

La cordiélite, de la gemme au produit industriel

Une pierre qui montrait aux marins la bonne direction ?

C'était le point de départ pour en savoir plus sur cette matière. Les bijoutiers et leurs clients, les scientifiques, les ésotériques, les collectionneurs, les industriels et - peut-être - les marins l'apprécient pour des qualités différentes. Ornement, boussole, remède, fleur minérale, élément réfractaire, ce texte traite ces différents aspects de la cordiélite, en commençant par une présentation du matériau.



Projet du Cours de Base
Kerstin Föge
Laboratoire de Gemmologie, Marseille
2013



Lolite taillée
 Lolite brut – Madagascar, Ihosy
 Cérasite
 Éléments réfractaires



Contenu

1. les noms et leur histoire	4
2. ses propriétés et caractéristiques	4
3. gisements et origines	8
4. la gemme	8
5. les voyages historiques	9
6. ... et spirituels	13
7. de la cordiélite à la cérasite	14
8. une matière première pour l'industrie	15
9. conclusion	16
10. bibliographie, légendes, photos	16

1. les noms et leur histoire

Iolite, du grec "ios" = violette et "lithos" = pierre, 1ère dénomination par A.G. Werner (1749-1817), géologue allemand

Dichroïte, du grec "deux couleurs", Louis Cordier (1777-1861), minéralogiste français qui avait observé deux couleurs de la pierre

Cordiérite, J.A.H. Lucas minéralogiste français, après l'observation d'une troisième couleur il change le nom en 1813 en honneur de L. Cordier

Steinheilite, F.G. von Steinheil, gouverneur de Finlande de 1810 à 1823, découvrait une variété ferreuse à Orijärvi, Finlande

Esmarkite, H. Esmark (1801-1882), vicair et minéralogiste norvégien était le premier à décrire une variété locale

Dans le commerce on pourrait aussi trouver les noms suivants :

"Saphir d'eau" pour des iolites d'une couleur claire

"Luchssaphir", de l'allemand "Luchs" = lynx, en raison de zones de couleur ou des ruses des commerçants

"Iolite- pierre de soleil" ou "blood-shot", variété rougeâtre et/ou scintillante à cause des inclusions ferreuses

"Tanolite", nom commercial crée par Gems TV, rappelant la similitude avec la Tanzanite



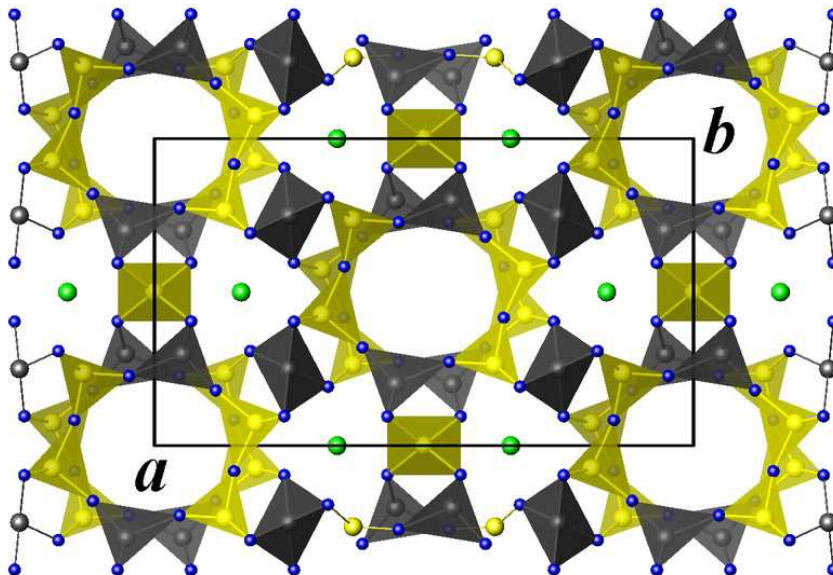
Louis Cordier



F. G. von Steinheil
Source: Wikipedia

2. ses propriétés et caractéristiques

Formule chimique : $[\text{Si}_5\text{AlO}_{18}]\text{Al}_3(\text{Fe},\text{Mg})_2$ c'est un cyclosilicate avec un motif de base à 6 tétraèdres dont 5 $[\text{SiO}_4]$, 3 atomes d'aluminium supplémentaires et une quantité variable de fer et de magnésium. Il peut contenir des impuretés de manganèse, fer, titane, calcium, sodium et/ou potasse. La variété magnésienne est la plus fréquente.



Cordiérite : structure de la molécule vue dans l'axe c

en vert : atomes de magnésium

en bleu : oxygène

les sites tétraédriques en jaune sont occupés par le silicium, ceux en gris par l'aluminium.

Source : Wikipedia

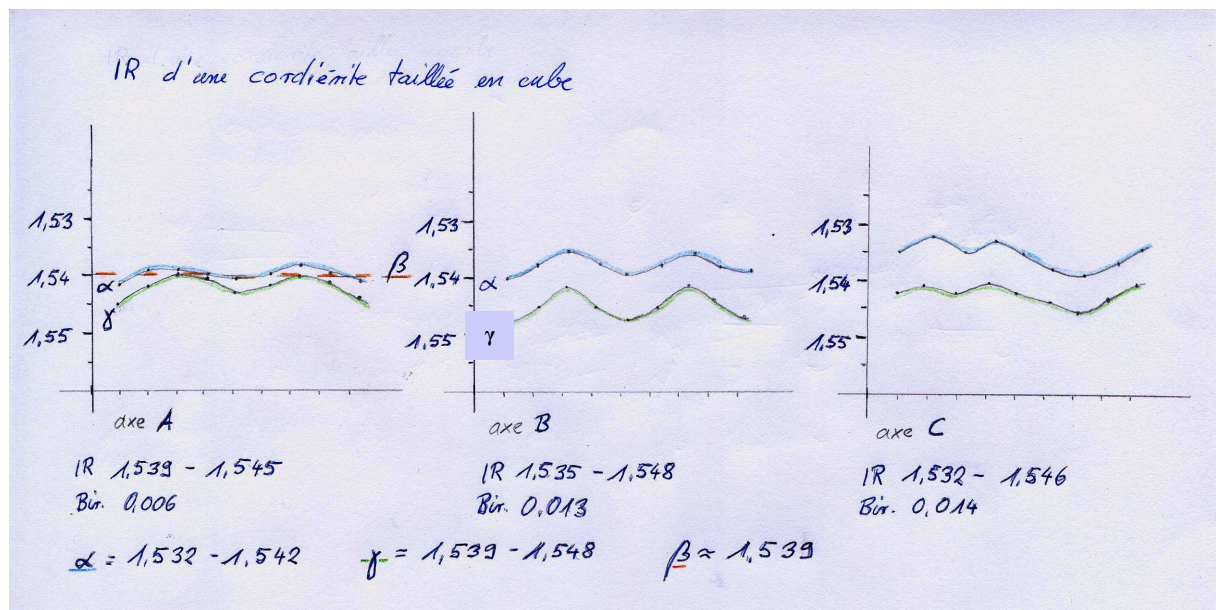
L'iolite est transparente à translucide, son éclat est vitreux, sa dureté est de 7 à 7½ (échelle de Mohs). Ses couleurs sont bleu, bleu-violet, jaune, gris, incolore à bleu très clair à la lumière transmise, verdâtre-brunâtre si elle est altérée.

