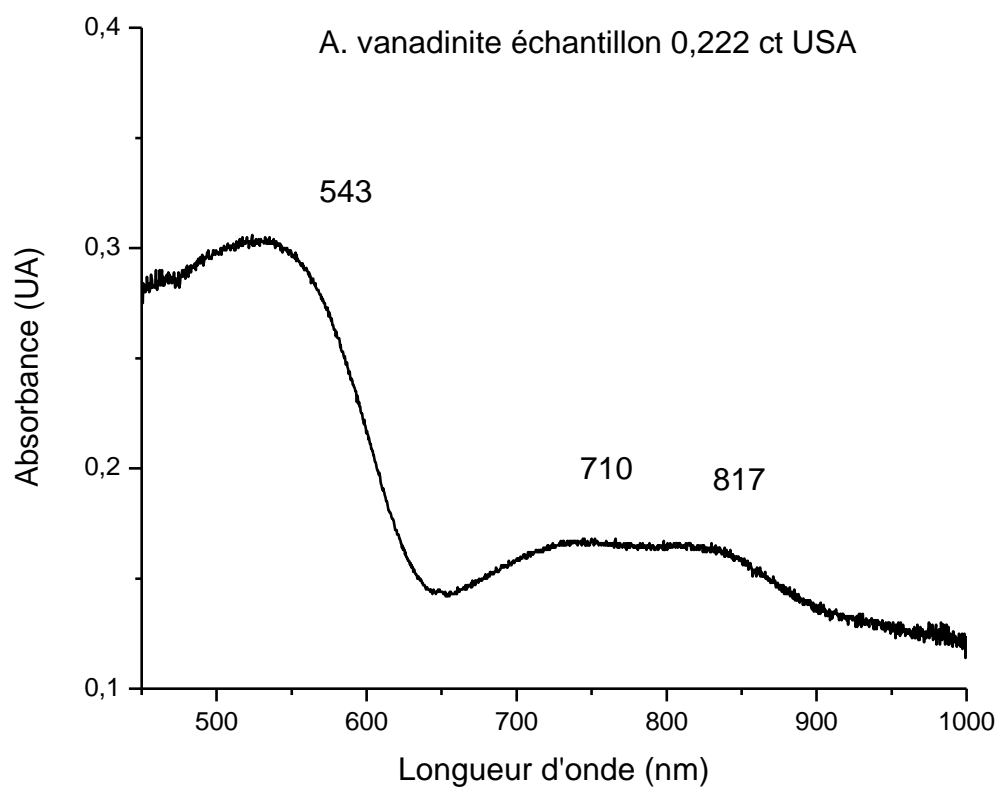


FIGURE 33

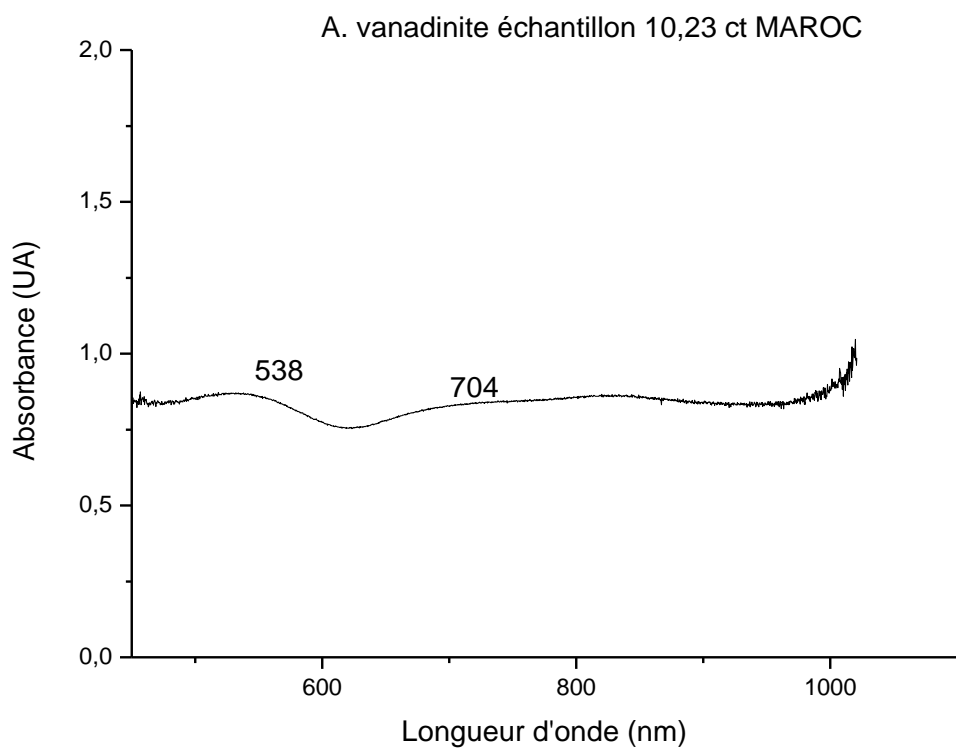


FIGURE 34

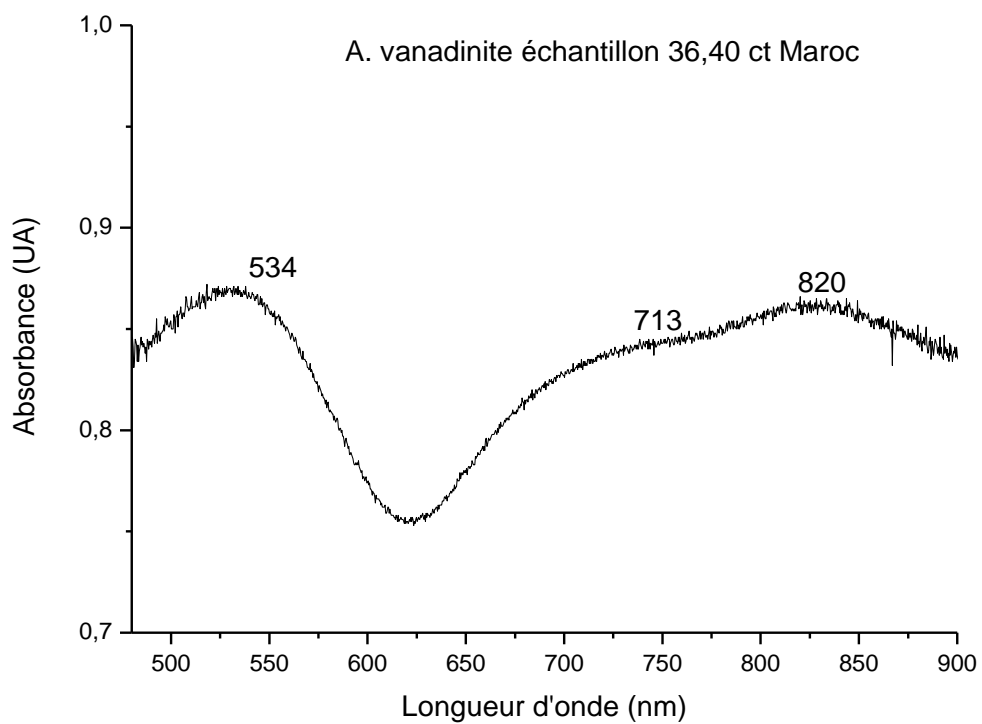


FIGURE 35

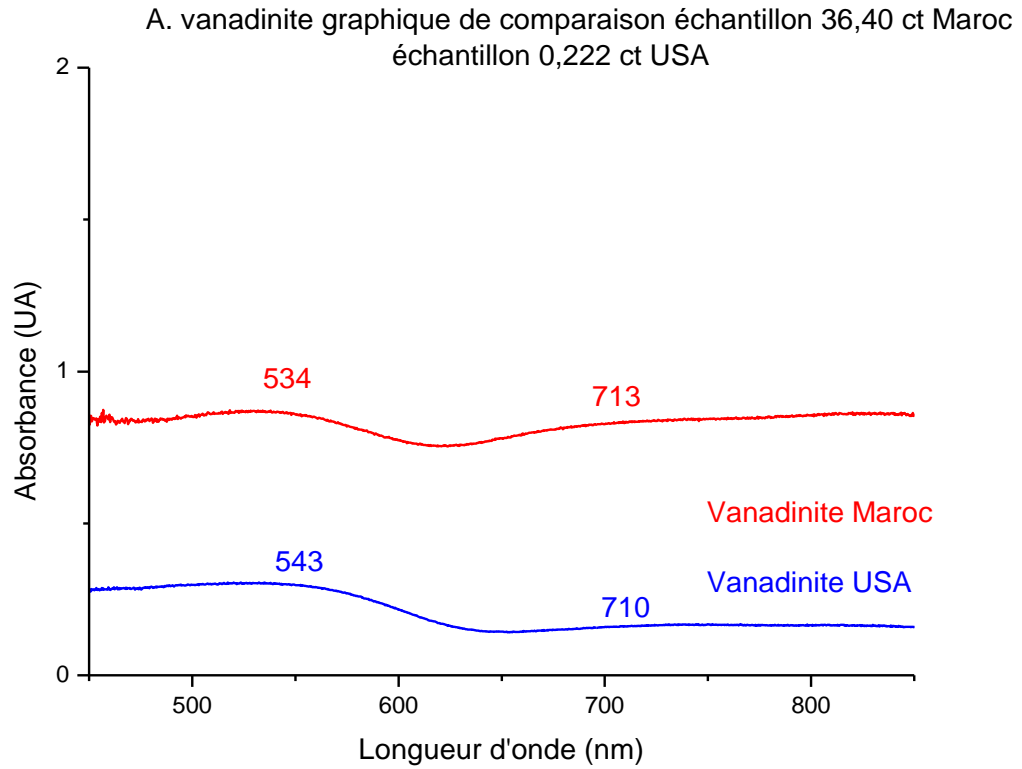


FIGURE 36

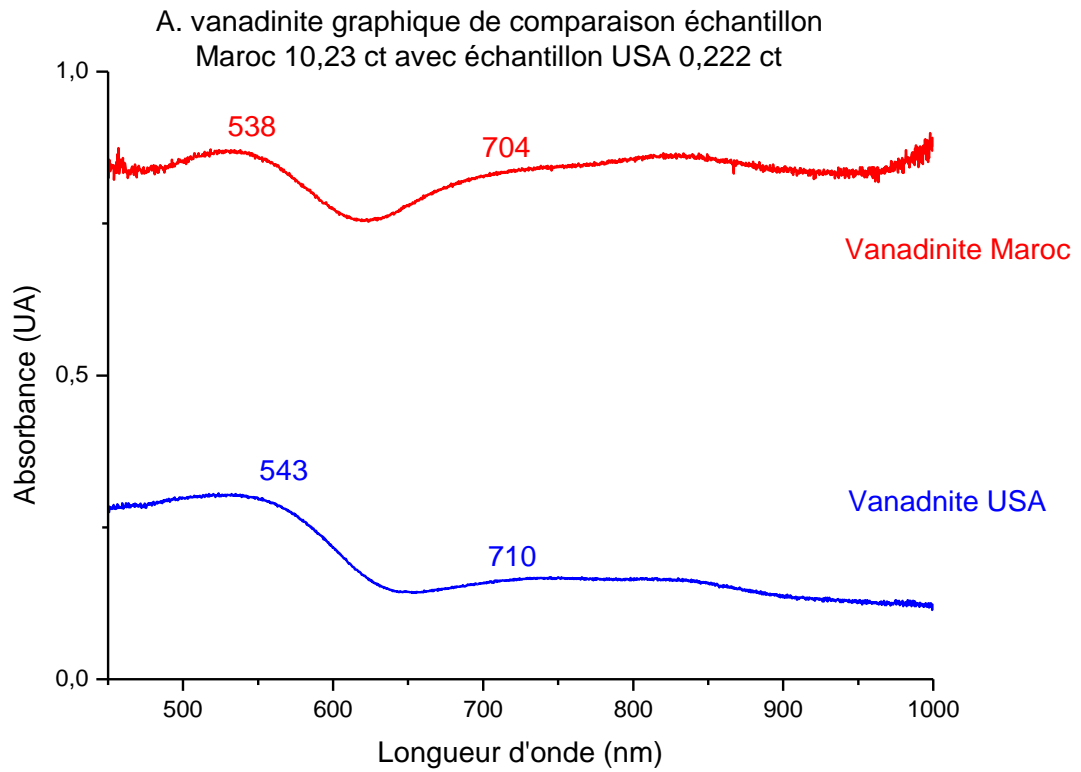


FIGURE 37

Analyse absorption :

Le spectromètre d'absorption permet de mettre en évidence le spectre d'une gemme, en définissant les longueurs d'onde de la lumière visible absorbées par celle-ci.

Ainsi afin d'obtenir un spectromètre d'absorption, nous avons soumis l'ensemble des échantillons à des rayonnements dont la longueur d'ondes appartenant au domaine de la lumière visible

