Année 1998

Diplôme d'Université de Gemmologie

présenté
devant l'Université de Nantes
U.F.R des Sciences et des techniques
par
M. Luc Genot

Les pierres de lune bleues de Meethiyagoda

Sri Lanka

soutenu publiquement le 14 décembre 1998
au département de Géologie
devant la commission d'examen composée de :

M. B. LASNIER, Professeur à l'Université de Nantes	*Président*
M. E. FRITSCH, Professeur à l'Université de Nantes	*Vice-Président*
M. S. LEFRANT, Professeur à l'Université de Nantes	*Examinateur*
M. J. GIRARDEAU, Professeur à l'Université de Nantes	*Examinateur*
M. J-P GAUTHIER, Professeur à l'Université de Lyon	*Examinateur*
M. M. SPIESSER, Maître de Conférences à l'Université de Nantes	*Examinateur*
Mr Ph. MAITRALLET, Directeur du Service Public du Contrôle des Diamants, Perles, Pierres Précieuses et Fines de la CCI de Paris	*Examinateur*

Quelle est la pierre rare
qui caressée du regard,
invite sans trêve
aux plus beaux des rêves ?

B. Marsin, 1997

Table des Matières

Avant-propos p 3
Introduction p 4

Chapitre I : CARACTERISTIQUES des PIERRES de LUNE de MEETHIYAGODA

Aspect Géographique
Localisation p 7
Cadre géographique et géologique p 10

Aspect Géologique
Formation p 13
Profil vertical de Meethiyagoda p 15
Diagrammes des phases (Pierre de lune – magma) p 16
Géochronologie p 18
Prospection p 21

Aspect Minéral
Description p 23
Morphologie p 24
Classification p 26
Structure Chimique p 28
Composition Chimique p 29

Aspects physiques

Diffusion de la lumière p 33
Phénomène d'adularescence p 35
Traitement Thermique p 37
Luminescence (UVC-UVL) p 40
Spectroscopie Raman p 43
Microscope électronique à balayage (MEB)
Imagerie p 48
Microscope électronique à balayage (MET)
Imagerie p 49
Diffraction électronique

Chapitre I I : L'IDENTIFICATION

La distinction des PL des autres gemmes *p 57*
Observation des inclusions au microscope optique *p 59*

Chapitre I I I : La COMMERCIALISATION

Classification des couleurs des PL bleues *p 64*
Techniques de taille *p 66*
L'évaluation *p 68*
Le négoce *p 69*

Chapitre IV : DISCUSSION *p 71*
CONCLUSIONS *p 72*

Chapitre V : ANNEXES

Fiches minéralogiques *p 76*
Cristaux et Macles *p 81*
Tableau résumé des feldspaths alcalins *p 82*
Altération des feldspaths *p 83*
Vocabulaire *p 85*
Etymologie *p 91*
Chronologie *p 93*
Microscope électronique à transmission (MET CM30) *p 94*
Autres gisements de PL au Sri Lanka *p 95*
Pierres de lune et Civilisations *p 97*

Bibliographie *p 104*

Avant-propos

Négociant en pierres taillées, je me suis rendu au Sri Lanka où au cours du temps quelques courtiers en pierres de couleurs et moi avons lié une grande amitié. Certains de ces courtiers me présentèrent de nombreux gisements dont celui de Meethiyagoda.

Désirant approfondir mes connaissances en gemmologie, je suis la préparation du Diplôme d'Université de Gemmologie (DUG) dans le cadre des formations continues à l'Université de Nantes.

Il m'a semblé intéressant de choisir les pierres de lune (PL) comme sujet du DUG car la littérature « gemmologique classique » récente décrit fort peu ce groupe de feldspaths mis à part deux articles publiés par Harder dans le Journal of Gemmology of Great Britain.

Ce travail a pu être réalisé grâce aux conseils et à l'appui matériel de tous ceux qui m'ont aidé durant ces quinze mois. Je tiens à remercier tout particulièrement le Professeur Lasnier et le Professeur Fritsch pour leurs précieuses recommandations et leurs encouragements.
S'il m'a été possible de présenter des clichés réalisés au microscope électronique à transmission (MET) c'est grâce à la bienveillance et aux explications de Madame Anne-Marie Marie et aux développements des négatifs par M. Gits.
Je remercie également M. J-M Cantagrel de l'Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand pour la datation d'échantillons de PL.

Je tiens aussi à remercier tout spécialement M. Hanon David, M. Hanoteau Yves et M. Garbusinki Stanislas pour leurs nombreux conseils, explications et commentaires, M. Eric Faulques qui s'est chargé de me fournir de nombreuses publications ou articles et de réaliser les spectres Raman.

Je remercie aussi le Dr Mandel Professeur de Physique à l'Université Libre de Bruxelles pour les informations communiquées, le Professeur Overlau, Directeur du Département de Géologie des Facultés Universitaires de Notre-Dame de la Paix à Namur pour ses conseils et la réalisation de photos au microscope pétrographique, M. Andy Pratt qui me fit parvenir des extraits de publications concernant les PL, M. Serge De Moor et M. Jule pour leurs encouragements et le prêt de four lors du traitement thermique des échantillons, Mme Bracewell et M. Baldy J., M. Bahri-Hautem pour l'envoi d'échantillons, M. Jasper May pour les correspondances échangées en Angleterre, M. Vanden Bosh pour la souplesse accordée dans les horaires à l'Infac et M. Marikar pour son enseignement pratique du négoce des gemmes.

Introduction

Les feldspaths sont un des principaux constituants des roches de l'écorce terrestre.

Cinq principales variétés de feldspaths peuvent se présenter sous forme de gemmes :

- *la labradorite*
- *l'amazonite*
- *l'orthose d'Itrongay*
- *la pierre de soleil (oligoclase)*
- *la pierre de lune*

La complexité de leur composition, de leur structure chimique, et de leur mode de formation laisse apparaître de nombreuses zones d'ombres et ce malgré un grand nombre de travaux dont ils ont fait l'objet.

En 1864, Tschermak définit les trois principaux pôles qui délimitent la famille des feldspaths : le potassium, le sodium et le calcium. Ces pôles correspondent à l'orthose, à l'albite, et à l'anorthite.

Ses membres qui se situent dans la série solide entre $NaAlSi_3O_8$ (albite) et $KAlSi_3O_8$ (orthose) sont appelés des feldspaths alcalins, potassiques ou sodi-potassique.
Les pierres de lune (PL) appartiennent à cette série. Les membres se trouvant dans la série entre $NaAlSi_3O_8$ et $CaAl_2Si2O_8$ sont appelés plagioclases. (Moine, 1995)

Suivant les conditions de formation, on distingue 3 « variétés » de l'albite ($NaAlSi_3O_8$) et 3 « variétés » de l'orthose ($KAlSi_3O_8$) que l'on dénomme 'albite' et 'orthose' au sens large (SL) *ou bien sous le nom des variétés : albite, analbite, monalbite, orthose, microcline, sanidine, anorthoclase au sens strict* (SS).

Ce mémoire présente en 5 chapitres les caractéristiques principales des PL (pierres de lune) du gisement de Meethiyagoda.

Le but initial du travail consistait à présenter un rapport à caractère général concernant les PL de ce gisement (par une actualisation des différents travaux effectués sur les PL de Meethiyagoda et des feldspaths alcalins) et la mise en évidence du lien qui existe entre la beauté de cette gemme (l'adularescence et la diffusion de la couleur bleue) et ses propriétés microscopiques.

Chapitre I :

Caractéristiques des Pierres de Lune de Meethiyagoda

(Sri Lanka)

Iere partie

Aspect GEOGRAPHIQUE et Cadre GEOLOGIQUE de Meethiyagoda

Ancien puits abandonné "régulièrement" squatté **A**
Par la nature fragile du sol, les puits doivent être fortement consolidés par des rondins.

Localisation

Meethiyagoda se situe[1] près de Galle au Sri Lanka. Galle est une ville côtière à une centaine de kilomètres au sud de Colombo. Le village de Meethiyagoda est à quinze kilomètres à l'intérieur du pays.

Les pierres de lune (PL) bleues de ce gisement sont réputées pour leur couleur et leur pureté.

Vers 1905, les premiers fragments de PL furent découverts par des cultivateurs de riz à Meethiyagoda (Spencer, 1930).

Quatre compagnies y prospectent officiellement sur une aire de 4068 m² *(Harder H., 1992)*. Quelques anciens puits abandonnés sont sporadiquement «squattés » (photos A et C). *Sur le gisement, des sols de couleur brun-clair sont «l'indicateur » de la présence de PL (photo C). Au fur et à mesure que le puits est creusé, une pompe exhaure l'eau (photo B).*
Les «graviers » sont récoltés puis nettoyés pour finalement en séparer les PL (photo D et E).

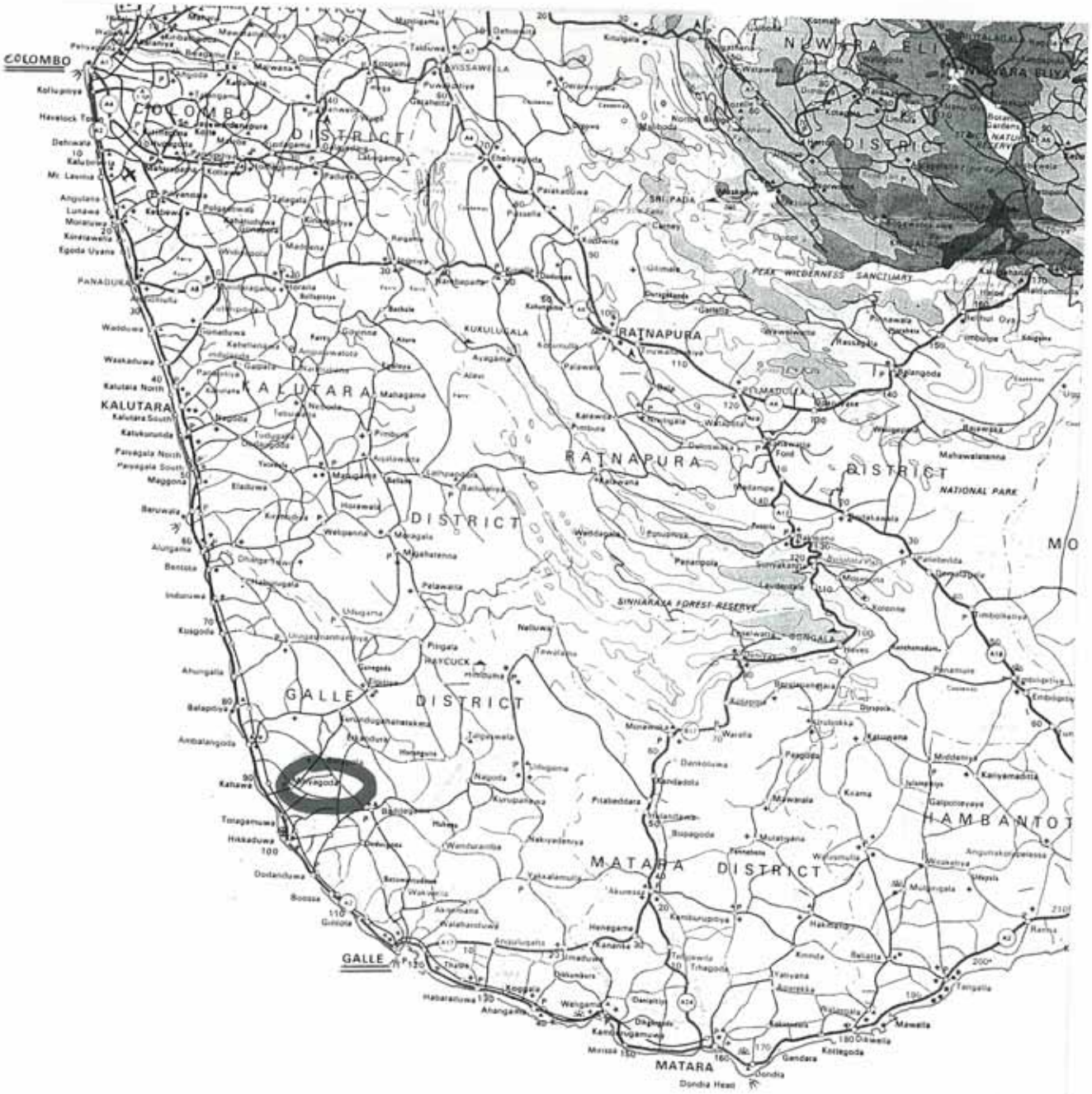
Pl. 1

Préparation d'une pompe pour dégager l'eau infiltrée dans un puits **B**

[1] Suite aux problèmes de guérilla menés par les séparatistes, les cartes d'état major ne sont plus publiées.

Détail de la zone encadrée

(Road Map of Sri Lanka, Survey Department, 1994).



Pl. 2

Des sols de couleur brun-clair sont «l'indicateur » de la présence de PL **C**

L'illam récolté est nettoyé dans un panier plat en osier ou fin tamis. **D**

Cadre géographique et géologique

Le Sri Lanka est un des « fragments » de l'ancien continent appelé Gondwana.
Avec l'Inde, ils se trouvent sur la même plaque continentale.

De façon générale, l'on peut dire que le relief du Sri Lanka est établi sur une structure « simple » car la plus grande superficie de l'île est occupée par un socle de terrains anciens dont l'essentiel est composé de roches métamorphiques.
La grande majorité des sols de l'île (schistes et gneiss) date du Précambrien[1].

Le Sri Lanka a connu de nombreux mouvements tectoniques dont des plissements et soulèvements qui fracturèrent ses roches.

Le Nord est formé de calcaires du Miocène. Le Sud-Est et le Nord-Ouest sont formés de schistes et de gneiss (peu résistants à l'érosion). Le centre de l'île est soulevé par des cassures gigantesques

Le gisement de Meethiyagoda se situe dans la partie Sud-Ouest de l'île qui est considérée comme zone humide car annuellement près de 1800 millimètres «arrosent » cette région.
La température tropicale ne varie que très faiblement au cours de l'année *(Universalis, 1995).*

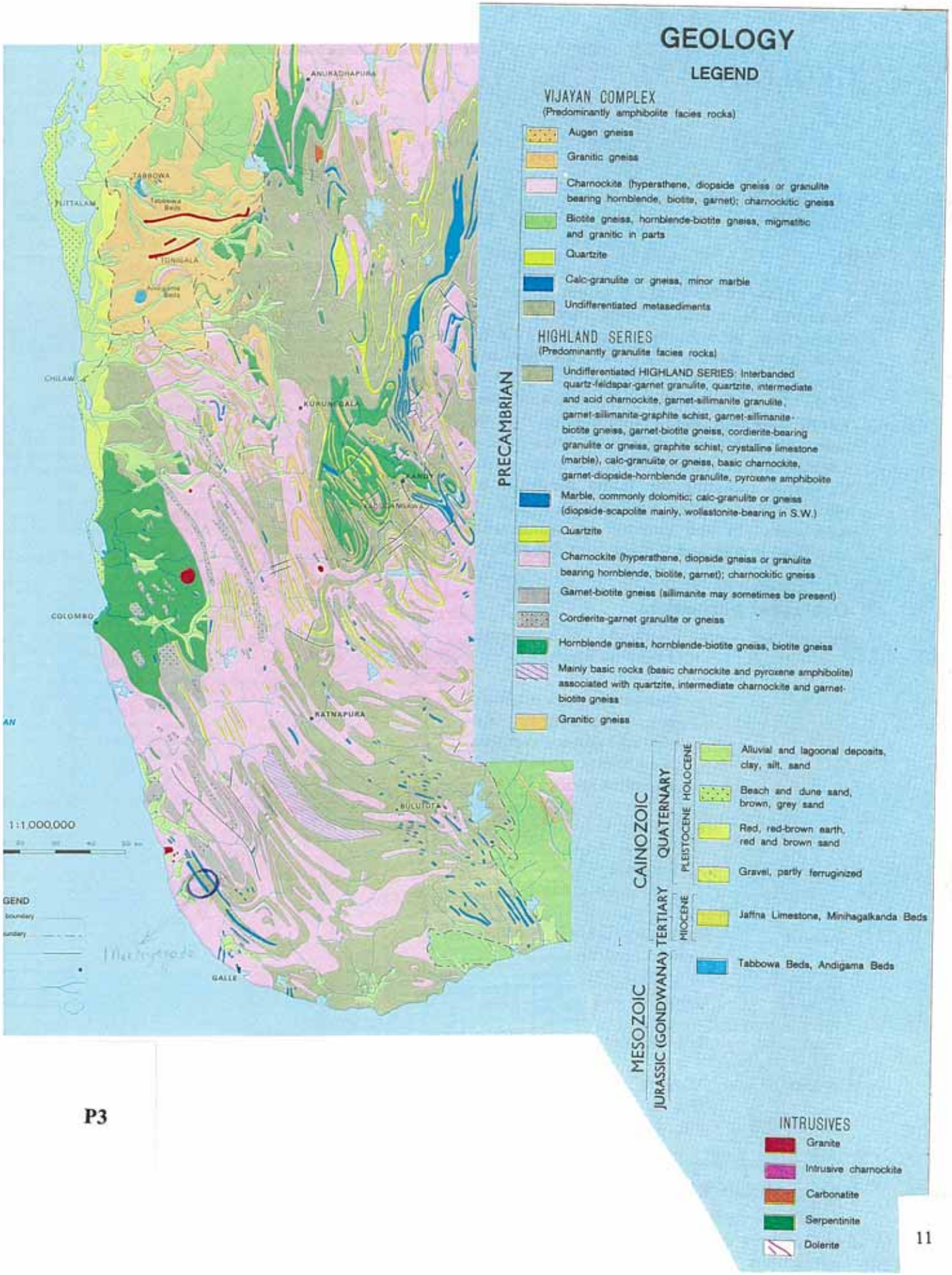
D'un point de vue général, le site d'exploitation de Meethiyagoda est situé dans un environnement de roches métamorphiques principalement constituées de gneiss[2] (charnockitiques[3]), granites et de marbres métamorphiques faisant partie du vieux socle Pré-cambrien. Le site en lui-même est constitué d'une pegmatite d'origine intruse du type quartz-feldspath avec mica que l'on retrouve dans toute cette région.

On constate également dans cette région une faible densité de failles[4] qui laisse présager une relativement faible activité tectonique *(Communication personnelle de M. Yves Hanoteau, 1997).*

---

[1] 570.000.000 à 4.600.000.000 d'années.
[2] Les gneiss ont une structure grano-lepidoblastique, une proportion de feldspath supérieure à 20 %, une schistosité peu marquée à nette *(Schumann, 1985).*
[3] Gneiss comprenant hypersthène, diopside, hornblende, biotite . Complément d'information page 80.
[4] D'après la carte géographique du Sri Lanka au 1/500.000 publiée par le Geological Survey of Sri Lanka.

Carte Géologique du SW du Sri Lanka



P3

IIeme partie

Aspect GEOLOGIQUE de Meethiyagoda

La Formation des PL et leur étude.

En **1906**, J. Parsons étudia le site pour le Ceylon Government Survey. Il indiquait dans son rapport que les PL étaient recherchées à près de 1m 30 de profondeur.
En **1930**, Spencer étudie le gisement de Meethiyagoda et les propriétés physiques et chimiques des PL bleues. Il publie ses recherches dans le "Mineralogical Magazine".
(Il constate que les PL sont recherchées à une profondeur de +/- 26 m) *(Spencer, 1930).*
Actuellement, Les PL sont recherchées entre 25 et 30 m de profondeur. La distribution des PL (de bonne couleur) n'est pas régulière dans la pegmatite.

Carte publiée par Spencer dans le Mineralogical Magazine en 1930, montrant les environs du gisement de Meethiyagoda. Le gisement des PL se situe en M. **Pl.4**

La décomposition des feldspaths en une argile blanche est due d'une part au contact avec les eaux pluviales et d'autre part au contact avec les eaux hydrothermales.

Près de la surface, les agents climatiques tropicaux ont entamé ce procédé de kaolinisation par des eaux chargées d'acide humique[5] qui ont progressivement altéré la roche. Ceci se passe en milieu réducteur *(Spencer, 1930).*

Le Professeur Lasnier explique dans son syllabus "Matériaux de l'Ecorce Terrestre" que l'altération des feldspaths dans la partie supérieure de l'écorce (près de l'affleurement) est due à l'action de <u>l'HYDROLYSE</u> par déchaussement progressif des cations de la structure de l'albite.
Les cations H^+ dont la taille est fort petite vont exercer un champ électrique sur les anions O^- du feldspath car les ions Na^+ du feldspath ont un potentiel ionique plus faible que ceux de l'hydrogène[6].
Ainsi, les O^- ayant tendance à se lier aux hydrogènes, les ions Na^+ se trouvent libérés et le réseau de l'albite se trouve déformé à sa surface. Au départ de la réaction, la concentration en sodium étant forte dans l'albite et nulle dans l'eau avoisinant le cristal. Les ions Na^+ vont migrer par les canaux du réseau déformé suite à cette réaction d'échange ionique. La libération de la silice et de l'alumine dépend du pH[7]. Il y a plus d'alumine libérée que de silice en milieu acide. Le feldspath se transforme en gel dont les éléments passent en solution et s'organisent avec la silice pour former du kaolin *(Lasnier, 1994).*

---

[5] *L'acide humique résulte de la décomposition de débris organiques solubles (microflore du sol, bactéries, champignon et la faune) en formant des molécules complexes par polymérisation.*
[6] Pour une même charge, le cation Na^+ est nettement plus grand que le cation H^+.
[7] *Complément d'information p 80.*

Altération d'une PL après hydrolyse.
Agrandissement 50X **F**

- En profondeur, des solutions hydrothermales post-magmatiques ont pris part au processus de décomposition de la pegmatite. Les matières riches en kaolin sont lavées (éliminées) par les eaux au lieu d'enrichir les feldspaths résiduels. Dans la partie inaltérée de la pegmatite la présence de quartz et feldspath peut être trouvée avec occasionnellement de la biotite et du phlogopite *(Spencer, 1930).*

Pratiquement tous les bruts de PL ont leur surface attaquée (piquée) et l'on n'observe pas de faces originelles des cristaux *(Spencer, 1930).*

On constate que les PL de Meethiyagoda sont généralement petites et plates, alors que les PL trouvées à l'intérieur des terres sont plus grandes. Harder explique la petite taille des PL de Meethiyagoda par l'action de la tectonique. Il constate que cette pegmatite se situe près de la côte donc près de la limite tectonique de l'île *(Harder, 1992).*

Séparation des PL des autres matières. **E**

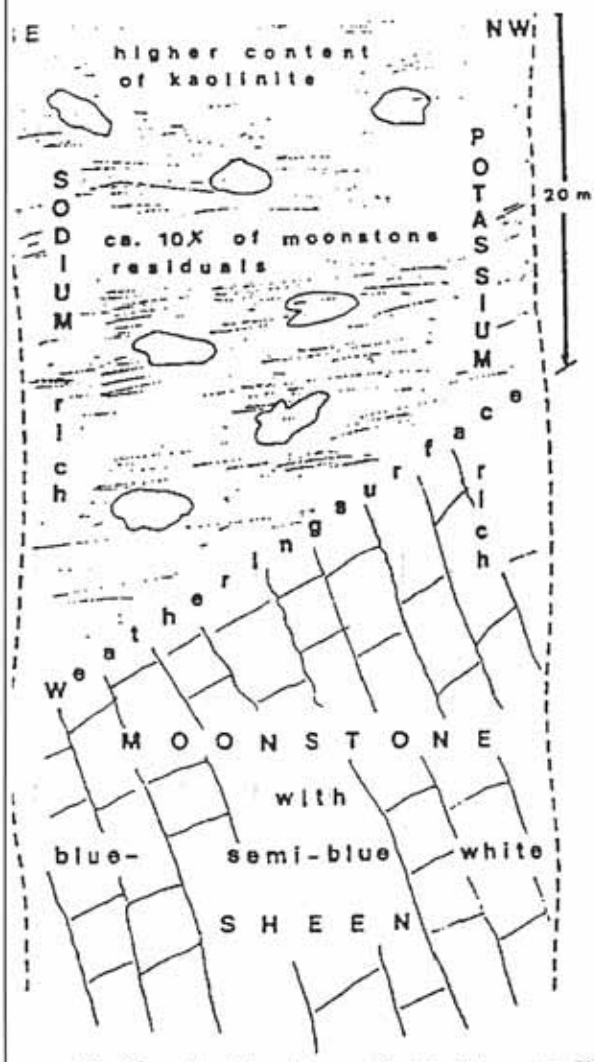
Profil vertical du gisement de Meethiyagoda

Description :

Le gîte se trouve dans un endroit «marécageux». Les PL sont recherchées dans la couche d'altération de la pegmatite, formée de kaolinite[8].
Les renseignements ci-après proviennent de Harder (1992).

Orientation du profil vertical : SE-NW

Surface marécageuse avec eau chargée en tourbe



Profil vertical du gisement de Meethiyagoda **Pl.. 5**

Explications du schéma de gauche

" Feldspath altéré en kaolinite avec des « restes » de PL. L'action de l'eau a agrandi les plans de « brillance » (schiller-plane) de l'orthose riche en sodium.[9] "

Restes de Feldspath

"Feldspath avec des clivages dus à la tectonique".

Pegmatite inaltérée, Feldspath « durs » avec quelques quartz, biotites, etc...

Harder explique que les petites dimensions et la forme aplatie des PL de Meethiyagoda sont le résultat de l'action probable de la tectonique qui a causé des réseaux de fractures à mailles étroites.

[8] kaolinite : roche formée à la suite d'infiltration des eaux dans le feldspath.
[9] Voir complément d'information p 84.

Pour expliquer la fragmentation des roches du schéma précédant, on pourrait également envisager l'hypothèse classique où les "**cassures verticales**" seraient dues à un refroidissement du batholite et les "**cassures horizontales**" seraient dues à la décompression en réseau de diaclase.

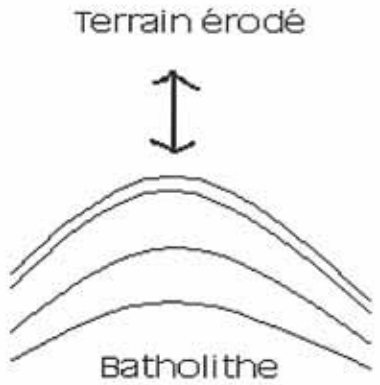
En effet, les pegmatites font partie des roches ignées intrusives profondes. Elles donnent naissances à des cristaux « géants » de quelques centimètres pouvant même atteindre plusieurs mètres. La grandeur de ces cristaux est due à un refroidissement lent à l'échelle géologique.

En surface, la couverture puis la pegmatite sont soumises à l'érosion. Avec le temps, cette érosion fera progressivement diminuer la température et la pression auxquels la pegmatite est soumise.

L'érosion progressive entraîne une décompression. Les lignes de pression sont perpendiculaires aux lignes de décompression (plus ou moins parallèles au plan horizontal) alors que la pegmatite est fracturée verticalement[10] (perpendiculairement aux courbes isothermes).

Dans le chapitre traitant de la composition chimique des PL de Meethiyagoda, on constate que celles-ci varient suivant une composition chimique "étroite" (voir p 30).

Hypothèse classique du réseau de diaclases



Pl.6

Schéma illustrant les courbes isothermes du batholithe qui seraient à l'origine des "cassures verticales". L'érosion des terrains entrainerait les cassures horizontales

Les diagrammes de Vogt et Warren permettent de comprendre la formation des PL et d'établir une relation entre la composition chimique de la pegmatite et celle de la PL. Considérons le refroidissement du magma de composition "N_1" (40% feld. Na et 60% feld. K).

Lorsque la courbe d'équilibre solide-liquide est atteinte au point N, celle-ci correspond à la température T.