La cordiérite appartient au système cristallin orthorhombique, les pierres brutes sont souvent des fragments, des prismes courts sans terminaisons, les cristaux bien formés sont rares, mais ce minéral est largement répandu sous forme d'agrégats compacts, massifs, granuleux. Les macles sont simples, en lamelles ou cycliques.

La cassure est irrégulière, conchoïdale. Le clivage est facile parallèlement à l'axe C et difficile dans les deux autres directions.

Sa densité varie entre 2,58 et 2,66 pour la qualité gemme et entre 2,53 et 2,61 pour les agrégats.

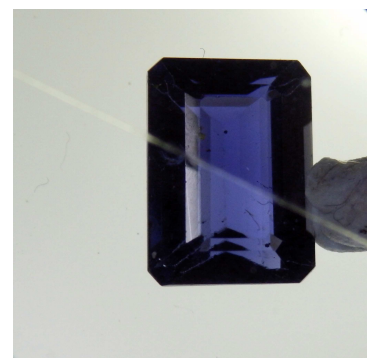
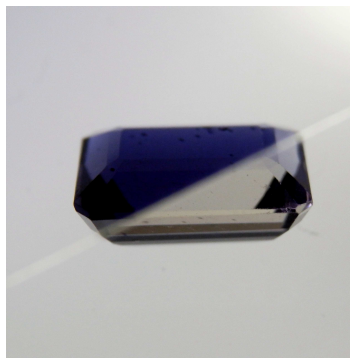
Appartenant au système orthorhombique l'iolite est anisotrope et biaxe, l'indice de réfraction varie de 1,542 à 1,578, le signe optique est souvent négatif, β est plus proche de γ que d' α . La biréfringence est comprise entre 0,011 et 0,018.

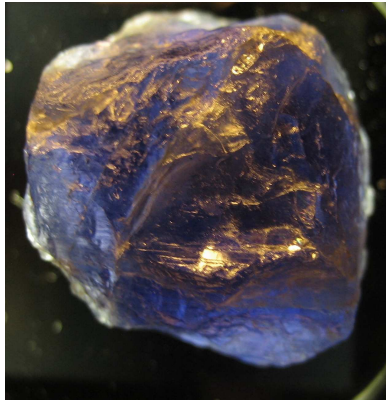


Le pléochroïsme est très fort :

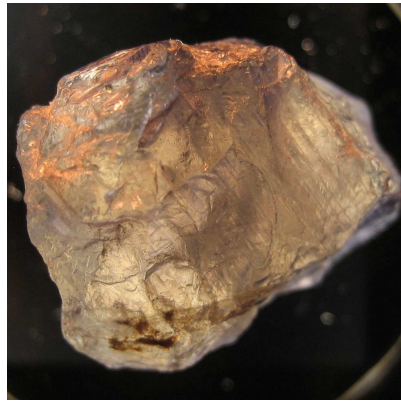
- jaune pâle/bleu-violet
- bleu-violet/bleu clair
- bleu-violet dans la troisième direction

Photo : K. Föge





Bleu-violet
Collection J.-B. Denarié



Jaune pâle



Bleu clair

Le spectre, rarement observable, a 3 bandes dans le violet-bleu (dont 2 plus prononcées), 1 raie dans le vert et 2 bandes dans le jaune.

Les inclusions peuvent être nombreuses :

- minéraux de fer : goethite, magnétite noire, hématite (à l'origine de la couleur "bloodshot"), le fer ayant partiellement remplacé le magnésium
- rutile, minéraux de titane, prismes translucides, rouge-foncé
- mica qui provoque de légères interférences de couleur
- pyrrhothite, dont les formes rappellent des masques vénitiens
- zircon avec halo, avec inclusions de monazite (dans les Alpes), minéral radioactif, avec un halo jaune

- lignes nuageuses qui forment des dessins symétriques (fleurs, étoiles, anneaux), débuts d'une fissuration, altération

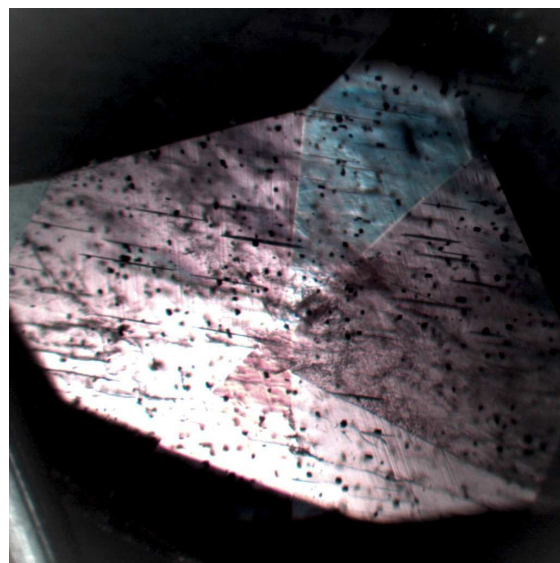
- nombreuses fissures de déshydratation, clivages parallèlement à l'axe C

Les inclusions peuvent provoquer des effets optiques : chatoiement, astérisme, légère aventurinence.

