

IDENTIFICATION DU PRODUIT GENERALITES SUR LE PRODUIT

Le produit étudié est le béryl. C'est un silicate d'aluminium et de béryllium. Nous présenterons dans ce chapitre les caractères géochimiques et minéralogiques du béryl, ensuite les données économiques correspondantes puis enfin son utilisation.

I.1-Géochimie et minéralogie

Symbole dans la classification périodique : ${}^9\text{Be}_4$. Découvert en 1828.

groupe	Configuration électronique (état fondamental)
2 ou II a	$1s^2 2s^2$ ou $(K)^2 (L)^2$

Tableau 4: Configuration électronique du béryllium (www.google.fr:beryllium)

Le béryllium est un élément alcalino-terreux (lithophile). Cet élément est surtout concentré dans les liquides résiduels des magmas, notamment acides. C'est un élément peu abondant dans la croûte terrestre : ces teneurs moyennes sont de l'ordre de 2 ppm.

I.1.1- Variétés de couleur du béryl

Le nom de béryl désigne toutes les variétés du groupe des béryls qui, en tant que pierres précieuses ou fines, ne sont ni vertes comme l'émeraude, ni bleues comme l'aigue-marine. Dans le commerce les béryls portent des noms spéciaux selon leur couleur. Donc les variétés colorées sont commercialisées soit sous des dénominations particulières, soit sous le nom « béryl » suivi d'un qualificatif de couleur.

- **Emeraude** : couleur d'un vert profond due à des traces de chrome ; la plus précieuse de toutes les variétés du béryl.
- **Aigue- marine** : couleur bleu à vert pâle due à la présence de fer ferreux ; les plus recherchées étant celles dont le bleu est le plus intense.
- **Héliodore** : couleur jaune pâle au jaune brun due au remplacement de l'Al par du fer ferrique.
- **Morganite** : couleur rose pâle au rose vif, parfois rose saumon dû à la présence de césium et d'autres métaux alcalins. Inclusions rares.
- **Goshenite** : couleur incolore, riche en césium.
- **Béryl rouge** : couleur d'un rouge violacé intense rappelant le rubis.

- Béryl jaune : couleur variant du jaune citron au jaune d'or. Rares inclusions.
- Bixbite : couleur rose saumon au rouge-brun.

I.1.2- Propriétés physico-chimiques

Groupe des béryls : c'est un minéral d'aluminium et de béryllium, il appartient au groupe des silicates du système cristallin hexagonal. Ce sont des cristaux hexagonaux terminés par une face plane plus rarement par une pyramide, cristaux allongés parfois aplatis. Parmi le groupe de béryls, l'émeraude et l'aigue-marine ont parfois leurs propriétés à elles seules. Le tableau suivant nous montre ces propriétés respectives ainsi que celles des béryls.

Le tableau suivant montre quelques propriétés de l'émeraude, de l'aigue-marine ainsi que des béryls d'autre couleur :

Propriétés	Emeraude	Aigue-marine	Béryl
- Système cristallin	hexagonal	hexagonal	hexagonal
- Couleur du trait	blanche	blanche	blanche
- Clivage	indistinct	imparfait	imparfait
- Cassure	légèrement conchoïdale, inégale, friable	conchoïdale, irrégulière, esquilleuse	conchoïdale, esquilleuse
- Formes cristallographiques	prismes hexagonaux	prismes hexagonaux	prismes hexagonaux allongés
- Densité	2.67 – 2.78	2.68 – 2.74	2.66 – 2.87
- Dureté	7.5 – 8	7.5 - 8	7.5 - 8
- Indice de réfraction	1.570 – 1.590	1.570 – 1.590	1.570 – 1.590
- Dispersion	0.014 (0.009 – 0.013)	0.014 (0.009 – 0.013)	0.014 (0.009 – 0.013)

Tableau 5: Caractéristiques physico-chimique du béryl (www.google.fr: béryl)

