

Les placers à corindon gemme

Virginie GARNIER⁽¹⁾, Gaston GIULIANI^(2,3), Daniel OHNENSTETTER⁽¹⁾, Dietmar SCHWARZ⁽³⁾

1 : CRPG/CNRS, BP 20, 15 rue Notre Dame Des Pauvres, 54500 Vandœuvre-lès-Nancy, France.

2 : IRD, Département Milieux et Environnement, 213 rue Lafayette, 75480 Paris, France.

3 : Gübelin Gemmological Laboratory, 102 Maihofstrasse, CH-6000 Lucerne 9, Suisse.

D'une manière générale, mis à part les rubis associés aux marbres, très peu de gemmes de très haute qualité sont issues de l'exploitation de gisements primaires. La plupart proviennent de l'exploitation de gisements secondaires sédimentaires, d'origine détritique, plus faciles à exploiter et moins coûteux.

1. Généralités

1.1 Mécanismes de formation des placers

Dans les régions tropicales à forte pluviosité, les roches sont très exposées à l'altération par les eaux météoriques. C'est notamment le cas de l'Asie du Sud-Est où l'on trouve de nombreux gisements secondaires dérivant de protolithes (gisements primaires des roches en place) aussi bien métamorphiques que volcaniques. La plupart des minéraux constitutifs de ces roches ignées s'altèrent en minéraux argileux, en oxyde(s) de fer et autres minéraux stables dans les conditions de surface. Ces minéraux secondaires s'accumulent dans les sols et peuvent aussi conduire à la formation de latérites si le processus d'altération météorique est suffisamment long et intense. Certains minéraux dont le corindon et le zircon résistent à cette altération et s'accumulent dans les sols et les latérites et, ils se concentrent fréquemment dans des niveaux graveleux reposant sur les roches érodées qui les contenaient avant l'altération. Au Myanmar, ces niveaux gemmifères riches en minéraux argileux, en oxydes de fer et en sables sont localement nommés "byon" (Kane et Kammerling, 1992).

Le climat est un facteur déterminant dans la formation des gisements secondaires. En effet, les gisements de rubis associés aux marbres se rencontrent dans la zone des moussons de l'Asie Centrale et du Sud-Est, depuis l'Afghanistan à l'Ouest jusqu'au Viêt-nam à l'Est. Dans les régions tropicales et de basse altitude comme le Viêt-nam et le Myanmar, les gisements primaires de type marbre sont érodés et la majeure partie des gemmes se concentre dans des placers, souvent situés à

une distance relativement faible de la roche-source. Dans les régions de plus haute altitude, au climat plus froid et sec, comme en Afghanistan, au Pakistan et au Cachemire, il n'y a pas de placers et les cristaux de rubis sont extraits de leur matrice carbonatée, à l'aide de marteaux et de burins.

Ces gisements peuvent être classés en deux types (figure 20) :

- les dépôts éluviaux et colluviaux : les concentrations de gemmes résultent de la décomposition sur place de la roche-hôte. C'est souvent le cas des gisements basaltiques où la majorité des gemmes sont récupérées dans les formations éluviales, et très peu dans les roches magmatiques.

- les dépôts alluviaux : les gisements se forment par concentration après transport par les rivières, ce qui implique un éloignement significatif de la source. Dans ce cas, l'origine géologique des gemmes est parfois difficile à déterminer ; elle peut être étudiée à partir de l'analyse des inclusions solides et fluides piégées dans les gemmes et désormais approchée par leur composition isotopique en oxygène (figure 21).

Les gisements de type cordon littoral sont très peu décrits ; seul Goujou (2002) rapporte la présence de telles occurrences sur les plages vendéennes, en France. Le placer est de couleur rouge sombre, du fait de la présence d'une forte proportion de grenat, ilménite et magnétite qui représentent une fraction importante des sables rencontrés. Staurotide, zircon et rutile constituent une fraction intermédiaire. Tourmaline, épidote, amphibole, silicates d'alumine, apatite, anatase et limonite sont les minéraux rares de ce placer, associés au saphir. Le saphir a une couleur bleu marine à bleu nuit évoluant parfois vers l'incolore, une petite fraction montre une couleur bleu turquoise à bleu-vert, un seul cristal est de couleur jaune ; quelques cristaux sont automorphes. Les valeurs des isotopes de l'oxygène ($\delta^{18}\text{O}$ en pour mille, ‰) obtenues sur trois saphirs sont homogènes (figure 21). Elles indiquent que la source géologique de ces corindons est unique et probablement métamorphique.

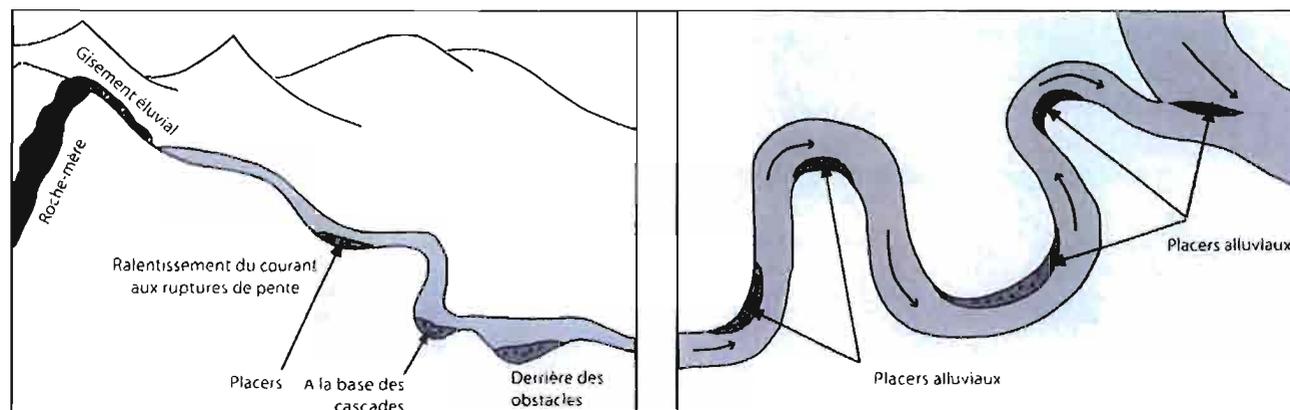
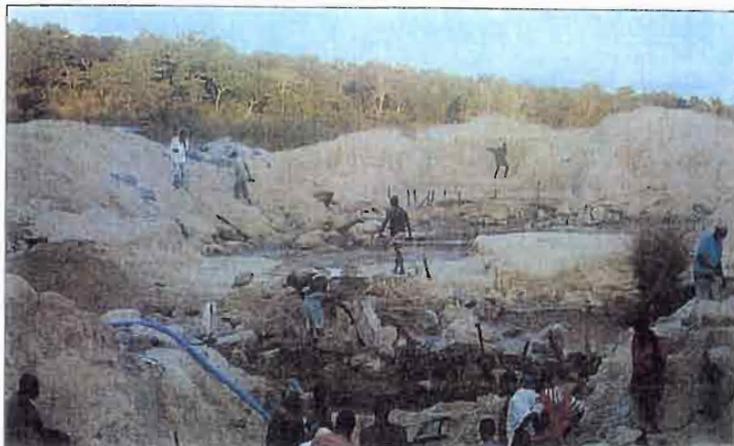


Fig. 20 : Modes de formation des placers. Après altération de la roche source, les gisements alluviaux se forment dans les zones des rivières et fleuves où la vitesse du courant chute : aux ruptures de pente, à la base des cascades, derrière des obstacles, aux points de confluence de plusieurs cours d'eau et sur la rive concave des méandres (Hughes, 1997)

Les corindons des placers



Exploitation des placers alluviaux à corindon gemme du gisement de Tundururu en Tanzanie - Photo : D. Schwarz.



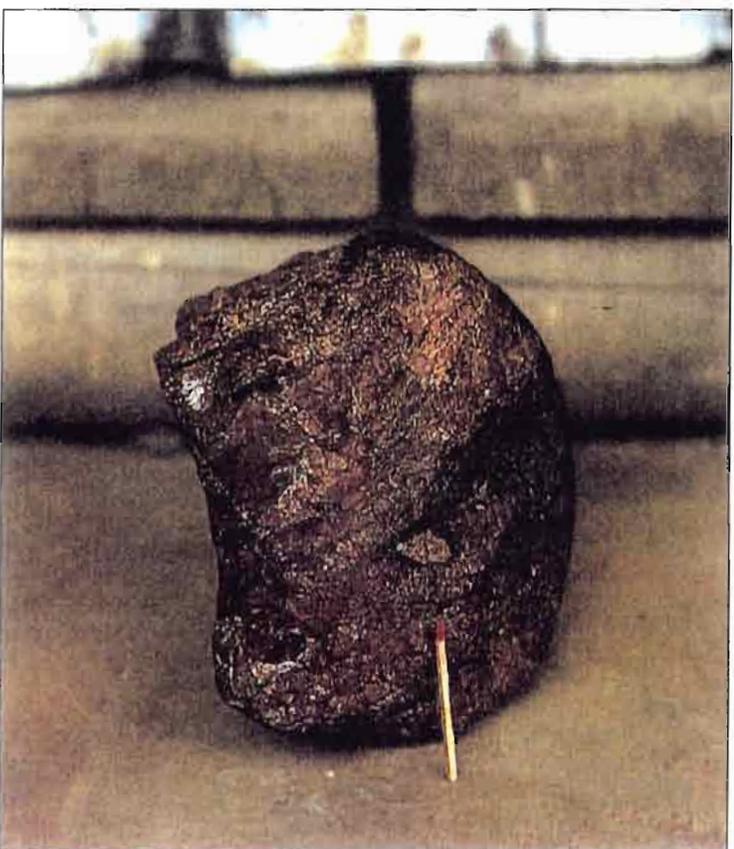
La rizière de Truc Lau en 1998. Ce site correspond à un paléoplacer reconnu par sondages et tranchées. Il est formé par 10 mètres de sédiments au dessus du bed-rock dont un niveau de graviers et galets minéralisés pouvant atteindre 5 m d'épaisseur - Photo : G. Giuliani.