Les cristaux de composition R vont commencer à se séparer. Progressivement,

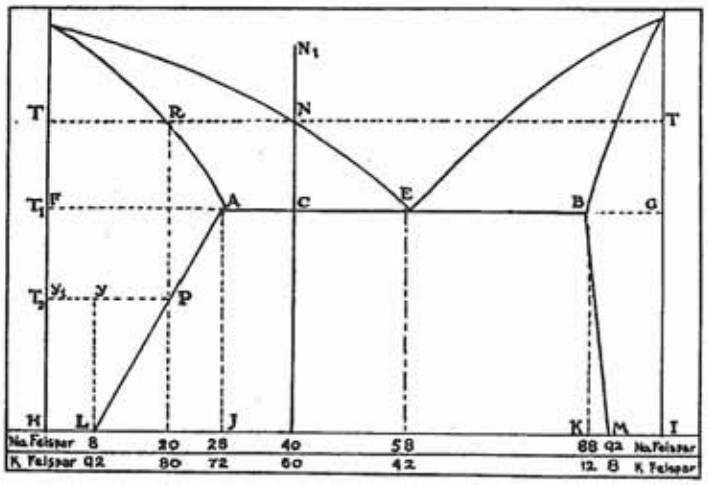


Diagramme eutectique (magma, albite, orthose) **Pl. 7**

[10] phénomène similaire observé dans les orgues basaltiques.

ceci laissera un magma plus riche en sodium qu'initialement. Au fur et à mesure du refroidissement la composition du magma se déplace suivant la courbe NE, tandis que la composition des cristaux se déplace suivant la courbe RA. A la température T_1, la composition du magma à atteint le point eutectique (c.-à-d. le point de fusion le plus bas). Le mélange se solidifiera suivant les 2 compositions : A et B.

Les premiers feldspaths formés à partir du magma contiendraient moins de composants sodiques que ceux formés ultérieurement. Leur résistance à l'hydrolyse est plus grande car le sodium y est présent en plus petite quantité.

Les PL possèdent une série "idiomorphique" limitée (*c.-à-d. une série limitée à certaines proportions ou les cristaux montrent une forme propre*). Cette série a une composition qui peut varier entre RA.

Morey et Brown ont montré par des expériences de fusion que l'orthose se décompose en leucite et silice. Le quartz apparaîtrait donc comme troisième composant. La relative insolubilité du quartz avec les composants des feldspaths fait que ces diagrammes binaires peuvent être pris en considération *(Spencer, 1930)*.

Géochronologie

Deux échantillons de PL bleu-bleu de Meethiyagoda ont été confiés aux bons soins de M. J-M Cantagrel à l'Université de Blaise Plascal à Clermont-Ferrand pour datation.

La méthode d'analyse utilisée[11] est « ^{40}Ar / ^{39}Ar ».

Les mesures ont été effectuées sur 15 mg de PL.
Les échantillons, emballés dans une feuille d'aluminium, ont été irradiés au sein d'un réacteur nucléaire situé à Grenoble (au Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble) pendant environ 24 heures sous un flux total de 5.10^{17} neutrons/cm² .
Ils ont été irradiés conjointement (dans une même capsule de quartz, protégés de l'action des neutrons thermiques par une feuille de cadmium) avec des échantillons standards de sanidine du Fish Canyon tuff, d'hornblende de Cape Longue et des sels purs de calcium et de potassium afin de calculer le facteur d'irradiation " J" et d'effectuer les corrections nécessaires pour tenir compte des interférences liées à des réactions nucléaires parasites sur certains isotopes du calcium, du potassium et du chlore.

Après purification (piège à froid et getters Al-Zr), les gaz extraits en 8 à 10 paliers de 20-25 minutes à des températures croissantes entre 500 et 1400°C, ont été analysés avec un spectromètre de masse VG3600. Les courants d'ions correspondant aux différents isotopes de l'argon (^{36}Ar, ^{37}Ar, ^{38}Ar, ^{39}Ar et ^{40}Ar) ont été mesurés soit sur une cage de Faraday (sensibilité de 10^{-15} mole/mv) soit sur un photomultiplicateur (sensibilité environ 3.10^{-17} mole/mv).

Le tableau analytique résume les principaux résultats calculés et retenus.

Les âges plateau correspondant à la moyenne pondérée de x paliers de température successifs qui représente 75 à 80% de l'argon extrait des échantillons sont en général affectés d'une erreur voisine de 2 à 5%.

L'analyse des isotopes ^{37}Ar et ^{38}Ar constitue une lecture indirecte des teneurs en calcium et en chlore de l'échantillon.
Elle permet de suivre son dégazage progressif au cours de l'analyse et fournit parfois un critère d'évaluation des résultats (diagramme K/Ca- ^{39}Ar cumulatif).

Le diagramme isochrone inverse ^{39}Ar / ^{40}Ar - ^{36}Ar / ^{40}Ar permet de tester la validité de la correction de l'argon atmosphérique de contamination et de parfois mettre en évidence dans certains minéraux la présence de ^{40}Ar dit en excès.

L'âge de l'échantillon PL1 est estimé à 456 +/-8 Ma
L'âge de l'échantillon PL2 est estimé à 445.+/-8 Ma.

(Communication personnellle de M. J-M Cantagrel, 1998).

---

[11] Les trois isotopes du potassium sont le ^{39}**K** (représentant plus de 93% des isotopes du K), ^{40}**K**, ^{41}**K**.
Cette méthode est basée sur le principe de l'irradiation aux neutrons du ^{39}K pour produire de l' ^{39}Ar. L'analyse de l' ^{39}Ar permet de déduire la concentration en ^{39}K et donc celle en ^{40}K ((élément radioactif).

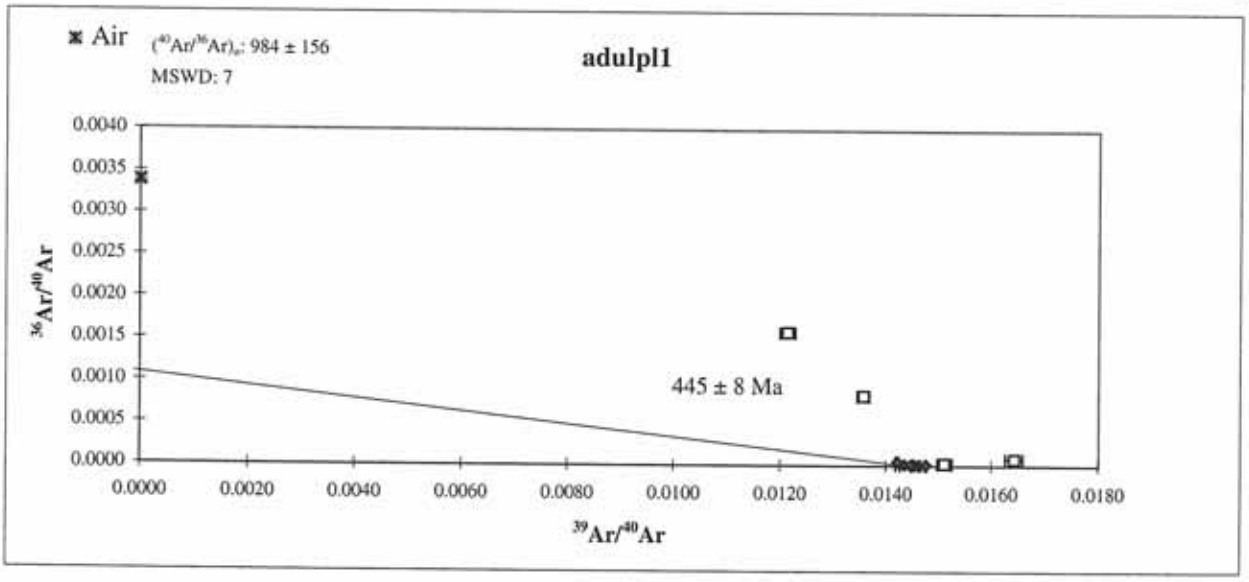
PL1

Tableau analytique

T°	^{40}Ar / ^{39}Ar	^{38}Ar / ^{39}Ar	^{37}Ar / ^{39}Ar	^{36}Ar / ^{39}Ar	^{39}Ar	F ^{39}Ar	% ^{40}Ar	^{40}Ar / ^{39}Ar	Age Ma	+/- 1σ Ma
700	82.349	0.194	0.216	130.290	0.06	0.07	54.10	44.55	307.09	9.37
800	73.644	0.013	0.007	61.242	0.23	0.35	75.84	55.85	377.32	7.85
900	60.873	0.021	0.005	4.679	1.28	1.96	97.72	59.49	399.33	8.05
950	66.139	0.015	0.000	1.723	1.43	3.75	99.20	65.61	435.83	8.52
1000	69.677	0.013	0.000	1.087	2.21	6.52	99.50	69.33	457.66	9.29
1050	67.723	0.012	0.000	0.628	5.42	13.30	99.69	67.51	447.01	7.92
1100	68.717	0.011	0.000	0.320	6.38	21.28	99.82	68.59	453.35	8.25
1200	69.109	0.014	0.001	0.421	33.56	63.27	99.78	68.96	455.48	9.79
1400	70.338	0.014	0.001	3.199	29.35	100.00	98.64	69.38	457.94	8.13

J = 0.00416550

Diagramme isochrone



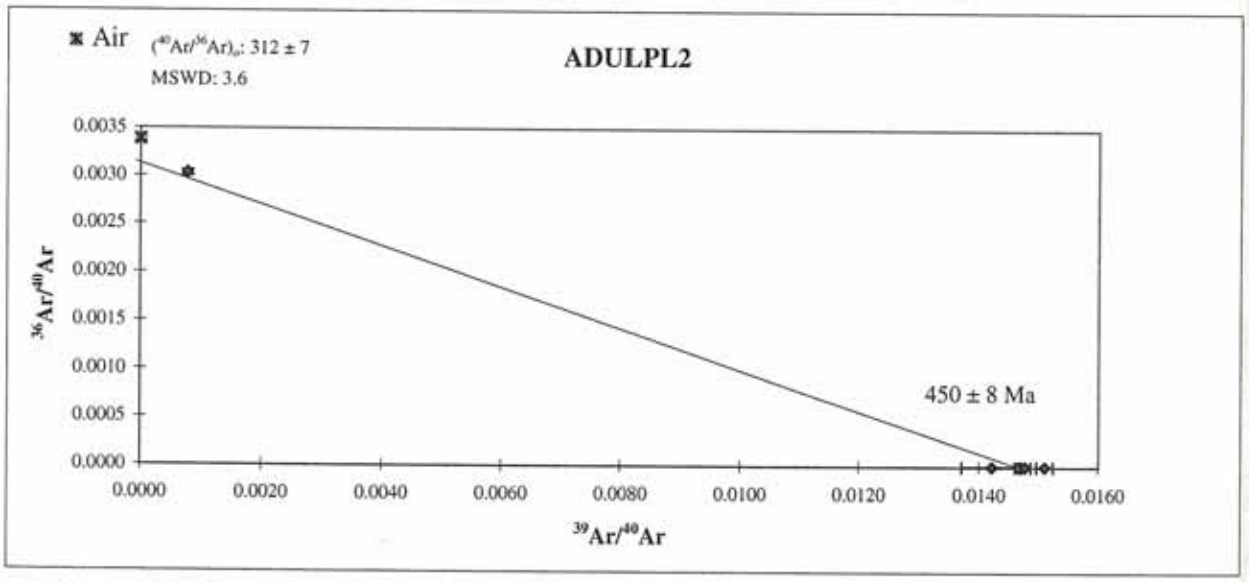
PL2

Tableau analytique

T°	^{40}Ar / ^{39}Ar	^{38}Ar / ^{39}Ar	^{37}Ar / ^{39}Ar	^{36}Ar / ^{39}Ar	^{39}Ar	F ^{39}Ar	% ^{40}Ar	^{40}Ar / ^{39}Ar	Age Ma	+/- 1σ Ma
1000	1278.58	0.788	0.005	3872.126	10.72	4.63	12.17	155.64	901.50	62.04
1050	68.238	0.007	0.000	0.000	6.93	7.63	99.95	68.21	451.10	8.10
1100	66.184	0.002	0.000	0.000	6.60	10.49	99.95	66.15	439.04	8.58
1200	67.662	0.011	0.000	0.000	174.12	85.75	99.95	67.63	447.72	8.33
1400	70.331	0.000	0.000	0.000	32.95	100.00	99.96	70.30	463.31	16.57

J = 0.00416550

Diagramme isochrone



la Prospection

Pour rechercher les PL, des puits de 30 à 35 m de profondeur sont creusés. Vu la nature "fragile" et humide du sol, des bois et bambous sont placés pour éviter l'éboulement de la structure. La "vitesse" d'avancement dépend de "l'illam[1]" .

Les PL sont extraites à l'aide de moyens qui restent rudimentaires; le creusement à la main de puits, un moteur électrique pour remonter les matériaux enlevés, une pompe pour l'exhaure de l'eau du puits.

L'extraction des PL du kaolin de la couche d'altération est plus aisée que dans la partie inaltérée de la pegmatite. Au-delà de 30 à 35 mètres de profondeur (dans la partie inaltérée de la pegmatite), le coût de l'extraction des PL est largement supérieur étant donné que la roche mère doit être cassée au risque de détruire les PL bleues.

Dans la partie altérée de la pegmatite, des méthodes telle que l'utilisation de la force centrifuge (de la panne) ne permettent pas de séparer les « graviers » des PL car l'un et l'autre ont des densités similaires. Les pierres de lune sont séparées des autres matériaux de visu.

Le Sri Lanka est souvent un pays fort complexe au niveau de son organisation[12] .
C'est ce qui explique que, généralement, le système de "partage" des bénéfices entre mineurs et propriétaires est basé sur un calcul proportionnel.
Pour un des puits, il est établi en huitièmes. Le propriétaire a un droit « absolu » d'achat des pierres au prix qu'il désire. Pour fixer la part de chacun, on procède de la façon suivante :

- Le propriétaire du terrain reçoit **2 parts** de ce qui est trouvé,
- **2 parts** pour les 8 ouvriers travaillant dans le puits,
- Le propriétaire du moteur utilisé pour enlever l'eau du puits se voit rétribuer **2 parts** (souvent le propriétaire du terrain est également propriétaire du moteur),
- La personne qui trouve la gemme reçoit **1 part,**
- **1 part** est également attribuée à l'ensemble des participants.

Les "mineurs" sont isolés et connaissent mal les prix pratiqués lorsque les pierres sont taillées. Il n'est pas rare que lorsqu'une pierre exceptionnelle est trouvée, le mineur et sa pierre disparaissent car celle-ci représente pour lui plusieurs années de labeur...

---

[1] mot utilisé par les indigènes pour décrire le niveau ou les gemmes sont trouvées.
[12] Système de castes sociales, différentes religions (Bouddhiste, Indouiste, Musulman, Bahai, Chrétien), divisions ethniques (Sinhalais, Tamils, Moor, Bourgs, Malais...).

IIIeme partie

Aspect Minéralogique

Description
Morphologie
Classification minéralogique
Structure
Composition chimique

Pierre de lune brute de Meethiyagoda **F**

Description

Faces cristallines :

Pratiquement tous les bruts trouvés à Meethiyagoda ont leur surface attaquée[1] (piquée) et l'on n'observe pas de faces originelles des cristaux. Les cristaux d'orthose sont habituellement de forme tabulaire. Les cristaux d'orthose sont composés[2] de (K, Na)Al Si_3O_8 *(Spencer, 1930).*

Macles :

Spencer indique dans son étude de septembre 1930 qu'il trouva 2 ou 3 macles de Baveno[3].

Clivage :

Bon clivage (à l'éclat vitreux) parallèle à (001).
Clivage plus difficile en (010).
Spencer constate que les PL bleues clivent moins bien que les PL blanches ou bleu-blanc.
Le plan de clivage des PL bleues est légèrement irrégulier (ondulé) effet probable de la démixtion des perthites

Inclusions :

Les inclusions observées par Spencer sont décrites comme des « lames[4] » et des cavités en forme de « cigares » et il constate également que l'axe le plus long de l'inclusion est dans chaque cas parallèle à l'axe C du feldspath. Les « lames » comprennent de nombreuses « branches » ou « craquelures » de part et d'autre de l'inclusion suivant l'axe B après quoi elles s'effilent suivant une direction oblique. La partie plate de l'inclusion est souvent dans le plan cristallographique (100). Clivant, récoltant des fragments et les faisant bouillir dans une solution colorée, Spencer conclut que les inclusions en forme de « cigare » sont des cavités creuses *(Spencer, 1930)* . Lors de mes observations sur les inclusions (de 120 échantillons de PL), aucune inclusion en forme de "cigare" n'a été observée.

Luminescence :

Aux U.V longs, les PL de Meethiyagoda présentent une fluorescence faible dans les tons bleus.
Aux U.V courts, les PL de Meethiyagoda présentent une fluorescence dans des tons rose-violet[5].

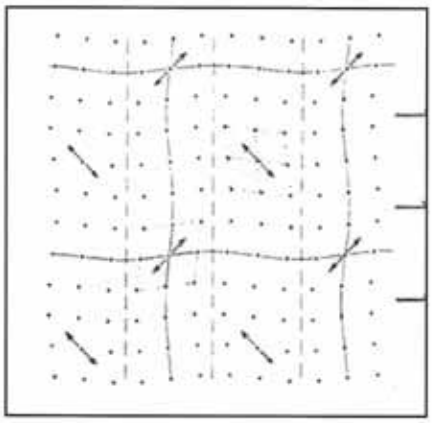
Analyse microscopique :

Spencer constate que les variétés blanches de PL montrent une structure microperthitique fine et régulière. Cette structure peut être observée en lumière ordinaire dans (010). La structure microperthitique est visible dans les PL « nacrée » blanche.
Cette structure perthitique résulte de la séparation d'un cristal homogène mixte stable à haute température en deux phases pas très différentes en composition à une température légèrement inférieure au point de cristallisation.

Structure microperthitique dans une PL blanche. **G**
Largeur moyenne de la perthite 2000 nm

[1] explication p 13 et p 80.
[2] voir page 29
[3] schéma page 78
[4] p 57 photo O
[5] voir p 40

Morphologie



Distorsions dans la structure des adulaires

Les renseignements relatifs à la morphologie des PL proviennent de Ribbe P et al. (1983).

Schéma suivant Mac Connel montrant des distorsions (en forme de vague) dans des adulaires.

Les points représentent les positions du réseau.
Les flèches montrent les deux distorsions
Les traits verticaux montrent la direction parallèle au plan (010).

En 1963, Ribbe et Fleet montrèrent que les PL provenant de Ceylan ont une structure lamellaire proche avec des liaisons presque planes. Ces lamelles sont séparées par des distances de 10 à 100 nanomètres. (Ribbe P. et al, 1983).

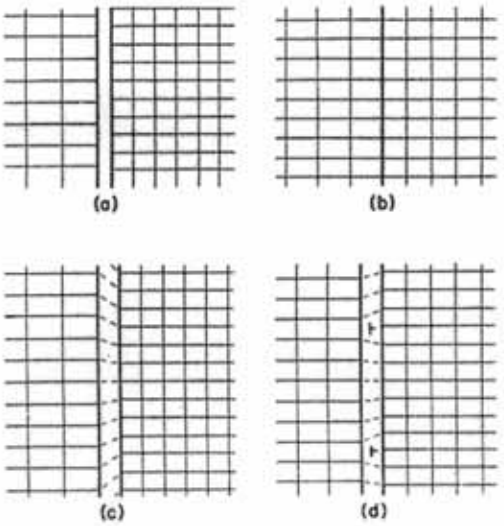
Détail schématisé de la forme "presque droite" de la structure cryptoperthitique d'une PL bleu (échantillon N°1)

L'observation au MET pour les PL bleu-bleu montre effectivement un affinement le long de certains domaines leur conférant ainsi des formes d'aiguille "presque droite".

Les renseignements suivants proviennent de RibbeP. Et al. (1983) :

- liaisons cohérentes
- liaisons semi-cohérentes
- liaisons non cohérentes

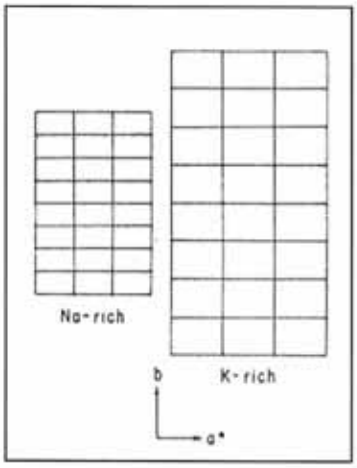
- Dans le schéma **(a)**, il y a coexistence de deux réseaux de « mailles » différentes dus à la différence des compositions. Lorsque ces deux réseaux sont rassemblés, ils forment un assemblage <u>non cohérent</u> car l'importance des distorsions empêche l'accolement. Il n'y a pas de continuité dans les plans des liaisons Les paramètres de chacun des réseau ont des valeurs fort différents.



Différentes liaisons pouvant être observées dans les perthites.

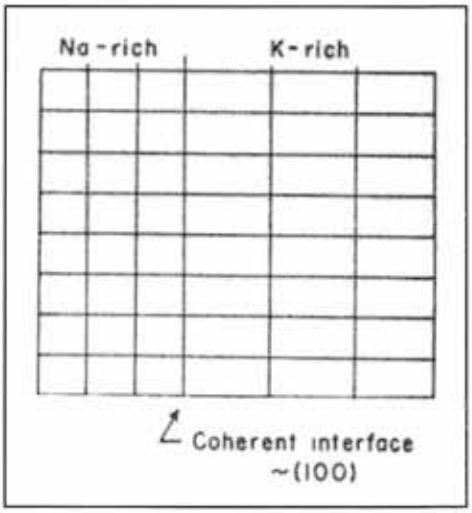
- Pour le schéma **(b)**, les deux réseaux s e rejoignent avec une "correspondance" parfaite et les tensions seront homogènes. Les deux réseaux forment une liaison cohérente. Le réseau de plan horizontal est continu à travers l'interface. Les cryptoperthites se présentent en très fines lamelles pour lesquelles l'épaisseur est fine comparée aux autres dimensions. Les conditions pour la cohérence entre ces lamelles nécessitent un ajustement des 2 structures. Le réseau de plans horizontaux à gauche de l'interface doit être élastiquement compressé et celui de droite «étiré» afin d'avoir des conditions d'adhérence parfaite. L'espacement des plans horizontaux sera un compromis entre les deux réseaux dans leur état «non-contraint».
- En **(c)**, la cohérence est impossible. Les paramètres de chacun des réseaux sont différents entre les deux réseaux que les deux réseaux ne peuvent être reliés ensemble. Ce cas pourrait être envisagé lorsque les lamelles sont partiellement libres ou lorsque les dimensions de la perthite sont petites. Cette situation n'existe pas dans la plupart des cryptoperthites car celles-ci ont une structure lamellaire.
- Le schéma **(d)** représente des liaisons semi-cohérentes (présence de dislocations). Les tensions sont inhomogènes dans les interfaces. Il y a plus de plans horizontaux du côté droit de l'interface qu'à gauche. A chacun de ces plans additionnels correspond à une « dislocation » comme indiqué sur le schéma. Les tensions sont inhomogènes comparées à la figure b.

(Ribbe P. et al, 1983).



La représentation à gauche montre des réseaux sans tension.
Le schéma de droite montre un réseau en lamelles parallèles à (100).

(Ribbe P. et al., 1983).



Pour l'interface dans les directions b et c entre l'orthose et l'albite, il y a une petite différence de 1% alors que dans la direction de a, cette différence est de 5%.

Dimension de la maille élémentaire d'albite	**a=0.81** b=1.28 c=0.71 nanomètre α= **93.5°** β=116.4° γ=90.3° *(Smith J., 1974)*
Dimension de la maille élémentaire d'orthose	**a=0.860** b=1.303 c=0.718 nanomètre α= **90°** β=116.0° γ=90° *(Smith J., 1974)*

Donc lorsque les lamelles d'albite ou d'orthose sont parallèles au plan (100) (qui comprend les plans b et c) les tensions indispensables pour la cohésion seront moins importantes que si les lamelles sont parallèles au plan (010) ou autres plans presque parallèles à l'axe a.
Les lamelles auront tendances à chercher une orientation pour laquelle les tensions élastiques sont minimum dans des plans d'adhérence *(Ribbe P. et al.,. 1983)*.

Classification Minéralogique

Les PL proviennent « d'un mélange » dû à la démixtion par baisse de température dans la zone d'instabilité de la solution solide des cristaux d'**orthose** et des cristaux d'**albite**.
C'est lors du refroidissement des roches que le sodium et le potassium vont "migrer" pour cristalliser dans ces deux variétés de feldspaths. Lorsque les minéraux se forment à haute température, leur énergie thermique leur permet d'incorporer des ions potassium ou sodium (de taille très différente), ce n'est plus le cas à température ordinaire ou lors de substitutions ioniques *(Comm. Pers., Pr Overleau, 1996).*

L'orthose (PL) est formée à haute température et tolère une quantité considérable d'ions sodium à la place d'ions potassium. Lorsqu'une telle orthose se refroidit, le mauvais ajustement des Na^+ à la place des K^+ fait apparaître des tensions forçant le sodium à se déplacer à travers la structure pour former des "domaines" (de petites régions) de feldspath de sodium (albite).
Ce phénomène est connu sous le nom d'**exsolution** et est responsable de l'**adularescence** dans les PL . Cette structure particulière définit les perthites *(Hurlbut C. et al., 1991).*

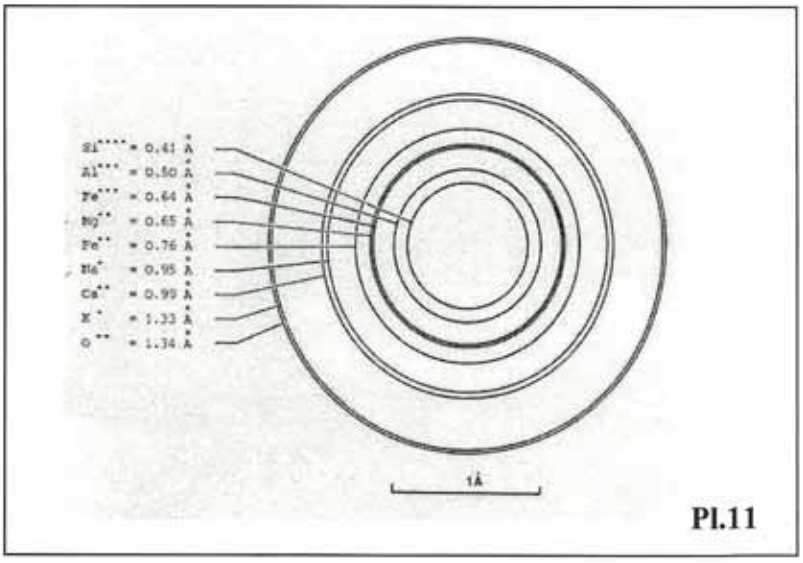
Les feldspaths sont décrits comme des alumino-silicates dont la structure cristalline est composée de tétraèdres de AlO_4 et SiO_4 reliés entre-eux. Ces tétraèdres possèdent des « cavités irrégulières » qui comportent un cation. Le remplacement des ions silicium par l'aluminium entraîne peu de changement dans la structure du cristal mais oblige à une compensation de valence[1].
Par contre, le remplacement d'un ion potassium par un ion plus petit de sodium ou par un ion de calcium entraîne un changement de la structure *(Raman, 1950).*

L'ADULARESCENCE est due à la diffusion de la lumière entrant dans la gemme sur de fines lamelles produites par l'exsolution *(Hurlbut C. et al., 1991).*
Les pierres de lune sont classées comme une variété d'orthose.

Albite	**Na**$AlSi_3O_8$	Triclinique
Orthose	**K**$AlSi_3O_8$	Monoclinique
Anorthite	**Ca**$\underline{Al_2}Si_2O_8$ Triclinique	

(Une différence majeure entre les ions de **sodium** et les ions **potassium** réside dans la dimension des cations. (+/- **30 %**)). Cette forte différence des rayons ioniques permet de comprendre « la déformation du réseau ».

Rayon ionique du $\mathbf{Al^{+3}}$ **: 0.50** Angström
Rayon ionique du $\mathbf{Si^{+4}}$ **: 0.41** Angström
Rayon ionique du $\mathbf{Na^{+}}$**: 0.95** Angström
Rayon ionique du $\mathbf{K^{+}}$ **: 1.33** Angström
Rayon ionique du $\mathbf{O^{-2}}$ **: 1.34** Angström
Rayon ionique du $\mathbf{Ca^{+2}}$ **: 0.99** Angström



Pl.11

[1] Si^{+4} et Al^{+3}, Si_4O_8.....$Al\ Si_3O_8(K,Na)$

A haute température, l'albite (*sl*[2]) et l'orthose (*sl*) forment une solution solide.