I.2 – Données économiques

Connu depuis l'Antiquité par des gemmes comme l'émeraude et l'aigue-marine, le béryllium est isolé en 1828. Vers 1830 des gisements d'émeraude furent découverts au Nord de Sverdlovsk. En 1972, seuls trois pays : Etats-Unis, France, Ex U.R.S.S., fournissaient du béryllium. Le prix pour le métal pur étant à cette époque, de 750 francs le kilo. Compte tenu de l'utilisation stratégique du métal dans les missiles et en aéronautique, la production mal connue aurait été à cette époque de 1 000 tonnes par an, pour passer en 1985 à 10 000 tonnes avec :

- Etats-Unis : 5 205
- Ex U.R.S.S. : 1 900
- Brésil : 1 500
- Madagascar : 55
- Zimbabwe : 55

I.3 – Utilisation et précaution d'emploi

L'utilisation du béryllium n'a été trouvée que dans les années 1920-1930, dans le bronze au béryllium. Outre son utilité en joaillerie, le béryl est voué à diverses utilisations suivant ses différentes formes

Sous forme d'alliages : les alliages obtenus sont peu denses, rigides et suffisamment durs. Ils présentent une résistance élevée à la chaleur, une bonne résistance à l'oxydation et un coefficient de dilatation très faible. Ces alliages sont utilisés pour les fuselages d'avions supersoniques ; les satellites artificiels ; les instruments océanographiques (sonar...) et les circuits intégrés (ordinateurs, récepteurs de télévision...)

Sous forme métal, à l'état pur : utilisé pour la fenêtre interne de sortie des tubes à rayons X grâce à la faible absorption des rayons X par le béryllium pur.

Sous forme d'oxyde (béryllia) : utilisé dans le cœur des réacteurs nucléaires. C'est un matériau modérateur car il ralentit le flux des neutrons émis lors des réactions nucléaires.

Lors de la fabrication de composés utilisant le béryllium ou son oxyde, les fumées et la poussière émises sont très toxiques. De plus faibles doses provoquent des dermatoses (maladie de la peau). Une absorption de $50 \cdot 10^{-6}$ g est responsable d'une affection pulmonaire aiguë : la béryllose, maladie particulièrement rapide et grave, est reconnue comme maladie professionnelle. Le béryllium est aussi une substance cancérigène.

CHAPITRE 2 – EPOQUES GITOLOGIQUES ET TYPE DE GISEMENT

Assez curieusement, le béryl apparaît très tôt dans l’histoire de la Terre, à l’Archéen, puis est représenté au Précambrien et se retrouve au Tertiaire, après une longue éclipse. Il existe également des minéralisations en béryllium au Paléozoïque. Ces minéralisations résultent de l’action de veines magmatiques ou hydrothermales sur les roches métamorphiques.

II.1 – Notion de provinces minérales

La province minérale est une hiérarchie de répartition des gisements qui correspondent à l’échelle mondiale ou continentale. Deux types de provinces minérales se situent dans des milieux très différents :

- Une province appartenant aux cratons actuels et d’âge Archéen-Précambrien avec des gîtes de type pegmatitique ;
- Une province tertiaire, liée au volcanisme acide.

II.2 – Type de gisement

Trois types sont définis selon leur association aux pegmatites, leur relation aux phénomènes hydrothermaux (ou de contact) et au volcanisme.

II.2.1 – Gisements pegmatitiques :

Les gîtes pegmatitiques montrent une zonalité régionale indépendante de l’âge de l’orogénèse concernée et du degré de métamorphisme des roches encaissantes. La répartition des éléments rares dépend de la profondeur de cristallisation, dans ou autour des granites. Les pegmatites à béryllium seraient donc « profondes ».

Du point de vue structural la pegmatite se présente d’une manière particulière, le long d’un axe anticlinal fortement plissé et couché. De ce fait le corps minéralisé a une forme de croissant allongé avec une structure zonaire ou non, mais symétrique. Les différentes unités de la pegmatite se sont mises en place par décollements successifs du pli anticlinal. Les unités les plus anciennes, riches en feldspaths potassiques, occupent les parties apicales et externes du pli et les unités riches en albite, la partie interne.

Le béryllium se concentre préférentiellement, avec les éléments radioactifs, sur le flanc normal. La roche encaissant la pegmatite est constituée par des schistes tourmalinisés et d’amphibolites, probablement intrusives.