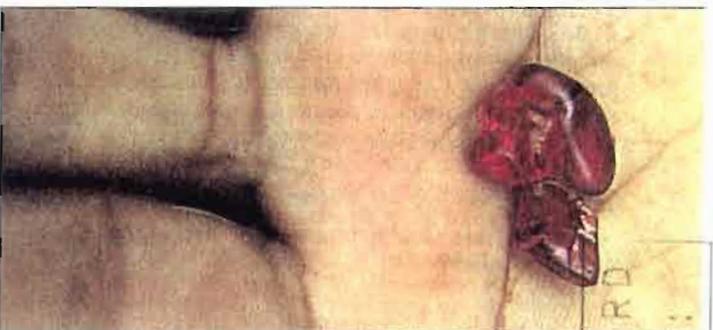
Grattage dans les cavités karstiques de la région de Khoan Thong, district de Luc Yen, Viêt-nam - Photo G. Giuliani.



Les rubis gemmes issus des placers de Luc Yen exploités par la Société minière Yen Bai Gem and Gold Compagny à Yen Bai. Taille des cristaux émoussés : environ 5 mm - Photo : G. Giuliani.



Galet de corindon présentant des portions de rubis gemme. Hauteur du galet : environ 15 cm. Mine de Tan Huong, Région de Yen Bai, Viêt-nam - Photo : V. Garnier.



Rubis issus des placers de Luc Yen et vendus sur le marché de Luc Yen - Photo : G. Giuliani.



Cristal émoussé de spinelle provenant du placer de Tan Huong, Région de Yen Bai, Viêt-nam - Photo : V. Garnier.

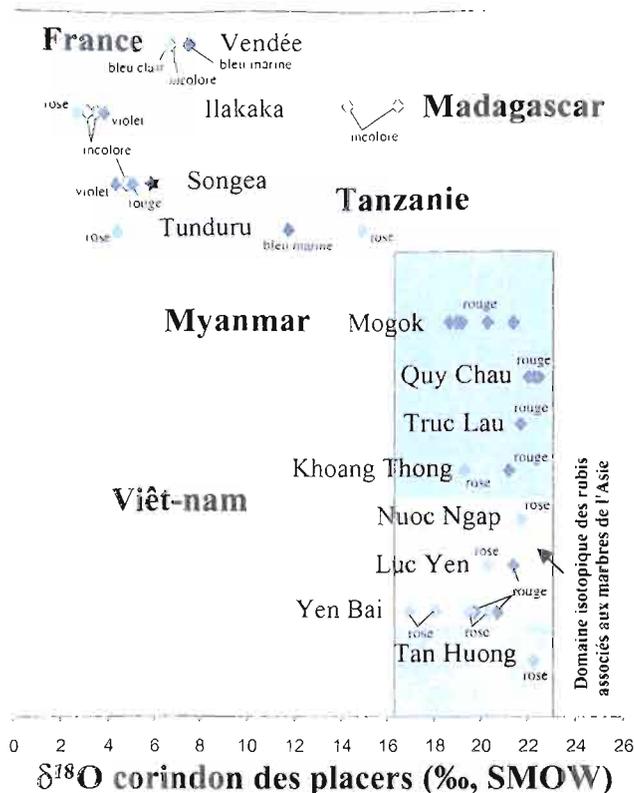


Fig. 21 : Composition isotopique de l'oxygène des corindons colorés de quelques placers, notamment ceux associés aux marbres de l'Asie du Sud-Est. Le domaine isotopique représenté par une étoile noire correspond à celui des rubis et saphirs roses primaires trouvés dans les marbres. La totalité des rubis des placers s'inscrit dans ce domaine. SMOW = Standard Mean Ocean Water (eau moyenne des océans), standard de référence pour les analyses isotopiques d'oxygène

Un même placer peut renfermer des gemmes provenant de plusieurs sources. Le transport abrase les parties non gemmes des minéraux et en améliore la qualité. C'est notamment le cas des placers d'Ilakaka à Madagascar et de Tunduru-Songea en Tanzanie. Ces derniers s'étendent sur plusieurs kilomètres le long du fleuve. Les données isotopiques de l'oxygène mettent en évidence une source commune pour les deux placers avec des valeurs comprises entre 4 et 6 ‰, et deux sources bien distinctes à Tunduru avec des valeurs supérieures à 12 ‰ (figure 21).

1.2 Exploitation des placers

Une grande variété de méthodes sont utilisées pour exploiter les placers.

Dans les pays en voie de développement, la découverte d'un nouveau gisement entraîne souvent le déplacement d'importantes populations qui espèrent faire fortune ou tout au moins acquérir un meilleur niveau de vie. Ces mineurs indépendants, appelés "garimpeiros" au Brésil et "guaqueros" en Colombie, sont souvent équipés de pelles et de pioches avec lesquelles ils creusent des

Madagascar : ruée sur les saphirs !

"Succédant au gisement de Fort Dauphin (sud-est de Madagascar) et à celui de Diego (nord de l'île), la rivière Ilakaka, au sud de l'île, sur 150 km x 10 km, aurait été le siège en 1999 d'une ruée minière estimée à 150 000 personnes, suite à la découverte d'un gîte alluvionnaire de saphirs. On y trouve des pierres roses, des chrysobéryls ail de chat, des saphirs gueudas, blanc laiteux, et de beaux saphirs bleus. Le commerce en est organisé par des thaïlandais mais constituerait hélas une méthode de blanchiment d'argent..."

Chronique Rech. Min. 538 - 2000.

puits, parfois profonds de plusieurs dizaines de mètres, jusqu'à atteindre la couche minéralisée. Les graviers gemmifères sont remontés dans des sacs ou des seaux à l'aide d'une poulie, puis lavés dans des tamis, à la rivière. Ensuite, les graviers sont triés à la main.

Les exploitations mécanisées permettent l'exploitation intensive des placers, notamment en Asie du Sud-Est, en Australie et en Amérique du Nord, plus rarement en Afrique et à Madagascar. Les couches stériles sont déplacées à l'aide de pelles mécaniques et de bulldozers. Les graviers gemmifères sont apportés à la laverie soit par camions, soit par un système de pompe. Ce type d'exploitation est classiquement utilisé en Asie du Sud-Est et à Madagascar.

Une laverie classique est composée d'un ou plusieurs trommels qui permettent d'éliminer les fragments de tailles inférieures ou supérieures aux tailles de coupures considérées dans l'exploitation et de jigs qui permettent de trier les galets selon leur densité. En fin de journée, les jigs sont vidés et les galets triés à la main.

Dans le cas de placers localisés dans le lit d'une rivière, une drague peut être utilisée pour racler le fond du lit et récupérer les graviers. Ce type d'exploitation a été mis en œuvre à Rock Creek, dans le Montana aux Etats-Unis, pour exploiter les gisements secondaires issus de l'érosion des filons de lamprophyre à saphir bleu. La laverie est directement fixée à la barge qui drague le fond de la rivière et fonctionne grâce au courant hydraulique.

Quand l'exploitation est développée en tenant compte de l'environnement, les impacts sur le milieu naturel sont minimes. De plus, les techniques de séparation mécanique (jigs) n'utilisent pas de produits chimiques polluants (contrairement à l'extraction de l'or par amalgamation au mercure, par exemple). La réhabilitation des sites après fermeture de la mine est assez aisée.

Cependant, dans les pays en voie de développement la législation minière n'est pas ou peu suivie par les compagnies minières et peu surveillées par les ministères des mines. Les rivières sont engorgées par un afflux de sédiments et de boue, les sites ne sont pas réhabilités.

2. Quelques exemples

2.1 Les placers basaltiques d'Australie

Les premiers saphirs des Nouvelles Galles du Sud ont été découverts en 1851, par le géologue S. Strutchbury dans des sluices utilisés pour la récupération d'or dans les rivières Cudgegong et Macquarie. En 1854, W.B. Clark a observé des saphirs dans des sluices utilisés pour la récupération d'étain dans le district d'Inverell. Bien que la présence de saphirs ait été mise en évidence dans ce district, aucune opération minière ne fut engagée car ces saphirs furent jugés de basse qualité, alors que d'importantes quantités des ces minéraux furent découvertes entre 1869 et 1870.

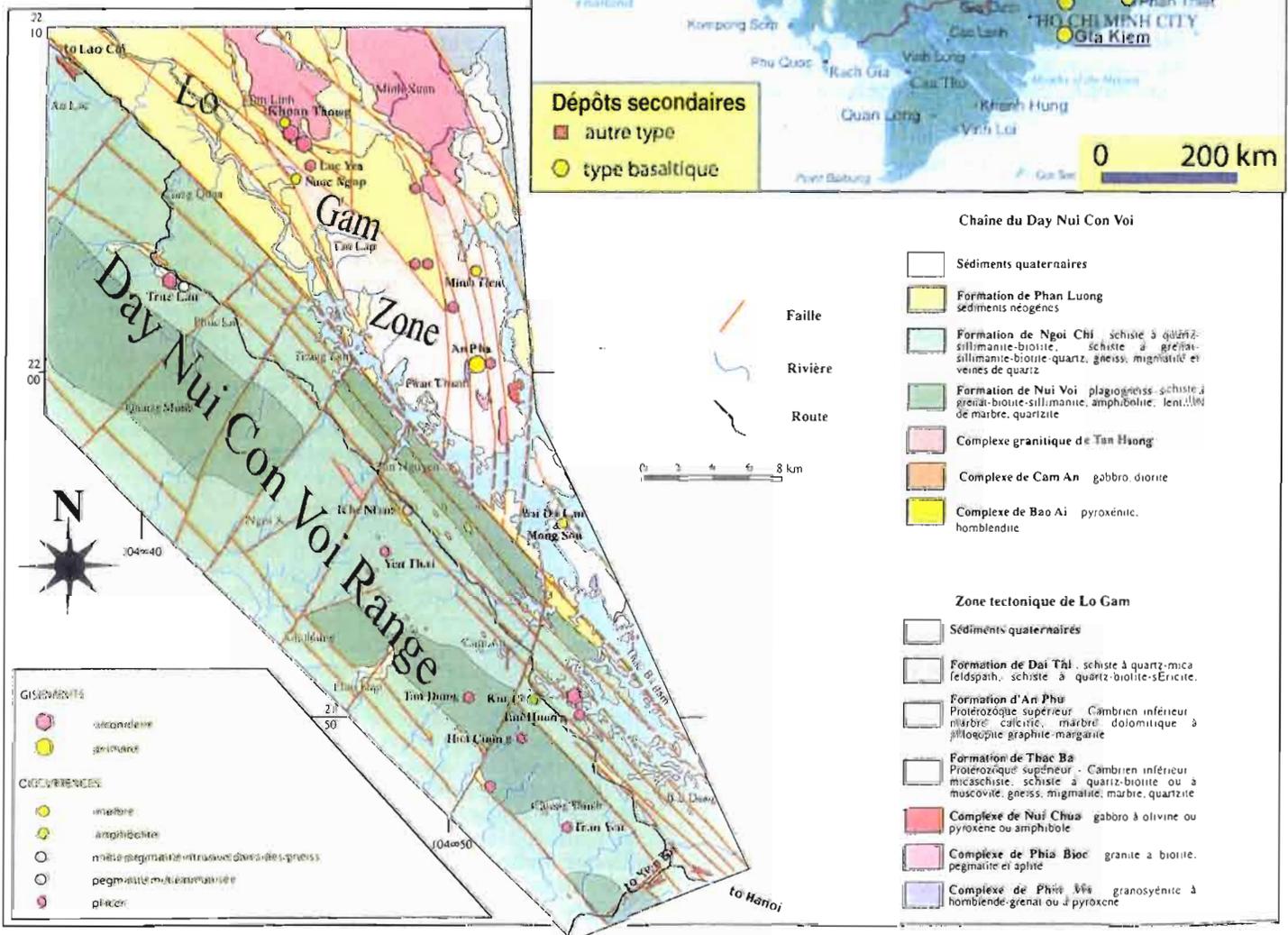
Les opérations minières débutèrent en 1919, dans la localité de Fraser Creek, proche d'Inverell. Cette année-là, environ 250 grammes de saphirs seulement furent extraits du lit de la rivière, mais ce fut suffisant pour continuer le développement des activités minières, qui progressèrent dans les régions d'Inverell et de Glen Innes. L'industrie du saphir demeura stable jusqu'à la Grande Dépression de 1930, après quoi la production chuta brutalement jusqu'à la cessation des activités au début des années soixante.