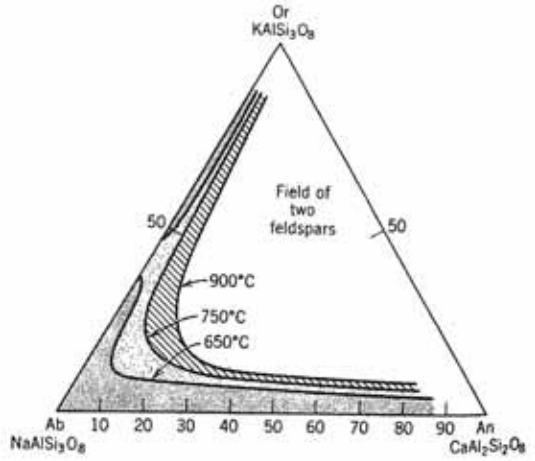
Lors du refroidissement du magma, la sanidine (*ss*[3]) peut rester sanidine (*ss*) ou si le refroidissement est plus lent, elle peut se transformer en orthose (*ss*), ou encore en microcline (*ss*).

Ce changement de structure entraîne des transformations (ordre, désordre, macles, phénomènes optiques...).

Le temps de refroidissement joue également un rôle important lors de la formation des minéraux *(Dana's, 1997).*

Ces phases ne sont pas indépendantes les unes des autres. Durant l'abaissement de température (lors de leur formation) elles s'influenceront entre-elles.

La plupart des pierres de lune consistent en de la sanidine[4] (*ss*) sous forme cryptoperthitique *(Dana's, 1997.)*

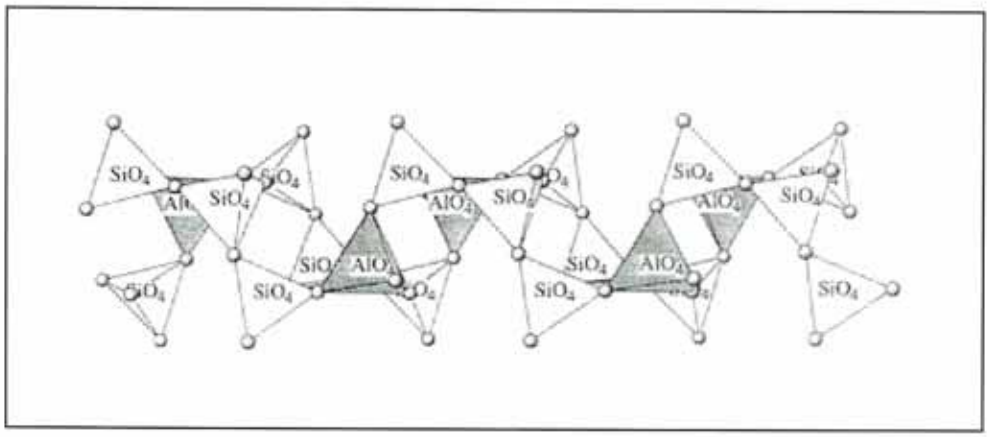


Pourcentage moléculaire déterminé expérimentalement dans les solutions solides des feldspaths à la pression de 1000 bars. (Ribbe, 1975) **Pl.12**

[2] sl : sens large
[3] ss :sens strict
[4] La littérature distingue des modifications dans la structure de la sanidine formée à haute et à basse température.

Structure

En 1933, Taylor détermina la structure de la sanidine : $KAlSi_3O_8$.
(Présence d'une double chaîne de tétraèdres dans la direction a)

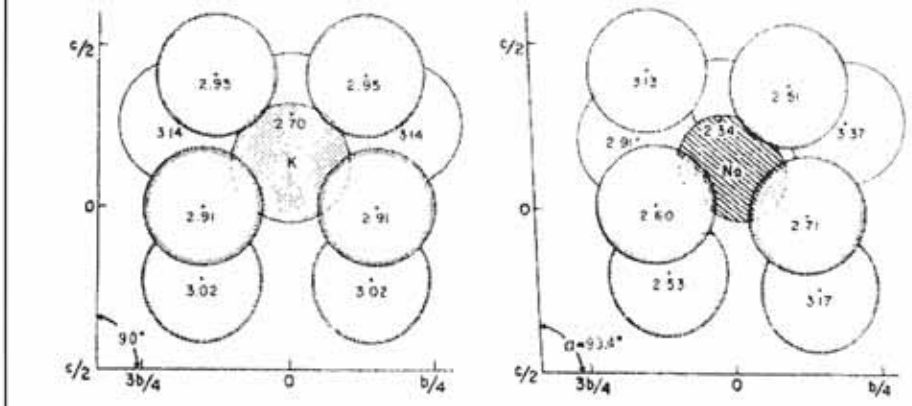


Structure de l'albite-basse température parallèlement à l'axe a *(Dana's, 1997).*

La distance qui sépare les Si-O dans SiO_4 varie entre 0.161 et 0.164 nm. (Smith, 1974)

Yund R. et Tullis J. mentionnent dans le « Feldspar Mineralogy » que pour les feldspaths alcalins, la structure tétraédrique reste inchangée mais des **ajustements des longueurs des liaisons et des angles sont dûs aux différences entre le sodium et le potassium** *(Ribbe P. et al., 1983).*

Représentation schématisant les liaisons entre l'oxygène et le sodium (dans l'analbite) ou entre l'oxygène et le potassium (dans la sanidine).



COMPOSITION CHIMIQUE

Les PL de Ceylan consistent principalement en orthose mais comprennent une proportion d'albite et un petit pourcentage d'anorthite *(Raman, 1950).*

En 1930, Spencer analysa chimiquement 4 échantillons de Meethiyagoda qu'il décrit comme suit :

- **A** : échantillon avec une chatoyance blanche soyeuse,
- **B** : échantillon avec une chatoyance nacrée blanche,
- **C** : échantillon avec une chatoyance bleu ciel,
- **D** : échantillon de chatoyance bleue.

Quant à Harder (1992) :

- **H1** : adularescence semi-blue

La composition de ces échantillons fut analysée avec pour résultat les pourcentages suivants :

	A	B	C	D	H1
SiO_2	65.42	65.21	64.73	64.86	66.2
Al_2O_3	19.45	19.62	19.57	19.66	18.8
Fe_2O_3	00.20	00.05	trace	trace	00.007
MgO	00.12	00.15	00.10	00.10	<0.00
CaO	00.55	00.50	00.55	00.60	0.30
Na_2O	04.61	04.48	04.07	03.90	3.70
K_2O	09.80	10.02	10.65	10.65	10.1
Perte au feu *à 950°C*	00.20	00.20	00.22	00.25	0.16
FeO					0.02
TiO_2					0.004
Ga_2O_3					0.002
Cr_2O_3					0.02-0.003[5]
MnO					0.01-0.03[6]
PbO					0.02
BaO					0.004
SrO					0.02
Rb_2O					0.30
K_2O					0.16
TOTAL :	**100.35**	**100.23**	**99.89**	**100.02**	**99.399 %**

Tableau II-A

	A	B	C	D	H1
Densité	*2.579*	-	*2.5775*	-	-
Feldp. K	**58.16**	**59.46**	**63.20**	**63.20**	**63**
Feldp Na	38.97	37.87	34.40	32.97	35
Feldp Chaux et magnesie	03.31	03.21	03.21	03.41	02
TOTAL	100.44	100.54	100.81	99.58	100

Tableau II-B

[5] élément en trace
[6] élément en trace

Rapport entre feldspath de sodium par rapport feldspath total :

	40	38.5	35.2	34.3	35.7 %

Tableau II-C

Analyse ponctuelle sur le microscope électronique à balayage Jeol 35 d'une PL bleu-bleu transparente. (dénomination des couleurs de PL voir p)
1 échantillon a été observé dans les conditions suivantes :

- haute tension de 20 kV dans le vide.
- Agrandissement 500 x
- Température ambiante : 19°C

Element	El. Wt %	Norm wt %	Prec.	Atomic %	Oxide %
Na	03.36	03.38	0.36	03.07	04.53
Al	09.88	09.95	0.36	07.70	18.67
Si	31.01	31.22	0.63	23.20	66.34
K	08.01	08.06	0.35	04.30	09.65
Ca	00.10	00.11	0.06	00.05	00.14
O	46.96	47.28	0.00	61.67	00.00
TOTAL	**99.32**	**100.00**		**99.99**	**99.33**

Tableau II-D

La transformation des % des oxydes en pourcentage des feldspaths pour cet échantillon donne le résultat suivant :

Feldspath sodique : 42 %
Feldspath potassique : 58 %

Toutefois, Spencer insiste sur l'étroite fourchette des compositions chimiques des PL de Meethiyagoda :

30 à 40 % de feldspath sodique
70 à 60 % de feldspath potassique

Il explique que ces feldspaths « potasso-sodiques » sont probablement le reste d'une forme spéciale due à la décomposition de la pegmatite, de laquelle l'albite a été enlevée par dissolution et kaolinisation *(Spencer, 1930).*

En effet, une **pegmatite** ayant le même assemblage minéral que celui du gisement de PL de Meethiyagoda se situant à plus ou moins **400 m au nord du gisement** a la composition suivante :

SiO_2	74.65
Al_2O_3	14.45
Fe_2O_3	00.70
FeO	trace
MgO	00.20
CaO	00.66
Na_2O	**03.68**
K_2O	**05.70**
Ign.	00.21
Tot	**100.25**

Si les pourcentages du tableau sont convertis en « feldspath » les proportions sont :

- Feldspath sodique : 48.4 %
- Feldspath potassique : 51.6 %

Le rapport d'oxyde de sodium par rapport à l'oxyde de potassium dans cette roche est nettement plus élevé que celui trouvé dans les PL.

Les pourcentages de feldspaths de l'échantillon testé sur Jeol35 d'une pierre de lune bleu-bleu sont les mêmes que ceux de la pegmatite située au Nord du gisement.

En **1961**, Correns confirme cette hypothèse à la suite d'expérience chimique stimulant l'érosion. Il démontre que les feldspaths potassiques sont plus résistants à l'érosion que les feldspaths sodiques *(Smith, 1974)*.

IVeme partie

Aspects physiques

Diffusion de la lumière
Phénomène d'adularescence
Luminescence
Traitement Thermique
Spectrométrie
Spectroscopie Raman
MEB (microscope électronique à balayage)
Imagerie
MET (microscope électronique à transmission)
Imagerie
Diffraction électronique

Diffusion de la couleur

La diffusion de la lumière dans des milieux fut étudiée expérimentalement par Tyndall et ensuite fut mise en équation par Lord Rayleigh. Ces équations furent reprises et affinées par Feynman qui introduit la notion de section efficace de diffusion.

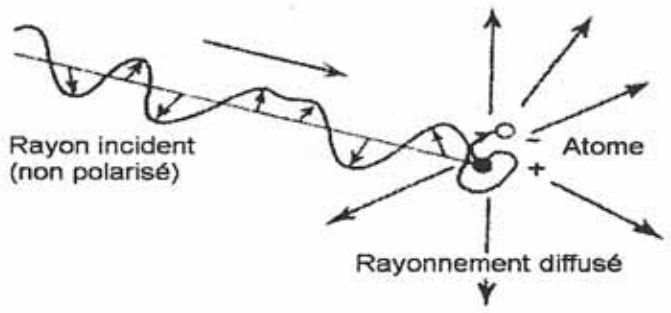
Théoriquement, les cristaux parfaits ne diffusent pas de lumière car les atomes, ions, molécules sont disposés régulièrement aux nœuds d'un réseau cristallin. Cette disposition fait que les nombreux vecteurs électriques associés aux rayons lumineux varient sans cesse et donnent statistiquement un résultat nul. L'expérience montre que tous les cristaux diffusent toujours (un peu) de lumière. Cette diffusion est due aux irrégularités locales de densité. L'intensité totale dans n'importe quelle direction est la somme des intensités qui sont diffusées pour chaque atome. Ainsi pour trouver la quantité de lumière qui est diffusée dans une direction donnée, l'effet étudié pour un atome est multiplié par le nombre d'atomes. L'atome agit comme un dipole électrique formé d'un noyau positif autour duquel gravitent les électrons négatifs de la couche extérieure.

La section efficace de diffusion (qui est une surface imaginaire découpée dans l'espace) est formulée selon Feynman :

$$\sigma_d = 8\pi\, r^2_0\, \varpi^4 / 3\, (\varpi^2 - \varpi^2_0)^2$$

ou ϖ_0 est la fréquence d'oscillation de l'électron autour du noyau

ϖ est la fréquence de la lumière incidente



Diffusion de la lumière par un "dipole électrique" (schéma Feynman)

Feynman explique que dans un corps les fréquences des oscillateurs (les atomes) sont beaucoup plus élevées que les fréquences de la lumière. Ce qui signifie que ϖ peut être négligé au dénominateur et que la diffusion est bien proportionnelle à la quatrième puissance de la fréquence de la lumière.

- $\varpi >> \varpi_0$ alors $\sigma_d = Cte$
- $\varpi << \varpi_0$ alors $\sigma_d =$ varie en fonction de ϖ^4

Ceci permet de comprendre que la proportion de lumière diffusée est beaucoup plus grande dans le violet que dans le rouge.

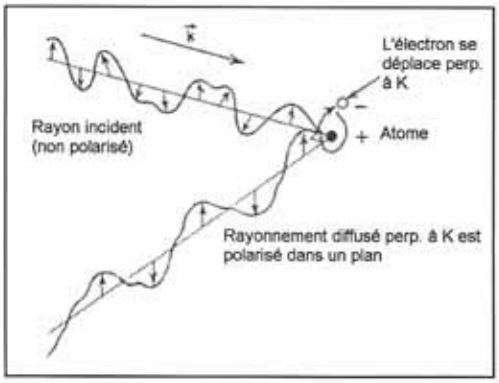
En effet, en calculant le rapport des sections efficaces pour la lumière bleue et pour la lumière rouge on obtient :

$$\sigma_{d\,(bleu)} / \sigma_{d\,(rouge)} = (\varpi\ \text{bleu})^4 / (\varpi\ \text{rouge})^4 = \text{Cte}\ .\ (\lambda\ \text{rouge})^4 / (\lambda\ \text{bleu})^4$$

On constate donc que le coefficient $1/\lambda^4$ est 9 fois plus grand pour $\lambda = 400$ nanomètres que pour une longueur d'onde = 700 nanomètres

Feynman explique que nous pouvons observer le ciel bleu car des molécules d'eau et de gaz y diffusent le bleu. Lorsque la dimension des diffuseurs (des gouttes d'eau) est augmentée, on obtient de plus en plus de diffusion jusqu'au moment ou une telle goutte a à peu près la dimension d'une longueur d'onde visible.
Progressivement, le bleu disparaît pour de grandes longueurs d'onde. La goutte d'eau devient plus grande avant que sa limite ne soit atteinte, elle ne peut plus diffuser de petites longueurs d'onde. (Bien que par atome, les courtes longueurs d'onde diffusent d'avantage que les grandes longueurs d'ondes, l'augmentation est plus grande pour l'extrémité rouge du spectre que pour l'extrémité bleue lorsque les gouttes sont toutes plus grandes que la longueur d'onde).

Feynman illustre cette explication par l'expérience où il «fabrique » des particules très petites qui augmentent progressivement en taille. A partir d'une solution d'hyposulfite de sodium avec de l'acide sulfurique, il fait précipiter des grains de soufre extrêmement fins.
Au début de la manipulation les grains sont très petits et l'on peut observer que la solution est de teinte bleuâtre. Lorsqu'ils précipitent davantage, la taille des particules augmente et la solution devient plus intense et finalement devient blanchâtre lorsque la taille des particules augmente.
La lumière qui traverse la solution perd sa composante bleue.



Feynman note également que la lumière qui sort d'un milieu qui diffuse ne vibre plus que parallèlement à un plan et est donc polarisée.

Phénomène d'ADULARESCENCE et de la diffusion de la lumière

- Brogger (1890) est le premier à établir une relation entre l'adularescence des feldspaths alcalins avec leur structure microperthitique.

- Par des analyses aux rayons X, Kôzu constata qu'après chauffage des PL, celles-ci perdaient de leur adularescence et que le point double de la figure de diffraction de Laue devenait un point simple. Par ces expériences Kôzu et Endô conclurent que l'adularescence est due à un double arrangement de plans (de feldspath potasso-sodique).

- Dans The Rock-Forming Minerals (Deer et al., 1993), il est indiqué que la croissance des micro et des crypto-perthites est responsable de l'adularescence. La « ségrégation » entre le feldspath potassique et le feldspath sodique se fait sous forme de lentilles irrégulières qui prennent place dans des plans biens précis du cristal. (Ces plans sont presque // à l'axe Y (approximativement (601)).

  Spencer (1930) indique dans le Mineralogical Magazine que les PL trouvées au St Gothard ne présentent pas de double point de Laue et ne montrent pas d'adularescence.

- Dans le "Current Science" d'avril 1951, Raman explique une technique adoptée pour observer les différences de l'adularescence et de la diffusion de la lumière dans différentes directions dans des échantillons de PL.

Lorsque l'on consulte différents ouvrages traitant de gemmologie, on constate que la définition du mot ADULARESCENCE (schiller en allemand) est souvent confondue avec le mot diffusion (scattering en anglais).

Il est important d'insister sur la différence de ces définitions.
L'adularescence est un phénomène optique que l'on peut observer dans les pierres de lune (mais pas dans les adulaires alors que le phénomène optique a son origine dans le mot adulaire !). Quand la lumière pénètre dans le cristal, celui-ci montre le long de certains plans cristallographiques **un jeu de lumière**. Ce jeu de lumière (schiller) est dû à la réflexion de la lumière sur de fines inclusions plates arrangées parallèlement *(Mac Lintock, 1983).*

Cette définition **ne spécifie pas de couleur particulière**[1].

Les PL translucides taillées en cabochon présentent une adularescence "nacrée". (Leur structure ne permet pas de diffuser la lumière bleue (voir page 35).

[1] Certains cabochons de PL ne montrent pas de chatoyance bleutée mais des reflets "nacrés" de couleur jaune, blanche…

Lorsque ces cabochons sont retaillés en lames à côtés parallèles, ceux-ci montrent un effet moins apparent d'adularescence.

Pour observer les différences d'intensité d'adularescence et de la diffusion de la lumière dans différentes directions dans des échantillons de PL, Raman travailla de la façon suivante :

- L'échantillon était éclairé par un faisceau lumineux pour ensuite être observé et photographié en différents points. Pour des raisons pratiques, une petite partie de l'échantillon était éclairée par un fin faisceau lumineux, la radiation diffusée était alors « captée » sur un écran placé près de l'échantillon. La distribution de l'intensité de lumière diffusée dans les différentes directions pouvait alors être observée. En déplaçant l'échantillon dans le faisceau ou en altérant l'inclinaison de l'échantillon tout en gardant la même direction, les caractéristiques de la lumière diffusée étaient étudiées. Les effets de la réfraction et de la diffusion sur la surface extérieure de l'échantillon étaient « éliminés » en immergeant le specimen dans une solution liquide dont l'indice de réfraction était proche de l'échantillon *(Raman, 1950)*.

Les pierres de lune bleues "crystal" quand à elles montrent une diffusion de la couleur bleue dans certaines directions sans effet de chatoyance nacrée.

Nous pouvons donc conclure que l'effet adularescent "nacré" dans les pierres de lune est dû à la structure de la matière (microperthite) et est intensifié par la taille de la gemme (cabochon).

Traitements Thermiques

Les travaux de Kôzu mirent en évidence que les PL montrent aux rayons-X une tâche de diffraction Laue double qui peut se transformer en une seule tâche après un traitement thermique alors que l'adularescence devient moins intense, à des températures entre 700 et 1100°C.

Avec ces éléments, Kôzu en déduit que l'adularescence était le résultat d'un double arrangement de « mailles de filet» ou de structure de l'espace *(Spencer, 1930).*

Spencer (1930) s'appuya sur des expériences réalisées à l'Université de Tokyo pour étudier des PL de type A et C (voir composition chimique page 29).

Afin de faciliter l'étude de ses échantillons, Spencer introduit la nomenclature suivante :

(or, ab) : structure microperthitique ou criptoperthitique fine et régulière,
(Or, Ab) : structure perthitique plus grossière
(or) : fines lamelles d'orthose (microperthite)
(ab) : fines lamelles d'albite (microperthite)
(Or) : « ombre foncée » de la perthite ou du « treillis »

Il indique dans les tableaux ci-dessous les résultats obtenus suite à un traitement thermique réalisé dans un four électrique :

Echantillons **chauffés à 850° durant 4 heures**, puis refroidis à l'air

Effet observé sur	*A (blanche)*	*C (bleue)*
l'ADULARESCENCE	l'adularescence est affaiblie, une nuance bleutée se développe	devient plus claire avec une nuance violacée
(or, ab)	(or, ab) les interfaces microperthitiques deviennent indistincts à la lumière visible ordinaire et restent visibles sous les polariseurs croisés	L'intensité de (or, ab) sous les polariseurs croisés est diminuée.
(Or, Ab)	La structure (Or, Ab) semble inaltérée par ce traitement	La structure (Or, Ab) semble moins prononcée.
sur l'extinction de (010) relative à la trace de (001)	L'extinction moyenne est réduite de 10.5° à 9.5°	L'extinction moyenne est réduite de 10.0° à 9.0°
sur la densité	la densité est réduite de 2.579 à **2.5670**	la densité est réduite de 2.5775 à **2.5670**

Echantillons **chauffés à 980° durant 6 heures**, puis refroidis à l'air

Effet observé sur	*A (blanche)*	*C (bleue)*
l'ADULARESCENCE	l'adularescence est affaiblie fortement, une nuance bleu-blanc se développe	l'adularescence est fortement affaiblie avec une nuance violacée
(or, ab)	(or, ab) les interfaces microperthitiques deviennent invisibles à la lumière ordinaire et restent visibles sous les polariseurs croisés	Structure pratiquement détruite, même lorsqu'elle est observée sous polariseurs croisés.
(Or, Ab)	La structure (Or, Ab) semble être restée inaltérée par ce traitement	La structure (Or, Ab) semble plus prononcée que dans les échantillons qui n'ont pas été chauffés.
sur l'extinction de (010)	L'extinction moyenne est réduite de 11.0° à 8.5°	L'extinction moyenne est réduite de 10.0° à 8.5°
sur la densité	la densité est réduite de 2.579 à **2.5670**	la densité est réduite de 2.5775 à **2.5670**

Echantillons **chauffés à 1050° durant 12 heures**, puis refroidis à l'air

Effet observé sur	*A (blanche)*	*C (bleue)*
l'ADULARESCENCE	une très fine adularescence bleu-blanc n'est pas restreinte au plan d'adularescence original	l'échantillon devient « glass clear » sans adularescence.
(or, ab)	(or, ab) les interfaces des perthites disparaissent complètement à la lumière ordinaire. Les structures restent visibles sous les polariseurs croisés mais moins finement définis.	Pas d'observation évidente de structure microperthitique (or, ab) Même sous polariseur croisés dans les conditions optimales d'illumination.
(Or, Ab)	La structure (Or, Ab) semble devenir plus proéminente que la structure (or,ab)	La structure (Or, Ab) ne semble pas avoir diminué en intensité.
sur l'extinction de (010)	L'extinction moyenne est réduite de 11.0° à 8.0°	L'extinction moyenne est réduite de 10.0° à 7.5°
sur la densité	la densité est réduite de 2.579 à **2.566**	la densité est réduite de 2.5775 à **2.566**

Echantillons **chauffés à 1120°-1130° durant 12 heures**, puis refroidis dans le four électrique

Effet observé sur	*A (blanche)*	*C (bleue)*
l'ADULARESCENCE	L'échantillon est devenu opaque suite à une fusion partielle, la forme est partiellement retenue, mais les clivages ont disparu.	« Specimen glass clear »
(or, ab)	Structure microperthitique détruite. Cristallites visibles dans une matrice vitreuse.	Structure (or, ab) complètement détruite, même observée sous polariseur croisés dans les conditions optimales d'illumination.
(Or, Ab)	La structure (Or, Ab) détruite	La structure (Or, Ab) semble faiblement proéminente sous les polariseurs croisés.
sur l'extinction de (010) relative à la trace (001)	Structure détruite, pas d'extinction mesurable.	L'extinction moyenne est réduite de 10.0° à 7.0°
sur la densité	Inférieure à **2.566**	la densité est réduite de 2.5775 à **2.565**

D'après les expériences reprises dans les tableaux précédents, Spencer arrive aux conclusions suivantes :

- L'adularescence et la structure microperthitique peuvent être détruites par traitement thermique. Les premiers changements peuvent être observés entre 500°C et 700°C *(Spencer, 1930).*

Dans le cas des PL bleues la destruction de l'adularescence et de la structure microperthitique (or, ab) est complète entre 6 et 12 heures à 1050 °C.

Comparaison avant et après traitement thermique d'une PL bleu-bleu.
La moitié g. à été chauffée dans un four à 900°C pendant 4 heures **X**

- Dans la plupart des PL blanches et bleu-blanc (or, ab), les interfaces pouvant être observées en lumière ordinaire sont détruites entre 700°C et 900°C. Toutefois, une faible chatoyance persiste.
- La durée du traitement thermique est un facteur agissant sur l'adularescence et la structure.
- La vitesse de refroidissement sur un échantillon chauffé n'a que peu d'effet sur l'adularescence et sur la microstructure (or, ab). Les changements produits par l'effet thermique ne sont pas réversibles par un refroidissement rapide ou lent dans les expériences réalisées en laboratoire.
- Les angles d'extinction en (010) et la densité de ces PL sont réduits par traitement thermique.

Expérience personnelle :

Six PL bleues ont été chauffées dans un four à émail pendant 9 heures.

- Un traitement thermique de 800°C (de 9 heures) appliqué aux PL (bleu-bleu) transforme celles-ci respectivement en PL (bleu, semi-transparente). La diffusion de la lumière bleue est moins intense dans les échantillons chauffés. (voir photo X page 38)

- Après refroidissement, certains échantillons chauffés présentaient des fractures internes parallèles.
  Le changement de couleur des PL traitées thermiquement reste stable.

Luminescence

a) La FLUORESCENCE sous les U.V

Les PL de Meethiyagoda présentent une fluorescence forte sous les U.V courts en couleur rose-violet et faiblement dans les tons bleutés sous les U.V longs.

- **La fluorescence sous les rayons U.V courts est due à la présence d'activateurs Fe^{+3}** permettant aux PL de disposer de niveaux d'énergie adéquats pour devenir fluorescentes. Ces éléments activateurs sont des éléments présents en trace.

Le principal élément activateur dans les feldspaths est le Fe^{+3} *(Robbins, 1994).*

Fluorescence aux U.V courts de PL de Meethiyagoda **J**
Tableau résumé comparatif p.... (III-B)
L'échantillon fluorescent bleu est un doublet.
L'échantillon N°1 est constitué d'un doublet (quartz-PL).
Cet échantillon présente une fluorescence bleue aux U.V. courts.

Analyse du fer en trace suivant Spencer (1930) :

- **A** : échantillon avec une chatoyance blanche soyeuse
- **B** : échantillon avec une chatoyance nacrée blanche
- **C** : échantillon avec une chatoyance bleu ciel
- **D** : échantillon de chatoyance bleue.

Analyse en éléments trace suivant Harder (1992) : - **H1** : adularescence semi-bleue

La composition de ces échantillons fut analysée avec pour résultat les pourcentages suivants en éléments en trace :

	A	B	C	D	H1
Fe_2O_3	00.20	00.05	trace	trace	0.007
FeO					0.02

Tableau III-A

La luminescence « rouge » des feldspaths est due à une transition de $^4T_1 \rightarrow {}^6A$ *(White W. .et al., 1986).*

- Après traitement thermique aucun changement de fluorescence aux ondes courtes n'a été observé.