Le type pétrographique de cette pegmatite est complexe. Ainsi on a pu distinguer dix faciès ou phases de cristallisation :

Phase 1: pegmatite graphique.

Phase 2: pegmatite à quartz-microcline-muscovite, à tourmaline noire et apatite.

Phase 3: microcline géant plus les minéraux précédents.

Phase 4: phase albitique à cristaux géant de béryl, colombite, chrysolite uranifère, uranite thorifère, lolingite. Remplacement du microcline par l'albite.

Phase 5: muscovite en contact avec les amphiboles.

Phase 6: phase lithique et à phosphates, Ambligonite, tryphilité.

Phase 7: felons et lentilles de quartz à tourmaline bleu foncé.

Phase 8: muscovite lithifère, colombite, cassiterite.

Phase 9: phosphates de fer Fe-Mn-Ca.

Phase 10: quartz à microcline et argile.

Au cours des premières phases de mise en place pegmatitique, l'enrichissement en béryllium est nul, avec en général moins de béryllium dans les pegmatites graphiques que dans les granites encaissants. Chaque stade ultérieur possède des béryls caractéristiques par leur chimisme : béryl vert bleuâtre, pauvre en alcalins dans les pegmatites en blocs, à la limite ou à l'intérieur du cœur quartzéux de la pegmatite. Le béryl sodique, avec ou sans lithium, vert clair ou blanc est associé aux zones à quartz-muscovite, quartz-albite-muscovite ou albite. Dans les phases ultérieures, le béryl formé peut être partiellement dissous avec une nouvelle génération de béryl sodolitique ou caesolitique.

II.2.2 – Gîtes de contact : Greisen, Skarns, quartz W-Sn-Mo

Ces gîtes parfois qualifiés de pneumatolytiques-hydrothermaux seraient associés à des magmas intrusifs riches en béryllium, mais sans pegmatites. Les associations minérales semblent liées à la nature des roches encaissantes. Les gisements de ce type sont connus au Colorado (Boomer Mine) dans les greisens, et en Alaska (Western Seward-Péninsule) dans les skarns.

Au Colorado s'agit d'une pipe de greisen au contact d'une petite coupole de roche hololeucocrate intrusive à grain fin, et mica blanc, dans un encaissant de gneiss et micaschiste. Du point de vue morphologique, ce gisement forme deux lentilles allongées de 2 à 5 mètres de puissance et 15 à 25 mètres de longueur. Ces deux lentilles se rejoignent en profondeur pour former le cœur de la pipe qui se poursuit sur près de 100 mètres avant de se terminer en pied de chaussette.

En Alaska, au Crétacé supérieur se mettent en place des massifs et dykes de granite à biotite et des porphyres rhyolitiques. Un type de minéralisation est connu en relation avec ces granites à biotite : gisements importants de béryllium en filons, filonnets, veinules et pipes, encaissés dans les calcaires et les dolomies fracturées de Port Clarence. Toutes les minéralisations se localisent à proximité du granite, mais au-delà des tactites ou au voisinage de dyke. Les dimensions des corps minéralisés varient de quelques mètres à plus de 600 mètres avec des puissances de 0.6 à 7 mètres.

II.2.3 – Gîtes associés à des laves acides

La découverte de ce type de gisement est assez récente, en 1959. La séquence volcanique tertiaire comporte, de haut en bas, trois termes :

- | | | |
|-----|---|--|
| III | { | <ul style="list-style-type: none"> • Rhyolite à topaze (6 – 7 m.a. ailleurs 21 m.a.) Be. • Rhyolite alcaline et tufs, Be. |
| II | { | <ul style="list-style-type: none"> • Brèches intrusives. |
| I | { | <ul style="list-style-type: none"> • Tufs rhyolitiques (30 – 32 m.a.). • Basaltes et andésites, agglomérats. Tufs et rhyolites (38 – 39 m.a.). |

Le domaine géostructural est assez particulier. Il s'agit d'un horst Paléozoïque (Ordovicien-Dévonien), affecté au tertiaire par des fractures bordières ou circulaires, apparentées à des calderas, et antérieures au volcanisme. Le tout est recouvert par des dépôts lacustres pléistocènes.