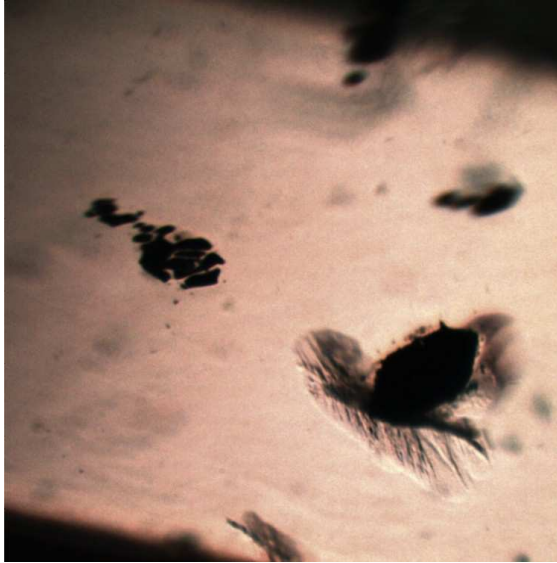
Photos inclusions : K. Föge



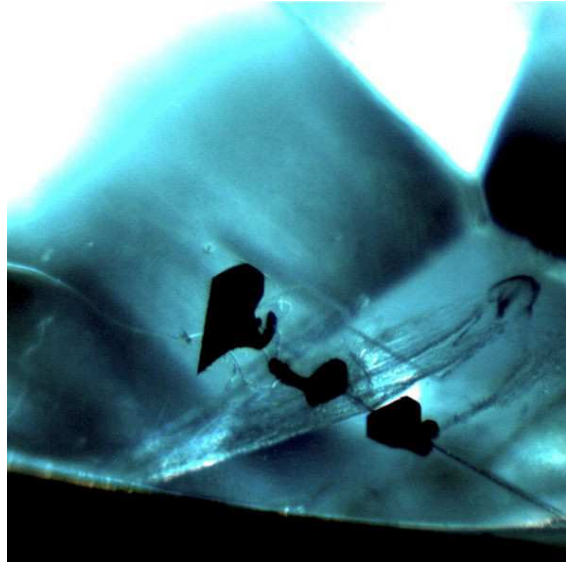
Aventurinence



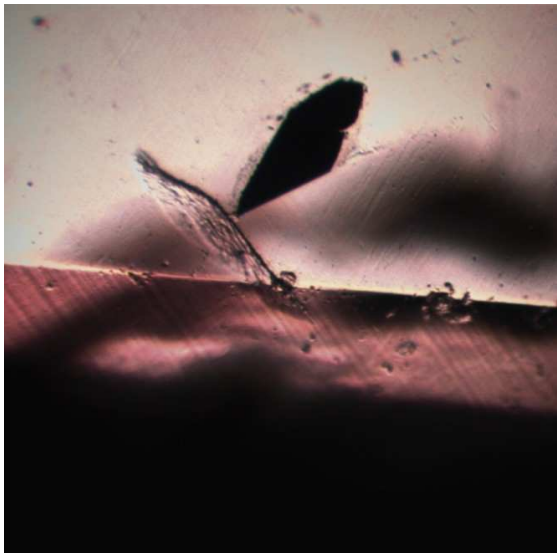
Fissures



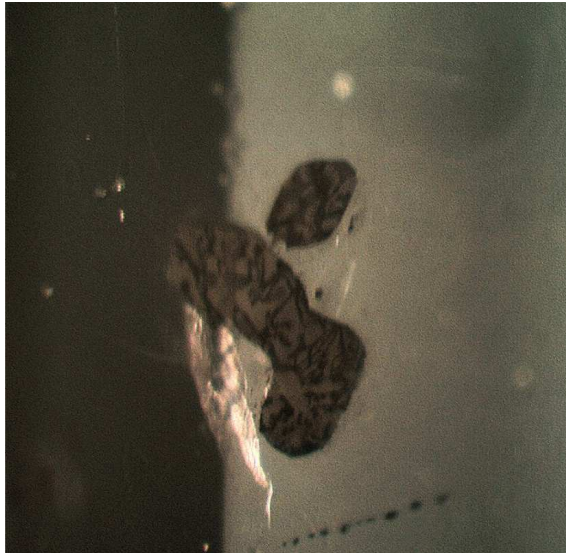
Biotite et Pyrrhotite, « masque vénitien »