- Pour Telfer et Walker, l'origine de la fluorescence bleue sous les **U.V longs** est due à des défauts de structure, Al-O$^-$ - Al et Si-O$^-$ *(Barnett et al., 1997).*

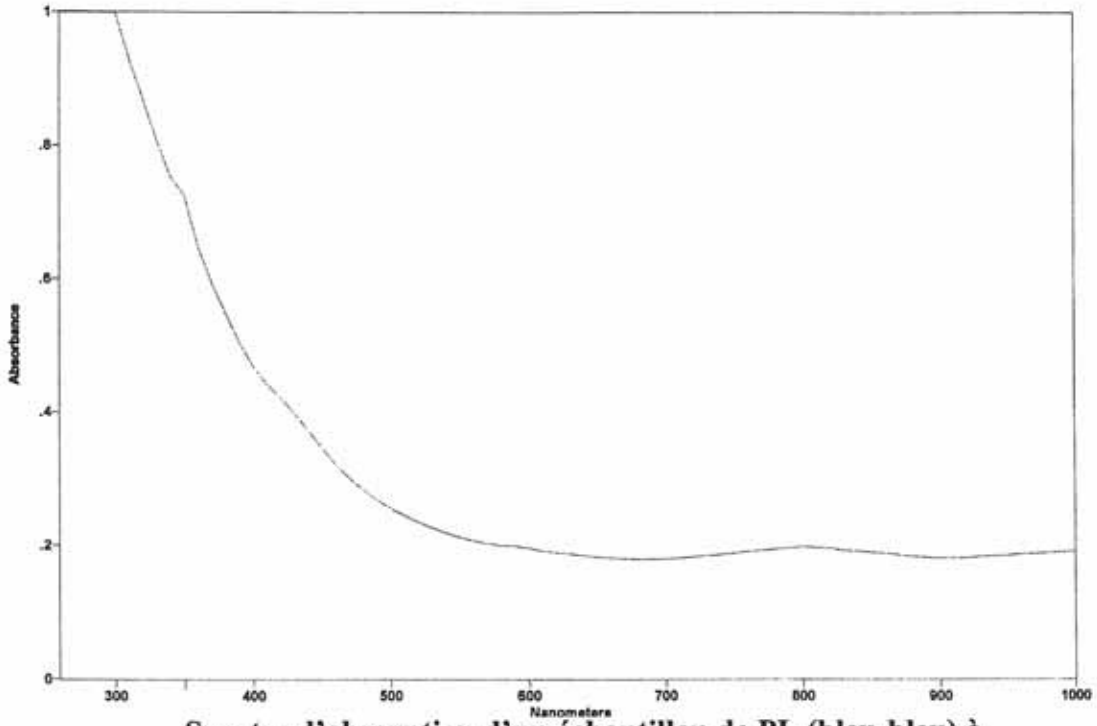
Barnett et Bailiff (1997) indiquent que la luminescence varie en fonction de la température suivant l'équation :

$$I(t,T) = \text{Constante}\, f(t)\, e^{-(E/kT)}$$

E est l'énergie d'activation thermique interprétée dans le modèle comme étant la profondeur de l'état excité *(Barnett et al., 1997).*

Dans leur étude sur l'absorption et la luminescence du Fe^{+3} dans les cristaux d'orthose de Madagascar, l'équipe de William White a mis en évidence une fine bande à 26000 cm^{-1}, deux bandes d'intensité moyenne vers 24000 cm^{-1} et d'autres bandes moins importantes en intensité mais plus larges entre 16000 et 20000 cm^{-1}. Ces observations avaient été réalisées à la température de 78 Kelvins. Aussi, il est noté dans leurs travaux que le spectre du Fe^{+3} est faible et est peut-être diminué par la présence en petite quantité de Fe^{+2} *(White W.B. et al.,1986).*

Les pics observés dans les travaux de l'équipe de White W. n'ont pu être mis en évidence par à température ambiante.
Toutefois, il semblerait qu'il y ait la trace d'un pic à 350 nm. L'origine de ce pic est très probablement à relier au Fe^{+3}, dont la présnce est confirmée par la fluorescence rouge.



Spectre d'absorption d'un échantillon de PL (bleu-bleu) à température ambiante.

Observations des PL reprises sur la photo de la page 40 :
Température ambiante

Echantillon n°		2	3	4
Couleur visible		" Bleu "	" Bleu "	" Bleu-bleu "
Couleur	OL	Bleuté	Bleuté	Bleuté
	OC	Rose	Rose clair	Rose intense
Intensité	OL	Faible	Faible	Faible
	OC	Moyenne	Moyenne	Forte
Distribution de la fluorescence :		Régulière à travers l'échantillon		

Tableau III-B

REM : L'utilisation de **la lampe U.V courte permet de distinguer les doublets** (PL-verre) des PL «massives» de Meethiyagoda.
Les PL de Meethiyagoda présentent une fluorescence dans les tons rose-violet alors que les doublets montrent une fluorescence dans les tons bleus.

La fluorescence bleue des doublets peut être expliquée par

1) la **fine épaisseur de la "lame"** de PL,
2) la nature de **la colle utilisée qui montre une fluorescence bleutée** aux UV courts.

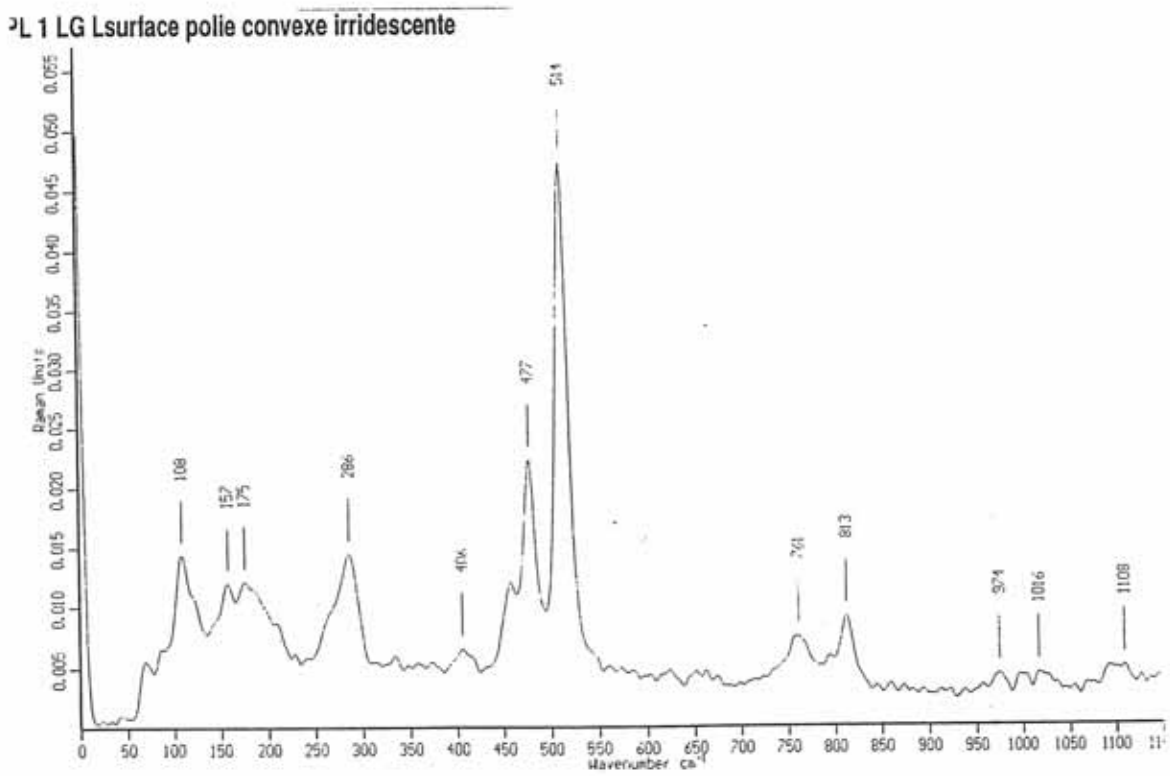
Spectroscopie Raman

Spectres Raman réalisés sur Bruker RFS100 installée à l'Institut des Matériaux de Nantes.

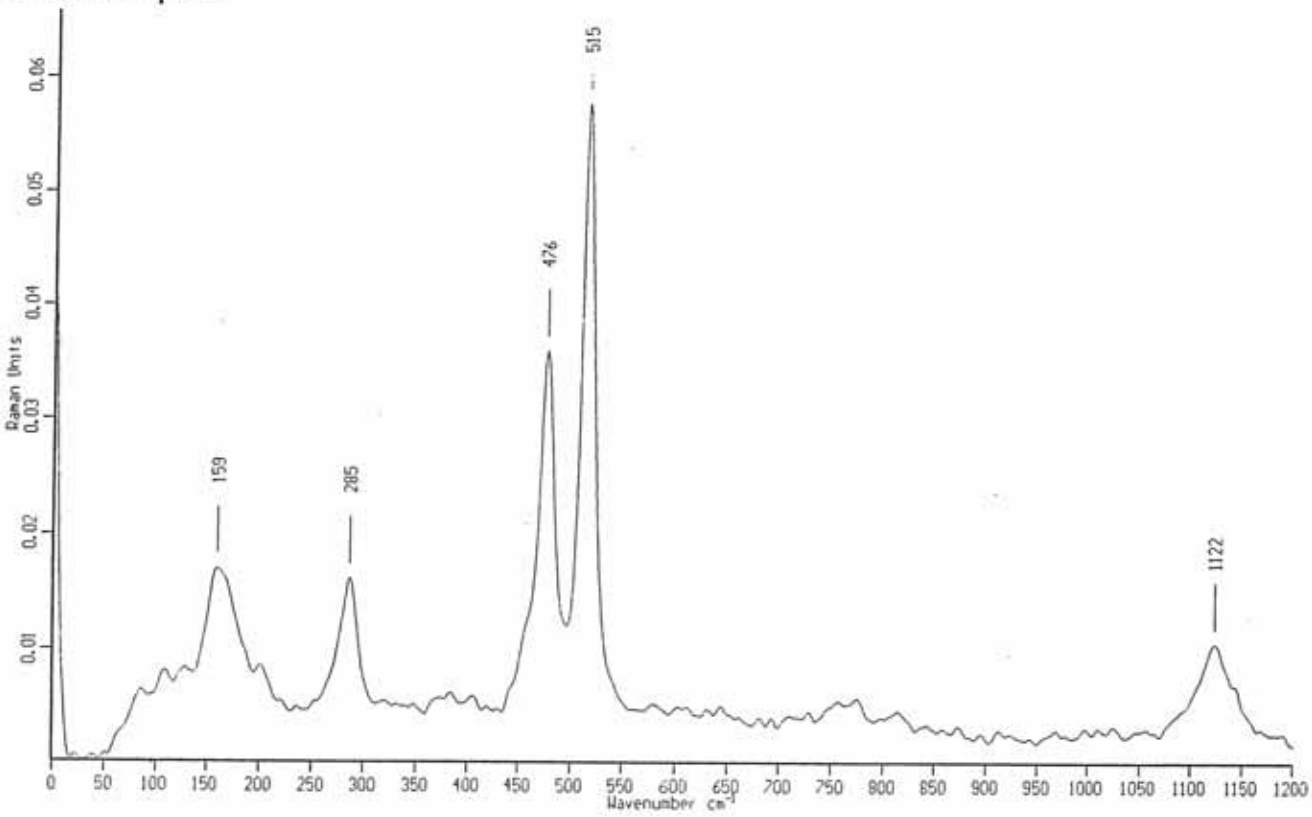
Echantillons :

Numéro de l'échantillon testé	Description de la couleur	Orientation du plan
PL 1	Bleu-bleu, échantillon non chauffé	Perp. à la surf. Adularescente
PL2	Bleu, échantillon CHAUFFE	Perp. à la surf. Adularescente
PL 3	Bleu, échantillon non chauffé	// à la surf adularescente
PL 4	Bleu, échantillon non chauffé	// à la surf adularescente
PL 5	Bleu, échantillon chauffé	// à la surf adularescente
PL 6	Bleu, échantillon chauffé	Perp. à la surf. Adularescente

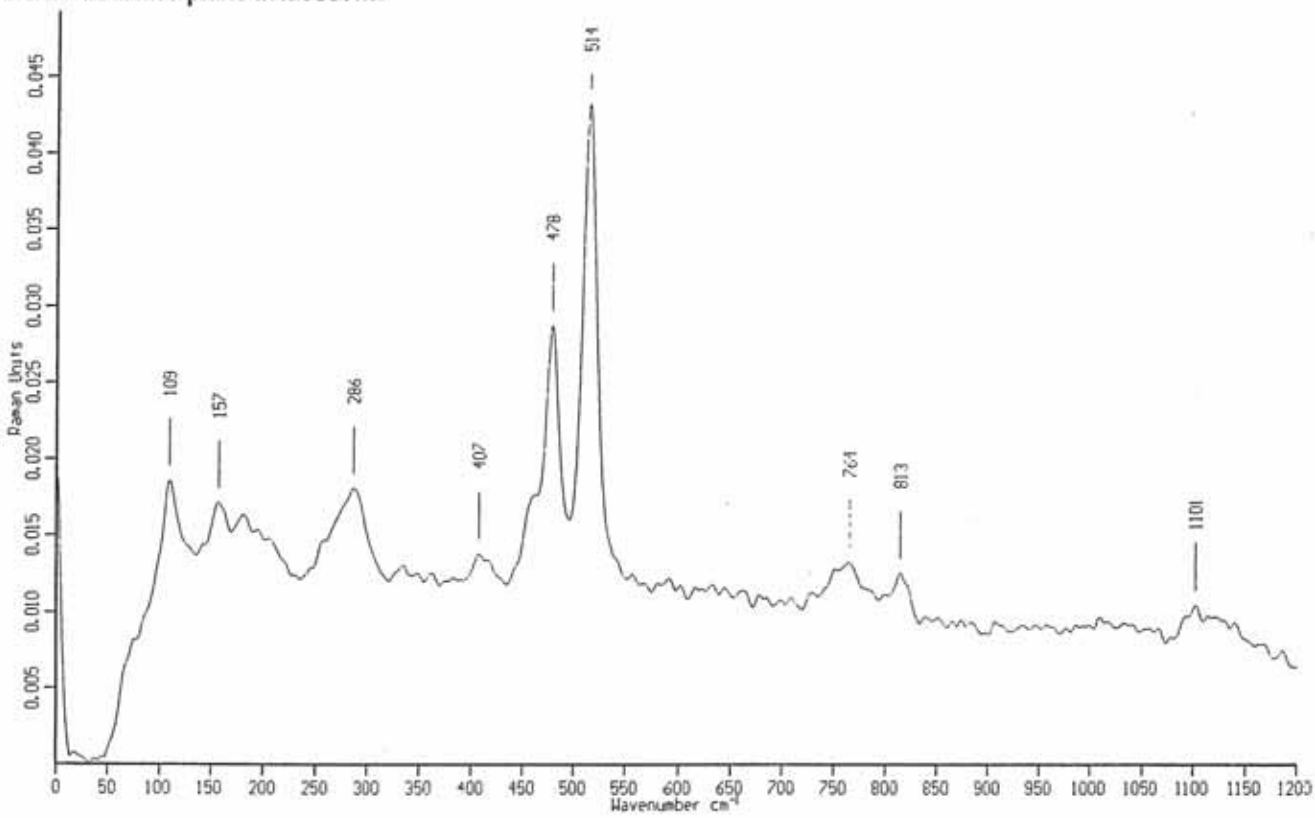
Nombre de scans : 100
Puissance du laser : 200 mw
Résolution : 4.0
Mesuré le 24/3/97
Surface testée : grain 10 microns



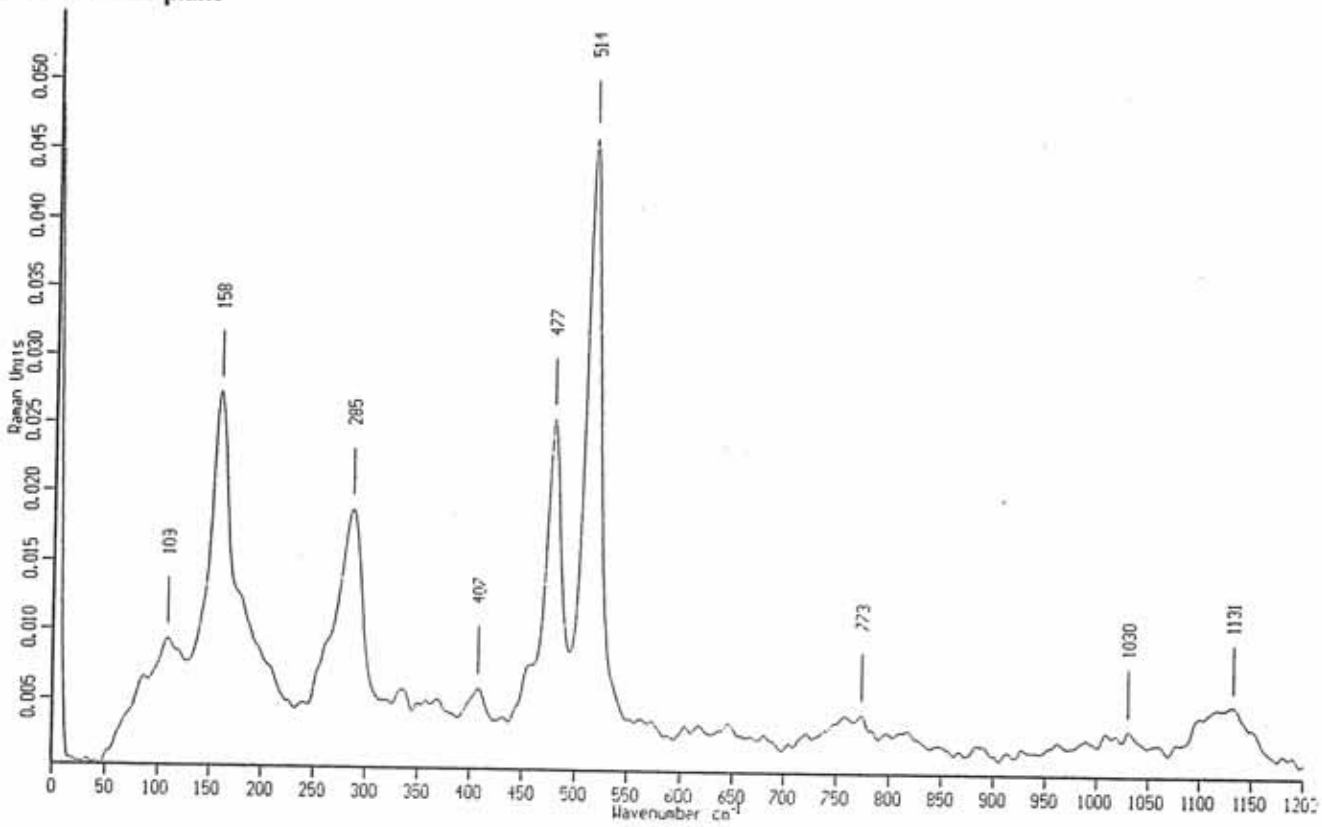
PL 2 LG Lbase plane



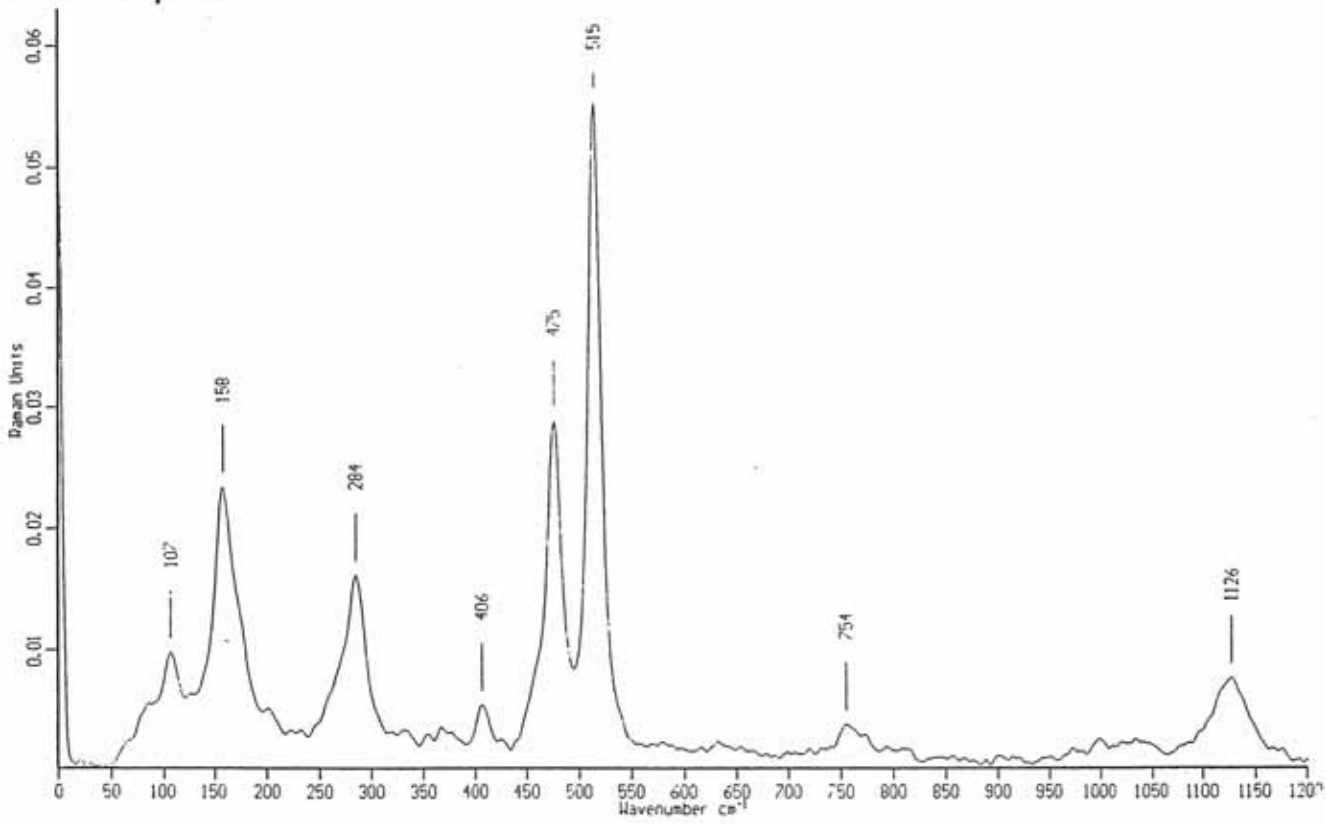
PL 3 LG Lsurface plane irridescente



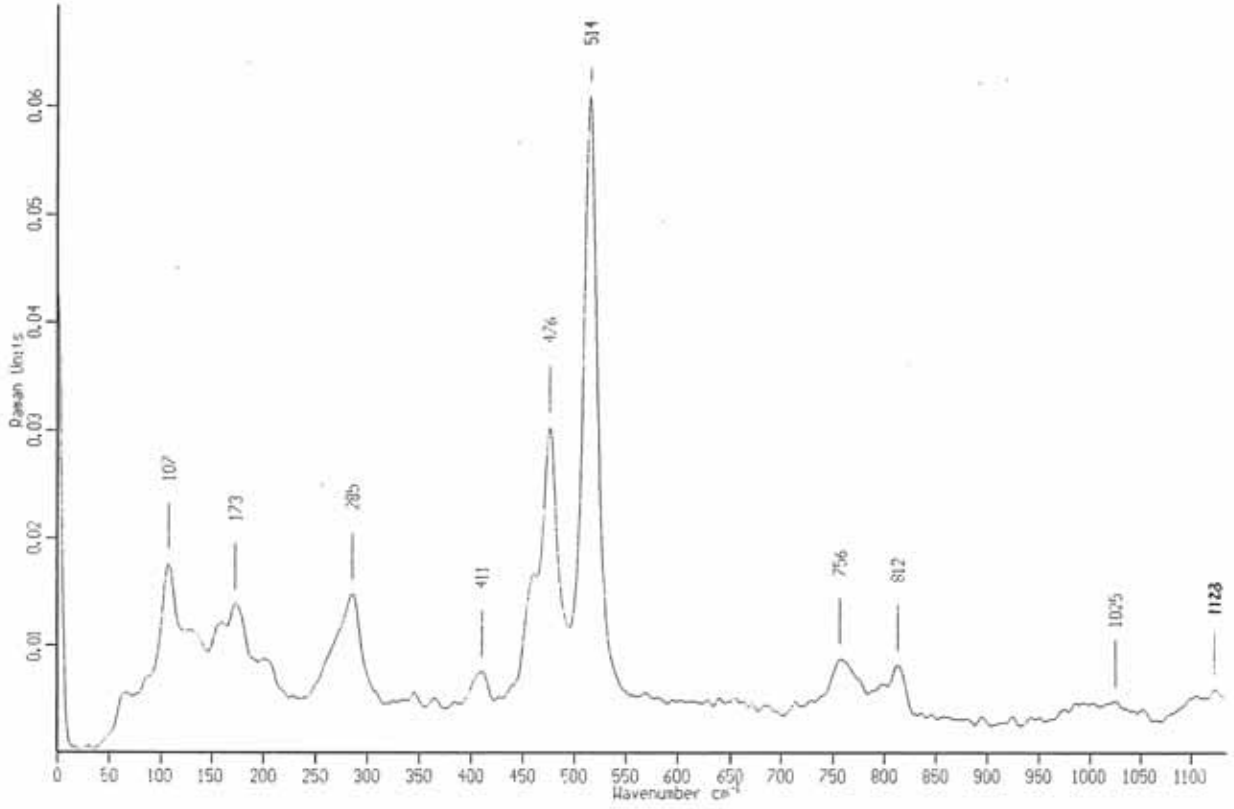
PL 4 LG Lbase plane



PL 5 LG Lbase plane



PL 6 LG Lbase sciée



En résumé, nous pouvons disposer les résultats suivants dans le tableau ci-après :

Longueur d'onde en cm^{-1}.
Unités Raman en 10^{-3}.

	109	*157*	*288*	*408*	*477*	*514*	*757*	*813*	*1126*	*764*	*1010*	773
P1	15	15	15	8	32	51	7	5	5			
P2	-	16	15	-	35	56	-	-	10			
P3	18	17	17	14	28	42	-	12	-	12	10	
P4	9	27	17	6	25	46	-	-	5	-	-	4
P5	10	23	15	5	8	54	3	-	8	-	-	-
P6	17	-	14	16	30	61	9	7	5	-	-	-

Tableau II-C

Dans une étude publiée dans le Journal of Raman Spectroscopy, Mernagh était arrivé à la conclusion que les feldspaths pouvaient être identifiés par une bande intense observée entre 500 et 515 cm^{-1}.
Le mode A9 à 513 ou 514 cm^{-1} avaient une bande plus intense. Deux autres bandes pouvaient être observées entre 450 et 500 cm^{-1}. Ces trois bandes forment un « triplet » caractéristique qui est présent dans la plupart des feldspaths alcalins.

Dans une étude publiée dans le Journal of Raman Spectroscopy, Mernagh (1991) était arrivé à la conclusion que les feldspaths pouvaient être identifiés par une bande intense observée entre 500 et 515 cm^{-1}.
Le mode A9 à 513 ou 514 cm^{-1} correspondai à une bande plus intense. Deux autres bandes peuvent être observées entre 450 et 500 cm^{-1}. Ces trois bandes forment un « triplet » caractéristique qui est présent dans la plupart des feldspaths alcalins.

Actuellement, des données propres aux PL concernant la spectroscopie Raman ne sont pas disponibles. Toutefois, lorsque l'on compare les bandes d'absorptions à d'autres tectosilicates l'on obtient les indications suivantes :

Dans l'**albite**, les bandes présentes **sous 450 cm^{-1}** coincident avec des **mouvements de translation.**
Lorsque la répartition des atomes d'aluminium est plus ordonnée, des bandes plus larges sont observées *(Mernagh, 1991).*
Alors que, dans une étude sur des cristaux de **danburite** ($CaB_2Si_2O_8$), Best indique

- **au de là de 1100 cm^{-1}** , ce sont des **mouvements de translation** entre Si-O-Si
- entre 400 et en de cà de 586, ce sont des mouvements de vibration entre Si-O-Si en forme de V. (Best et al., 1994))

Mc Millan (1981) quant à lui indique que le spectre de verre d'alumino-silicate montre une bande intense vers 430 cm^{-1}, qui serait due à des mouvements symétriques (en forme de bending[2]) de Si-O-Si.

[2] en forme de V

Microscopie électronique à balayage

Les photos et spectres réalisés sur le microscope électronique à Balayage Jeol 5800 ont été obtenus au Centre de Microcaractérisation de l'Institut des Matériaux de Nantes.

A) Observation en cathodo-luminescence d'un échantillon de PL (bleu-bleu, transparent) de Meethiyagoda
B) Observation en cathodo-luminescence d'un échantillon de PL (nacré-blanc, translucide) d'un gisement du Sud de l'Inde.