King's Plain est une des régions les plus riches, dans le district de la Nouvelle Angleterre dans les Nouvelles Galles du Sud. Cette région a été exploitée par la société Great Northern Mining. Les rendements moyens y étaient de 100 US \$/m³, ils atteignirent 1500 US \$/m³ (plus de 1 kg de corindon par m³) en 1993 et 1994. Ces rendements sont remarquables et jamais atteints par ailleurs dans le monde.

Fig. 22 : Carte de l'Indochine avec la localisation des différents types de gisements de corindon et l'emprise de la carte ci-dessous



Fig. 23 : Carte géologique montrant les domaines tectoniques majeurs de la zone de cisaillement du Fleuve Rouge et la localisation des principaux gisements et occurrences à rubis et saphirs (modifié d'après Phan Trong et Hoàng Quang, 1997)



2.2 Les placers associés aux marbres du Viêt-nam

Des rubis et saphirs ont été découverts et exploités dans de nombreuses régions du Viêt-nam (figure 22). Actuellement, des rubis et des saphirs roses et bleus sont exploités dans les provinces de Luc Yen et Yen Bai au Nord et dans la province de Nghe An au centre (placers de Quy Chau). Au Sud du Viêt-nam, des saphirs bleu foncé, jaunes et verts sont exploités dans les placers de Dak Nong et Binh Thuan, dans les provinces respectives de Dak Lac et Lam Dong.

En 1983, un rubis a été découvert par un cartographe dans la région d'An Phu (district de Luc Yen), à environ 270 km au Nord d'Hanoi (figure 23). Le placer a ensuite été exploré en détail et exploité dès 1987. En mars 1988, le gouvernement vietnamien a fondé la société Vinegemco (Vietnam gemstones Company) pour y contrôler les activités minières. La même année, Vinegemco et BH. Mining Co. de Thaïlande ont établi une "joint-venture" (un projet commun) dans le but d'exploiter le placer de Khoan Thong. Entre novembre 1989 et mars 1990, 244 kg de corindons de qualité gemme en ont été extraits. La majeure partie de la production a été vendue et taillée à Bangkok.

Entre 1990 et 1994, des milliers de mineurs indépendants ont envahi la région et de nouvelles occurrences primaires de corindon gemme ont été découvertes notamment à Minh Thien, Nuoc Ngap, Hin Om, Khau Nghiem, Vang Sao, May Thuong et May Ha. A la même époque, des rubis et saphirs gemmes ont été extraits des placers. Toutes ces pierres ont ensuite été vendues sur le marché de Luc Yen.

Entre 1994 et 1995, des rubis ont été découverts dans les régions de Tan Huong et Truc Lau. Ces deux mines sont actuellement exploitées par la société Yen Bai Gem and Gold Company. En avril 1997, deux galets de rubis, dont le "Star of Vietnam", de poids respectifs 2,58 et 1,96 kg, ont été extraits du placer de Tan Huong. Ces deux pierres ont été déclarées "Trésor d'État" et ne peuvent être vendues.

La mine de Quy Chau est localisée dans la province de Nghe An, à environ 120 km au Nord-Ouest de la ville de Vinh et 300 km au Sud d'Hanoi (figure 22). Le premier rubis y a été découvert en 1988. Entre 1989 et 1990, 10000 mineurs, originaires de l'ensemble du territoire vietnamien, ont migré dans cette région. Les activités minières illégales échappèrent au contrôle de l'Etat et des centaines de personnes périrent dans un effondrement en juillet 1990, dans la mine de Ho Ty. Les rubis issus des placers de Quy Chau sont souvent de belle qualité. Au cours d'une vente, un rubis brut de 56 carats a été vendu 562000 US\$.

Les minéralisations primaires à rubis n'ont, par contre, jamais été observées. Cependant, la composition isotopique de l'oxygène de ces corindons (figure 21) indique qu'ils se sont formés dans des marbres, comme les rubis issus des placers des provinces de Luc Yen et Yen bai (Garnier, 2003).

Depuis 1991, des saphirs bleus, verts et rarement jaunes ont été trouvés dans les provinces basaltiques du Sud du Viêt-nam. Ils proviennent de gisements éluviaux issus de l'altération météorique des basaltes. Les premiers saphirs ont été découverts à Dak Nong, dans la province de Dak Lak (saphirs bleus et noirs) ; puis à Di Linh dans la province de Lam Dong (saphirs verts et jaunes). Ces saphirs sont transparents à translucides ou opaques, et le pourcentage de pierres gemmes est très faible. Entre 1992 et 1995, la mine de Dak Nong a été exploitée par les paysans locaux, et des centaines de kilogrammes de saphirs en ont été extraits. En 1996, la compagnie Tay Huyen Gem and Gold Company a été créée pour gérer son exploitation. Après une étude géologique approfondie, l'exploitation a débuté en 1997. Du fait de la faible quantité de gemmes de qualité, la compagnie a cessé ses activités en 2000.

2.3 Les placers à saphirs d'Ialakaka à Madagascar et de Tunduru en Tanzanie

Dans certains cas, la localisation de la roche-hôte des corindons est très éloignée du bassin sédimentaire où se trouvent les rubis et saphirs. L'origine des protolithes des

corindons est alors difficilement identifiable. En outre, certains placers correspondent au remaniement de paléo-placers, ce qui rend encore plus difficile la détermination de la roche-source.

Les gisements d'Ialakaka sont situés dans le Massif de l'Isalo, entre les villes de Sakahara et Ranohira (figure 16), au Sud de Madagascar. Les saphirs libellés d'Ialakaka proviennent de différents secteurs miniers situés entre les villes d'Ialakaka et de Sakahara. Il s'agit notamment des secteurs de Sakaloma, Ampasimanaitaka, Vohimena, Bekily et Manumbo Vaovao.

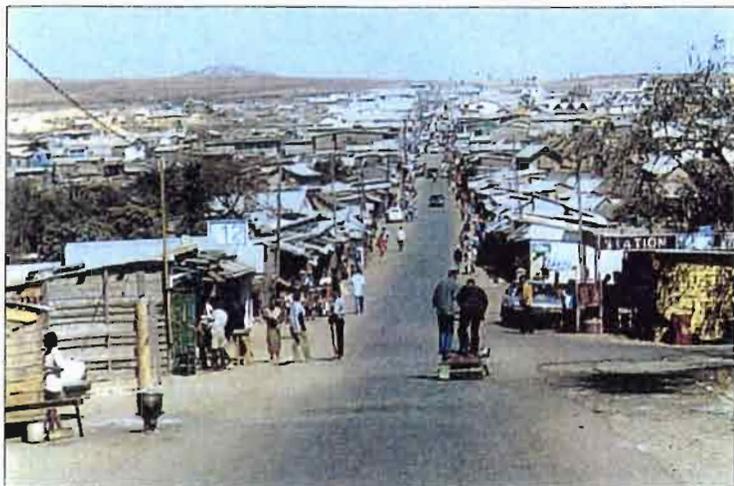
Le gisement principal d'Ialakaka a été découvert à la fin des années quatre-vingt-dix, a fourni et continue de fournir des saphirs de toutes les couleurs (rose, jaune, mauve, vert), généralement très plats et de poids moyen inférieur à 5 carats. Quelques saphirs bleus, plus trapus, de plus de 9 carats ont été découverts dans ce gisement, ainsi que des rubis. Ces saphirs sont associés à du zircon, du chrysobéryl (alexandrite), de la topaze, du grenat, du spinelle, de l'andalousite et de la tourmaline.

Un gisement récent, découvert en février 2003, se situe à 38 km au Sud-ouest d'Ialakaka. Il s'agit du placer de Manumbo Vaovao appelé à devenir un gisement à tonnage important. En août 2003, environ 2000 personnes avaient rejoint le site et participé au "rush" sur le saphir, puis posé la première pierre de la future ville de Manumbo sur la RN7. Le placer est exploité le long de la rivière Andongoza, soit à la batée directement dans le cours d'eau, par les femmes et les enfants, soit par des puits de moins de 1m de diamètre, de 10 à 20 mètres de profondeur. Les graviers à saphirs extraits de ce puits sont lavés dans la rivière. Lors de notre visite, les pierres observées faisaient moins de 1-1,5 carat, mais présentaient la même gamme de couleurs que celles rencontrées au gisement principal d'Ialakaka.