Sur les graphiques présentes, on constate un premier pic identique pour les 3 échantillons,

D'abord à environ 534 nm et 538 nm il absorbe donc dans le vert, puis un second léger pic aux alentours de 704 nm à 710 nm il absorbe donc dans une partie du rouge.

3.Fluorescence

Dans le cas de la vanadinite, on constate l'absence d'élément fluorescent.

4.XRF

Tableau de comparaison XRF échantillon 0,222 ct USA
et échantillon 36,40 ct Maroc

Reading No	349	369	handbook of mineralogy (th)	
Type	Mining	Mining		
Duration	122,84	120,11		
Units	ppm	ppm		
Sequence	Final	Final		
Flags	-3mm	-3mm		
SAMPLE	Vanadinite USA facettées	Vanadinite 36,40 ct	Pb5 (Vo4)3 Cl	Vanadinite Autriche
Ag	187,94	<LOD		
Ag Error	119,85	71,1		
Nb	1205,25	824,3		
Nb Error	208,89	60,51		
As	32910,82	20343,85	Trace	
AsO %	3,53	2,69		
As Error	4972,75	1392,03		
Pb	569316,88	364789,09	78,8	78,07
PbO %	65,72	42,11		
Pb Error	64518,8	16267,59		
Ga	2231,13	1270,62		
Ga Error	612,01	186,73		
Ni	963,58	493,95		
Ni Error	382,82	117,16		
Mn	2069,88	1366,19		
Mn Error	897,01	292,09		
V	46262,97	24302,43	19,06	19,1
V2O5 %	8,26	4,34		
V Error	4442,46	956,08		
P	19387,91	4646,39		0,3
P2O5%	4,44	1,06		
P Error	508,84	166,94		
Cl	20843,01	52601,7	2,5	2,66
Cl O %	2,08	5,26		
Cl Error	1595,3	1506,31		
S	139108,23	19486,9		
SO %	13,91	1,95		
S Error	4801,9	386,57		
CaO	1,4	1,4		0,07
CaO Error	0	0		
Al2O3	1,89	1,89		
Al2O3 Error	0	0		
TiO2	1,67	1,67		
TiO2 Error	0	0		
TOTAL	97,94	57,41	100,36	100,2

Analyse XRF :

Après extraction des données XRF et comparaison avec la base de données Handbook of mineralogy. On constate des variantes plus ou moins importantes.

- ✓ Le PbO pour lequel nous relevons dans nos échantillons 0.222 ct USA un taux de 65.72 % et pour l'échantillon 36.40 ct Maroc 42.11 %, alors que la base de données Handbook nous indique un taux pour l'échantillon « type » 78.8% et l'échantillon Autriche 78.07%
- ✓ Le VO, ou nous notons 8.26% pour l'échantillon 0.222ct USA et 4.34 % pour l'échantillon 36.40 ct Maroc, alors que Handbook of mineralogy détermine un taux respectif de 19.6% et 19.1% (Autriche).