Les 2 échantillons ont été observés dans les mêmes conditions :
- haute tension de 20 kV dans le vide.
- Agrandissement 500 x

K

A) Cette photo montre que pour une PL bleu-bleu de Meethiyagoda aucune structure particulière n'est visible en cathodo-luminescence l'agrandissement 500 x.

L

B) PL nacrée blanche montrant une structure perthitique. Les zones clairees sont riches en ORTHOSE et les zones foncées sont riches en ALBITE.
On constate que la taille des perthites varie fortement.
*- Les perthites les plus petites : **2800 nm***
*- Les perthites les plus grosses :**6600 nm***

Microscope électronique à transmission

La microscopie électronique à transmission est depuis quelques années un outil de choix pour l'observation et la caractérisation des matériaux à une échelle très fine (de l'ordre du nanomètre).

Les propriétés des matériaux sont étroitement dépendantes de leurs caractéristiques microstructurales, microtexturales et microchimiques. L''ssociation des différents modes de la microscopie à balayage et à transmisssion (image, microanalyse et microdiffraction) en fait une méthode très informative et c'est actuellement la méthode la mieux adaptée à l'étude des cristaux comportant des micro-domaines de composition différentes comme les pierres de lune.
C'est pourquoi nous l'avons utilisée en complément d'autres études pour essayer de relier la couleur bleue de la pierre de lune avec les microstructures observées dans les échantillons.
Pour être transparents aux électrons les échantillons doivent avoir une épaisseur voisine d 10 à 50 nm. Cette épaisseur est obtenue par amincissement ionique. L'échantillon de 3 mm de diamètre est bombardé par un flux d'argon ionisé sous incidence rasante. On laisse un trou se former et les bords de ce trou sont observables au MET.

Nous avons observés deux types de pierres de lune
PL1 « bleu-bleu »
PL6 « bleu »
Ces lames ont été observées à température ambiante dans le microscope en image et en diffraction.
PL1 a été observée à différentes températures in-situ dans le microscope grâce à un porte-échantillon Gatan chauffant, de l'ambiante à 665°C pendant une heure sous vide.
Des modifications tant en image qu'en diffraction ont été observées ainsi que le montrent les photos suivantes.

(Communication personnelle de Mme Anne-Marie Marie, 1998)

Chapitre II :

Identification

La distinction des PL des autres gemmes
Observation des inclusions au microscope optique

Observation d'une PL « bleu-bleu ». Sur cette image en champs clair, on distingue de larges domaines sodiques dans une matrice potassique. Les dimensions de largeur de la perthite varient de 5 à 10 nm. Grandissement du Tirage 107.000 X

Fig MET1

Observation de l'échantillon PL1
à température de 18°C au
MET CM-30.

Sur cette image en champ clair, on
Distingue les franges dues aux
cryptoperthites

Grandissement originel = 13.500

(Fig MET1)

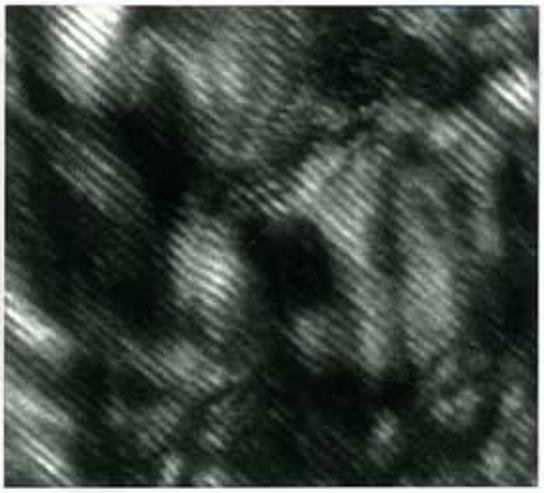
PL1 (échantillon bleu bleu) à température ambiante.

En cet agrandissement, on distingue des « macros distorsions » en forme de « C ».

Les fines lignes parallèles que l'on distingue sont les franges de moiré. (Fig MET2).

(Fig MET2)

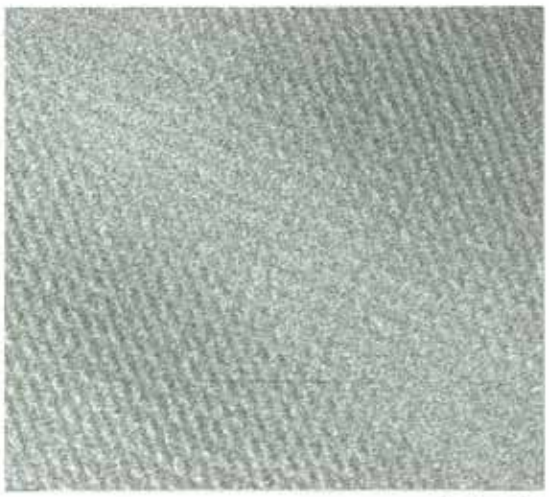
(Fig MET3)

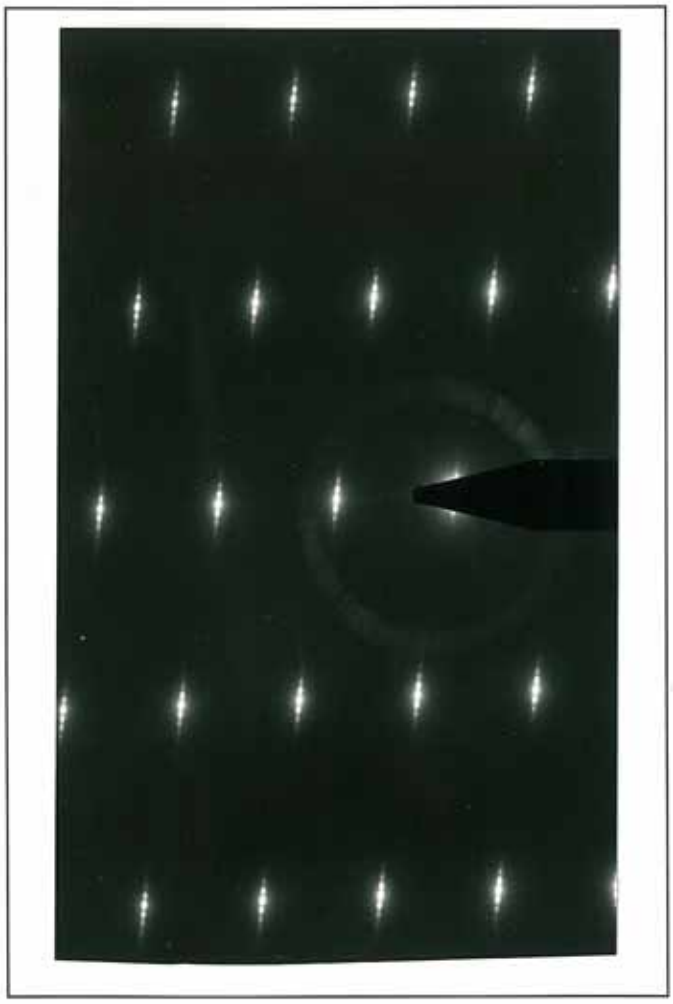


Certaines figures de moiré se présentent en structure de « chevrons » (Fig MET3).

Observation de la limite entre une zone sodique et une zone potassique à température ambiante en haute résolution (Fig MET4).

REM : Contrairement à l'hypothèse avancée par Harder (1992) aucune observation faite au MET ne permet de déceler des « infiltrations » d'eau qui auraient agrandi des séparations dans les PL.





Cliché de diffraction en axe de zone {102 } de la zone reprise ci-dessus.

La différence d'orientation entre les zones sodiques et les zones potassiques cause une multiplication des tâches de surstructure suivant une direction {201}.

La taille des cryptoperthites peut se déduire approximativement de la distance entre deux taches de surstructure
La taille des défauts[3] est de 8 nm.

(fig MET5).

[3] x : taille des défauts
λ : longueur d'onde des électrons
d : distance d'une tache de surstructure à une autre.
L : Longueur de la caméra en mm

$x = \lambda . L / d$

$x = 16.45 \ . \ 5 \ / \ 1 \cong 80 \ A = 8 \ nm$

(Fig MET6)

Observation d'une PL « bleu-bleu » à **température de 665°C** après 60 min in situ au MET CM-30.

REM :

- **apparition de « globules »** en bordure de l'échantillon.
Une diffraction de ces globules montrera que ces « globules » sont un composé vitrifié. (Fig MET6)

Les tâches de surstructure disparaissent car les perthites s'agrandissent (il y en a donc moins). On observe une relaxation des défauts en « C ».

On peut supposer que si l'on poursuit l'opération suffisamment longtemps, on obtiendra une PL blanche.

Sur la photo du bas, l'on observe une tache de surstructure de part et d'autre de la tache centrale au lieu de 3 précédemment.

Observation de l'échantillon PL6 « bleu » à **température ambiante** au MET CM-30.

REM :

- Cet échantillon présente moins de « défaut en forme de marche » que l'échantillon PL1

La largeur des cryptoperthites varie de 15 à 90 nm environ. Elle est donc en moyenne plus grande que pour les pierres de lune bleu-bleu. Elles sont encore plus grande pour les pierres de lune blanches (voir MEB).

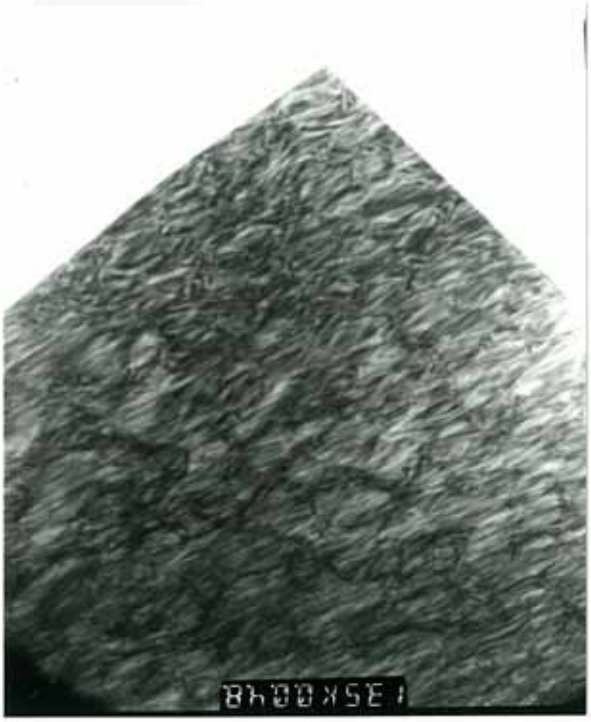
Donc la taille des perthites semble jouer un rôle dans la coloration.

(Fig MET8)

Cette série de 4 photos montre l'évolution durant le traitement thermique.

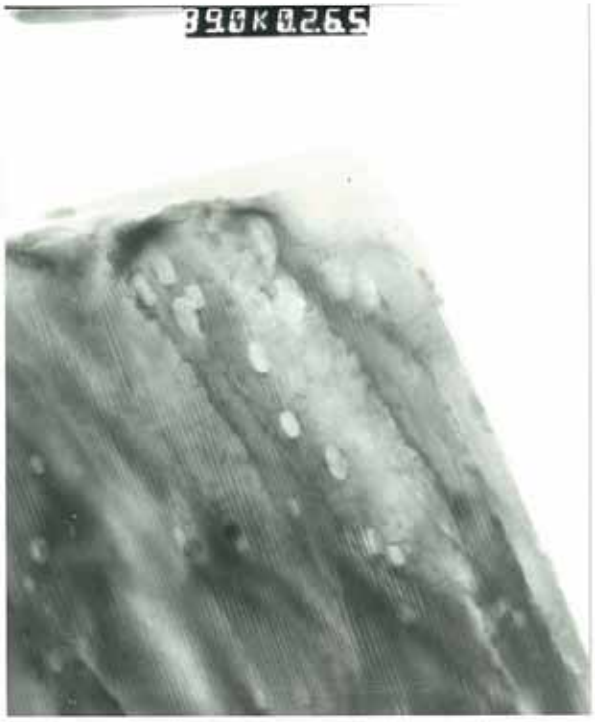
(1) → **(2)** Les défauts se relaxent, les perthites deviennent plus larges et plus visibles.
(3) → **(4)** De nouveaux défauts dus à la chaleur (et à l'irradiation) apparaissent jusqu'à un début d'amorphisation.

(1)



(2)

(3)



(4)

La distinction des pierres de lune des autres gemmes.

Les PL peuvent être confondues avec quelques autres gemmes. ***Actuellement,*** *il n'existe aucune pierre de lune synthétique sur le marché mais* ***des DOUBLETS***[1]***.*** *Il semblerait que les doublets soient fabriqués en Thaïlande. Ces doublets consistent pour la partie inférieure en une lame de PL qui est surmontée d'un cabochon en verre ou en quartz. La détection de la PL « doublet » peut se faire lorsque la pierre est manipulée. La gemme offre un effet adularescent "superficiel" que l'on n'obsrveve pas dans la masse de l'échantillon.*
Au polariscope, les doublets montrent une figure optique « biaxiale ».

A l'aide des instruments gemmologiques de base, la distinction entre la PL et ses imitations se fait dans la plupart des cas relativement facilement.

Comme la majorité des PL se présentent sous forme de cabochons, boules et camées, on ne peut pas les distinguer des autres gemmes par la prise de mesure de l'indice de réfraction. En effet, la mesure de l'indice de réfraction par la méthode de vision à distance manque de précision.
La calcédoine, le quartz, l'opale, l'obsidienne, le verre peuvent se présenter sous un aspect similaire aux PL.

Le tableau ci-dessous montre les tests diagnostiques nécessaires à cette séparation.

	Polariscope	**Figure Optique**	**Réfractomètre***	**Densité**
Pierre de Lune	ANI[2]	Biaxe	1.518 - 1.526 (+0.004)	**2.52 - 2.61**
Agate	**ACA**[3]	Néant		2.60 +/-0.05
Quartz	ANI[2]	Uniaxe **« Œil de taureau »**	1.544 - 1.553	2.65
Opale	**ISO**[4]	Néant	1.450 (+ 0.020) (- 0.080)	2.15 +0.07/-0.90
Obsidienne	**ISO**	Néant	1.48 à 1.52	2.45 +/-0.10
Verre	**ISO**	Néant	1.44 à 1.70	**2.3 à 4.5**
Spinelle synthétique	**ISO**	Néant	1.730 (+/-0.010)	3.60 +0.13/-0.04
Plastique				
DOUBLETTE	**OBSERVATION AU et LAMPE U.V.**		**M ICROSCOPE COURT**	

Tableau II-E

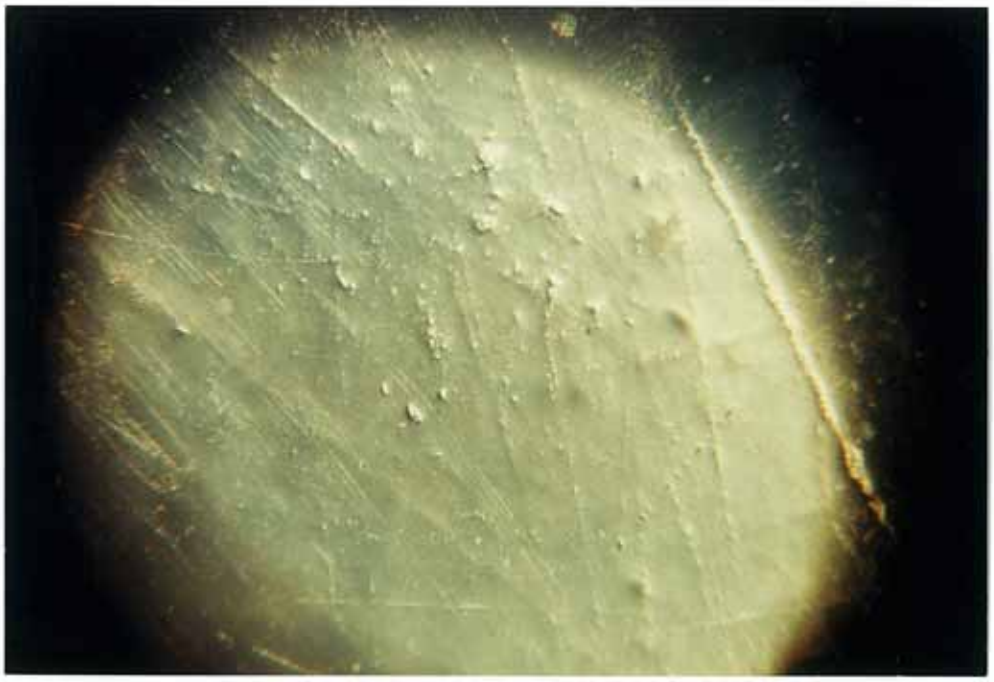
- * Mesures d'après « Tables of Gemstone Identification »

[1] Pour la détection des doublets des PL voir p 40 photo J et page 58
[2] **ANI** : substance composée d'un agrégat anisotrope
[3] **ACA** : agrégat cristallin
[4] **ISO** : substance optiquement isotrope

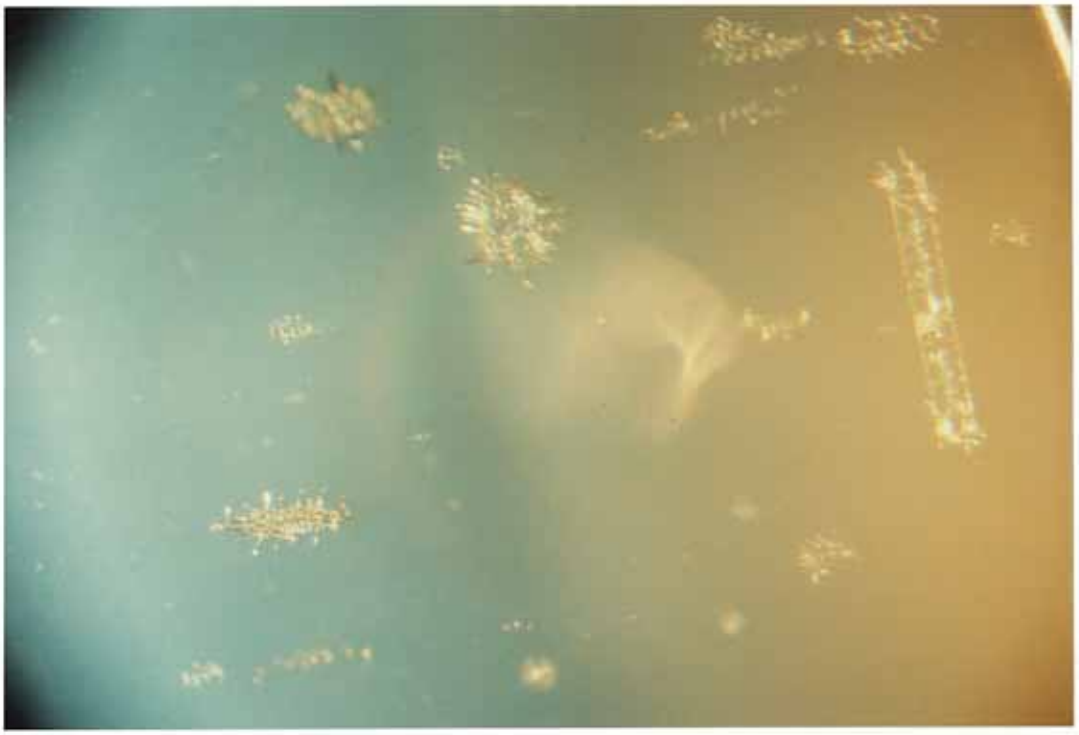
Observation des Inclusions au microscope.

Une première observation des PL de Meethiyagoda réalisée au microscope sous agrandissement entre 10 et 30 x permet de distinguer les caractéristiques suivantes :

Photo **F**	Altération d'une PL suite à l'action de l'hydrolyse	P 14
Photo **J**	Suivant l'utilisation d'un éclairage à transmission ou par réflexion les griffes ou coups peuvent apparaître en relief positif.	P 59
Photo **L**	Inclusions en forme de mille-pattes. Ces inclusions sont formées à la suite de tensions qui ont donné naissance à des fissures.	P 60
Photo **M**	Les doublets de PL peuvent être détectés lorsque la base du cabochon est observée en biais.	P 61
Photo **N**	Doublet observé au microscope en immersion.	P 61
Photo **K**	Cette inclusion apparaît en surface. Son aspect laissait à penser qu'il s'agissait de kaolin. Une analyse au microscope électronique à transmission révèla que cette matière provenait d'un corps d'origine organique.	P 60
Photo **P**	Verre imitant la PL bleue	P 62

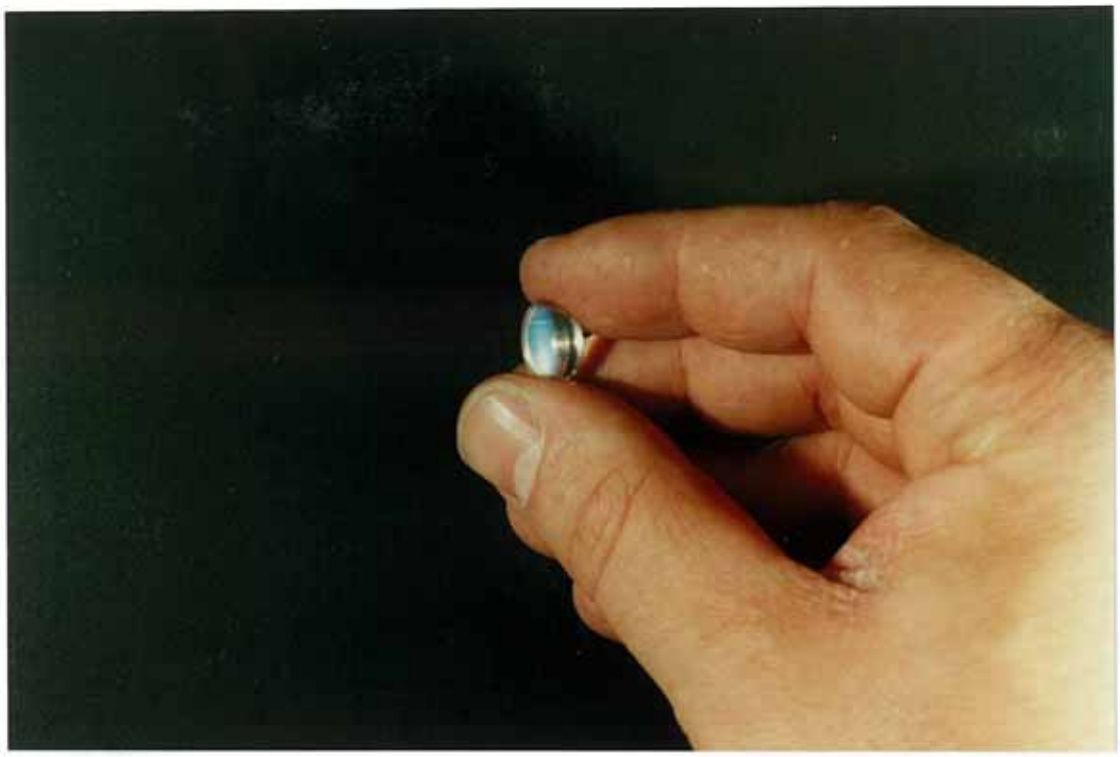


Suivant l'utilisation d'un éclairage à transmission ou par réflexion les griffes ou coups peuvent apparaître en relief positif. **J**

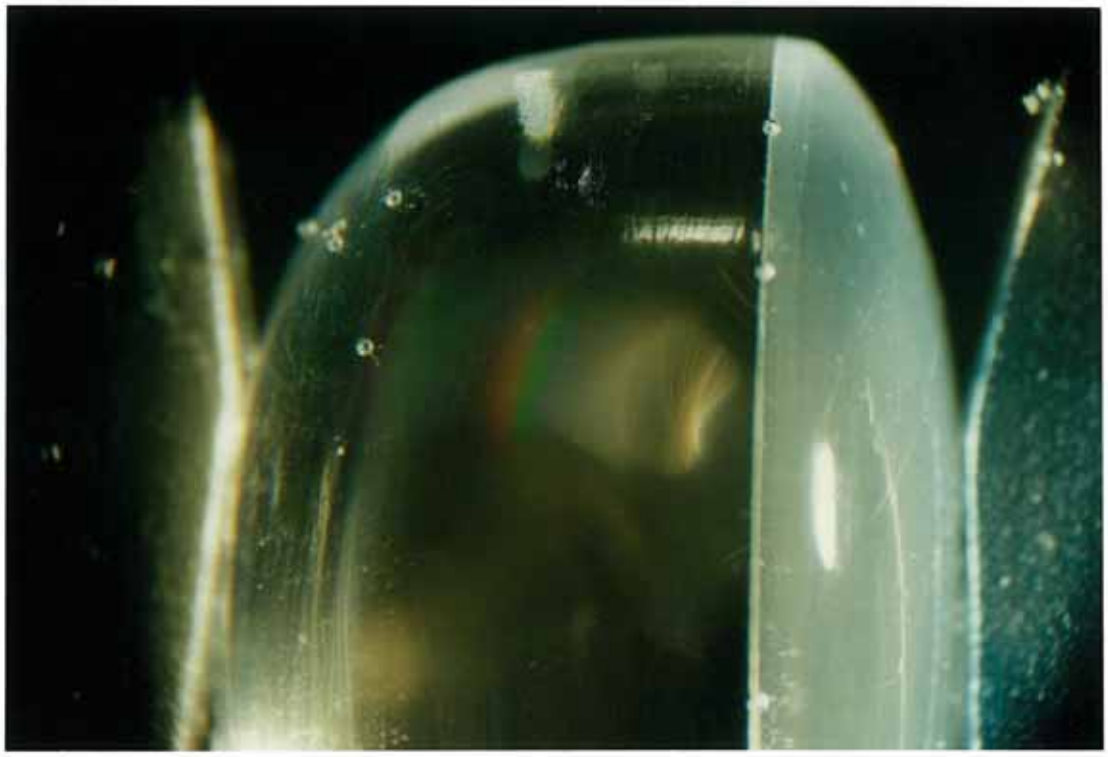


Fissures donnant naissance à des inclusions ressemblant à un mille-pattes **L**

Le MEB révéla que l'origine de cette inclusion est de nature organique et non minérale.
Il s'agit probablement d'un dépot d'humus introduit dans une micro-fracture **K**



Les doublets de PL peuvent être détectés lorsque la base du cabochon est observée en biais. **M**



Doublet observé au microscope en immersion **N**

Verre imitant la PL bleue **P**

Chapitre III :

La commercialisation

Classification des couleurs des PL
Les Techniques de taille
L'Evaluation
Le Négoce

Classification des couleurs

La différence d'intensité de couleur et la "nomenclature" des PL blanches et bleues est très peu détaillée dans la littérature gemmologique.