Durant l'été 2000, seules deux exploitations mécanisées étaient en activité à Ialakaka. La majorité des pierres issues de ce gisement ont été trouvées par des mineurs indépendants qui travaillent à la pelle et à la barre à mine, dans des puits de profondeur supérieure à 20 mètres, sans aucune sécurité ni assistance. Les mineurs exploitent les terrasses alluviales des rivières Ialakaka et Benahy. Ces terrasses alluviales reposent sur les grès de l'Isalo. Elles sont constituées essentiellement de sables quartzeux et renferment des galets de grès ferrugineux très plats (latérite), des blocs de grès de l'Isalo bien arrondis et des galets de quartz, quartzites et schistes issus de l'érosion des grès de l'Isalo ; elles sont peu consolidées. Sur les rives de la Benahy, au moins trois niveaux de terrasses se distinguent, tous trois gemmifères. Ce sont les terrasses les plus basses qui ont les plus fortes concentrations en saphir (figure 24). Des tests de richesse réalisés dans les terrasses exploitées mécaniquement ont mis en évidence des concentrations variant de 0,4 à plus de 5 g/m³. Cependant, certaines terrasses, exploitées artisanalement, ont montré des teneurs supérieures à plusieurs dizaines de grammes par m³. Elles correspondent à des marmites profondes ou des méandres très sinueux inexploités mécaniquement pour des raisons d'accessibilité. En outre, le sable de rivière, pris en lit vif, a des teneurs en saphir comprises entre 0,2 et 2,1 g/m³. Ces terrasses se sont formées par l'érosion et le démantèlement des grès de l'Isalo. Ainsi, la source primaire des saphirs reste inconnue. Cependant, d'après les travaux de Dissanayake et Chandrajith (1999), des gisements primaires ont pu se former au cours de l'orogénèse panafricaine, dans la ceinture minéralisée qui s'étendait du Mozambique à l'Antarctique (figure 25), avant la fracturation du Gondwana, et être du même type que ceux rencontrés dans la ceinture du Mozambique ou au Sri Lanka. La grande variété des couleurs et des formes suggère que plusieurs sources primaires sont envisageables.

Les données isotopiques en oxygène des saphirs mettent en évidence l'existence d'au moins deux sources : une première correspondant à des valeurs très légères comprises entre 2 et 4 ‰ ; une seconde définie par des valeurs plus lourdes, comprises entre 14,0 et 16,5 ‰.

Le placer d'Ilakaka, Madagascar



Vue générale de la ville d'Ilakaka le long de la RN7. - Photo : G. Giuliani.



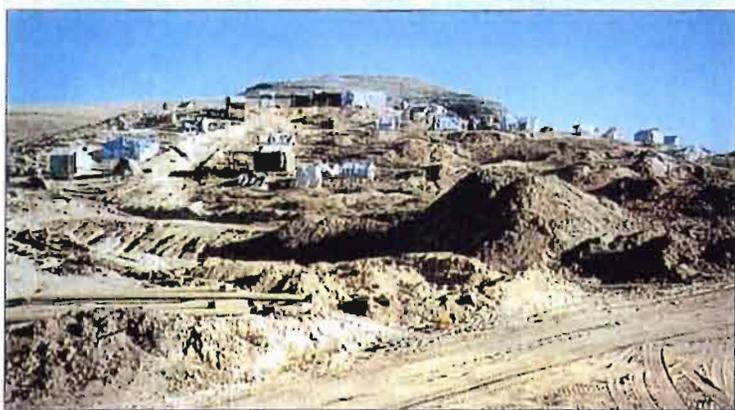
Les comptoirs de vente de saphir du producteur au négociant.
Photo : G. Giuliani.



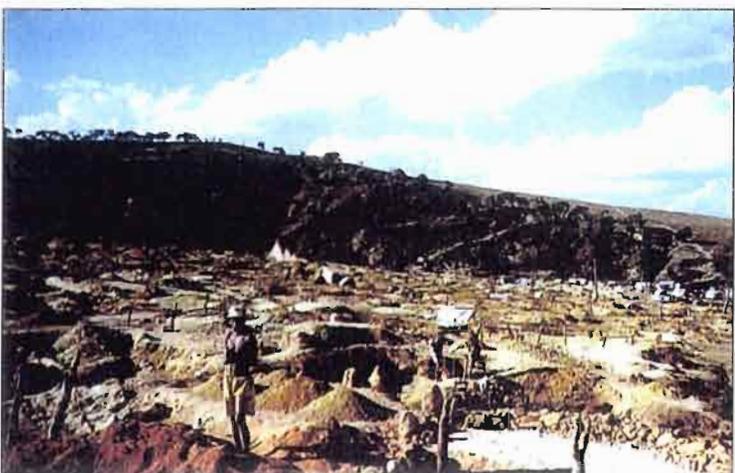
Coupe du placer d'Ilakaka dénommé "la Banque Suisse" par les mineurs.

Exploitation par bancs de la concession minière de J.N. Andrianasolo.
Photo : G. Giuliani.

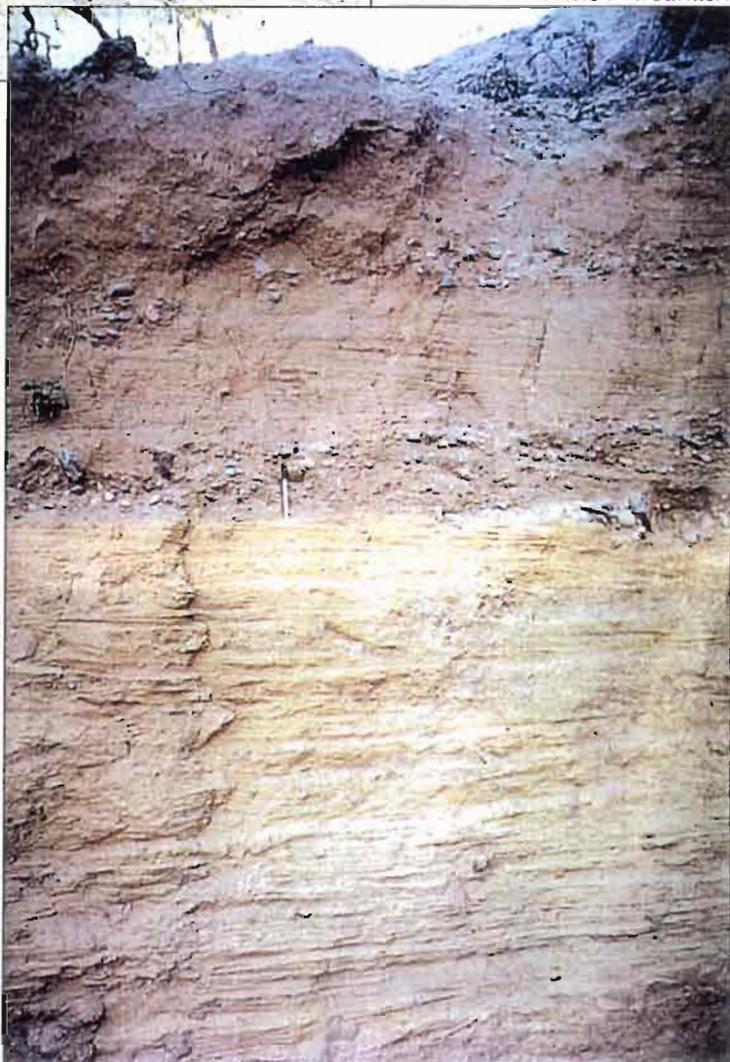
Vue sur une des terrasses à rubis exploitées par les mineurs indépendants de la mine de Vohimena Talo
Photo : V. Garnier.



Vue du village de mineurs de Vohimena Talo, district d'Ilakaka
Photo : V. Garnier.

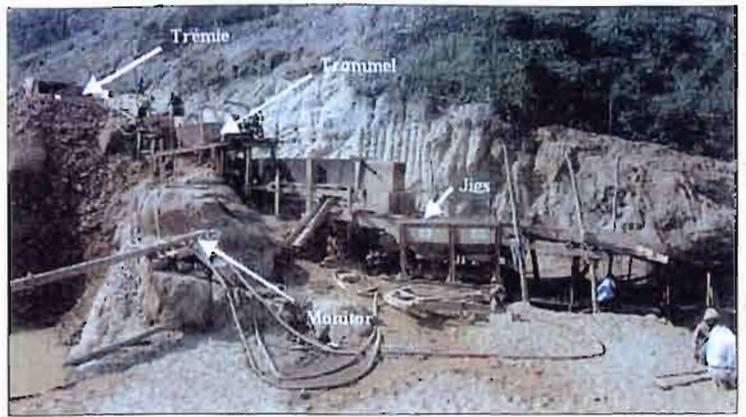


Le village de Sakameloka et ses puits d'exploitation - Photo : V. Garnier.





Exploitation par une galerie éayée, dans le placer de Vohimena Talo.
Photo : V. Garnier.



Laverie permettant la séparation des sables et galets selon leur densité, placer de Vohimena Talo. - Photo : V. Garnier.



Lavage à la rivière par batayage des galets et sables minéralisés, village de Vohimena Talo - Photo : V. Garnier.



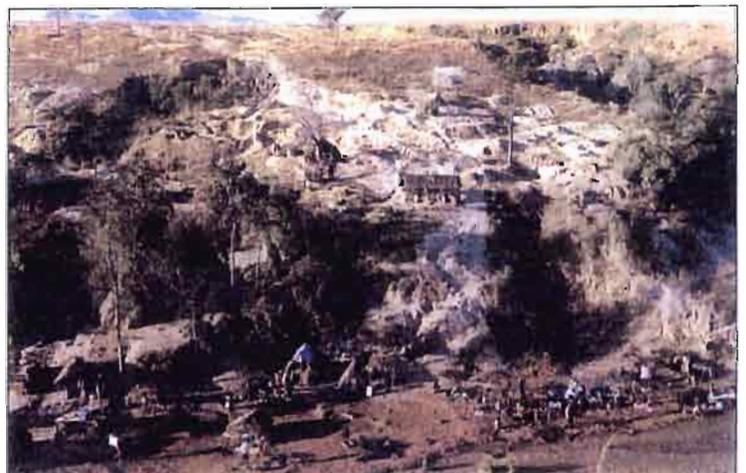
Saphirs colorés et rubis extraits des placers d'Ilakaka.
Taille des cristaux environ 7-8 mm - Photo : G. Giuliani.



Lavage à la rivière du minerai extrait à Sakameloka dans le district d'Ilakaka - Photo : V. Garnier



Les outils utilisés par les mineurs indépendants du gisement de saphir de Manumbo Vaovao - Photo : G. Giuliani.



Le gisement de Manumbo Vaovao, 30 km à l'Ouest d'Ilakaka, découvert en février 2003. Aspect des puits réalisés dans la terrasse alluviale et du village précaire installé dans le lit de la rivière Andongoza. Photo : G. Giuliani.