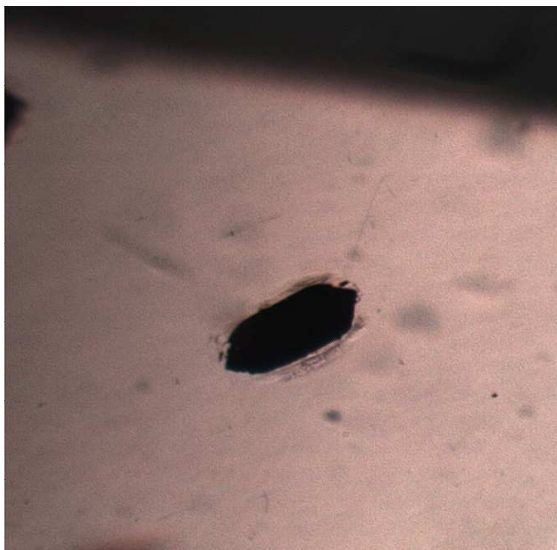
Pyrrhotite



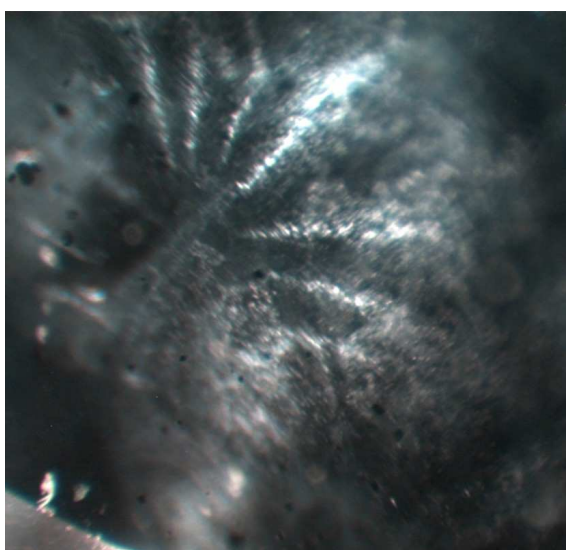
Pyrrhotite ou hématite



Pyrrhotite



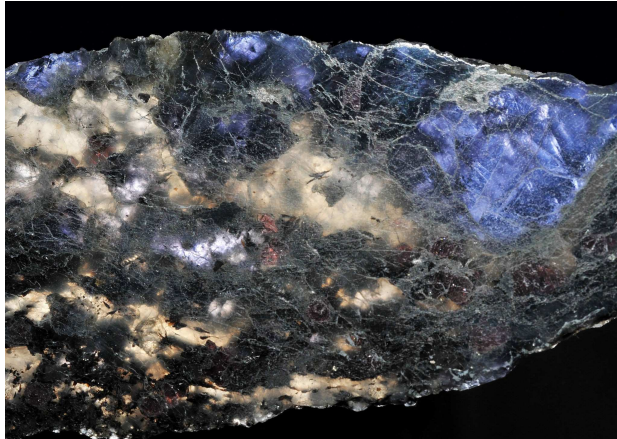
Pyrrhotite ou hématite



Début d'altération du motif symétrique

3. gisements et origines

Les principales sources sont l'Inde, Madagascar, Sri Lanka, Brésil, Norvège, Myanmar. La cordiérite s'est formée à partir des roches argileuses, des sédiments riches en aluminium, par métamorphisme de contact ou régional, dans des zones plus profondes, à haute pression et haute température. Les gisements se trouvent dans les gneiss, schistes, granites, pegmatites, plus rarement dans les roches magmatiques (Alpes italiennes). Les minéraux associés sont les micas (biotite, muscovite), feldspath, grenat, spinelle, hématite, sillimanite, andalousite, parfois pyrrhotite ou corindon.



Norvège
Source Wikipedia



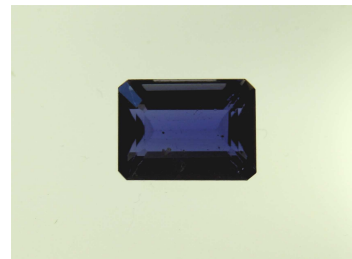
Madagascar

4. la gemme

L'iolite est taillée en facettes, cabochons et billes, les traitements sont très rares, éventuellement les pierres de mauvaise qualité, incolores, fortement fissurées sont teintées avec des colorants organiques.

Pour obtenir la plus belle couleur, bleu, bleu-violet, la table est orientée parallèlement à l'axe C lors de la taille. Sa couleur peut ressembler à celle du saphir, de la tanzanite ou du spinelle, mais l'éclat, la durabilité - et le prix - de ces pierres sont supérieurs à ceux de l'iolite qui est assez fragile, sensible aux chocs mécaniques et thermiques et aux produits chimiques. Un serti très bas, qui tient compte de cette fragilité, empêcherait également de voir la couleur jaune par les côtés.

C'est une belle gemme dont les prix restent très accessibles : jusqu'à 3 - 4 carat, env. 6 à 10 €/ct pour un cabochon et 9 à 18 €/ct pour une pierre facettée. La plus grande iolite taillée, 15,6 ct (Sri Lanka) se trouve au Smithsonian Institution à Washington. La "star de Kragerø", 10,43 ct est taillée dans une des plus grandes pierres brutes et a été trouvée en Norvège.



3,34 ct



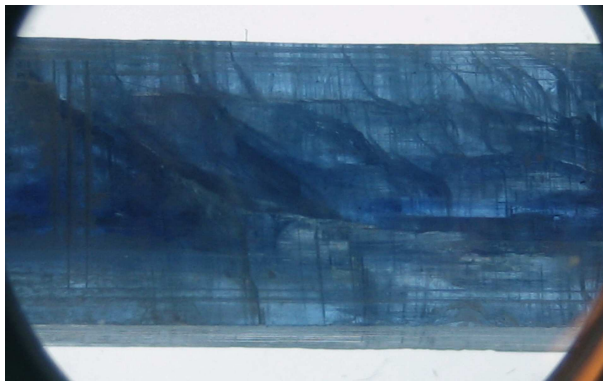
1,46 ct

Si dans le commerce l'iolite est proposée comme une alternative au saphir ou à la tanzanite plus coûteux, la disthène (cyanite) est quelquefois vendue en tant que iolite.

C'est également un silicate d'aluminium, mais triclinique, avec des cristaux colonnaires, une dureté directionnelle importante (4-4½ dans le sens de la longueur, 6-7 dans le sens de la largeur) et un fort pléochroïsme bleu, bleu-foncé, incolore. Le bleu est souvent plus vif que celui de l'iolite, ou teinté de vert ou de brun. Le clivage basal, clivages internes et zones de couleurs sont très nombreux, toujours perpendiculaires à l'axe C. Aux UV, au filtre chelsea, la disthène peut montrer une faible réaction rouge ou grise, suivant la provenance.