Spencer mentionne la classification suivante :
Blue (with silky blue to deep bllue) **Bluish-White** (with bluish-white schiller) **White** (with silky to pearly white schiller)

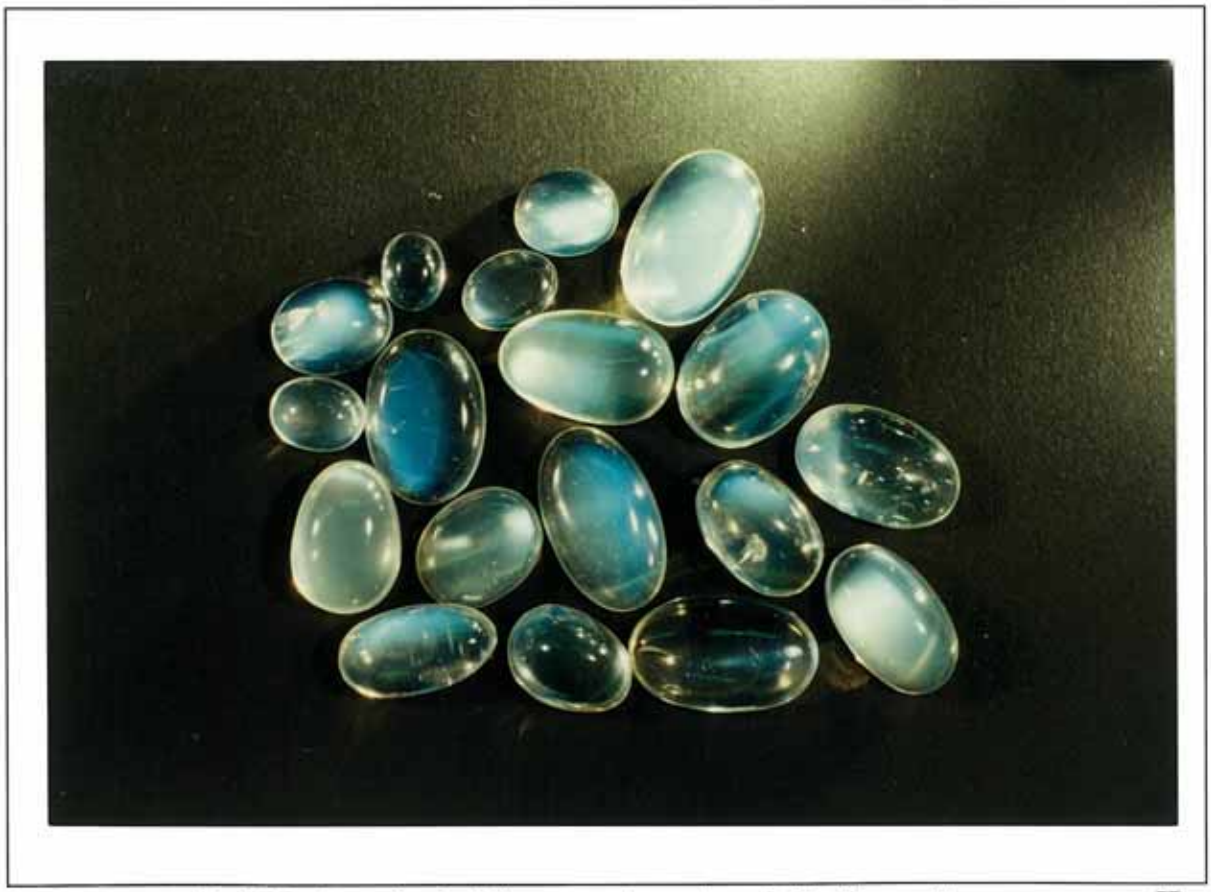
Harder classe les différentes couleurs de PL suivant les grades :

Top-blue,	**semi-blue,**	**White**
Crystal blue	Top semi blue	Crystal White
Normal blue	Normal semi blue	Silvery
(Muddy blue)	Muddy blue	Pearly
		Normal White
		Muddy White

Les PL transparentes sont décrites comme « **Crystal quality** »

alors que Sinkankas dans Standard Catalog of Gem Values mentionne :
Fine Blue, good blue, fair blue, silver-white

et que sur place les indigènes rencontrés les classaient de la façon suivante :
Blue-blue, Blue, White-blue, White.



PL de Meethiyagoda de différentes couleurs allant du bleu-bleu au blanc. **H**

Une table simplifierait la classification des couleurs :

	Blue/blue	Blue	White-blue	White
Crystal				
Semi-trans.				
Opaque	NE PEUT EXISTER			

Tableau III-A

Il ne peut exister de PL opaque avec une couleur bleue due à la diffusion de Rayleigh.
Si une PL bleue est opaque sa couleur est due à une autre cause que la diffusion de Rayleigh.

Spencer (1930) observe pour les PL bleues (sans inclusion) en lumière transmise qu'elles sont incolores lorsque celles-ci sont observées parallèlement aux faces de clivage dans la direction de l'axe b ou c.

Techniques de taille

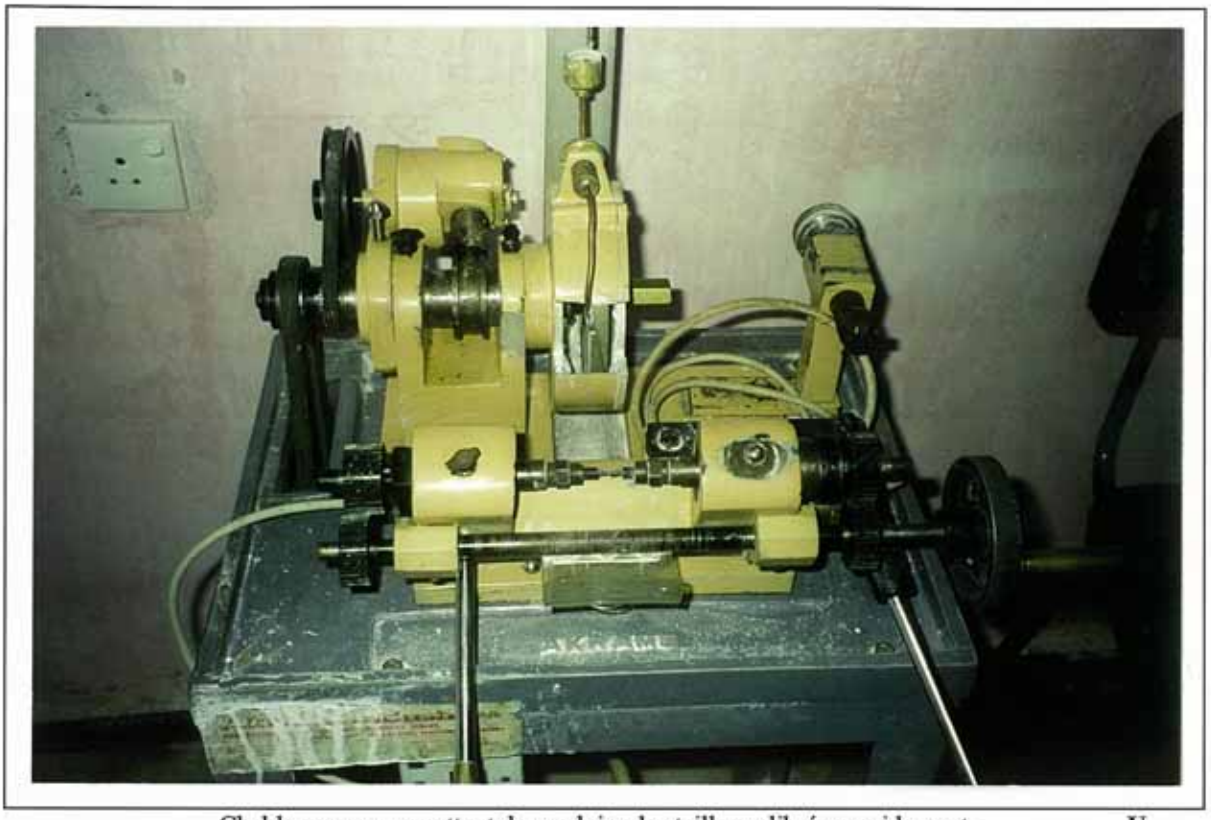
Généralement, des moteurs électriques entraînant des disques diamantés sont utilisés dans la majorité des centres de taille.

A Meethiyagoda, je constate que deux outillages de taille sont présents :

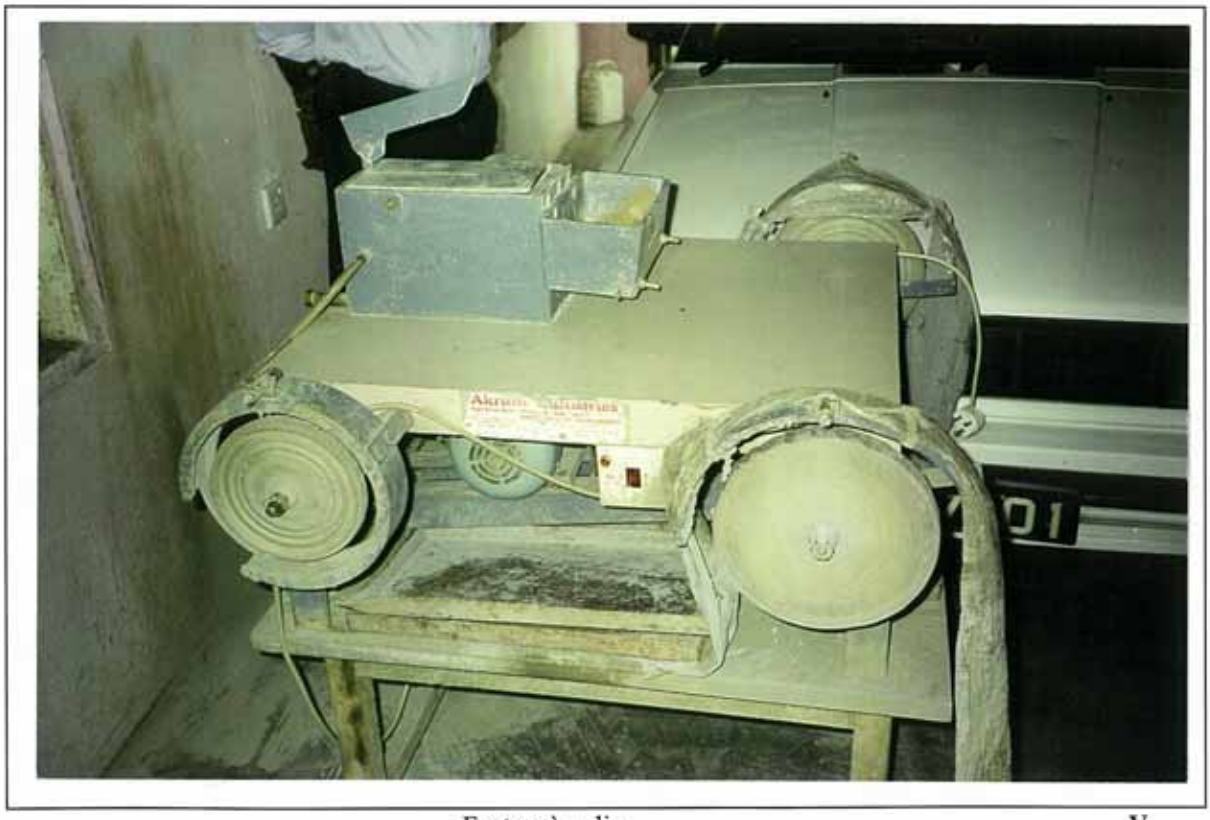
Quelques machines « modernes électriques » (chablonneuses et tours électriques à ébruter/polir...) mais principalement, **un outillage « archaïque »** (ou la pierre est maintenue entre les doigts pendant qu'à la main un archet actionne l'axe du disque) est utilisé.

Le brut se travaille et se sable rapidement. Les cabochons en PL se polissent sur feutre ou cuir à l'aide d'oxyde de cérium ou Linde A.

L'ébrutage et le polissage sont encore exécutés à la main par certains lapidaires sur un axe horizontal entraîné par un arc. **T**



Chablonneuse permettant de produire des tailles calibrées rapidement. **U**



Feutres à polir **V**

Evaluation

des **CABOCHONS**

Lors de l'évaluation 5 aspects sont observés : **COULEUR**
TRANSPARENCE
ABSENCE D'INCLUSION
GRANDEUR
PROPORTION (calibrage).

Couleur :
Les PL les plus prisées en Europe sont celles dont l'adularescence bleue est intense. Ce reflet bleu doit être uniformément réparti le long de la partie supérieure du cabochon lorsque la pierre est manipulée.

Les indigènes observent généralement les pierres en main ou en plis sur fond blanc au soleil. Dans ces conditions, juger la couleur d'une pierre s'avère fort difficile. En effet, les maisons et bon nombre de bureaux de courtage présentent une certaine "obscurité". Lors du négoce, acheteur et vendeur débattent de l'évaluation de la beauté des couleurs au soleil et discutent le prix à l'intérieur.

Inclusion et transparence
Les PL bleues de première qualité doivent être libres de toute inclusion visible à l'œil mais également offrir un aspect transparent.

Grandeur
Actuellement, les grandes PL bleues sont devenues difficiles à trouver. Leur demande ne cesse d'augmenter. Entre 1992 et 1996, les prix ont triplé pour les pierres supérieures à 10 par 12 mm de bonne qualité.

Négoce

Il est exceptionnel de voir des lots de pierres brutes de PL bleues de Meethiyagoda disponibles sur le marché hors du Sri Lanka. La majorité des PL bleues taillées de Meethiyagoda sont négociées initialement à Meethiyagoda, Galle et Colombo avant d'être exportées. Les lapidaires travaillent indépendamment (à partir de brut acheté) ou bien sur base de contrats individuels. Selon Harder, près de 25% des PL trouvées dans la « bonne » partie de la pegmatite de Meethiyagoda sont de qualité suffisante pour être commercialisées *(Harder, 1992)*. Pour les PL bleues, le facteur de la dimension est très important car les grandes PL se font rares à Meethiyagoda. Il n'existe pas de statistique concernant les qualités et les quantités de PL exportées du Sri Lanka. Il semblerait que bon nombre de PL (bleu-bleu) sont exportées vers l'Allemagne, la Grande Bretagne, le Japon.

De façon générale, ces dernières années, on peut constater que sur les marchés, les PL bleues sont en augmentation de prix.

Le tableau comparatif de cotations.

Sinkankas : Valeur indiquée dans le Standard Catalog of Gem Values
Les cotations ont été effectuées entre 1992 et 1993.
E : Valeur indiquée dans le Standard Catalog of Gem Values converti en Euros

Description (Cabochons)	Sinkankas **U.S $**	€
Fine blue : 1 à 3 ct	10 à 20	8.75 à 17.5
Fine blue : 4 à 9 ct	15 à 25	13.1 à 22
Fine blue : 10 +	20 à 40	17.5 à 35
Fair to good blues 1 à 3 ct	7 à 10	6.1 à 8.75
Fair to good blues 4 à 9 ct	10 à 15	8.75 à 13.1
Fair to good blues + 10 ct	10 à 20	8.75 à 17.5
Fine siver white : 1 à 3 ct	8 à 10	7 à 8.75
Fine silver white : 1 à 3 ct	15 à 20	13.1 à 17.5
Fine silver white : 1 à 3 ct	15 à 25	13.1 à 22
Fair to good silver white : 1 à 3 ct	2 à 10	1.75 à 8.75
Fair to good silver white : 1 à 3 ct	2 à 15	1.75 à 13.1
Fair to good silver white : 1 à 3 ct	5 à 25	4.4 à 21.9

Tableau V

Chapitre IV :

Discussion et Conclusions

Discussion

- **FORMATION**

La question qui concerne l'origine géologique du site de Meethiyagoda (les 4068 m^2 qui produisent la meilleure qualité de PL) reste une énigme.

Mais, nous constatons que :

- la majorité des pierres provenant de ce gisement sont de bonne qualité,
- les PL de la même qualité (bleu-bleu) sont rarement trouvées hors de ce site.

Etant donné la qualité des pierres de ce gisement, on peut penser que les conditions optimales de mise en place de cette pegmatite pour l'obtention de PL "idéales" ont été réalisées à Meethiyagoda.

Ceci peut laisser penser aux hypothèses géologiques suivantes :

- importance de la **qualité physico-chimique propre au batholite** mis en place qui permettrait d'expliquer la raison pour laquelle les feldspaths entourant le site n'ont pas de PL de cette qualité et sont exploitées pour la fabrication de porcelaines.
- influence de la **vitesse de refroidissement.** Contrairement à ce qu'affirme Spencer, il me semble que la vitesse de refroidissement pourrait jouer un rôle important pour la qualité des gemmes formées (réf. observations de tests thermiques).
- Influence des mouvements tectoniques comme le suggère Harder

Si l'on suppose que le refroidissement du batholite a donné naissance aux cassures verticales, il est intéressant de constater que celles-ci ne se présentent pas sous la forme "hexagonale" comme dans les basaltes.

En ce qui concerne l'origine des cassures horizontales, il me semble peu probable qu'elles aient été occasionnées sous l'action de la tectonique car de telles cassures devraient alors se retrouver dans d'autres sites.
Sans doute, **une étude tectonique plus détaillée de la zone** (levé de détails, datation) **permettrait de mieux comprendre les différents mécanismes de mise en place.**

Conclusions

En guise de conclusion, nous constatons que concernant :

- **L'EXPLOITATION DU GISEMENT**

Les PL sont recherchées par des méthodes qui restent fort rudimentaires et dangereuses. Progressivement, le gisement s'épuise. Ceci laisse donc présager que d'ici peu, les grandes PL bleues de la bonne qualité (blue-blue crystal) seront probablement considérées comme « des pièces de collection ».

- **GEOCHRONOLOGIE**

La datation des PL par l'analyse $^{40}Ar/^{39}Ar$ a permis de déterminer l'âge du site à 450 Ma.

- **LA CLASSIFICATION DES COULEURS DES PL BLEUES**

Comme pour la grande majorité des autres gemmes, il n'existe pas de classification et de nomenclature précise.
Une classification des couleurs et de la pureté des PL sous forme de tableau permet de situer rapidement la qualité d'une marchandise proposée (voir tableau page 62).
Si d'autres travaux sur les PL bleues doivent être faits, il serait intéressant d'établir une échelle de référence des couleurs[1] afin de pouvoir comparer plus efficacement les résultats des travaux obtenus.

- **LA DIFFUSION DE LA LUMIERE**

La couleur bleue des PL est due au phénomène de la diffusion de Rayleigh. Ceci nous permet de dire qu'il ne peut pas exister de pierre de lune bleue opaque sauf si la couleur est donnée par un élément étranger à la cryptoperthite (inclusion, couleur).

- **TRAITEMENT THERMIQUE**

Lorsqu'un traitement thermique important est appliqué aux PL (bleu-bleu, crystal), il transforme celles-ci en PL moins bleue, semi-transparente.
La diffusion de la lumière bleue est moins intense dans les échantillons chauffés.
Après refroidissement, certains échantillons chauffés présentaient des fractures internes parallèles. Ce phénomène pourrait faire l'objet d'une étude cristallographique tenant compte de l'orientation du réseau cristallin et éventuellement de la structure microperthitique.
Ce qui laisserait penser à l'importance de la vitesse de refroidissement du gisement même.
Le changement de couleur des PL traitées thermiquement reste stable.

[1] qui serait disponible pour consultation

- **CONFUSIONS POSSIBLES et DETECTION DES IMITATIONS de PL**

Les PL peuvent être facilement distinguées de la plupart des gemmes qui les imitent par les instruments de gemmologies de base (polariscope, liquide dense, réfractomètre *voir page 55*). Toutefois, il faut rester vigilant afin de détecter les doublets éventuels.

Il est recommandé de "manipuler avec attention" les PL car des **DOUBLETS** (formés de PL et verre ou PL et quartz) sont présents sur le marché (voir page 58).

L'utilisation de la lampe aux U.V courts se révèle fort pratique pour la détection de doublets dans des lots importants. En effet, la lampe U.V. ne nécessite pas une étude séparée pour chaque gemme.
La lampe aux U.V courts permet de distinguer rapidement les doublets (PL-verre/PL-quartz) des PL massive de Meethiyagoda.
Les PL de Meethiyagoda présentent une fluoresce dans les tons rose-violet alors que les doublets montrent une fluorescence dans les tons bleus.

- **OBSERVATIONS AU MEB (Jeol 5800)**

Le microscope électronique à balayage permet l'observation de la structure des PL blanches (microperthites) mais ne permet pas l'observation des PL bleues (cryptoperthites).
Les lamelles dans les cryptoperthites sont trop petites pour être analysées avec Jeol 5800.

- **CARACTERISTIQUES DES PL BLEU-BLEU**

Comme observé par le microscope bleu MET CM-30, les échantillons de PL bleu-bleu présentent **une structure plus fine, relativement régulière** et plus de défauts en forme de "C" que les PL (bleues) ou blanches..
Les PL bleu-bleu présentent des cryptoperthites dont la largeur avoisine les 4 nm en moyenne.

- **MET CM-30**

Aucune trace d'infiltration d'eau (qui agrandi les distances entre les différents plans) n'a été détectée dans les échantillons observés. L'hypothèse du Dr Harder peut donc être réfutée.

- **COMPOSITION CHIMIQUE**

Les PL bleues de Meethiyagoda entrent dans la fourchette décrite par Spencer.
30 à 40 % de feldspath sodique
70 à 60 % de feldspath potassique
L'échantillon testé par Jeol5800 montrait un écart de 2% par rapport à ces valeurs.

- **NEGOCE**

La forte augmentation des prix des PL constatée sur le marché résulte de la diminution de rendement des puits et l'appauvrissement progressif du site de Meethiyagoda.

- **ETUDES ULTERIEURES A ENVISAGER**

Il serait intéressant qu'une étude du site de Meethiyagoda soit réalisée par un géologue structuraliste parallèlement à une étude des PL au MET.
Ces deux études menées conjointement pourraient démontrer le lien qui existe entre la mise en place du site et la qualité des PL bleues de Meethiyagoda.

Chapitre V :

ANNEXES

Fiches minéralogiques
Altération des feldspaths
Cristaux et Macles
Vocabulaire
Etymologie
Chronologie
MET (PhilipsCM30)
Autres gisements de PL au Sri Lanka
Pierres de lune et Civilisations

Fiches Minéralogiques

(Source : Dana E, 1949)

Albite :

Système cristallin	Triclinique
Clivage	(001) parfait et bon suivant (010)
Dureté échelle de Mohs	6
Densité	2.62 quand « pur » et peut atteindre *2.76*
Couleur	Incolore, blanc, gris parfois verdâtre ou jaunâtre
Eclat	Vitreux à nacré
Transparence	Transparent à translucide
Dimension de la maille élémentaire	**a=0.81 b=1.28 c=0.71 nanomètre** **α= 93.5° β=116.4° γ=90.3°** (Smith J., 1972)
Indice de Réfraction	α = 1.529 β = 1.584 γ = 1.588
Composition Chimique[1]	Na ($AlSi_3O_8$) (Na, Ca) ($AlSi_3O_8$)

Synonymes : Adinole, olafite, cryptoclase, hyposclérite, péricline, kieselspath, peristerite Sodaclase, tétartine, zygadite.

Rem : la littérature minéralogique mentionne également de l'albite monoclinique qui est appelée **barbierite.** Elle peut se trouver en inclusion dans l'orthose.

Les cristaux d'albite se présentent habituellement sous forme tabulaire parallèle à (101) et peuvent occasionnellement être allongés suivant l'axe b.
Les cristaux d'albite sont souvent maclés par ex : macles de Carlsbad, Baveno, Manebach.
Les macles d'albite dont le plan de macle est en (010) sont généralement polysynthétiques et (010) ^ (001) est de 86°.

Identification :

Test de densité, indice de réfraction, insoluble à l'acide chlorhydrique (alors que l'anorthite est soluble dans HCl). Jaune à la flamme.

Classification :

L'albite comme l'orthose et le microcline sont classés comme des feldspaths alcalins *(en anglais : alkali feldspars)*

[1] L'ALBITE est le terme extrême triclinique de $NaAlSi_3O_8$; comme la sanidine l'albite de haute température est désordonnée et peut contenir du potassium pour former une solution solide avec la sanidine. Longtemps discutée, l'existence d'albite pure monoclinique est maintenant certaine. Cette albite pure ne se trouve pas dans les roches mais est un composé de synthèse. A basse température la teneur en potassium est très limitée, les atomes de silicium et de potassium occupent des sites bien définis et le cristal est ordonné (Bariand et al., 1977).

Orthose :

Système cristallin[2] ***Polariscope***	Monoclinique (prismatique) ***Anisotrope***
Clivage	Parfait en (001), moins bon en (010). Peut présenter un plan de séparation dans la direction (100).
Fracture	Conchoïdale à irrégulière
Dureté échelle de Mohs	6
Densité	2.56 (adulaire) 2.58 (sanidine)
Couleur	Incolore, blanc, jaune-pâle, gris, rouge vif
Eclat	Vitreux parfois nacré
Transparence	Transparent à translucide.
Indice de Réfraction	$\alpha = 1.519$ $\beta = 1.523$ $\gamma = 1.525$
Dimension de la maille élémentaire	**a=0.860 b=1.303 c=0.718 nanomètre** **α= 90° β=116.0° γ=90°** (Smith J., 1972)
Composition Chimique	**$K\ AlSi_3O_8$** (Silicate d'aluminium et de potassium) Le sodium est fréquemment présent, remplaçant le potassium. Ces variétés sont connues sous le nom de Soda-Orthoclase (mais les teneurs en Na restent faibles) : $(K, Na)\ AlSi_3O_8$ $(Na, K)\ AlSi_3O_8$

Synonymes : Leelite, napoleonite, orthoclase, pegmatolite, orthoclasite, delawarite.

- L'ORTHOSE D'ITRONGAY est de qualité gemme (transparente et de couleur jaune à incolore).

Sa couleur est due à une forte teneur en fer. Elle provient de la région d'Itrongay (Madagascar) *(Moine, 1995).*
Les cristaux se présentent souvent sous la forme prismatique dont l'aspect peut ressembler au système orthorhombique. De nombreux spécimens se présentent de façon massive et même parfois lamellaire.
Peu de cristaux se présentent sous la forme tabulaire.
La macle de Carlsbad, de Baveno, de Manebach et des macles de pénétrations irrégulières sont très fréquentes.

Identification :

forme cristalline, 2 plans de clivage perpendiculaires, pas attaquable à l'acide.

[2] Les études récentes ont montré la coexistence dans le cristal de domaines tricliniques partiellement ordonnés à l'échelle de la maille avec une géométrie déformée. L'orthose est en quelque sorte un feldspath figé entre la sanidine et la microcline et pouvant être considéré comme un microcline maclé *(Bariand, et al., 1977).*

Réaction :

L'orthose est fréquemment altérée suite à l'action de solution(s) alcaline et/ou carbonatée qui « enlèvent » le potassium et le transforme en kaolin. La stéatite, le talc, la chlorite, la leucite, les micas, la laumontite proviennent de la pseudomorphose (transformation chimique mais conservant la même forme extérieure) après l'orthose. La cassitérite et la calcite remplacent souvent ces feldspaths par des procédés complexes de solution et substitutions.

REM : L'orthose a été synthétisée par méthode de fusion anhydre et méthode hydrothermale en chauffant une solution gélatineuse à base d'aluminium, silicium, eau et de l'hydroxyde de potassium ou bien en chauffant du silicate de potassium avec de la muscovite et de l'eau. Lorsque l'orthose synthétisée est chauffée au-delà de 1170 °C, il se transforme en verre et leucite (K, $AlSi_2O_6$).

ANORTHITE :

L'anorthite et l'albite forment une solution solide

Système cristallin	Triclinique
Clivage	Parfait en (001), moins bon en (010)
Dureté échelle de Mohs	6-6.5
Densité	2.76
Couleur	Incolore
Eclat	Vitreux
Transparence	Transparent
Dimension de la maille élémentaire	**A=0.818 b=1.288 c=1.417 nanomètre** **α= 93.2° β=115.8° γ=91.2°** (Smith J., 1972)
Indice de Réfraction	1.575 1.588 birefr. = 0.013
Composition Chimique	$CaAl_2Si_2O_8$

Synonymes : biotine, calcioclase, huronite, christianite, cristianite, lime feldspar, thiorsauite, indianite, diploïte, amphodélite, lépolite, cyclopite, barsowite.

ADULAIRE :

Formule : $Or_{90}Ab_9An_1$

Description : les cristaux souvent gros, transparents ou translucides avec un éclat nacré **(pierre de lune)** , ont un faciès pseudo-orthorhombique ou même pseudo-rhomboédrique. L'adulaire peut se rencontrer en cristaux plus petits dans les filons hydrothermaux. Elle est classique dans les filons aurifères des cordillères récentes *(Bariand et al, 1977).*

Dans le « Textbook of mineralogy », Dana mentionne que l'adulaire est une variété « presque » pure de silicate de potassium qui montre souvent des macles de Baveno.
L'adulaire est originaire du St Gothard (Suisse) où elle est trouvée dans des schistes avec des quartz et albites...
Aux Etats-Unis des adulaires peuvent être prospectées (à Hot Springs en Arkensas, Mt Antero au Colorado, Barringer Hill au Texas.... la *valencianite* (Valencia Mine, Guanajuato au Mexique) est également une adulaire.

L'adulaire est une orthose qui a cristallisé à basse température (+/- de 400 °C) *(Simpson, 1989).*

Feldspath :

Parmi tous les minéraux, les feldspaths sont les principaux constituants de l'écorce terrestre. Ils peuvent être trouvés dans de nombreuses roches mais sont fortement répandus dans les roches ignées.

Le schéma ci-dessous illustre et indique la nomenclature des feldspaths suivant Or-Ab-An à température ambiante (Smith, 1974).