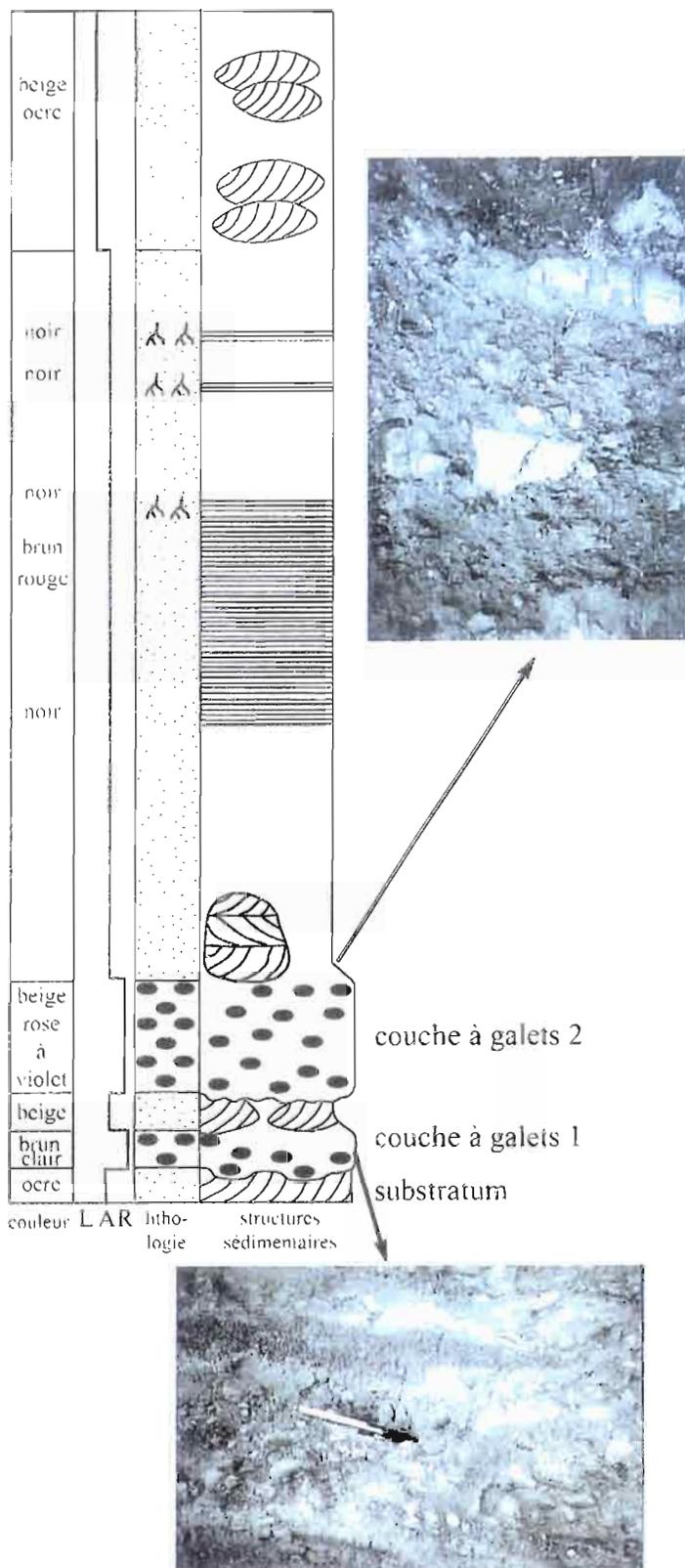


Fig. 24 : Coupe-type, illustrée par des photos, des terrasses minéralisées exploitées dans la région de Vohimena Talo, district d'Ialakaka à Madagascar. Granulométrie : L = lutite ; A = arénite et R = rudite

CONCLUSIONS

Les placers représentent la première source industrielle de saphirs. En effet, leur exploitation s'effectue à moindre coût, par rapport aux gisements primaires qui nécessitent l'extraction des gemmes contenues dans des roches. Les placers les plus importants sont localisés dans des régions tropicales, de basse altitude, donc facilement accessibles et généralement fortement drainées.

Déterminer la source de saphirs n'est pas toujours aisé. Dans le cas de gisements éluviaux, il n'y a pas d'ambiguïté sur

la roche source. Dans le cas de placers alluviaux et étières, les gemmes ont pu être transportées sur de longues distances. C'est également le cas de placers formés par le remaniement de gisements déjà secondaires. Dans ces cas, l'étude des caractéristiques gemmologiques (couleur, habitus), mais surtout l'analyse des inclusions solides et fluides, ainsi que les caractéristiques géochimiques et la signature isotopique des corindons peuvent permettre de remonter aux origines géologiques.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le CRPG/CNRS de Vandœuvre-lès-Nancy, l'IRD et son représentant à Hanoi M. Berger ainsi que M. de Grossouvre et Dhersigny à l'Ambassade de France au Pakistan pour leur soutien logistique et financier.

Nos remerciements vont également à Phan Trong Trinh et Hoàng Quang Vinh du CNST de Hanoi et à Pham Van Long de Vigego à Hanoi, Viêt-nam, au Professeur Upreti de l'Université de Kathmandou au Népal, à M. Kausar, Gauhar et Sakawat du "Geological Survey of Pakistan" à Islamabad, à M. Malik de la Société Minière AKMDC de l'Azad Kashmir pour leur accueil, aide logistique et le travail réalisé sur le terrain avec leurs équipes, à J. Dubessy et T. Lhomme de l'UMRG2R à Vandœuvre-lès-Nancy; à M. Fallick du SUERC à Glasgow et de M. Pêcher du LGCA à Grenoble.

Nous remercions également M. Chiappero du Museum National d'Histoire Naturelle de Paris, Mme Bariand, M. Hänni du SSEF à Bâle, M. Saul de la Société ORYX à Paris, Mme Sutherland de l'Australian Museum de Sydney en Australie, M. Moine de Toulouse pour avoir autorisé gracieusement la reproduction de leurs photos.

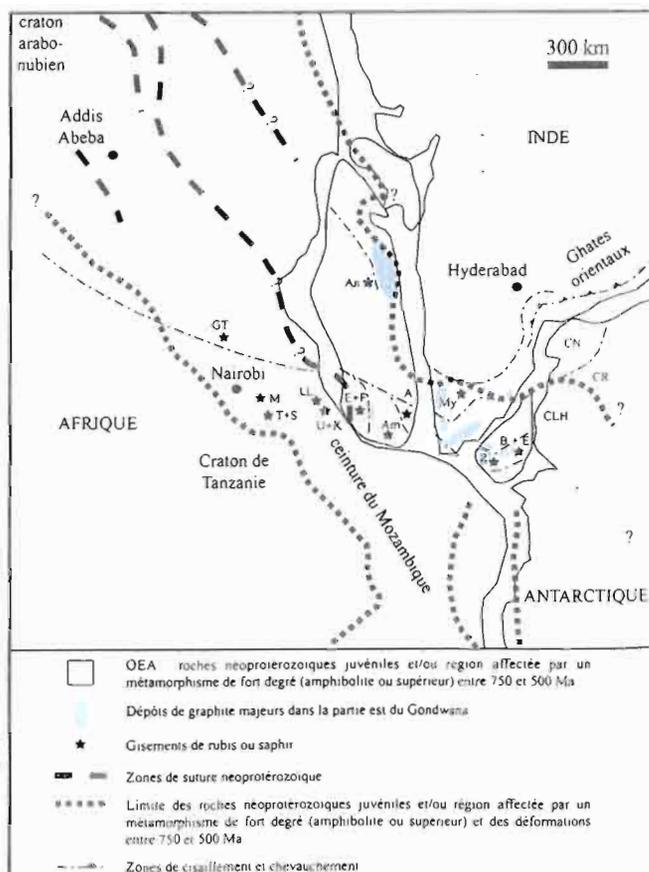


Fig. 25 : Juxtaposition du Sri Lanka, du Sud de l'Inde, de Madagascar et de l'Afrique dans le super-continent Gondwana (modifié d'après Service géologique de Madagascar, 1977 ; Collins et Windley, 2002 ; Dissanayake et Chandrajith, 1999 ; Mercier et al., 1999). CN : complexe de Napier ; CR : complexe de Rayner ; LH : complexe de Lützow-Holm ; OEA : Orogène Est Africain. Gisements de rubis ou saphirs du Kenya : GT = Garba Tula, M = Mangari, T + SN = Twiga et Si Ndoto ; de Tanzanie : K = Kalalani, LL = Longido et Lonsogonoi ; de Madagascar : Am = Ambosoary, A = Andranondambo, An = Antsirabé, E + F = Ejeda et Foidrevo ; d'Inde : My = Mysore

Glossaire

Amphibolite – Roche du métamorphisme général, souvent assez massive, vert sombre à noire, essentiellement constituée de cristaux d'amphibole plus ou moins ordonnés dans les plans de schistosité, avec des feldspaths et peu ou pas de quartz. Elles dérivent souvent des roches sédimentaires (pélites, marnes) ou volcano-sédimentaires : ce sont des para-amphibolites ; ou de roches magmatiques (basaltes, diorites, gabbro) : ce sont des ortho-amphibolites.

Analcime – Zéolithe, $\text{Na}[\text{Si}_2\text{AlO}_6]\text{H}_2\text{O}$, du système cubique, en trapézoèdres blancs nacrés, mais le plus souvent en très petits cristaux sous forme de minéral d'altération des roches alcalines.

Anatexite – voir migmatite.

Automorphe – Par opposition à xénomorphe, s'applique à un minéral présentant la forme du cristal parfait.

Basalte – Roche magmatique effusive très commune, noire, à texture microlitique et comportant de cristaux de plagioclase et de pyroxène, parfois accompagnés d'olivine.

Carbonatite – Roche ignée composée de 80 % de carbonates.

Charnockite – Granite à hypersthène pouvant être associé à des syénites et des tonalites à hypersthène.

Chromophore – Élément qui donne sa couleur à une gemme. Dans le cas des corindons, il s'agit de métaux appartenant à la famille des éléments de transition : chrome pour le rubis et fer et titane pour le saphir.

Cipofiu – Calcaire métamorphique à minces veines et se débitant en fines pelures d'oignon.

Columbite – Oxyde de la famille des niobio-tantalates, de formule $(\text{Fe}, \text{Mn})(\text{NbTa})_2\text{O}_6$, présents dans des pegmatites granitiques. La columbite est le terme niobifère.