Disthène brute



Clivages et zones de couleur

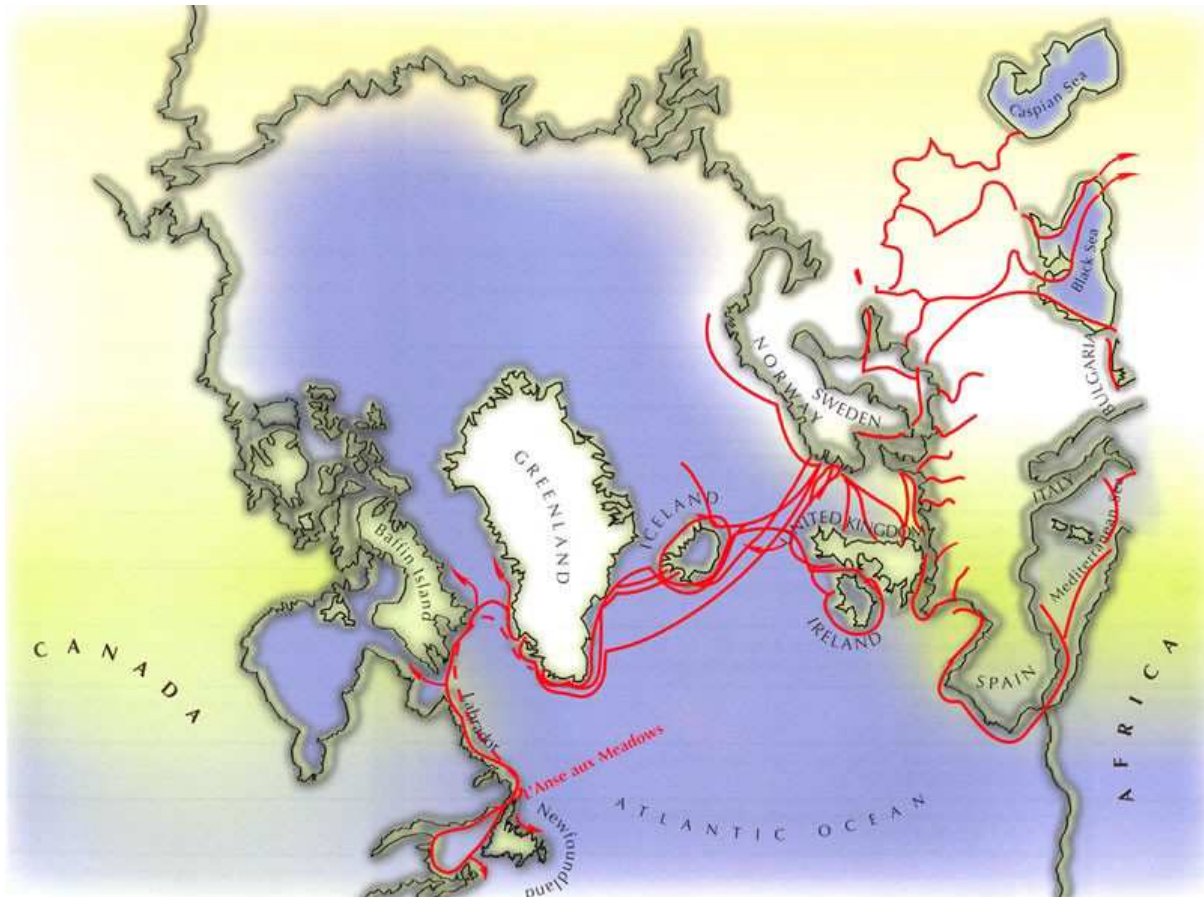


Disthène taillée en cabochon 11,81 ct

5. les voyages historiques

Les Vikings naviguaient entre 750 et 1050 sur les mers avec leurs fameux drakkars. Ils suivaient, en les pillant, les côtes de l'Angleterre jusqu'en Méditerranée au sud et en Russie à l'est, en remontant les fleuves navigables.

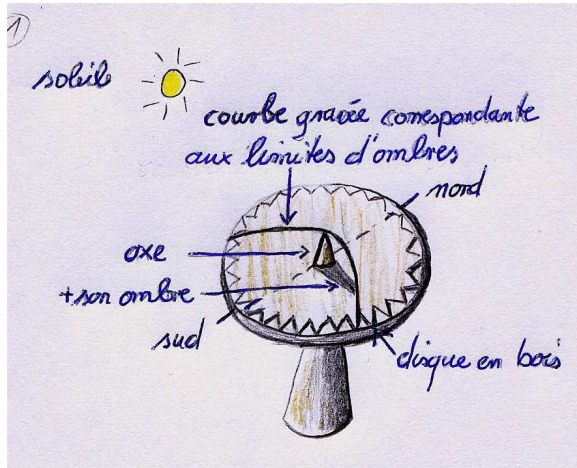
D'abord conquérants barbares, puis colonisateurs, ils devinrent surtout commerçants. Pour coloniser l'Islande, naviguer vers le Groenland puis la côte nord-américaine il fallait affronter la haute mer. L'observation des vols d'oiseaux, des nuages au-dessus des îles, des trajets des baleines, des oiseaux embarqués, puis relâchés, des couleurs de l'eau à l'approche des terres, des changements de températures, de la position de l'étoile polaire et surtout celle du soleil, les aidaient pour s'orienter. La longitude et la vitesse étaient estimées par l'observation de la force et de la direction du vent, de la longueur du sillage. Ces informations étaient transmises oralement ou par des "routiers", planches de bois gravées pendant ou après le voyage. Naviguant à la belle saison, avec peu ou pas d'obscurité, il était important pour les marins de connaître la position du soleil par temps couvert.



Routes des Vikings

Deux outils sont mentionnés dans les récits historiques (sagas et archives de l'église islandaise)
- un compas solaire : disque en bois calibré par un jour ensoleillé avant le voyage en y marquant l'ombre de l'axe central amovible, la direction nord-sud et l'équinoxe : la courbe était valable approximativement 15 jours. Un morceau d'un tel disque, daté de l'an mille, gravé d'une "courbe gnomonique" valable pour la latitude 61° , a été trouvé, en 1948, dans des vestiges vikings du fjord d'Unartoq, au sud de Groenland.

- un "solsteenen", pierre de soleil, décrit comme un objet précieux avec lequel "on pouvait voir la position du soleil dans le ciel" (saga du roi Olav), le même Olav "apprit à trouver le soleil avec la pierre" (Flateryjarbok), et vérifia avec cette pierre les indications de Sigurd qui prétendait voir, à l'oeil nu, le soleil à travers les nuages (Sigurd saga), l'évêque Gudmond donna à Hrafn "un bon cheval, un tissu épais et une pierre de soleil" (Sturlunga saga). La nature de cette pierre n'est pas précisée, mais son utilisation était basée sur la polarisation partielle de la lumière du soleil. Deux pierres fortement polarisantes étaient accessibles aux Vikings, la cordiérite avec un fort pléochroïsme, en Norvège (Kragerø) et en Finlande (Orijärvi), la calcite optique, avec une forte biréfringence, en Islande.