Nomenclature des feldspaths (Smith, 1974)

Les feldspaths comprennent de nombreuses variétés gemmes :

- Orthose, la couleur jaune est généralement donnée par le fer
- la Pierre de Lune
- la spectrolite, la labradorite
- l'amazonite
- l'oligoclase "pierre de soleil"

Du point de vue chimique, les feldspaths sont des tectosilicates.
Les feldspaths sont des solutions solides ternaires
($NaAlSi_3O_8$ - $KAlSi_3O_8$ - $CaAl_2Si_2O_8$)
qui se forment en deux groupes :

- les feldspaths alcalins (contenant peu de calcium) ,
- les feldspaths calcosodiques ou plagioclases (dont la teneur en potassium est très faible).

Les propriétés cristallines des feldspaths (leur densité et leurs propriétés optiques) présentent des analogies[3]. Cependant, leurs faibles différences ne dépendent pas uniquement de leur composition chimique, mais aussi de la température et des conditions de cristallisation et de leur histoire thermique.

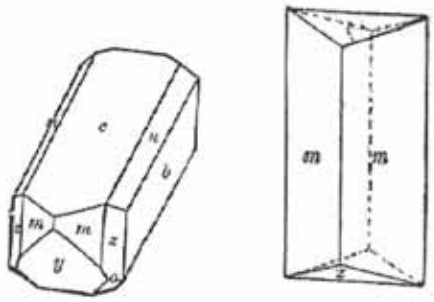
Le feldspath potassique $KAlSi_3O_8$ se présente sous forme stable à haute température, la **sanidine** (monoclinique) et sous forme de **microcline** (triclinique) stable à basse température (le point de transformation se situant vers 700°C). **L'orthose** (également appelée orthoclase) est monoclinique. L'orthose représente un état intermédiaire entre la sanidine et le microcline.

On retrouve des faits similaires avec **l'albite** ($NaAlSi_3O_8$) qui se présente sous forme triclinique, chauffée elle fournit de **l'analbite** (triclinique (désordonnée)) et à température plus élevée de la **monalbite** (monoclinique). Les feldspaths alcalins peuvent exister dans des phases homogènes (K, Na) $AlSi_3O_8$ de l'orthose jusqu'à l'albite. Mais au refroidissement, deux phases se séparent, l'une riche en K, l'autre riche en Na et s'orientent dans des directions cristallographiques bien définies. Cette épitaxie est une perthite quand l'orthose domine et

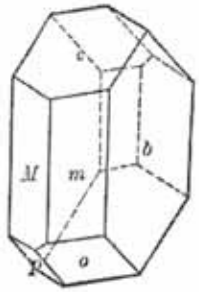
[3] Tous les feldspaths monocliniques ou tricliniques ont des paramètres du même ordre de grandeur et des structures analogues. L'angle β varie très peu (Bariand et al., 1977).

une antiperthite quand c'est l'albite. Le baryum peut entrer dans la composition des feldspaths potassiques. Le celsian (Ba $Al_2Si_2O_8$) est monoclinique (Simpson, 1989).

Faciès de cristaux



Cristaux d'orthose



Cristal d'albite (Dana)

Principales macles dans les feldspaths

La morphologie des macles dépend de la symétrie du réseau cristallin , de leur provenance mais également de l'histoire tectonique de la roche dans laquelle elles se sont formées. Il a été constaté que les hautes températures favorisent les désordres atomiques et la possiblité de développer des macles (Smith, 1974).

Les macles dans les feldspaths peuvent se produire :

- comme phénomène primaire durant la croissance du cristal,
- par glissement suite à une déformation,
- lors de changements thermiques qui induisent une symétrie plus basse *(Deer et al., 1993).*

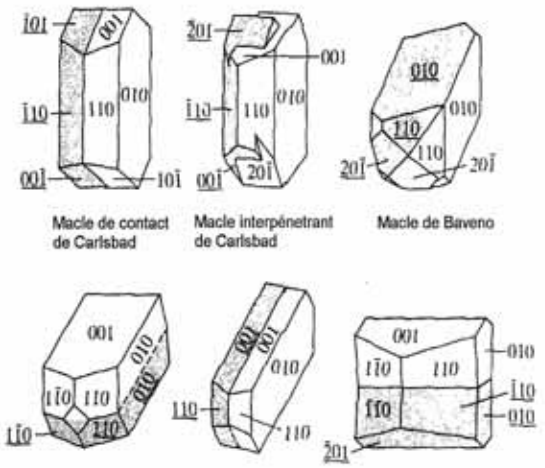


TABLEAU RESUME des FELDSPATHS ALCALINS :

Variété	Formule Chimique	Système de Cristallisation	Remarque
Monalbite	$NaAlSi_3O_8$	Monoclinique **T>1251K**	*Albite à **très Haute température***
Analbite	$NaAlSi_3O_8$	Triclinique	*Albite haute température (désordonnée)*
Albite	$NaAlSi_3O_8$	Triclinique	
↓ ↑	**(Na**, K)$AlSi_3O_8$ ↓ ↑ **(K**, Na)$AlSi_3O_8$	L'albite et l'orthose existent dans des phases homogènes à haute température	*Au refroidissement, deux phases se séparent, l'une riche en K, l'autre riche en Na et s'orientent dans des directions cristallographiques bien définies. Cette épitaxie est une perthite quand l'orthose domine et une antiperthite quand c'est l'albite.*
Orthose	$KAlSi_3O_8$	Monoclinique	
Microcline	$KAlSi_3O_8$	Triclinique	*stable à basse température (-700°)*
Sanidine	$KAlSi_3O_8$	Monoclinique	***stable à haute température (+700°)***
Celsian	$BaAl_2Si_2O_8$	Monoclinique	Le baryum peut entrer dans la composition des feldspaths potassiques

ALTERATION DES FELDSPATHS

Les minéraux qui constituent le substratum silicaté de la lithosphère ont été engendrés par des températures élevées et de fortes pressions. Lorsque les roches sont placées en surface ou dans des conditions différentes de leur genèse, ces espèces ne sont plus en équilibre thermodynamique.
A plus ou moins longue échéance, ces roches auront un comportement d'édifice instable. Leur «carcasse » va se disloquer de telle sorte que les éléments chimiques de leur constitution vont peu à peu être libérés *(Universalis, 1995).*

La composition résultant de l'altération dépendra de la quantité de silice qui s'échappe par «drainage ».

Lors de la décomposition de la roche plusieurs facteurs interviennent :

- les facteurs climatiques (la chaleur et l'humidité accélèrent la décomposition),
- la composition de la roche mère[4],
- la matière végétale présente (qui agira sur la composition de l'humus).

Lorsque l'altération est forte, l'hydrolyse[5] est favorisée et deux cas peuvent se présenter :

1) **Lorsque la charpente silicatée est conservée** et que des cations sont déplacés par soustraction (dégradation) ou par addition (aggradation). On assiste à une transformation des minéraux argileux qui donnent naissance à des smectites, des vermiculites et des interstratifiés.
2) **Lorsque la charpente silicatée est détruite,** il peut y avoir formation de nouveaux minéraux à partir des débris des anciens minéraux et il y a alors néoformation par exemple de la kaolinite à partir de feldspaths en voie de destruction et des hydroxydes d'aluminium (gibbsite), lorsque toute la silice est évacuée par un bon drainage.

- **Les ions à faible potentiel ionique** (faible charge et rayon ionique important) restent en solution jusqu'à des valeurs fortes de pH (ex : Na^+, Ca^{++}, Mg^{++}),
- **Les ions à potentiels ionique moyen** précipitent par hydrolyse à l'état d'hydroxyde (par ex : Al sous la forme de $Al(OH)_3$
- **Les ions à fort potentiel ionique** (charge élevée et faible rayon) forment des anions complexes avec l'oxygène.

[4] La composition de la roche mère intervient par la richesse en cations alcalins capables de saturer les acides organiques. Ils empêchent l'acidité du sol de croître et permettent au processus d'humification de se poursuivre.

[5] L'hydrolyse se fait par les eaux d'infiltration pouvant produire des colloïdes.

Le pH d'une solution règle la stabilité des éléments. La silice et l'alumine se comportent différemment en fonction du pH.

- **en milieu ACIDE, l'alumine est plus soluble que la silice,**
- en milieu NEUTRE, l'alumine est insoluble, tandis que la silice conserve sa solubilité
- en milieu ALCALIN, les solubilités des deux oxydes se rejoignent et croissent ensemble

La solubilité de la silice étant constante dans la gamme des pH naturels, lorsque le milieu est lessivé, la silice est évacuée et il ne subsiste que l'alumine.

Drainage	**pH**	**Processus de Néoformation**	**Argile**	**type**
Milieu Confiné	> ou = 7	bisiallitisation[6]	Smectite	
Milieu Semi-confiné	acide	monosiallitisation[7]	Kaolinite	
Filtration	Acide	allitisation[8]	Gibbsite	Toute la silice est éliminée

(Caron et al., 1995)

[6] Type d'altération qui se présente globalement sous la forme 5 orthose + 20 $H_2O \rightarrow$beidellite + solution. Cette réaction se traduit par une perte de silice de 50% du contenu initial et 80% de l'orthose (ces chiffres ne sont pas immuables et dépendent des substitutions Si-Al des couches de l'argile.
Beidellite : $(Na, Ca_{0.5})_{0.3}Al_2(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2.nH_2O$ (Fleisher et al., 1995)
[7] Type d'altération qui se présente globalement sous la forme 2 orthose +11 $H_2O \rightarrow$Kaolinite + solution. Le « lessivage » de la silice est plus important, le départ du potassium est total.
Kaolinite : $2H_2O.\ Al_2O_3.\ 2SiO_2$ (Bariand et al. 1977)
[8] Type d'évolution qui conduit à la genèse d'hydroxyde d'aluminium pur du type gibbsite $Al(OH)_3$, suivant la réaction : 1 orthose + 8 $H_2O \rightarrow$gibbsite + solution. Cette réaction se traduit par une perte en SiO_2 et cations basiques (K) correspondant à 100 % (Universalis, 1995).

Vocabulaire

ACIDE HUMIQUE
L'humus résulte de la décomposition de débris organiques provenant essentiellement des plantes. Par décomposition, la fraction soluble de l'humus donnera naissance à l'acide humique. L'acide humique est composé de 55 % de carbone, 3.5 % d'oxygène, 3.5 % d'azote et 38 % d'oxygène. Cet acide provient de polymérisation (association de nombreuses molécules relativement petites pour former de grandes molécules complexes). *(Caron et al., 1995)*

ANORTHOCLASE $(Na,K)AlSi_3O_8$
Minéral appartenant au groupe des feldspaths trouvés dans des laves légèrement alcalines. Sa composition se rapproche de celle de la sanidine riche en Na mais il n'existe pas de polymorphisme avec cette dernière. De nombreux matériaux de cette composition ont une adularescence bleue et peuvent être repris sous l'appellation « Pierre de lune » *(Dana's, 1997).*

ARGILE
Les roches sédimentaires détritiques silico-alumineuses à granulométrie fine sont appelées argiles lorsqu'elles sont partiellement déshydratées et plastiques (argilites lorsqu'elles sont desséchées et indurées). Les composants des argiles sont le quartz, le feldspath, le mica, des résidus d'organismes calcaires et de substances organiques ainsi que des minéraux essentiellement argileux extrêmement petits ne pouvant être décelés qu'aux rayons-X *(Schumann, 1985).*

BATHOLITE
Grande masse de roches endogènes profondes, en forme de dôme.

BIOTITE
Variété noire, brun foncé ou vert-noire de micas. $K(Mg, \mathbf{Fe})_3\ AlSi_3O_{10}(OH,F)_2$ *Monoclinique. Transparent à translucide. La biotite est très fortement répandue dans les granites, schistes, gneiss et les roches de métamorphisme de contact.* *(Read, 1982)*

CATHODOLUMINESCENCE
Luminescence due à un faisceau d'électrons sur la matière dans le vide. Cette luminescence est émise par la zone superficielle de la matière. Au microscope électronique, elle est observée sur un écran de télévision.

CHARNOCKITE
Roche pouvant être considérée comme variété de granulite et d'hyperstène dont le composant caractéristique est l'hypersthène *(Schumann, 1985).*

CRYPTOPERTHITE
Structure montrant l'existence de lacune de miscibilité à certaines températures et dans certains domaines de composition. Ces structures ont entre 1 et 5 nm . Elles sont indécelables au microscope optique et décelables aux rayons-X. *(Lasnier, 1995)*

DIFFRACTION ELECTRONIQUE :
Lorsque les électrons sont accélérés, une onde leur est associée dont la longueur d'onde dépend de leur vitesse. Les électrons accélérés sous 300 kV ont une longueur d'onde associée de 0.0036 nm et ils sont donc susceptibles d'être diffractés par les réseaux cristallins.

La diffraction ne peut être observée en transmission qu'avec des échantillons de très faible épaisseur.
La diffraction électronique permet l'identification de phases cristallines et la détermination de relations d'orientation entre plusieurs microcristaux. Elle est utilisée en complément de l'imagerie pour caractériser les cristaux *(Hawkes, 1995).*

DIOPSIDE (Ca, Mg) Si_2O_6
Cristaux monocliniques de couleur, vert, gris, jaune, incolore. Ce minéral appartient au groupe des pyroxènes (1985, Schumann).

ELEMENT EN TRACE :
Eléments qui peuvent se substituer aux éléments majeurs dans les minéraux et qui sont dispersés dans les phases liquide ou solide mais qui ne déterminent pas l'apparition de nouveaux minéraux.

EPITAXIE :
Orientation mutuelle de cristaux de substances différentes due à des analogies dans l'arrangement des atomes sur leur face commune (Larousse, 1966).

EUTECTIQUE (mélange) :
Mélange présentant la propriété d'avoir une température de fusion unique et une composition bien déterminée. La température de fusion de l'eutectique est inférieure à la température de fusion du mélange des mêmes corps dans d'autres proportions" (Universalis, 1995).

FLUORESCENCE
Emission de lumière visible par un corps soumis à un rayonnement pouvant être invisible (U.V, rayons X, rayons cathodiques).
Le phénomène de fluorescence consistant en l'absorption d'une radiation et réemission de toute ou partie de l'énergie sous une autre longueur d'onde du domaine du visible pendant l'excitation.

GIBBSITE
Hydroxyde d'aluminium également connu sous le nom de hydrargillite.
Cristallise dans le système monoclinique, se présente sous forme de petits cristaux de 2 à 4 µm. La gibbsite se trouve souvent dans les sols sous climats tropical (Universalis, 1995).

GNEISS
Les gneiss comprennent des minéraux de compositions très variées. De façon générale les composants essentiels des gneiss sont les feldspaths puis les quartz avec comme minéraux accessoires : la biotite,la muscovite l'amphibole, le grenat, la sillimanite. Ils sont habituellement de couleurs claires, grises, verdâtres, brunâtres et rougeâtres. Les gneiss issus de roches ignées sont appelés orthogneiss et ceux d'origine sédimentaire sont appelés paragneiss. Les gneiss ont en commun une structure grossièrement grenue et une schistosité (faible à nette). Cette schistosité est due à la disposition des cristaux de biotite qui s'arrangent perpendiculairement à la direction de pression de la roche (Schumann, 1985).

GRANITE
Roche intrusive constituée essentiellement de quartz, d'orthose et de biotite (De Michele, 1972).

GRANULITE
La granulite est considérée comme un gneiss dépourvu de mica dont la structure est grossièrement schisteuse à presque massive souvent rubanée. Les minéraux essentiels sont les feldspaths et le quartz qui sont cristallisés sous forme de plaquettes. Les minéraux accessoires sont le pyroxène, le grenat, le disthène, la sillimanite (Schumann, 1985).

HORNBLENDE $Ca_2Na\ (Mg, Fe^2)_4\ (ALFe^3)\ ((Si,Al)_4\ O_{11})_2\ (OH)_2$
Cristaux monocliniques se présentant sous forme columnaire court à contour hexagonal dont la couleur est de verte à noire. Eclat : vitreux, parfois soyeux. . Ce minéral appartient au groupe des amphiboles (1985, Schumann).

HYPERSTHENE $(Fe, Mg)_2\ Si_2O_6$
Cristaux orthorhombiques se présentant sous forme tabulaire, columnaire dont la couleur est vert noirâtre, brun noir ou rougeâtre. Eclat : vitreux à métallique. Ce minéral appartient au groupe des pyroxènes (1985, Schumann).

IDIOMORPHIQUE
Terme utilisé pour décrire un cristal qui montre un habitus présentant ses formes propres (Read, 1982).

ILMENITE
$FeTi\ O_3$, trigonal, forme deux séries solides avec la geikielite ($MgTi\ O_3$) et la pyrophanite ($MnTiO_3$) (Fleischer et al., 1995) .

KAOLIN
Argilite formée principalement par de la kaolinite, contenant du quartz et du mica *(Schumann, 1985).*

Composition : $2H_2O.\ Al_2O_3\ .\ 2SiO_2$
Forme habituellement des masses argileuses. Le kaolin peut se trouver sous forme compacte, friable ou "farineuse". Eclat des disques : nacré à mat. Couleur : Blanc, gris-blanc, jaune, parfois brun, bleuté ou rouge. Les kaolins se répartissent en trois espèces qui possèdent des propriétés différentes (la nacrite, la dickite, la kaolinite). Elles sont toutes monocliniques *(Dana, 1949).*

KAOLINITE
Composition : $Al_4(Si_4O_{10})\ (OH)_8$
La kaolinite est triclinique. Les cristaux sont exceptionnels et le plus souvent très petits : écailles hexagonales flexibles mais non élastiques. En général, elle forme des masses cryptocristallines dont les cristaux sont empilés les uns sur les autres et sont seulement observables au microscope électronique. La kaolinite se forme en milieu acide par altération atmosphérique ou hydrothermale de basse température *(Bariand et al., 1977).*

KELVIN
Unité de mesure de température (symbole K) égale à la fraction 1/273.16 de la température thermodynamique du point triple de l'eau *(Larousse, 1966).*

LEUCITE
Minéral, cubique, incolore, $KAl(Si\ O_3)_2$, *(Read, 1982).*
Lorsque un feldspath est fondu, il se transforme en verre et leucite ($KAlSi_2O_6$) *(Spencer, 1930).*

LINDE A
Le Linde A est une poudre que l'on mélange à l'eau pour être utilisée comme pâte à polir. De nombreuses gemmes (grenats, chrysobéryls, saphirs, quartz....) sont polies à l'aide de Linde A. Ce produit est obtenu par réaction chimique, il constitué de la phase α d'oxyde d'aluminium dont les grains ont 0.3 micron de grandeur. Le Linde A est produit par "Praxair", filiale de Union Carbide *(communication personnelle, Ahlstedt P., 1998).*

LUMINESCENCE
Lorsqu'un corps reçoit une quantité d'énergie inférieure à celle qui lui permettrait d'être incandescent ou de le brûler, ce corps peut convertir cette énergie en une radiation dont la longueur d'onde se trouve dans le spectre *visible* *(Read, 1991).*

MACLE
Une macle est une association suivant des lois géométriques bien définies de deux individus d'une même espèce minérale. Elle est due à l'existence d'un réseau commun (ou presque commun) aux deux ou plusieurs cristaux d'orientations différentes *(Fritsch, 1987).*

MEB voir "microscope électronique à balayage"

MET voir "microscope électronique à transmission"

MICROCLINE
Feldspath triclinique basse température du feldspath potassique. La triclinicité de la maille est variable et l'on passe insensiblement de la symétrie triclinique à la symétrie monoclinique. Il y a exsolution d'une phase albite. C'est donc une perthite (Bariand et al. 1977).
Variétés : microcline vert, amazonite (variété gemme) *(Moine, 1995)* .

MICROPERTHITE
Structure montrant l'existence de lacunes de miscibilité à certaines températures et dans certains domaines de composition. Ces structures ont entre 5 et 100 µm . Elles sont décelables au microscope pétrographique *(Lasnier, 1995).*

MICROSCOPE ELECTRONIQUE A BALAYAGE (MEB)
Microscope où l'échantillon est exploré sous vide par un faisceau d'électrons ligne par ligne. Les électrons du microscope pénètrent en faible profondeur. Ces électrons seront ralentis puis arrêtés (à l'exception des électrons rétrodiffusés). Lors de leur ralentissement ces électrons créent des signaux différents qui vont servir à constituer des images (Hawkes, 1995).

MICROSCOPE ELECTRONIQUE A TRANSMISSION (MET)
Microscope où l'échantillon est soumis sous vide à un faisceau d'électrons au lieu d'un faisceau lumineux. Ce faisceau d'électrons traverse l'échantillon. Il fournit des renseignements sur la structure projetée de l'échantillon. Les lentilles magnétiques en aval de l'objet agrandissent l'image qui est visualisée sur un écran. Ce microscope peut dans certains cas atteindre une résolution "atomique"*(Hawkes, 1995)*.. Voir page 91

PEGMATITE
Roche filonienne à grains très grossiers de composition généralement granitique, mais aussi parfois syénitique ou autre, très riche en minéraux accessoires parfois exploitables industriellement. Les minéraux essentiels sont les feldspaths, le quartz, la muscovite et les minéraux accessoires les plus communs sont le béryl et la tourmaline *(De Michele, 1972).*

PERTHITE
Structure montrant l'existence de lacune de miscibilité à certaines températures et dans certains domaines de composition. Ces structures ont entre 1 et 0.1 mm . Elles sont visibles à l'œil nu *(Lasnier, 1995).*

PHLOGOPITE
Monoclinique, (KMg_3 $Si_3AlO_{10}(F,OH)_2$, forme une série solide avec la biotite ($K(Mg, Fe)_3$ $AlSi_3O_{10}(OH,F)_2$) *(Fleischer et al., 1995).*

PHOSPHORESCENCE
Luminescence d'un corps qui dure pendant un temps assez long après excitation par un rayonnement.

PLAGIOCLASE
Sont désignés par ce terme la série de feldspaths calco-sodiques dont les clivages ne sont pas exactement perpendiculaires entre eux (par opposition aux orthoclases). Il existe une solution solide complète à haute température entre l'albite et l'anorthite avec remplacement isomorphique de NaSi par CaAl *(Bariand et al., 1977).*

SANIDINE
La sanidine est un feldspath produit à haute température et haute pression. La sanidine est la forme monoclinique de $KAlSi_3O_8$. Elle cristallise dans le système monoclinique *(Universalis, 1995).*

SELENITE
Variété de gypse. D'après Chester, les pierres de lune des anciens étaient des variétés de " selenite " *(Clark,1993)*. Les formations fibreuses taillées en cabochon présentent le phénomène de chatoyance.

SPECTROSCOPIE RAMAN
Méthode d'identification basée sur l'analyse d'un spectre de vibrations moléculaires. La diffusion de la lumière par l'effet Raman est caractérisée par une diffusion avec changement de fréquence. La source lumineuse provient d'un faisceau de photons générés par un laser *(AFG, 1992).*

SYENITE
Le terme syénite désigne actuellement une roche éruptive à structure grenue caractérisée par la présence de feldspath alcalin (orthose ou microcline) et plagioclase sodique généralement en association avec des micro ou cryptoperthites *(Universalis, 1995).*

TECTOSILICATES

Les tectosilicates sont constitués par un squelette ou charpente tridimensionnelle de tétraèdres liés entre eux par tous leurs sommets. La formule est donc essentiellement SiO_2 et il n'y a donc pas de valence négative disponible. La substitution de Si par Al introduit des charges négatives pouvant être neutralisées par des cations comme Na, Ca, K se plaçant dans les cavités plus ou moins ouvertes de la structure. A ce groupe appartiennent les minéraux du groupe de la silice, les feldspaths et les feldspathoïdes, les zéolites... *(Bariand et al., 1977).*

XENOMORPHE

Terme utilisé pour décrire un cristal qui se présente sans formes propres.

Etymologie

ADULAIRES ou ADULARIA (adular)

Lorsque nous consultons différents ouvrages, nous remarquons que ***certaines pierres de lune sont également appelées adulaires...***

Ce substantif provient de Adula (Adulaire peut être utilisé comme adjectif et substantif féminin), un massif des Alpes centrales en Suisse (3398 m au Rheinwaldhorn) attribué par erreur à la proviennent les adulaires. Adulaire était réservé à la variété de PL que l'on trouve en Suisse, de couleur blanche ou incolore (Dana, 1997).

***Le terme adularia** fut introduit en 1783 par Pini et fut repris par Greville en 1798 et en 1850 par Daubeny dans la seconde édition de Atomic Theory où il indique que « dans certains feldspaths, il y a plus de sodium dans l'orthose... » .*

Les anciens ouvrages allemands mentionnent "Labradorsyenite" pour le mot "adular"(adulaire) (BrØgger, 1890).

ALBITE

*Provient du latin « ALBUS » signifie blanc. En **1814**, « albus » fut modifié par Gahn et Berzelius en **alb**-us blanc + **-ite** l'adaptation pour la forme minéralogique.*

Ce n'est qu'en 1843, dans son dictionnaire géologique que Humble reprend le mot albite et le définit comme « forms a constituent part of the greenstone rocks in the neighbourhood of Edingburgh » (Simpson, 1989).

ANORTHOCLASE

Nom donné par Rosenbusch en 1885 à des minéraux trouvés dans des laves « alcalines » . L'origine du mot provient du grec et signifie « cassure qui n'est pas droite » (a privatif + orthoclase) faisant allusion à une moindre symétrie que l'orthoclase (Smith, 1974).

FELDSPATH

*D'après le G.I.A, ce mot trouverait son origine dans la langue allemande « Fieldspar ». « SPAR » serait à l'origine un mot utilisé par les mineurs pour décrire les roches brillantes clivant facilement (GIA, 1980). (Dans aucun dictionnaire allemand, je n'ai retrouvé l'orthographe « Fieldspar »). L'encyclopédie Universalis quant à elle indique que le mot aurait son origine dans la langue suédoise sous la forme « feldtspat » (feldt : champ labouré, spat : cristal). Ce mot aurait été introduit par J. Tilas (**1740**).*

Le Oxford English Dictionary quant à lui relate que le nom feldspath fut mentionné la première fois en 1757 par Costa E. M. dans « Natural History Fossils ».

FELSPAR

Le mot felspar fut introduit en anglais par Richard Kirwan, mais cette orthographe n'a pas été retenue et elle est considérée comme erronée. Felspar se retrouve dans de nombreux anciens ouvrages anglais (G.B) (Herbert, 1949).

Dans des notes de 1794, Kirwan écrit : « Ce nom me semble dérivé du mot fels, une roche, d'où je l'écris felspar » (Simpson, 1989).

BAVENO (Macle de) : *Localité située en Italie dans le Piémont où ces macles d'orthoses peuvent être trouvées (Dana, 1949).*
KARLSBAD (Macle de) : *Localité située en Bohème où ces macles d'orthoses peuvent être trouvées (Dana, 1949).*

ORTHOSE (orthoclase)
Ortho vient du grec signifie « droit », et klassis clivage, cassure ». Initialement le mot fut introduit par Haüy en 1801 sous la forme de **orthose** *puis traduit par Breithaupt en* ***1823 sous la forme de orthoklas****. (En 1849, Nicol indiquait que l'orthose contenait du sodium et du potassium (Simpson, 1989)). Plus tard le mot fut introduit dans la langue anglaise par Dana en 1850 (Clark,1993).*

PERTHITE
Thomson décrivit en ***1843*** *un spécimen d'orthose rouge à laquelle il lui donna le nom de perthite. Cet échantillon consistait en lamelles mélangées alternativement d'orthose et d'albite provenant de Perth County, Ontario, Canada.*
D'autres termes décrivant les textures et formes des perthites en découlèrent.
En ***1882*** *Becke utilisa le terme « microperthite », et en* ***1890*** *Brogger employa « cryptoperthite » (Smith, 1974).*

PIERRE de LUNE , MOONSTONE
En ***1632****, dans les écrits de Sherwood on retrouve probablement la plus ancienne trace écrite en Europe sous la forme :* moone-stone *(Simpson, 1989).*

Chronologie :

1253 : **Al Tifaschi** décrit les pierres de lune dans son livre intitulé "Best Thoughts on the Best of Stones".
1632 : première trace écrite des PL dans la culture européenne sous la forme de «**Moone-stone** » dans les écrits de Sherwood
1650 : arrivée des Hollandais au Sri Lanka

1723 : Breithaupt introduit le mot **orthose**
1740 : Utilisation du mot **Feldspath** par Tilas
1796 : le Sri Lanka est annexé par la Grande Bretagne

1814 : Gahn et Berzelius introduisent le mot **Albite** dans la litérature
1843 : Thomson introduit la notion de **perthite**
1849 : Nicol indique que l'orthose contient du sodium et du potassium.
1864 : Tschermak délimite la famille des feldspaths suivant les 3 pôles (K, Na, Ca)
1868 : Tyndall expérimente et étudie la **diffusion de la lumière en milieu trouble** à trois dimensions.
1871 : Lord Rayleigh met en équation la **diffusion de la lumière en milieu trouble** à trois dimensions.
1882 : Becke utilise le terme « **microperthite** »
1890 : Brogger expose que les exsolutions perthitiques d'albite lamellaire sont responsables de la « beauté » des PL. + notions *« cryptoperthite »* également par Brogger.
1895 : Röntgen découvre les rayons-X.