Cumulat – Roche magmatique grenue formée de cristaux issus de la cristallisation fractionnée et accumulés, sous l'action de la gravité, au sein d'un magma. Les cristaux accumulés sont les "cumulus", ils sont cimentés par les "intercumulus".

Extrusif – Qui atteint la surface de la terre à l'état fondu, comme les laves.

Felsique – Par opposition à mafique, s'applique aux roches riches en minéraux de couleur claire comme le quartz et les feldspaths.

Gabbro – Roche magmatique plutonique grenue, de teinte générale verte noirâtre, plus ou moins mouchetée de blanc et composée de plagioclase et de clinopyroxène interstitiel. La troctolite est une variété de roche gabbroïque à plagioclase et olivine, plus ou moins serpentinisée. La norite est une roche gabbroïque à plagioclase et orthopyroxène.

Gneiss – Roche métamorphique à grain grossier à moyen, à foliation nette caractérisée par des lits de teinte sombre (riches en micas, amphiboles, ...) alternant avec des lits clairs de quartz et de feldspaths.

Granulite – Roche métamorphique de haute pression et haute température, à grain fin avec quartz lenticulaire et feldspath dominants, hypersthène et grenat et accessoirement sillimanite, disthène, rutile, cordiérite et spinelle.

Harzburgite – Péridotite à olivine (plus de 40 %) et orthopyroxène, contenant moins de 5 % de clinopyroxène et des phases accessoires comme le spinelle et le plagioclase.

Intrusif – Qui a pénétré dans des formations déjà constituées. S'applique aux roches magmatiques mises en place à l'état fluide sous la surface et aux massifs qu'elles constituent.

Jig – Les jigs sont communément utilisés dans l'industrie minière pour séparer des minéraux de densités contrastées. La séparation des minéraux se fait par des pulsations d'eau au travers d'un lit de minéraux, entraînant les minéraux lourds au fond du lit et la remontée des particules moins denses en surface.

Komatite – Roche volcanique ultramafique à olivine et pyroxène caractérisée par une grande richesse en magnésium (20 à 30 % de MgO). Ces roches se sont formées au Précambrien, par de forts taux de fusion partielle (> 30 %).

Lamprophyre – Groupe de roches porphyritiques, souvent filonniennes, avec des phénocristaux de biotite, amphibole et pyroxène, dépourvues de feldspath.

Lherzolite – Roche magmatique grenue de type péridotite à olivine (plus de 40 %), orthopyroxène et clinopyroxène (plus de 5 %).

Mafique – S'applique aux roches contenant des minéraux riches en magnésium et fer.

Murbres – Calcaires métamorphisés.

Métamorphisme – Transformation d'une roche à l'état solide du fait d'une élévation de température et/ou de pression, avec cristallisation de nouveaux minéraux, dits néoformés, et acquisition de textures particulières. On distingue deux grands types de métamorphisme :

le métamorphisme général ou régional : il affecte l'ensemble des roches sur des épaisseurs et surfaces importantes. Dans les grandes chaînes plissées, le métamorphisme est responsable de la formation des ensembles de schistes, micaschistes et gneiss.

le métamorphisme de contact : il est localisé au contact des roches magmatiques avec les roches intrudées.

Métasomatisme – Métamorphisme allochimique qui s'accompagne d'une modification (métasomatose) de la composition chimique des roches originales.

Miarole – Petite cavité remplie de minéraux pneumatolytiques (minéraux formés entre 600 et 400°C, à partir de vapeurs et enrichis en bore, chlore et fluor).

Migmatite – Mélange de roches de type granite et gneiss, celui-ci en général à grain grossier et à foliation souvent peu marquée ou confuse. Ces roches sont à la limite des roches métamorphiques de fort degré et des roches magmatiques. Elles se forment par anatexis (ou fusion) partielle : certaines parties de la roche fondent et constituent le mobilisat, d'autres restent solides (restites peu ou pas affectées par la fusion) ; la roche initiale est appelée paléosome. L'ensemble des variétés de migmatites sont regroupées sous le nom d'anatexites.

Monchiquite – Lamprophyre à phénocristaux d'amphibole, biotite, clinopyroxène ± olivine et mésostase vitreuse ou de feldspathoïde.

Ophiolite – Ensemble de roches magmatiques basiques et ultrabasiques. La trilogie ophiolitique est représentée par des basaltes souvent en coussins (pillow lavas), des roches mafiques – dolérites souvent en filons et roches gabbroïques – et des roches ultramafiques souvent serpentinisées, d'origine mantellique représentant des fragments de la croûte océanique.

Ouachitite – Lamprophyre ultramafique à phénocristaux d'olivine, de phlogopite, d'amphibole ± clinopyroxène et mésostase à feldspathoïdes ± carbonates.

"Padparadscha" – Ce terme dérive du Sanskrit/Cinghalais et caractérise une couleur rose-orangée semblable à celle de la fleur de lotus.

Paragneiss – Gneiss formé à partir de roches sédimentaires.

Pegmatite – Roche magmatique silicatée dont les cristaux, fréquemment automorphes, sont de grande taille (un à plusieurs centimètres ou décimètres, parfois plus du mètre).

Péridotite – Roche de couleur jaune orangé à vert noirâtre, constituée essentiellement d'olivine (plus de 40 %) accompagnée de pyroxène (ortho ± clinopyroxène), ± spinelle ± plagioclase et plus rarement d'amphibole, de biotite et de grenat.

Porphyroblaste – Cristal de grande taille ayant cristallisé dans une roche métamorphique.

Protérozoïque – Période la plus récente du Précambrien (2500 à 570 Ma).

Pull-apart – Bassin de sédimentation allongé qui s'est constitué sur une zone de décrochement.

Pyriclasite – Métabasite (roche basique métamorphisée) de fort degré de métamorphisme, riche en pyroxène et plagioclase.

Rift ou graben – Fossé continental limité par des bords surélevés, formé dans un contexte tectonique d'extension, avec une activité volcanique plus ou moins forte.

Scapolite – Tectosilicate du système quadratique, en baguettes prismatiques bipyramidées, formant une série isomorphe de la marialite $(\text{Cl}_2, \text{SO}_4, \text{CO}_3)\text{Na}_2[\text{Si}_2\text{AlO}_6]$, à la méionite $(\text{Cl}_2, \text{SO}_4, \text{CO}_3)\text{Ca}_8[\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_6]$.

Serpentinite – Roche dérivant, par altération et/ou métamorphisme, de péridotites, et composée de serpentines, chrysotile, antigorite ou lizardite accompagnés de magnétite. Les olivines se serpentinisent en premier, suivies par les orthopyroxènes puis les clinopyroxènes.

Skarn – Roche du métamorphisme de contact des granites, caractérisé par une texture grenue avec souvent de grands cristaux de 1 à 20 cm, issue de roches qui, au contact du granite ont subi des transformations chimiques et des interactions avec des fluides issus de ces derniers.

Sluice – La séparation de minéraux et de métaux, notamment de l'or, par sluice consiste à faire glisser, par gravité et par apport d'eau, ces minéraux sur une pente en bois, où ils sont séparés selon leur densité.

Sous-saturé – S'applique à toute roche magmatique déficitaire en SiO_2 .

Subduction – Enfouissement de la lithosphère océanique sous une autre lithosphère, le plus souvent continentale.

Syénite – Roche magmatique avec comme minéral essentiel les feldspaths alcalins accompagnés d'un peu de biotite, de hornblende et avec des phases mineures comme le quartz ou la néphéline.

Trommel – Sorte de tambour recouvert d'un grillage à maille de taille calibrée et utilisé dans le traitement des minerais pour éliminer les particules de taille inférieure à la maille.

Uranpyrochlore – Oxyde des pegmatites, granites et syénites, de formule $(\text{U}, \text{Ca}, \text{Ce})_2(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_7(\text{OH}, \text{F})$ appartenant à la série pyrochlore – microlite, mais enrichi en uranium.

Xénolithe – Enclave dans une roche magmatique. Une enclave est une masse de roche qui a été mécaniquement arrachée et emballée dans une autre roche.

Xénocristaux – Cristaux exogènes à la roche magmatique et provenant de la dissolution et de la dislocation des xénolithes.