D'autres écarts moins forts sont à relever mais parfaitement intéressants car dans certaines mesures soit elles n'apparaissent pas ou alors en très faible teneur, il s'agit de :

- ✓ De ClO, qui mesure un taux de 5.26% pour l'échantillon du Maroc, alors que l'échantillon 0.222 ct des USA présente un taux quasi similaire à celui de Handbook of mineralogy.
- ✓ Du PO, dans la base de données Handbook l'échantillon type ne relève pas de présence en phosphate, l'échantillon Autriche relevé une très faible teneur de 0.07%, alors que nos échantillons 0.222 ct USA démontré une présence de PO à hauteur de 4.44% et 1.06% pour l'échantillon 36.40 ct Maroc.
- ✓ Nous pouvons souligner le même phénomène pour l'arsenic, dont le taux est de 3.53 % pour l'échantillon 0.222 ct USA et 2.69 % pour l'échantillon 36.40 ct Maroc , est totalement absent des échantillons handbook of mineralogy.

D'ailleurs le total des pourcentages pour les échantillons 0.222ct USA et 36.40 ct Maroc sont très disparates, l'échantillons 0.222 ct USA tend à se rapprocher des 100% avec un résultat de 97.94 %, alors que l'échantillon 36.40 ct Maroc, lui nous informe d'un résultat à peine supérieure à la moyenne avec 57.40%.

Cet écart pourrait être du semble-t-il à plusieurs hypothèses.

- ✓ Hypothèse 1 : Handbook of mineralogy propose des échantillons types dits « propres » qui sert de comparaison.
- ✓ Hypothèse 2 : la vanadinite 36.40 ct Maroc présente pour ce dossier a été extraite de gisement dont d'autres minéraux ont pu être extraits tel que de la baryte, ...et ont probablement dû contaminer ledit échantillon.
- ✓ Hypothèse 3 : celle d'une cristallisation perturbée (soit en surface ou profondeur).
- ✓ Hypothèse 4 : et l'histoire géologique du pays producteur.
- ✓ Hypothèse 5 : la présence d'arsenic, ce dernier est un élément de substitution comme évoqué dans le chapitre III. 1 Cristalochimie : série continue de l'apatite, par conséquent sa présence n'est pas surprenante, dans les gisements du Maroc tout comme ceux des USA, ont

extraits avec la vanadinite, de l'endlicheite, mimétites...qui font partie du supergroupe des apatites et donc de la série continue de cette dernière.

V. Conclusion

Ce que nous pouvons conclure de l'ensemble de nos recherches et analyses est comme suit :

D'abord nous remarquons que la formation et l'histoire géologique sont différentes d'un continent à un autre et d'un pays à un autre.

Cependant l'architecture de la composition chimique de la vanadinite est inchangée

$Pb_5(VO_4)_3Cl$.

Les analyses Raman, absorption, luminescence et XRF, viennent aussi conforter cette hypothèse.

Nous avons vu que les pics des échantillons Raman sont similaires à la base de données de CrystalSleuth, il en est de même pour les pics d'absorption, où nous relevons pour les échantillons des longueurs d'ondes quasi identiques à hauteur environ de 534 nm et 710 nm.

Pour la vanadinite, on constate que les éléments de luminescence sont absents.

Néanmoins, le plus prenant reste l'analyse XRF, où on a pu établir des différences entre l'ensemble de nos échantillons et ceux de Handbook of mineralogy. Cette analyse a pu démontrer, que la formation géologique est différente mais qu'il s'agit bien de la vanadinite, car malgré ces différences nous avons pu dégager les grandes composantes architecturales de celle-ci.

Ainsi, nous pouvons conclure que même si les gisements présentent de caractéristiques différentes, elle n'impacte pas directement la composition chimique de la vanadinite mais seulement sa teneur.

Remerciement

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de ma formation et qui m'ont aidée lors de la rédaction de ce mémoire.

Je voudrais dans un premier temps remercier tout particulièrement, mes professeurs Madame Anne LAURENT, Monsieur Loïc LESCUYER, Monsieur Gérard PANCZER, pour leur patience, disponibilité et surtout leurs judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Je remercie également M. ABDEL ALAOUI, pour son implication et son intérêt et ses précieux renseignements pour avoir assuré la partie théorique de celle-ci.

Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance à **mon époux son Altesse SHREIF MOULAY MEDIH ALAOUI**, pour son investissement, son implication, ses encouragements, ses conseils, il m'a beaucoup appris sur les défis à relever. Il m'a été d'un grand soutien dans l'élaboration de ce mémoire.

Madame Bouchra ETTAHRI, pour avoir relu et corrigé mon mémoire. Ses conseils de rédaction ont été très précieux.

Mes parents, pour leur soutien constant et leurs encouragements.

Références bibliographiques

<http://www.jgeosci.org/detail/JCGS.999>

<https://crystalsymmetry.wordpress.com/2020/01/20/vanadinite/>

<https://crystalsymmetry.wordpress.com/>

<https://ecologie.ma/vanadinite/>

<https://www.geowiki.fr/index.php?title=Vanadinite>

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Vanadinite>

La spectroscopie Raman, une méthode d'analyse minéralogique non destructive pouvant être mise en œuvre in situ — Planet-Terre

Forme cristallographique de l'apatite - Modèle 3D par le Musée de minéralogie et de pétrographie, UAIC (@MineralogyPetrographyMuseum) [63cb9ad] - Sketchfab

[http://webmineral.com/data/Apatite-\(CaF\).shtml#.X6LaZlhKjIV](http://webmineral.com/data/Apatite-(CaF).shtml#.X6LaZlhKjIV)

<https://geology.com/minerals/vanadinite.shtml>

<https://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/MineralData?mineral=Vanadinite>

<https://www.lelementarium.fr/element-fiche/vanadium/>

<https://azuritecompagnie.wordpress.com/les-sites-marocains/midelt-aouli-mibladen/mibladen-vanadinite-cerusite-wulfenite-barytine/>

https://www.persee.fr/doc/bulmi_0150-9640_1881_num_4_9_1679#:~:text=A%20la%20mine%20%C2%ABPrincess%2C%20%C2%BB,avec%20d'autres%20esp%C3%A8ces%20rares.

MERN - Le vanadium : propriétés, usages et types de gisement

https://www.persee.fr/doc/bulmi_0037-9328_1958_num_81_1_5228

<https://www.universalis.fr/encyclopedie/vanadinite/>

<https://www.mindat.org/loc-32960.html>

ANNEXES :

Durant mes voyages au Maroc, j'ai eu la chance de me rendre au gisement de Mibladen, dont voici quelques photos.