1901 : Viola expliquait quant à lui que l'origine de la couleur bleue était la même que celle du phénomène de la couleur bleue du ciel. (Aurait-il travaillé sur des PL de Birmanie ou du Sud de l'Inde ?).

1905 : Des cultivateurs découvrent des PL à Meethiyagoda.
1906 : Parsons visite le gisement de Meethiyagoda pour le Ceylon Government Survey.

1912 : von Laue expérimente la diffraction X sur des lames cristallines.

1921 : Kôzu étudie, par rayons-X, l'influence de la température sur l'arrangement atomique des PL.

1927 : première diffraction électronique par Davisson et Germer.
1930 : Spencer établit une hypothèse de formation des PL, étudie leurs propriétés microscopiques, leur réaction thermique et modifications en reprenant les travaux de Kôzu.

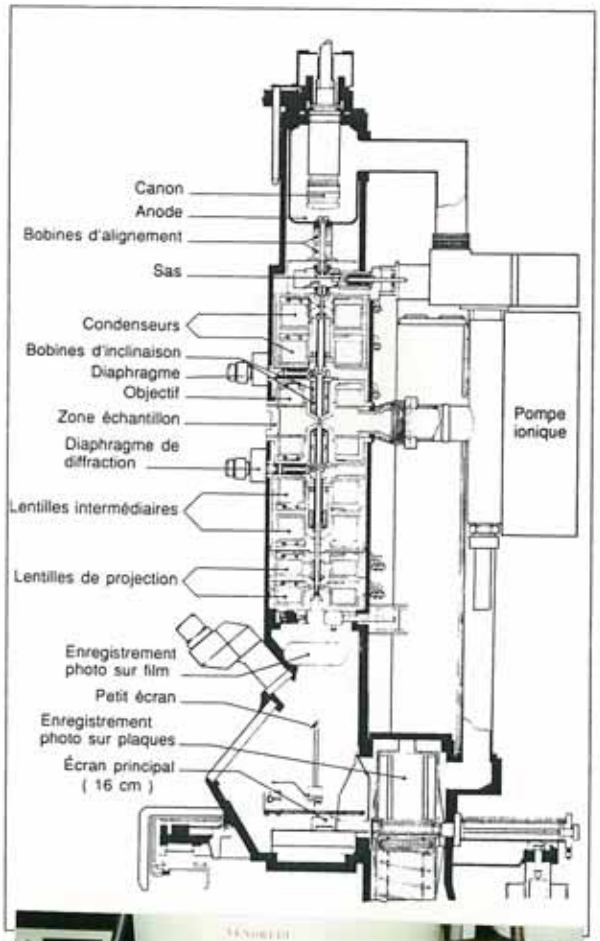
1932 : Bauer classe les PL comme variété d'orthose.
1945 : Thosar suggère que « l'iridescence » résulte de la diffusion sur des plans de macles.
1948 : Indépendance du Sri Lanka (Ceylan)
1948 : Oftedahl réfuta l'hypothèse de Brogger car les couleurs sont indépendantes de l'angle de réflexion. Il écarta également l'hypothèse de la fluorescence car il n'observa pas de changement de longueur d'onde ainsi que celle de la diffraction car les couleurs ne varient pas avec l'angle. Il suggéra que « l'iridescence » résulte de réflexion interne avec un plus grand pouvoir réflecteur pour les plus courtes longueurs d'onde.
1950 : Raman réfuta l'hypothèse de Thosar et suggéra une ***confirmation de l'hypothèse de Viola par la diffusion de la lumière par des particules (centre de diffusion) plus petites que les longueurs d'onde (et donc pas par un phénomène de réflexion ou d'interférence).***
1951 : Raman : observations approfondies de l'adularescence
1961 : Correns démontre que les feldspaths potassiques sont plus résistants à l'érosion que les feldspaths de sodium (confirmation des hypothèses de Spencer).
1963 : Fleet et Ribbe montrèrent une structure lamellaire pour les PL du Sri Lanka.
1983 : Yund étudie des microstructures par microscopie électronique.
1992 : Harder suggère un rapport entre la grandeur des PL et l'aspect tectonique.

MICROSCOPE ELECTRONIQUE A TRANSMISSION (MET)

1. A l'aide de meules diamantées les échantillons ont été découpés en petites pastilles de +/- 4 mm de diamètre et affinés à une épaisseur de l'ordre de 15-20 microns.
2. Un faisceau d'argon est ensuite utilisé pour amincir progressivement le centre de la pastille.
3. Les échantillons sont ensuite recouverts d'un film métallique pour éviter leur chargement électrique. Ensuite, chaque échantillon sera disposé sur le porte échantillon pour l'observation. Vu la fragilité des échantillons cette opération s'avère fort délicate.

Vue d'ensemble du MET modèle CM30 de l'institut des Matériaux de Nantes.

Détails de la colonne optique d'un MET. (Hawkes, 1995)



Mme Anne-Marie Marie fixant un Echantillon sur le porte objet.

Dispositif permettant d'observer sur un écran fluorescent.

AUTRES GISEMENTS DE PL AU SRI LANKA

De nombreux gisements de PL de qualité inférieure à celles de Meethiyagoda ont été trouvés au Sri Lanka. Ces gisements comprennent des PL en moyenne plus grandes que celles trouvées à Meethiyagoda. _

Balangoda
Elipitiya
Haputala (Province de Huva)
La Plaine de Horton
Au Nord de Kandy à Matele
Mahawelli Ganga (Nord Est)
Pitigala
Tanne près de Balangoda
Uggalkatota
Walawa Ganga (Au nord)
Weligama
Yatiyantota

TRANSFORMATION DES POURCENTAGES D'OXYDES EN RAPPORT ENTRE LE FELDSPATH SODIQUE ET LE FELDSPATH POTASSIQUE

	(1)		(2)	(3)	(4)
	% Oxyde	m. moleculaire	**PROP**	**ATO**	**CAT**
SiO_2	66.34	060.08	1.1042	2.2084	6.019
Al_2O_3	18.67	101.96	0.1831	0.5493	1.497
CaO	00.14	056.08	0.002	0.002	0.005
Na_2O	04.53	061.98	0.0731	0.0731	**0.199**
K_2O	09.65	094.20	0.1024	0.1024	**0.279**
				Tot : 2.9352	

(1). % Oxyde : pourcentage en poids des différents oxydes constituant la PL.
m. moléculaire : masse moléculaire de chacun des oxydes constituant constituant la PL.

(2). PROP : proportion moléculaire pour chacun des oxydes.
Les valeurs de cette colonne sont obtenues en divisant **% Oxyde** par la masse moléculaire de l'oxyde concerné.

(3). ATO : Proportion atomique de l'oxygène dans chaque molécule associée avec un élément concerné. Ce résultat est obtenu en multipliant le nombre d'atomes d'oxygène dans un oxyde par la proportion moléculaire de l'oxyde.
Tot : Total de la colonne.

Répartition proportionnelle basée pour 8 atomes d'oxygène : 8/2.9352 = 2.7255
(4). Nombre d'anions sur base de 8 O. Le résultat est obtenu en multipliant la colonne (3) par 2.9352

Total feldspath : 0.199 + 0.279 = 0.478

% Feldspath sodique : 0.199/0.478 = **42 %**
% Feldspath ptassique : 100 – 42 = **58 %**

Pierres de Lune
et
Civilisations

Les PL en Orient
Les PL au Moyen-Orient
Les PL en Occident

De nombreuses civilisations ont associé aux gemmes le folklore, les symboles, les idées fantastiques ou fantaisistes, les superstitions, le fétichisme et la magie...

Les PL en Orient

En Asie, les gemmes qui possèdent un chatoiement (adularescence, œil-de-chat, astérisme...) sont considérées comme apportant un bon avenir à celui qui les porte. La PL est considérée comme une gemme apportant « a good fortune » *(kunz, 1913)*. Selon une croyance orientale, la PL est constituée de rayons lunaires solidifiés[1] et son chatoiement est la lumière émanant de l'esprit bienfaisant dont elle est la demeure *(Mozzani, 1995)*. Kunz indique dans « The Curious Lore of Precious Stones » qu'anciennement, la PL était considérée comme une pierre sacrée en Inde. Il est intéressant de remarquer que la PL ne figure pas dans la liste du Mani Mala[2]. Au Sri Lanka, vers la fin du XIe et au début du XIIe siècle de notre ère, **un temple fut érigé à Anuradhapura à la gloire des Pierres de Lune**. La légende dit que les marches de ce temple en étaient couvertes *(Mozzani, 1995)*.

- Au Myanmar (Birmanie), le Temple de Kyauktawgyi comporte des pierres de lune bleues de grande taille[3] incrustées dans les parois (photo W).

- En Thailande, deux noms sont utilisés pour décrire les pierre de lune :

มุกดาหาร [Mookdohau] signifiant « Pierre de Lune »,

จันทรกานต์ [Chautakhau] signifiant « Lune d'or ».

W

Pierres de lune bleue incrustées dans les parois d'un Temple Boudhiste en Birmanie.
(Photo Sukhumthai Magasine)

Une ancienne croyance siamoise attribue des vertus bénéfiques aux gemmes taillées en cabochon.

Parmi les nombreuses gemmes que l'on peut retrouver taillées en cabochon, une série de 9 pierres fines[4] qui sont censées apporter de la chance aux guerriers qui portent l'une d'entre elles a été établie.
La pierre de lune est reprise dans cette liste[5].

---

[1] Galien surnommait la pierre de lune « écume de lune ».
[2] Collier formé de douze gemmes qui est censé apporter des influences «astrologiques» favorables (supposées gouverner la destinée de l'homme) .
[3] forme ovale, les formes rondes seraient des quartz sur fond.
[4] Pierre de lune, rubis, émeraude, saphir jaune, grenat, zircon, chrysobéryl, oeil-de-chat et diamant.
[5] Un poème écrit en 1782 par le Frère de Rama I de Bangkok nous décrit ces gemmes.

Lors du soixantième anniversaire de la Reine Surikit, le Gouvernement Thaïlandais offrit une couronne en or[6] ornée des « 9 gemmes de la chance ». Cette couronne porte le nom de

[Mongood Noparat Sirhaporn Mongkoon].
มงกุฎนพรัตน์ศิราภรณ์มงคล

Dans la Mythologie Thailandaise, l'ange

[Khorakhâthevi] porte comme bijoux des PL.
(Communication personnelle, Yensudchai S).

[6] Le poids de cette couronne est de 2 kg.

Les PL au Moyen-Orient

La traduction de l'expression "Hadjar al Qamar" (de l'arabe classique) signifie pierre de lune en français.

Vers 1243, le célèbre Al Tifaschi[7] écrit un livre intitulé **AZHAR AL AFKAR FI DJAWAHIR AL AHDJAR**[8] (traduction : les meilleurs enseignements des meilleures pierres). Ce livre décrit 25 gemmes dont des "Pierres de lune œil-de-Chat". Le chapitre qui décrit les PL bleues aborde l'hypothèse de leur formation, les gisements, les qualités et leur estimation. Pour l'auteur, ces pierres semblaient étranges par leur transparence et le "point bleu" qui se déplaçait à l'intérieur de la gemme. Ce "point bleu" est décrit comme similaire à un œil-de-chat qui capte la lumière dans sa pupille en mouvement. L'auteur indique que si la pierre était tournée vers la gauche le "point bleu" se déplaçait vers la droite (et vice versa), comme un œil de chat. C'est pour cette raison que les PL étaient appelées à l'époque en arabe classique **'AIN AL HIRR** (*Pierre de lune œil-de-chat*). A cette époque les meilleures qualités sont décrites comme étant très claires et grandes. Al Tifaschi ne décrit pas de "propriétés bénéfiques" associées aux PL. D'après Samar Huda, les croyances du pouvoir que l'on attribue aux PL ont été décrites bien plus tard. Al Tifaschi mentionne également dans ses écrits que les PL étaient vénérées dans certaines provinces en Inde (dont Ma'abar'). Il mentionne également qu'à l'inverse des autres gemmes, les PL étaient plus prisées dans les pays originaires et voisins que dans les terres éloignées (terres arabes) *(Samar Najm Abul Huda, 1998).*

---

[7] Dont le nom complet est Shihab al-Din Abul Abbas Ahmad Ibn Yusuf al Tifaschi.
Cet homme de science et de loi (né en 1184) voyagea en Irak, Arménie, Perse, Egypte où il rassembla des connaissances relatives aux minéraux et aux gemmes.

[8] Huit versions différentes de ce manuscript sont conservées à la Bibliothèque Nationale de Paris sous les références : manuscrit arabe N°2770, 2773-2778, 5291.

Les PL en Occident

Une des origines possible de la pierre du mois est vraisemblablement liée aux écrits de l'historien Josephus [9] et de St Jérôme[10] qui établirent un rapport entre les douze pierres du pectoral du Grand Prêtre (dont chacune d'entre elles correspondait à une tribu d'Israël) et les douze mois de l'année. Progressivement, des vertus[11] mystiques s'ancrèrent dans les croyances. La pierre de lune ne figurait pas dans la liste des douze pierres de ce pectoral[12].

Dans « De Lapidibus »[13], il est mentionné que la pierre de lune prend toute sa valeur lorsqu'elle est donnée en cadeau. Elle augmente la passion et donne aux amants le pouvoir de lire le bon ou mauvais futur. Pour accéder à cette connaissance la pierre devait être placée dans la bouche lors d'une pleine lune *(Kunz, 1913).*

« La PL est le symbole de l'enfance et de la candeur, protège les relations amoureuses et amène la réconciliation des amants. Elle procure la force physique, apaise l'esprit, permet d'ouvrir son esprit au monde, donne de l'inspiration et conduit au succès. Porte-bonheur des hommes d'affaires et de tous ceux qui détiennent un certain pouvoir, la pierre de lune convient aux personnes courageuses au travail, organisées, patientes, économes et honnêtes »...
(Extrait du livre des superstitions, mythes, croyances et légendes d'Eloïse Mozzani, 1995)

Certaines PL se retrouvent sur des objets de culte chrétien car la couleur blanche est l'emblème de la pureté, de l'innocence, de la vie, de la lumière.

Ce n'est **qu'à partir de la fin du 15 ème siècle** que de nouvelles listes de gemmes du mois sont écrites et que **la PL est reprise dans la liste pour <u>le mois d'août</u>**.
Poujet (1762) pense que l'origine de cette nouvelle liste deux siècles auparavant provient d'une région d'Allemagne ou de Pologne. De cette région, une mode dans laquelle la gemme du mois de naissance était portée en bague se développa. Il laisse à penser que les changements opérés dans les listes des pierres du mois et du signe zodiacal sont le résultat d'intérêts dictés par les marchands. En **1912**, la pierre de lune et la perle ont été choisies par la "**American National Retail Jewelers Association**" (ANRJA) **comme pierre correspondant <u>au mois de juin</u>** *(Kunz G. F., 1913).*
En **1938**, La "American Gem Society" (AGS) adopta le même choix, le même choix est fait en **1952** par le Jewelry Industry Council et le "**American Stone Importers Association**".

---

[9] Historien juif, Josephus est également connu sous le nom de Flavius Josèphe. Il vécu de l'an 37 à l'an 95.
[10] St Jérôme vécu au début du 5ème siècle.
[11] Il a été remarqué que chez certaines personnes, les gemmes pouvaient avoir un effet placebo.
[12] La nature exacte des douze pierres figurant sur le pectoral semble connaître quelques variations suivant les anciens auteurs. Toutefois, aucun ne mentionne la sélénite ou la pierre de lune.
[13] Ouvrage écrit en 1531 par Marbodei à Fribourg comprenant des textes hermétiques sur les sciences occultes.

Dans les anciens textes romans, la PL est recommandée pour le lundi (jour de la lune). Consacrée à Diane-Artémis, la PL est également le talisman d'Ofaniel, ange qui préside à la lune qui lui a donné l 'appellation « d'ange de la roue lunaire ». Suivant une tradition anglo-saxonne, la pierre de lune est relativement efficace lorsqu'elle est portée le lundi et que l'on est habillé de blanc ou de blanc et d'argent (Mozzani, 1995).
Cette croyance est probablement originaire d'Asie. Dans les listes des pierres de naissance du GIA, la pierre de lune est reprise pour le mardi *(GIA, 1980).*

Ancienne figure imprimée indiquant les jours de la semaine en correspondance avec les pierres et les signes du zodiaque associés.
La pierre de lune est associée à Diane et le signe du cancer pour la journée du lundi (Kunz, 1913).

PIERRE DE LUNE et la POESIE.

Bien que l'expression « Pierre de lune » semblerait un nom particulièrement évocateur pour les poètes, celle-ci n'a été retrouvée que dans un poème écrit par le Dr. Edward Forrester Sutton. Ce poème fut publié dans « Sentinel of the Blessed sacrament » en mai 1912.

The Legend of the Moonstone.

I.

One dusk of eve, a drop of dew
Within a lily fell,
And nestling there, the essence drew
Forth from its silken bell
Of milky whiteness, clean and true
That in the flower doth dwell.

II.

This ... drawn to earth by souls in need
When the great moon was high ...
Our Lady saw, and said, "Indeed
Such beauty shall not die.
All that the lily's heart doth bleed
Pearled in a gem shall lie".

III.

Thereat a moonbeam flew, and sought
Moth-like, the sleeping flower,
A clearness marvellously fraught
With strange and saintly power
And touched the dewdrop. Thus was wrought
The moonstone, in that hour.

IV.

"Moonrays and molten lily-white
In rainbow dew congealed,
This be the jewel of my might,
The symbol and the shield,"
She said, "and all the winds of night
Whispered her will revealed."

V.

And the long grasses, to their head
Rippled like binding corn,
And leaves, low-drooped, that ourspread
Grey waters, to the morn
Weaving grey veils, the whispers sped
That the Snow-fairies were born.

VI.

"The stars of clear and stainless ray,
Of Faith and Purity,
Of white and maiden souls, and they
In Innocence that be
Of Childhood, or of Wisdom's way,
Who strive and so are free.

Published in the "Sentinel of the Blessed Sacrament" May. 1912.

Written out for
Dr. George Frederick Kunz
Dec. 17. 1913.
Edward Forrester Sutton.

Bibliographie

Anderson B.W. révisé par Jobbins E A, (1990), GEM TESTING, Butterworths, pp 328.
Bariand P., Cesbron F., Geffroy J., (1977), LES MINERAUX LEURS GISEMENTS, LEURS ASSOCIATIONS, pp 52, 61-71, 122, 123.
Barnett S. M., Bailiff I. K., (1997), THE TEMPERATURE DEPENDENCE OF LUMINESCENCE IN SOME FELDSPARS (80-300K), J. Phys D : Appl. Phys 30, pp 683-89.
Best S. P., Clark R., Hayward C., Withnamm R., (1994), POLARIZED SINGLE-CRYSTAL RAMAN SPECTROSCOPY OF DANBURITE, Journal of Raman Spectroscopy, vol 25, pp 557-63.
Brögger W.C., (1890), DIE MINERALIEN DER SYENITPEGMATITGANGE DER SUDNORWEGISHEN AUGIT- UND NEPHELINSYENITE, Zeits. Kryst. Min., vol 16, pp 525.
Bruhat G. révisé par Kastler A., (1965), OPTIQUE, Masson et Cie, Paris, France, pp 306 à 320.
Caron J. M., Gauthier A., Schaaf A., Ulysse J., Wozniak J., (1995), COMPRENDRE ET ENSEIGNER LA PLANETE TERRE, Editions Ophrys, pp 107, 108, 151, 152, 153, 154, 205.
Clark A.M., (1993) HEY'S MINERAL INDEX (mineral species, varietie and synonyms), 3 eme édition Chapman and Hall.
Dana E. S., révisé par Ford W. E., (1949), A TEXTBOOK OF MINERALOGY with an extended treatise on crystallography and physical mineralogy, 4 eme édition John Wiley and Sons Inc; pp 535 à 539.
Dana J. D., Gaines R.V., Skinner H. C., Foord E. E., Mason B., Rosenweig A., (1997), DANA'S NEW MINERALOGY, John Wiley consultation de « class 76 ».
Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., (1993), AN INTRODUCTION TO THE ROCK-FORMING MINERALS, pp page 391 - 430 et 678 - 679.
De Michele V., (1972), DICTIONNAIRE DE MINERALOGIE ET PETROGRAPHIE, adapté en français par les éditions encyclopédiques Alpha, Grange Batelière- Paris - France.
Fleischer M., Mandarino J. A., (1995), GLOSSARY OF MINERAL SPECIES, 7 eme édition , Mineralogical Record Inc., Tuscon.
Feynman R. P., Leighton R. B., Sands M., (1977), THE FEYNMAN LECTURES ON PHYSICS mainly mechanics, radiation, and heat, Addison-Weysley Publising company, pp 32-6 à 32-9.
Ford, (1971), DANA'S TEXTBOOK OF MINERALOGY, John Wiley, 4 eme édition, pp 192, 193, 535 à 549.
Fritsch E. , (1987), CONNAITRE LES MACLES, Monde et Minéraux, volume 11, pp 17.
GIA, (1980), THE GIA COLORED STONE ASSIGNGMENT 19,FELDSPAR, Identificatioj, Production, Marketing, Buying, Gemological Institute of America, Santa Monica, California..
Gubelin E.J. et Koivula J.I., 1986, PHOTOATLAS OF INCLUSIONS IN GEMSTONES, ABC Edition Zurich, pp 31, 134, 135, 412.
Gunawardene M., (1983) PYRITE AND MARCASSITE OCCURRENCE IN SRI LANKA WITH SPECIAL EMPHASIS ON MEETIYAGODA GEM FIELD, Journal of Gemmology of GB, Vol 18, N°7 pp 635 à 640.
Günther B., (1981), TABLES OF GEMSTONES IDENTIFICATION, Elisabeth Lenzen, Kirschweiler, Allemagne.
Harder H., (1992), MOONSTONE MINING IN SRI LANKA : NEW ASPECTS, Journal of Gemmology of GB, Vol 23, N°1 pp 27 - 35.
Harder H., (1994), SMOKY MOONSTONE A NEW VARIETY, Journal of Gemmology of GB, Vol 24, N°3 pp 179 à 182.
Hawkes P., (1995), ELECTRONS ET MICROSCOPES VERS LES NANOSCIENCES, CNRS Editions, Paris, France, pp 9 à19, 44 à 60.
Hurlbut C. S., (1971), Dana's Manual of Mineralogy, John Wiley and Sons Inc; Consultation des pages 466, 467, 468.
Hurlbut C.S., Kammerling R.C., (1991), GEMOLOGY, John Wiley and Sons Inc; pp 30, 74, 223 à 225.
Kunz G. F., (1913), THE CURIOUS LORE OF PRECIOUS STONES, publié par J. B. Lippincott Company, Philadelphia & London pp 8, 97, 98, 320, 334.
Kunz G. F., (1915), THE MAGIC OF JEWELS AND CHARMS, publié par J. B. Lippincott Company, Philadelphia & London, pp 386.
Larousse, (1966) LAROUSSE EN COULEURS, Paris.
Lasnier B., (1995), MATERIAUX DE L'ECORCE TERRESTRE, syllabus DEUG B2, pp 166 à 173.
Mac Lintock W., Statham M., Sabine P., (1983), GEMSTONES IN THE GEOLOGICAL MUSEUM, London Her Majesty's Stationery Office, pp 16.
Mac Millan P. F., Graham C. M., (1981), THE RAMAN SPECTRA OF QUENCHED ALBITE AND ORTHOCLASE GLASSES FROM 1 atm to 40 Kb, Progress in Experimental Petrology NERC publications, séries D 18, 112-115.
Mahan B., (1977), CHIMIE, InterEditions, Paris, pp 564.
Mernagh T.P., (1991), USE OF THE LASER RAMAN MICROPROBE FOR DISCRIMINATION AMONGST FELDSPAR MINERALS, Journal of Raman Spectroscopy, vol 22, pp 453-57.

Miller M et Sinkankas J, (1993), STANDARD CATALOG OF GEM VALUES, Geoscience Press, Tuscon Arizona, pp 47, 48, 49, 68, 69, 162, 163.
Moine C., (1995), LES FELDSPATHS GEMMES APPROCHE. Mémoire de Diplôme d'Université de Gemmologie, Université de Nantes, Nantes, France. 150 p
Mozzani E., (1995), LE LIVRE DES SUPERSTITIONS, MYTHES, CROYANCES et LEGENDES, Robert Laffont, Paris, France.
Nassau K., (1994), GEMSTONE ENHANCEMENT, Butterworth Heinemann LTD, pp 152 à 155.
Nassau K., (1983), THE PHYSICS AND CHEMISTRY OF COLOR, Wiley-Interscience, pp 241-242.
Pinet M., David C., Lasnier B., (1992), LA MICROSONDE RAMAN EN GEMMOLOGIE, Utilité de la microsonde Raman pour l'identification non des tructrive des gemmes, numéro hors série de l'Association Française de Gemmologie, pp 51 et 52.
Raman C. V., (1950), THE IRIDESCENT FELDSPARS, Proc. Ind. Acad Sci, Current Science, Vol XIX, n°10, October 1950, pp 301 à 305.
Raman C. V., (1950), MORE ABOUT THE IRIDESCENT FELDSPARS, Proc. Ind. Acad Sci, Current Science, Vol XX, n°4, April 1951, pp 85 à 87.
Read P. G., (1991),GEMMOLOGY, Butterworth Heinenmann, pp 144-152.
Ribbe P.H, Kroll H., Hofmeister A. M, Rossman G. R., Smith J. V., Stewart D. D., Tullis J., Yund R. A., (1983), FELDSPAR MINERALOGY, Mineralogical Society of America, consultation du chapitre 1 à 5.
Robbins M., (1994), FLUORESCENCE GEMS AND MINERALS UNDER ULTRAVIOLET LIGHT, Geoscience Press, Phoenix, Arizona.
Samar Najm Abul Huda, (1998), ARAB ROOTS OF GEMOLOGY, Best Thoughts on the Best of Stones (Al Tifaschi), The Scarecrow Press, Inc. Lanham, Maryland.
Schumann W., (1985), GUIDE DES PIERRES ET MINERAUX, Delachaux et Niestlé, Paris, pp 33, 42, 62, 276, 278, 300, 308-310
Simpson J. A., Weiner E.S.C, (1989), THE OXFORD ENGLISH DICTIONARY, Clarendon Press, Oxford consultation des mots repris dans le chapitre concernant l'étymologie.
Smith H. G., (1949), GEMSTONES, Methun and Co, consultation Châpitre 23 « Feldspar Family ».
Smith J., FELDSPARS MINERALS, (1974), Springer-Verlag, Heidelberg New York, pp des vol I p 12 et vol II p401, 518, 519.
Spencer E., (1930), A CONTRIBUTION TO THE STUDY OF MOONSTONE FROM CEYLON AND OTHER AREAS AND OF THE STABILITY-RELATIONS OF THE ALKALI-FELDSPARS., The Mineralogical Magazine and Journal of the Mineralogical Society, N°130, Vol XXII, September 1930.
Universalis, (1996), ENCYCLOPAEDIA UNIVERSALIS, Paris, Vol 9 pp334-338.
Willaime C. W., (?), INITIATION A LA MICROSCOPIE ELECTRONIQUE PAR TRANSMISSION, Minéralogie – Scirences des Matériaux, Société Française de Minéralogie et Cristallographie.
White W. B., Matsumura M., Linnehan D. G., Furukawa T., Chandrasekhar B. K., (1986), ABSORPTION AND LUMINESCENCE OF Fe^{+3} IN SINGLE CRYSTAL ORTHOCLASE, American Mineralogist, Vol 71, pp 1415-19.