Bibliographie

- ABOOSALLY S.** (1999) - Update on production in Pakistan, Afghanistan. *Jewellery News Asia*, vol. January, pp. 60-64.
- ALTHERR R., OKRUSCH M. & BANK H.** (1982) - Corundum- and kyanite-bearing anatexites from the Precambrian of Tanzania. *Lithos*, 15, pp. 191-197.
- ANDRONOPOULOS B.** (1964) - Preliminary report on the geological and ore deposit reconnaissance of red corundum outcrops near Xanthi, Athens, Institute for Geology and Subsurface Research.
- ANDREOLI M.A.G.** (1984) - Petrochemistry, tectonic evolution and metasomatic mineralizations of Mozambique belt granulites from S Malawi and Tete (Mozambique). *Precambrian Research*, 25, pp. 161-186.
- ANDRIAMAROFAHATRA J. & DE LA BOISSE H.** (1986) - Premières datations sur zircon du métamorphisme granulitique du sud-est de Madagascar. *11^{ème} Réunion des Sciences de la Terre, Clermont-Ferrand*, p. 3.
- ANTHONY J. W., BIDEAUX R.A., BLADH K.W. & NICHOLS M.C.** (1997) - Handbook of Mineralogy, vol. III, Halides, Hydroxides, Oxides. *Mineral Data Publishing Tucson, Arizona*, p. 139.
- ASPEN P., UPTON B.G.J. & DICKIN A.P.** (1990) - Anorthoclase, sanidine and associated megacrysts in Scottish alkali basalts: high-pressure syenitic debris from upper mantle sources? *European Journal of Mineralogy*, 2, pp. 503-517.
- ATKINSON D. & KOTHAVALA R.Z.** (1983) - Kashmir sapphire. *Gems & Gemology*, 19, pp. 64-76.
- BARIAND P. & POIROT J.P.** (1985) - Larousse des pierres précieuses, fines, ornementales, organiques. *Librairie Larouss, Paris*, 261p.
- BAROT N., FLAMNIN A., GRAZIANI G. & GUBELIN E.J.** (1989) - Star sapphire in Kenya. *Journal of Gemmology*, 21, pp. 467-473.
- BAROT N. & HARDING RR.** (1994) - Pink corundum from Kitui, Kenya. *Journal of Gemmology*, 24, pp. 165-172.
- BARR S.M. & MACDONALD A.S.** (1979) - Palaeomagnetism, age and geochemistry of the Denchai basalt, Northern Thailand. *Earth and Planetary Science Letters*, 46, pp. 113-124.
- BARR S.M. & MACDONALD A.S.** (1981) - Geochemistry and geochronology of late Cenozoic basalts of southeast Asia. *Geological Society of America Bulletin*, 92, pp. 1069-1142.
- BOTRILL R.S.** (1998) - A corundum-quartz assemblage in altered volcanic rocks, Bond Range, Tasmania. *Mineralogical Magazine*, 62, pp. 325-332.
- BOWERSOX G.W. & CHAMBERLIN B.E.** (1995) - Gemstones of Afghanistan. *Geoscience Press, Tucson*, 240p.
- BOWERSOX G.W., FOORD E.E., LAURS B.M., SHIGLEY J.E. & SMITH C.P.** (2000) - Ruby and sapphire from Jegdalek, Afghanistan. *Gems & Gemology*, 36, pp. 110-126.
- BROWNLOW A.H. & KOMOROWSKI J.C.** (1988) - Geology and origin of the Yogo sapphire deposit, Montana. *Economic Geology*, 83, pp. 875-880.
- CARBONEL J. & ROBIN C.** (1972) - Les zircons gemmes dans les roches ignées basiques. le gisement d'Espaly (Haute Loire, France). Implications génétiques. *Revue de Géographie Physique et Géologie Dynamique*, 14, pp. 159-170.
- CARBONEL J., DUPLAIX S. & SELO M.** (1973) - Géochronologie par traces de fission des zircons et par K-Ar des andésites basaltiques d'Espaly (Haute Loire). Position du Villafranchien régional et évolution magmatique du Sud-Est du Massif Central français. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 40, pp. 215-224.
- CARTWRIGHT I. & BARNICOAT A.C.** (1986) - The generation of quartz-normative melts and corundum-bearing restites by crustal anatexis: petrogenetic modelling based on an example from the Lewisian of North-West Scotland. *Journal of Metamorphic Geology*, 3, pp. 79-99.
- CESBRON F., LEBRUN P., LE CLEAC'H J.M., NOTARI F., GROBON C. & DEVILLE J.** (2002) - Corindons et spinelles. *Minéraux et fossiles, hors-série 15*, 104p.
- CLABAUGH S.E.** (1952) - Corundum deposits of Montana. *U.S. Geological Survey Bulletin*, 983, 100p.
- COATES J.S.** (1935) - The geology of Ceylon. *Ceylon Journal of Science, Sect. B*, 19, pp. 101-187.
- COENRAADS R.R., SUTHERLAND F.L. & KINNY P.D.** (1990) - The origin of sapphires: U-Pb dating of zircon inclusions sheds new light. *Mineralogical Magazine*, 54, pp. 113-122.
- COENRAADS R.R., VICHIT P. & SUTHERLAND F.L.** (1995) - An unusual sapphire-zircon-magnetite xenolith from the Chantaburi gem province, Thailand. *Mineralogical Magazine*, 59, pp. 465-479.
- COLLINS A.S. & WINDLEY B.F.** (2002) - The tectonic evolution of central and northern Madagascar and its place in the final assembly of Gondwana. *Journal of Geology*, 110, pp. 325-339.
- COOMARASWAMY A.** (1903) - Occurrence of corundum in situ near Kandy. *Ceylon Geological Magazine*, X, pp. 348-350.
- COORAY P. & KUMARAPALI P.** (1960) - Corundum in biotite-sillimanite gneiss from near Polgahawela. *Ceylon Geological Magazine*, 97, pp. 480-487.
- CONQUERE F. & GIROD M.** (1968) - Contribution à l'étude des paragenèses précoces des basaltes alcalins: les spinelles du volcan de l'Oued Temorte (Massif de l'Atakor, Sahara Algérien). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 20, pp. 1-29.
- DAHANAYAKE K.** (1980) - Mode of occurrence and provenance of gemstones of Sri Lanka. *Mineralium Deposita*, 15, pp. 81-86.
- Dahanayake K. & Ranasinghe A.P.** (1981) - Source rocks of gem minerals. A case study from Sri Lanka. *Mineralium Deposita*, 16, pp. 103-111.
- DAHY J.P.** (1988) - The geology and igneous rocks of the Yogo sapphire deposit and the surrounding area, Little Belt Mountains, Judith Basin County Montana. *Montana College of Mineral Science and Technology, Butte, Montana, M.S. thesis*.
- DAO N.Q., HUY N.Q., QUANG V.X. & SILVESTRE J.P.** (1996) - Diamond, lonsdaleite, fullerenes and graphite inclusions in rubies. Georaman-96, Nantes, France, 10-12 Juin 1996, *Terra Abstracts*, vol.8, suppl.2, pp. 18-19, *Blackwell Scientific Publications, Oxford International*.
- DELRE N.** (1994) - Gem Trade Lab Notes: Sapphires from Yogo Gulch, Montana. *Gems & Gemology*, 30, p. 120.
- DIRLAM D.M., MISIOROWSKI E.B., TOZER R., STARK K.B. & BASSETT A.M.** (1992) - Gem wealth of Tanzania. *Gems & Gemology*, 28, pp. 80-102.
- DISSANAYAKE C.B. & CHANDRAJITH R.** (1999) - Sri Lanka-Madagascar Gondwana linkage: evidence for a Pan-African mineralized belt. *Journal of Geology*, 197, pp. 223-235.
- DISSANAYAKE C.B. & WEERASOORIYA S.V.R.** (1986) - Fluorine as an indicator of mineralization - hydrogeochemistry of a Precambrian mineralized belt in Sri Lanka. *Chemical Geology*, 56, pp. 257-270.
- DUNN P. & FRONDEL C.** (1990) - An uncommon margarite/corundum assemblage from Sterling Hill, New Jersey. *Mineralogical Record* 21, pp. 425-427.
- EPSTEIN D.S., BRENNAN W. & MENDES J.C.** (1994) - The India sapphire deposits of Minas Gerais, Brasil. *Gems & Gemology*, 30, pp. 24-32.
- FORESTIER F.** (1993) - Histoire de l'un des gisements de gemmes les plus anciennement connus d'Europe occidentale: saphirs, grenats et hyacinthes du Puy en Velay (43). *Cahiers de la Haute Loire*.
- FORESTIER F. & LASNIER B.** (1969) - Découverte de niveaux d'amphibolites à pargasite, anorthite, corindon et saphirine dans les schistes cristallins du Haut-Allier. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 23, pp. 194-235.
- FRAZIER S. & FRAZIER A.** (1990) - South of the Equator - The importance of gem mineral deposits in Southern Africa is saluted by this year's Intergem show. *Lapidary Journal*, pp. 36-58.
- FURUI W.** (1988) - The sapphires of Penglai, Hainan Island, China. *Gems & Gemology*, 24, pp. 155-160.
- FYFE W.S., PRICE N.J. & THOMPSON A.B.** (1978) - Fluids in the Earth crust. *Elsevier Amsterdam*, 383p.
- GARNIER V.** (2003) - Les gisements de rubis associés aux marbres de l'Asie Centrale et du Sud-est: genèse et caractérisation isotopique. *Thèse de Doctorat INPL*, 385p.
- GARNIER V., GIULIANI G., MALUSKI H., OHNENSTETTER D., PHAN TRONG T., HOANG QUANG V., PHAM VAN L., VU VAN T. & SCHWARZ D.** (2002) - Ar-Ar ages in phlogopites from marble-hosted ruby deposits in northern Vietnam: evidence for Cenozoic ruby formation. *Chemical Geology*, 188, pp. 33-49.
- GARNIER V., GIULIANI G. & OHNENSTETTER D.** (2001) - South-East Asian marble-hosted ruby deposits. EUG XI, Strasbourg 8-12 Avril 2001, *Terra Abstracts*, pp. 99.
- GARNIER V., OHNENSTETTER D., GIULIANI G. & SCHWARZ D.** (2002) - Rubis trapiches de Mong Hsu, Myanmar. *Revue de Gemmologie Association Française de Gemmologie*, 144, pp. 5-12.
- GAUTHIER G., GROAT L.A., TAYLOR R.P. & FALICK A.E.** (1995) - Mineralogical, lithochemical and stable isotope characteristics of the sapphire-bearing Yogo dyke, Montana. *Annual Meeting of the Geological Association of Canada and the Mineralogical Association of Canada, Victoria, British Columbia, Canada, 17-19 Mai 1995, Abstracts*.
- GOUJOU J.C.** (2002) - Les saphirs des plages vendéennes: un gisement à localisation variable. *Le règne minéral*, 46, pp. 19-27.
- GRAPES R. & PALMER K.** (1996) - (Ruby-sapphire)-chromian mica-tourmaline rocks from Westland, New Zealand. *Journal of Petrology*, 37, pp. 293-315.
- GREW E.S., DRUGOVA G.M. & LESKOVA N.V.** (1989) - Högbomite from the Aldan shield, Eastern Siberia, USSR. *Mineralogical Magazine*, 53, pp. 376-379.