Les contrôles structuraux semblent se manifester à des échelles différentes :

- A l'échelle régionale, le district, situé dans une zone spécifique de la croûte précambrienne, est recoupé par une faille majeure Nord-Sud tantôt interprété comme un accident de bordure bassin-chaîne. Cette faille sépare le bloc surélevé paléozoïque, du bassin rempli d'hétérogénéités volcaniques à l'Est. Les gîtes de béryllium se situent dans des terrains largement fracturés. Celle-ci est donc un métallotecte régional. De même, les pipes à fluorines se situent sur, ou à l'intersection, des failles dans le Paléozoïque, et il pourrait exister une relation, au moins spatiale, entre les gisements de béryllium et les pipes de fluorites sous-jacentes.
- A l'échelle locale, on trouve des brèches intrusives. Mais, on ne connaît pas dans le district, des gîtes importants de béryllium associés à ces brèches.

Deux faciès principaux sont minéralisés mais avec des cotés économiques différents. Tous les gîtes économiques de béryllium se situent dans les tufs poreux. Ces tufs lités sont intercalés dans les coulées rhyolitiques. Le béryllium serait contemporain ou suivrait immédiatement l'extrusion des rhyolites alcalines à topaze. Ce type de gisement de béryllium pourrait passer, en profondeur ; à des gîtes d'un autre type, si l'on admet une zonalité à partir des granites, riches en fluor.

En somme, dans les gisements de béryllium, on observe une chaîne plus ou moins continue entre les types greisens, skarns, laves pegmatites, avec des intersections constituées par : l'acidité du milieu, les faciès subvolcaniques, l'abondance du fluor, des terres rares.

CHAPITRE 3 – LE PRODUIT DANS LA ZONE D’EXPLOITATION

La production de béryl, notamment dans la région étudiée, a commencé en 1949 où les 33% (Bureau du Cadastre Minier de Madagascar, Novembre 2004) de cette production venaient de la région de Manakana.

III.1 – Historique

A Madagascar, les champs pegmatitiques à béryl se répartissent, par ordre d’importance, dans les régions d’Ampandramaika-Malakialina (Ouest Fianarantsoa), Tsaratanana-Ankazobe, où il y a Berere, Vohombohitra-Manakana et Ankazobe. Et d’une manière secondaire dans les secteurs de Betafo-Antsirabe et de Miandrivazo. Les pegmatites de Madagascar sont bien connues depuis le début du XX^{ème}. La présence du béryl pierreux, laissé aux déblais, était signalée en de nombreux points de la région. Et plus tard l’existence de très gros prismes de béryl dans les pegmatites de la région a été mentionnée. Avec ces productions, Madagascar occupait en 1962 la quatrième place parmi les producteurs mondiaux de béryl industriel après le Brésil, l’Ouganda et les Etats-Unis.

III.2 – Epoques géologiques et type de gisement

Comme tous les béryls du monde, le béryl malgache, notamment de la région étudiée apparaît dans l’histoire de la Terre, à l’Archéen. Le gisement de la région appartient aux cratons actuels d’âge Archéen-Précambrien. Les gîtes sont de type pegmatitiques. Les pegmatites qui sont des assemblages de minéraux acides caractérisées par leurs tailles élevées et leurs formes automorphes, se présentent classiquement sous la forme d’amas allongés, plus ou moins lenticulaires ou filoniens, mis en place dans un encaissant de roches métamorphiques : amphibolites et migmatites, et des roches éruptives. La mise en place de ces pegmatites a suivi l’orogénèse de 550 MA surtout aux environs de 500 MA. C’est surtout vers 485 MA que se sont formées les grosses pegmatites d’intérêt économique à béryl pierreux. A ce cycle pegmatitique se rattache la formation des gisements de phlogopite et d’uranothorianite du Sud. Les pegmatites de la région, considérées comme de deuxième génération, seraient liées plus directement aux granites intrusifs tardifs du type Vohombohitra (dyke épais). Elles consisteraient en filons isolés et en petits champs discontinus. La succession générale des types pegmatitiques est la suivante : lentilles ou amas homogènes à semi-différenciés, lentilles ou amas bi-zones, amas tri-zones.