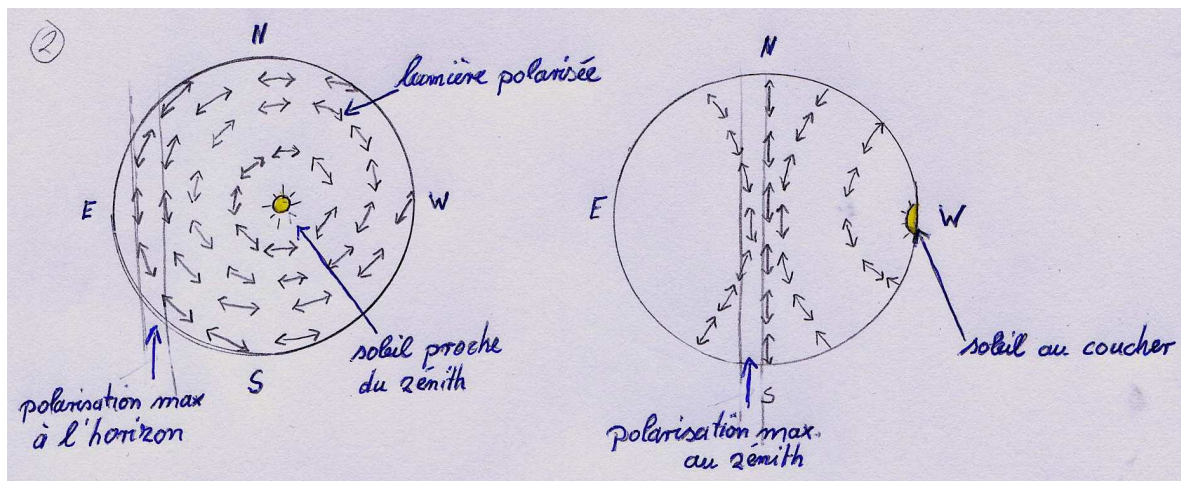


Modèle possible d'un compas solaire

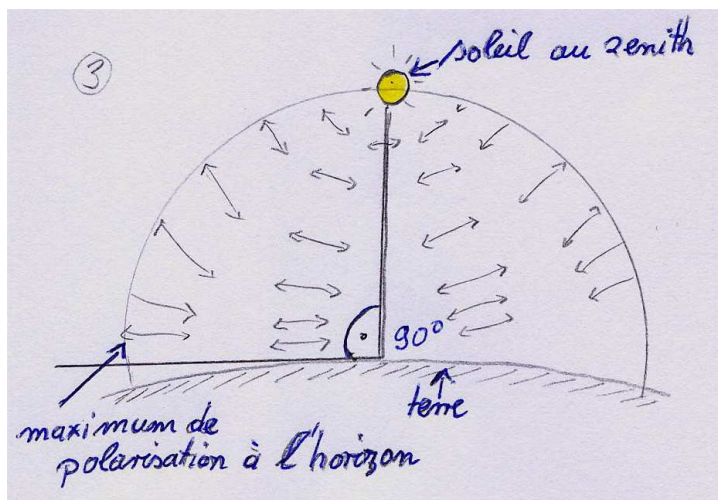


Morceau de disque, Groenland

En général le ciel est polarisé en circulaire autour du soleil. Le maximum de la polarisation est toujours à 90° du soleil, par ex. à l'horizon quand le soleil est au zénith.

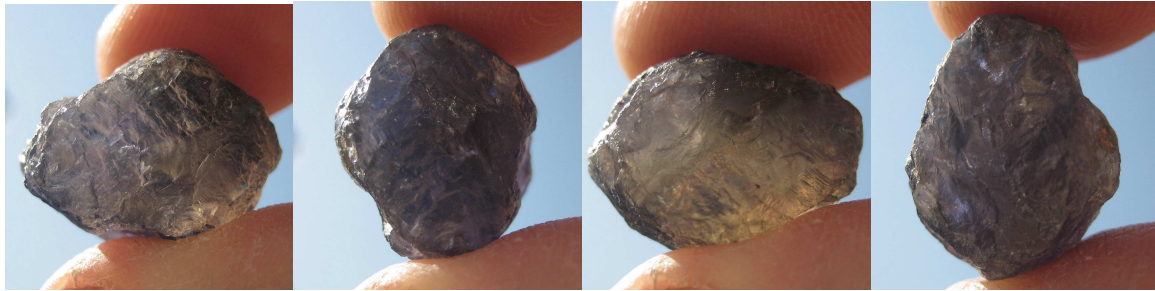


Lumière du soleil partiellement polarisée



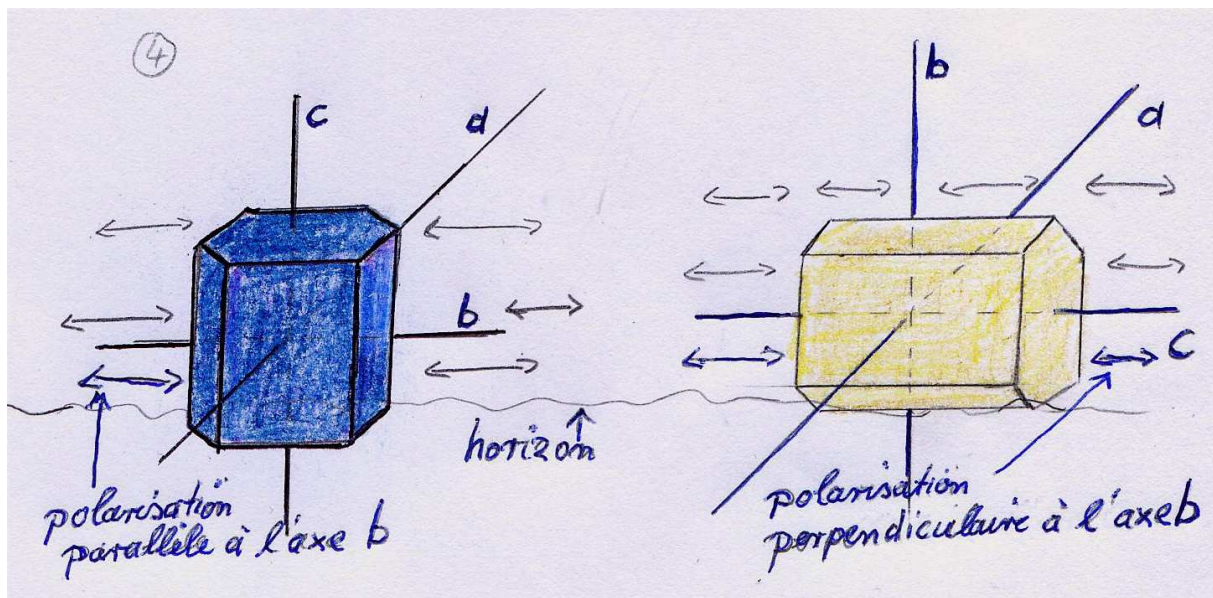
Les couchers et levers de soleil sont très longs en été dans le nord, moments favorables pour l'observation car un ciel jaune, orange, rouge est plus polarisé qu'un ciel bleu. Les ondes bleues, courtes sont plus dispersées que les rouges, plus longues, et la dispersion nuit à la polarisation.