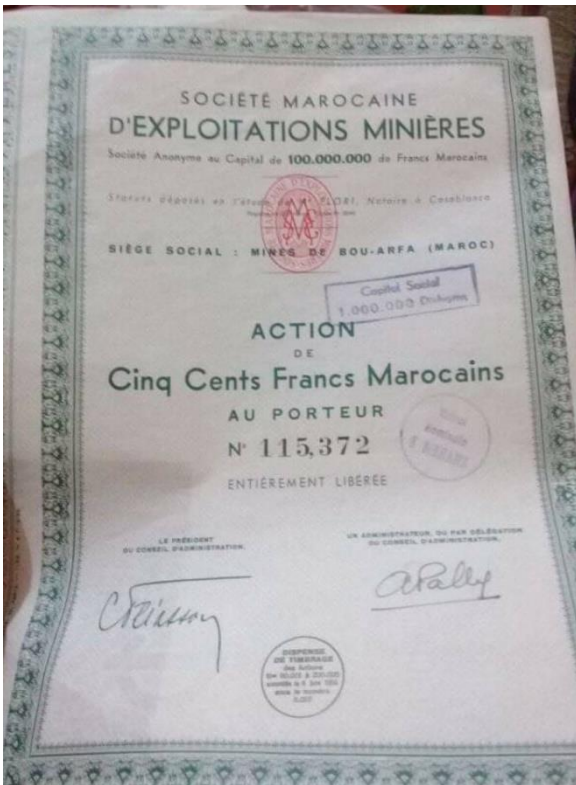


PHOTO TITRE D'EXPLOITATIONS MINIÈRES



PHOTO PLAQUE À L'ENTRÉE DE LA MINE SECTEUR 3'EXPLOITATIONS

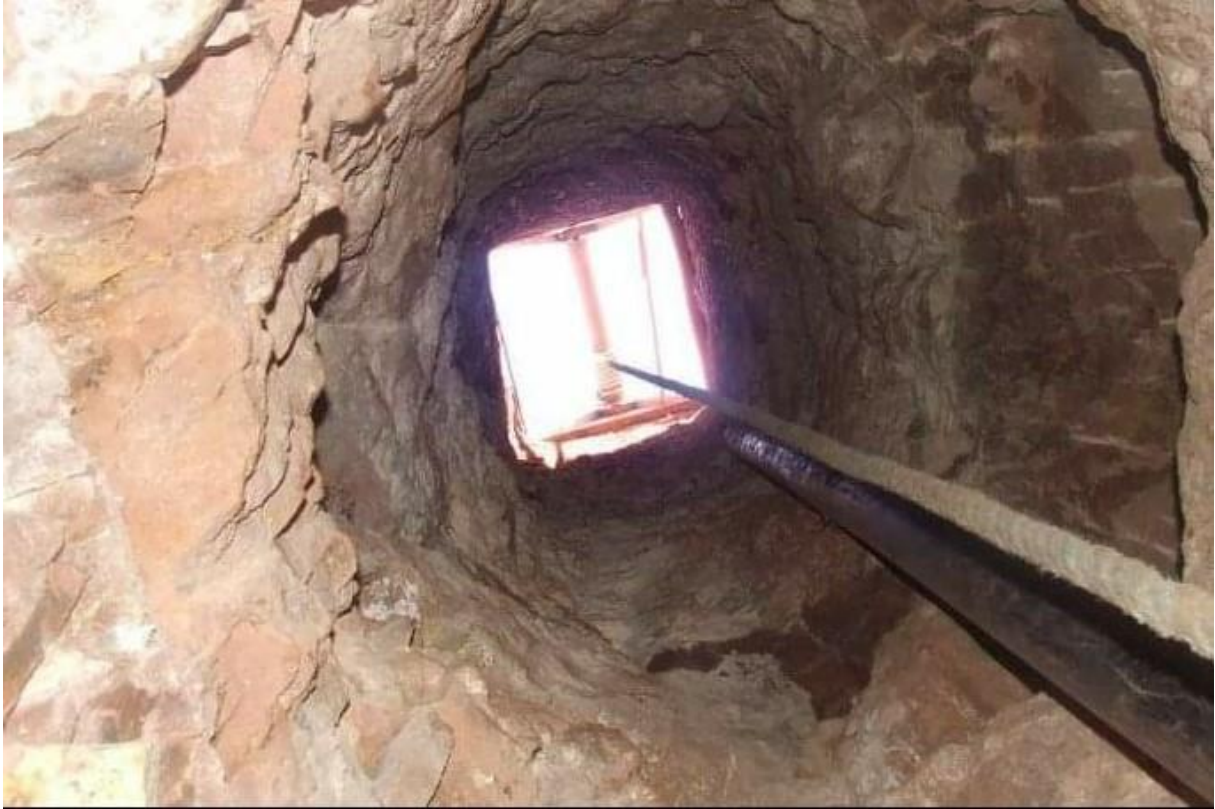
PHOTOS GISEMENT MIBLADEN SECTEUR 3



Abdel Abdel



PHOTOS GISEMENT MIBLADEN SECTEUR 3 : CONDUIT PERMETTANT À L'AÉRATION



PHOTOS GISEMENT MIBLADEN SECTEUR 3 : CONDUITS D'AÉRATIONS



PHOTOS GISEMENT MIBLADEN SECTEUR 3 : CONDUITS D'AÉRATIONS



PHOTO GISEMENT MIBLADEN SECTEUR 3 1 GALERIES



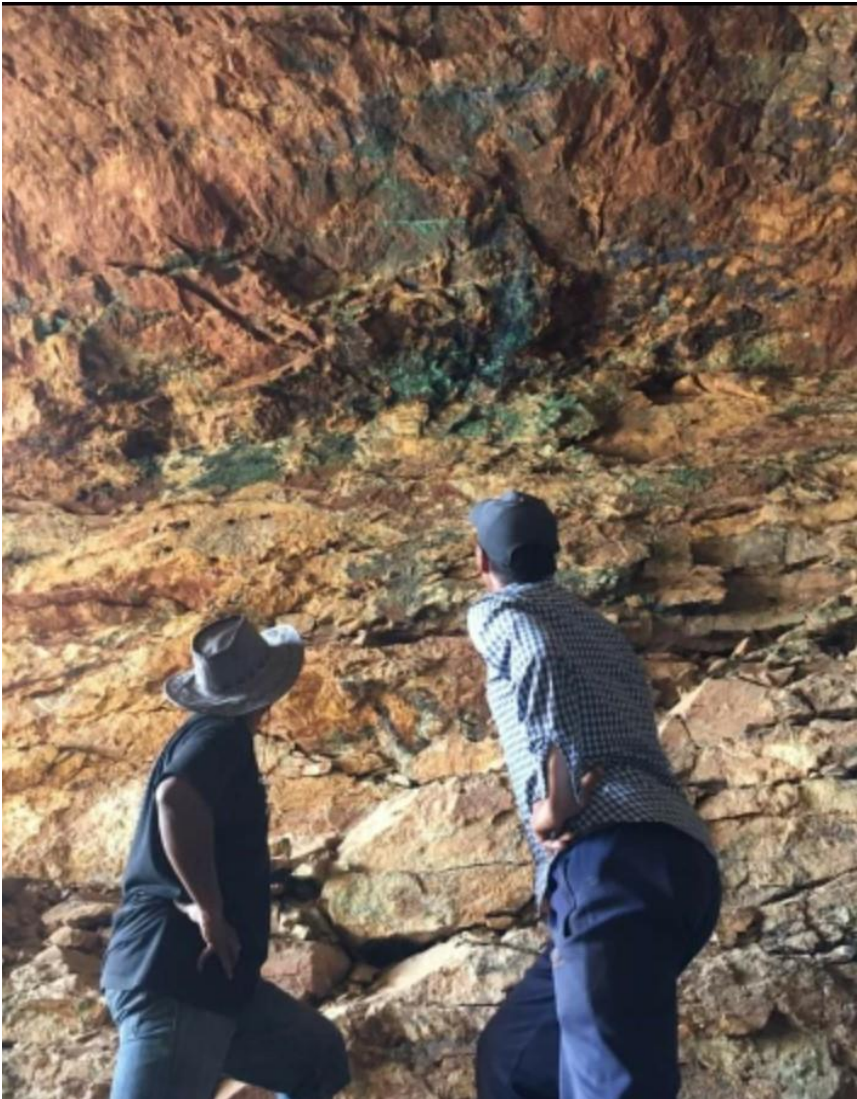
PHOTOS GISEMENT MIBLADEN SECTEUR 3 : FILONS D'AZURITE ET MALACHITE



PHOTOS GISEMENT MIBLADEN SECTEUR 3 : FILONS DE MALACHITE AVEC GYPSE



PHOTOS GISEMENT MIBLADEN SECTEUR 3 : FILONS D'AZURITE, MALACHITE ET GYPSE



PHOTOS GISEMENT MIBLADEN SECTEUR 3 : FILONS D'AZURITE ET MALACHITE



VANADINITE SUR BARYTINE



VANADINITE SUR DE LA BARYTINE



VANADINITE DÉCOUVERT LE 12 DÉCEMBRE 2020 : PHOTO PRISE PAR MONSIEUR ALAOUI GISEMENT MIBLADEN, 1^{ER} ESPÈCE DÉCOUVERT AU MAROC DONT LA COULEUR PEUT FAIRE PENSER « RUBIS DE MONGOK SANG DE PIGEONS »