La structure cristalline de la cordiérite polarise et absorbe la lumière différemment selon les directions. Au dichroscope le plus grand contraste, jaune clair et bleu foncé, est observé par l'axe c. Pour déterminer la position du soleil on oriente la pierre, par ex. à midi vers l'horizon, et on la tourne pour trouver la direction dans laquelle on peut observer un changement du jaune au bleu-foncé en effectuant une rotation de 360°. Quand la couleur bleue est la plus prononcée, la direction de la lumière polarisée du soleil est parallèle à l'axe B.



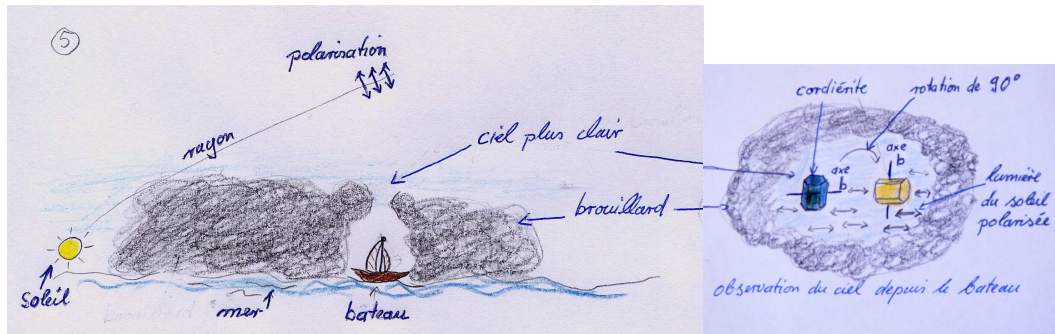
Changement de couleur lors d'une rotation de 360°
Collection J.-B. Denarié

Il faut faire plusieurs lectures pour estimer la position du soleil par un temps nuageux. La cordiérite est souvent fragmentée, sans faces cristallines, pour un usage plus facile elle était probablement calibrée avec le soleil visible, peut-être entourée d'un cadre en bois ou en métal sur lequel on pouvait plus facilement tracer des repères.



Rotation de 90° de la cordiérite

- bleu foncé quand l'axe b est parallèle à la polarisation de la lumière du soleil
- jaune clair quand elle est perpendiculaire à la polarisation de la lumière du soleil



Navigation dans le brouillard, sans soleil visible, estimation de la position du soleil en observant un changement de couleur de la cordiërite si elle est tenue vers un trou dans les nuages.

En 1967, Thorkild Ramskou, un archéologue danois, réalisa une étude pour prouver l'utilisation de la cordiërite.

L. Karlson, un navigateur, préfère l'hypothèse de la calcite optique, prisme avec des clivages parfaits. Il oriente la calcite afin que les deux figures du dédoublement d'une marque en surface, aient la même intensité et se trouvent côte à côte. Le problème d'une estimation (subjective) de l'intensité maximale de la couleur ne se pose pas.

En 2005 Gabor Horvath, biophysicien hongrois, reprend les travaux de Th. Ramskou, il conclut que l'oeil humain n'est pas capable de voir la position du soleil par temps couvert, l'existence du "solsteenen" semble donc possible. Pendant six semaines en mer, il mesure, avec un polarimètre, l'orientation et l'intensité de la polarisation de la lumière : il observe alors que cette polarisation était semblable par un temps ensoleillé ou couvert, mais difficilement détectable par très mauvais temps.

Dans la nature, la lumière polarisée du soleil et les champs magnétiques sont perçus par les abeilles, ce qui leur permet d'indiquer une source de nourriture aux autres abeilles par une "danse codée" où le point de repère est la position du soleil.

En 1851 une pierre pléochroïque, la tourmaline, est utilisée par Nicol pour son prisme, 1935 le premier filtre polarisant synthétique, d'une taille suffisante pour la photographie, est fabriqué.

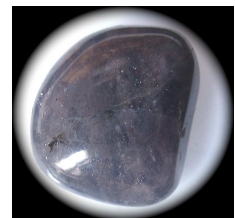
1950 la ligne aérienne scandinave, la SAS, utilise le "sky-compass" ou "twilight-compass", basé sur la polarisation, pour la navigation dans les mers polaires où la boussole magnétique n'est pas fiable.

6. ... et spirituels

La cordiërite est aussi sollicitée pour les voyages spirituels, astraux, l'éveil des facultés extrasensorielles, la clairvoyance, l'intuition. Associée aux centres énergétiques frontal et laryngé elle aiderait à prendre des décisions, réduirait la peur et les tensions nerveuses, inspirerait sécurité et confiance.

Sur le plan physique elle améliorerait le métabolisme, la régénération de l'estomac et des intestins, aiderait dans les traitements de maladies du foie et en cas d'intoxication.

Beauté, transparence, pléochroïsme ne sont plus les principaux critères de choix, l'utilisateur le fait plutôt par l'attirance, la sympathie, le bien-être au contact de la peau. La forme, pierre brute, galet, bille, pyramide, est choisie en fonction de l'effet souhaité ou de l'application prévue.



7. de la cordiérite à la cérasite

La cordiérite est très sensible à l'altération, elle devient gris-noir, gris-vert avec un éclat mat et se transforme en pinite, un agrégat de chlorite et muscovite (mica blanc) ou biotite, c'est une pseudomorphose, la forme initiale est préservée.

Le résultat n'est en général pas très attirant, mais au Japon, à Kameoko, Honshu Island existe une variété appelée "Sakura Ishi" = "cherry bloom" = "fleur de cerisier", d'où "cérasite" du latin "ceras"=cerise, sa structure trappiche évoque une fleur.

Des activités magmatiques (env. - 98 MA) étaient à l'origine des intrusions de granites qui ont transformé, par métamorphisme de contact, les schistes, roches sédimentaires à grains fins, en cornéenne.

Dans cette roche-mère cristallisaient l'indialite, un silicate de magnésium et d'aluminium proche de la cordiérite, hexagonal en forme de sablier, autour duquel cristallisaient six prismes de cordiérite, pendant leur croissance vers l'extérieur la cornéenne était incluse entre les cristaux, formant la structure trappiche.

Suite à une 2ème phase métamorphique hydrothermale, l'ensemble cordiérite-indialite est altéré en muscovite (mica blanc), la délicate et petite structure (5 à 12 mm Ø), la "fleur", est conservée; un hasard qui fait de la cérasite une rareté.

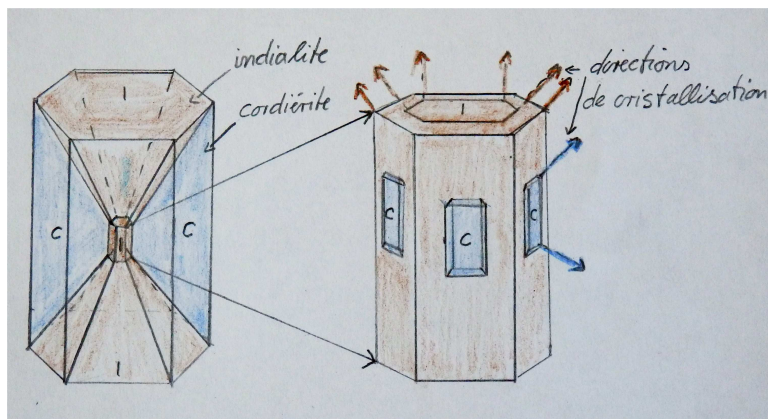
Les cristaux sont libérés par une érosion naturelle de la cornéenne, leur forme extérieure ressemble à un tonneau. Ils ont tendance à se séparer "en tranche" et révéler leur apparence de fleur avec un centre plus ou moins large. Les collectionneurs ou vendeurs les stabilisent souvent avec un genre de colle à bois incolore car la cornéenne est friable. Les couleurs rosâtres, dues à la présence de l'hématite, sont les plus appréciées.



Pseudomorphose en pinite
Collection J.-B. Denarié



Quatre « tranches » de cérasite : le diamètre du centre diminue vers le milieu du « sablier »



Un cristal d'indialite, hexagonal, entouré de six cristaux de cordiérite, orthorhombiques : lors de la cristallisation l'indialite prend la forme d'un sablier



Cérasite : pseudomorphe de la cordiérite-indialite

8. une matière première pour l'industrie

L'industrie emploie la cordièrite naturelle, réduite en poudre et compressée, sous forme de plaques ou de barres, poreuses ou compactées, à 1000°C ou 1300°C. Elle contient MgO=13,8% Al₂O₃=34,8% SiO₂=51,4%.

Moins commune que la silice la cordièrite est appréciée dans l'industrie pour son pouvoir isolant, ses faibles pertes diélectriques, sa résistance aux agents chimiques et à la chaleur, sa stabilité et sa précision de forme.

	cordièrite gemme/min éral	cordièrite poreuse	cordièrite à 1000°C	cordièrite à 1300°C	mullite
composition chimique	[Si ₅ AlO ₁₈]Al ₃ (Fe,Mg) ₂	MgO SiO Al	MgO SiO Al	MgO SiO Al	3Al ₂ O ₃ 2SiO ₂
dureté	7 - 7½	-	5½	7½	1
densité	2,53 à 2,66	> 1,90	2,40	2,50	2,55
porosité %	1,5 - 2	< 20	0 - 0,5	0 - 0,5	16
prise de l'eau %	1,5 - 2	-	0 - 0,5	0 - 0,5	-
température max. d'emploi	-	1200°C	1100°C	1400°C	1700°C
conductivité thermique 100°C W/mK	-	1,3 - 1,8	1,7	2,2	0,8
coeff. de dilatation 20-1000°C 10-6/K-120- 600°C 20-1000°C	-	4 à 6	2,9 à 3,6	6 à 8 4 à 10	5,5
résistance à la corrosion à 20°C	faible	-	bon	bon	très bon
résistance aux bases à 20°C	faible	-	bon	bon	-

Grace à sa structure homogène elle s'usine avec de l'outillage standard (sciage, fraisage, perçage, tournage), en particulier pour des prototypes, sa faible dilatation thermique est avantageuse pour des séries de pièces aux tolérances très serrées.

L'industrie céramique l'utilisé ce matériau réfractaire avec une faible conductivité thermique comme support de cuisson ou comme matière première, par ex. le grès à feu à la cordièrite pour la fabrication (température de la cuisson 1200-1240°C) des plats à four.

La cordièrite peut être un composant des céramiques de verre, par ex. tables de cuisson, ou être associée à la mullite, un aluminosilicate, qui possède une bonne résistance mécanique à hautes températures et est moins coûteuse. Plus résistante que la chamotte, autre matière réfractaire, les supports en cordièrite émaillée ne fissurent pas et sont utilisables avec toutes les sources de chaleur : grills électriques, feux au charbon de bois, braises, poêles en faïence, cheminées, cuisinières.



Support utilisé par les potiers pour la cuisson

9. conclusion

La cordiérite en qualité gemme, translucide à transparente, fait sans doute partie des pierres utilisables comme filtres polarisants. Son rôle historique en tant que pierre de navigation des Vikings est controversé, les rares textes qui mentionnent le "solsteenen" ne précisent pas sa nature ni les limites météorologiques de son emploi.



10. bibliographie, légendes, photos :

page 1 http://www.armae.com/blog/wpcontent/uploads/2011/09/tapisserie_bayeux1.jpg

page 2 kilnfurniture

page 10 <http://raidsvikings.wordpress.com/>

page 11 <http://www.viking.no/e/travels/navigation/e-instru.htm>

Merci aux soutiens et aux sources :

Agata Cristol, Laboratoire de Gemmologie, Marseille

Daniel Gueneau, Président société de Minéralogie et Paléontologie Dijonnaise

U. Henn, C. Milisenda, Edelsteine und ihre künstlichen Eigenschaftsveränderungen, 2005, Deutsche Gemmologische Gesellschaft

W. Schumann, guide des pierres précieuses, guide des pierres et minéraux

P. Bariand, Larousse des pierres précieuses

K.F. Chudoba, E.J. Gübelin, edelsteinkundliches Handbuch

Dictionnaire des roches et des minéraux, éditeur Albin Michel

M. Bräunlich, www.kristallin.de

mindat.org

geminterest.com

cadrans-solaires.pagesperso-orange.fr

association Dreknor 40 rue Louis Philippe 50100 Cherbourg

etimage.com/viking

nordskip.com

newark.osu.edu

final-materials.com

Th. Chotard, caractérisation de l'endommagement de réfractaires cordiérite-mullite à haute température

Ets Solargile, 89520 Moutiers en Puisaye, don des "pins" réfractaires

© K. Föge 2013