- GUBELIN E.J. & KOIVULA J.I.** (1986) - Photoatlas of Inclusions in gemstones. *ABC Edition, Zurich*, pp. 345-347.
- GUBELIN E.J. & PERETTI A.** (1997) - Sapphires from the Andranondambo mine in SE Madagascar : evidence for metasomatic skarn formation. *Journal of Gemmology*, 25, pp. 453-516.
- GUO J., O'REILLY S.Y. & GRIFFIN W.L.** (1996a) - Corundum from basaltic terrains : a mineral inclusion approach to the enigma. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 122, 368-386.
- GUO J., O'REILLY S.Y. & GRIFFIN W.L.** (1996b) - Zircon inclusions in corundum megacrysts: I. Trace element geochemistry and clues to the origin of corundum megacrysts in alkali basalts. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 60, pp. 2347-2363.
- GUO J., WANG F. & YAKOUMELOS G.** (1992) - Sapphires from Changle in Shandong Province, China. *Gems & Gemology*, 28, pp. 255-260.
- GUBELIN E.J.** (1982) - Gemstones of Pakistan : emerald, ruby and spinel. *Gems & Gemology*, 28, pp. 123-139.
- HAAPALA I., SIIVOLA J., OJANPERA P. & YLETYUNEN V.** (1971) - Red corundum, sapphirine and kornerupine from Kittilä, Finnish Lapland. *Bulletin of the Geological Society of Finland*, 43, pp. 221-231.
- HADLEY J.** (1949) - Preliminary report on corundum deposits in the Buck Creek Peridotite Clay Count, North Carolina. U.S. Geological Survey Bulletin, B0948-E, pp. 103-128.
- HANNI H.A. & SCHMETZER K.** (1991) - New rubies from the Morogoro Area, Tanzania. *Gems & Gemology*, 27, pp. 156-167.
- HARDING R.R. & SCARRATT K.** (1986) - A description of ruby from Nepal. *Journal of Gemmology*, 20, pp. 3-10.
- HEILMANN G. & HENN U.** (1986) - On the origin of blue sapphire from Elahera, Sri Lanka. *Australian Mineralogist*, 16, pp. 2-4.
- HERD R., WINDLEY B.F. & GHISLER M.** (1969) - The mode of occurrence and petrogenesis of the sapphirine-bearing and associated rocks in West Greenland. *Gronlands Geologiske Undersogelse*, 24.
- HOANG N. & FLOWER M.** (1998) - Petrogenesis of Cenozoic basalts from Vietnam: implication for origins of a 'diffuse igneous province'. *Journal of Petrology*, 39, pp. 369-395.
- HOCHLEITNER R.** (1998) - Europa: Korunde zum Sammeln. In : Weise Ch. Ed., Rubin, Saphir, Korund : schön, hart, selten, kostbar. *ExtraLapis*, 15, pp. 76-85.
- HUGHES R.W.** (1990) - Corundum. *Butterworths Gem Books, London*, 314 p.
- HUGHES R.W.** (1997) - Ruby and sapphire. *RWH publishing, Boulder*, 511p.
- HUNSTIGER C.** (1990) - Darstellung und Vergleich primärer Rubinvorkommen in metamorphen Muttergesteinen - Petrographie und Phasenpetrologie - Teil III. *Zeitschrift der Deutsche Gemmologische Gesellschaft*, 39, pp. 121-145.
- IRVING A.** (1986) - Polybaric magma mixing in alkali basalts and kimberlites: evidence from corundum, zircon and ilmenite megacrysts. *Abstracts of the Geological Society of Australia*, 16, pp. 262-264.
- IRVING A.J. & PRICE R.C.** (1981) - Geochemistry and evolution of lherzolite-bearing phonolitic lavas from Nigeria, Australia, East Germany and New Zealand. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 45, pp. 1309-1320.
- IYER L.A.N.** (1953) - The geology of gem-stones of the Mogok Stone Tract, Burma. Geological map of the Mogok Stone Tract. Mem. Geol. Survey India, 82. *Government of India Press, Calcutta*, 99p.
- JACKSON B.** (1984) - Sapphire from Loch Roag, Isle of Lewis, Scotland. *Journal of Gemmology*, 19, pp. 336-342.
- JANARDHANAN A. & LEAKE B.E.** (1974) - Sapphirine in the Sittampundi complex, India. *Mineralogical Magazine*, 39, pp. 901-902.
- JOBBS E.A. & BERRANGE J.P.** (1981) - The Pailin ruby and sapphire gemfield, Cambodia. *Journal of Gemmology*, 27, pp. 555-567.
- KAMMERLING R.C., SCARRATT K., BOSSHART G., JOBBINS E.A., KANE R.E., GUBELIN E.J. & LEVINSON A.A.** (1994) - Myanmar and its gems - an update. *Journal of Gemmology*, 24, pp. 3-40.
- KANE R.E., MCCLURE S.F., KAMMERLING R.C., KHOA N.D., MORA C., REPETTO S., KHAI N.D. & KOIVULA J.I.** (1991) - Rubies and fancy sapphires from Vietnam. *Gems & Gemology*, 27, pp. 136-155.
- KANE R.E. & KAMMERLING R.C.** (1992) - Status of ruby and sapphire mining in the Mogok Stone Tract. *Gems & Gemology*, 28, pp. 152-174.
- KATZ M.B.** (1972) - On the origin of the Ratnapura-type gem deposits of Ceylon. *Economic Geology*, 67, pp. 113-115.
- KELLER P.** (1992) - Gemstones of East Africa. *Phoenix, Geoscience Press*, 144p.
- KELLER A.S. & KELLER P.C.** (1986) - The sapphires of Mingxi, Fujian Province, China. *Gems & Gemology*, 22, pp. 41-45.
- KELLER P., KOIVULA J. & JARA G.** (1985) - Sapphire from the Mercaderes-Rio Mayo area, Cauca, Colombia. *Gems & Gemology*, 21, pp. 20-25.
- KERRICH R., FYFE W.S., BARNETT R.L., BLAIR B.B. & WILLMORE L.M.** (1987) - Corundum, Cr-muscovite rocks at O'Briens, Zimbabwe: the conjunction of hydrothermal desilicification and LIL-element enrichment - geochemical and isotopic evidence. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 95, pp. 481-498.
- KIEFERT L. & SCHMETZER K.** (1987) - Blue and yellow sapphire from Kaduna Province, Nigeria. *Journal of Gemmology*, 20(6), pp. 369-370.
- KISSIN A.J.** (1994) - Ruby and sapphire from the Southern Ural Mountains, Russia. *Gems & Gemology*, 30, pp. 243-252.
- KRZEMNICKI M., HANNI H.A., GUGGENHEIM R. & MATHYS D.** (1996) - Investigations on sapphires from an alkali basalt, South West Rwanda. *Journal of Gemmology*, 25, pp. 90-106.
- LACOMBE P.** (1970) - Le massif basaltique quaternaire à zircons-gemmes de Ratanakiri (Cambodge Nord-oriental), 3ème partie. *Bulletin du BRGM*, 4, pp. 33-79.
- LACROIX A.** (1890) - Contribution à l'étude des roches métamorphiques et éruptives de l'Ariège. *Bulletin du Service de la Carte Géologique de la France*, 11(11), pp. 1-49.
- LACROIX A.** (1922) - Minéralogie de Madagascar, tome I. A. *Challamel (Ed.), Paris*, 624p.
- LASNIER B.** (1977) - Persistance d'une série granulitique au cœur du Massif Central français (Haut Allier) - *Les termes basiques, ultrabasiques et carbonatés. Thèse, Université de Nantes*, 351p.
- LA TOUCHE T.** (1890) - Sapphire mines of Kashmir. *Rec. Geol. Survey India*, XXIII, pp. 59-69.
- LAWSON A.C.** (1903) - Plumasite, an oligoclase corundum rock, near Spanish Peak, California. *University of California Publications in Geological Sciences*, 3, pp. 219-229.
- LETTERMANN M. & SCHUBNEL H.J.** (1970) - Un nouveau gisement de saphir. *Bulletin de l'A.F.G.*, 24, pp. 8-9.
- LEVINSON A.A. & COOK F.A.** (1994) - Gem corundum in alkali basalt : origin and occurrence. *Gems & Gemology*, 30, pp. 253-262.
- LIMKATRUN P., KHIN ZAW, RYAN C.G., MERNAGH T.P.** (2001) - Formation of the Denchai gem sapphires, northern Thailand: evidence from mineral chemistry and fluid/melt inclusion characteristics. *Mineralogical Magazine*, 65, pp. 725-735.
- LYDEKKER L.** (1883) - Geology of Kashmir and Chamba. *Memoirs of the Geological Survey of India*, 22, pp. 335-336.
- MALIK R.H.** (1994) - Geology and resource potential of Kashmir ruby deposits. Distt. Muzaffarabad(ak) Pakistan. *Azad-Kashmir Mineral and Industrial Development Corporation*, 21 p.
- MALIKOVA P.** (1999) - Origin of the alluvial sapphires from the Jizerska Louka alluvial deposit in North Bohemia, Czech Republic, Europe. *Australian Gemmologist*, 20, pp. 202-206.
- MALLETT F.R.** (1882) - On sapphires recently discovered in the northwest Himalaya. *Records of the Geological Survey*, 15, pp. 138-141.
- MARCHAND J., BOUILLER R., CORNEN G. & BURG J.P.** (1989) - Carte géologique de la France (1/50000), feuille Langeac (790). *BRGM*.
- MCCOLL D. & WARREN R.G.** (1980) - First discovery of ruby in Australia. *Mineralogical Record*, 11-12, pp. 371-375.
- MERCIER A., DEBAT P. & SAUL J.M.** (1999) - Exotic origin of the ruby deposits of the Mangari area in SE Kenya. *Ore Geological Review*, 14, pp. 83-104.
- MERCIER A., RAKOTONDRAZAFY M. & RAVOLOMIANDRINARIVO B.** (1999) - Ruby mineralization in Southwest Madagascar. *Gondwana Research*, 2, pp. 233 - 438.
- MERLE O., MICHON L., CAMUS G. & DE GOER A.** (1998) - L'extension oligocène sur la transversale septentrionale du rift du Massif Central. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 169, pp. 615-626.
- MEYER H.O.A. & MITCHELL R.H.** (1988) - Sapphire-bearing ultramafic lamprophyre from Yogo, Montana: a ouachitite. *Canadian Mineralogist*, 26, pp. 81-88.
- MOINE B., RAMAMBAZAFY A., RAKOTONDRAZAFY M., RAVOLOMIANDRINARIVO B., CUNEY M. & DE PARSEVAL P.** (1998) - The role of fluor-rich fluids in the formation of the thorianite and sapphire deposits from SE Madagascar? *Mineralogical Magazine*, 62A, pp. 999-1000.
- MORISHITA T. & KODERA T.** (1998) - Finding of corundum-bearing gabbro boulder possibly derived from the Horoman peridotite complex, Hokkaido, northern Japan. *Journal of Mineralogy Petrology and Economic Geology*, 93, 52-63.
- MUHLMEISTER S., FRITSCH E., SHIGLEY J.E., DEVOUARD B. & LAURS B.M.** (1998) - Separating natural and synthetic rubies on the basis of trace-element chemistry. *Gems & Gemology*, 34, pp. 80-101.
- MUNASINGHE T. & DISSANAYAKE C.B.** (1981) - The origin of gemstones of Sri Lanka. *Economic Geology*, 76, pp. 1216-1225.
- MYCHALUK K.A.** (1995) - The Yogo sapphire deposit. *Gems & Gemology*, 31, pp. 28-41.
- NICOLLET C.** (1986) - Sapphirine et staurotite riche en magnésium et chrome dans les amphibolites et anorthosites à corindon du Vohibory Sud, Madagascar. *Bull. Minéral.*, 109, pp. 599-612.

- OAKES G., BARRON L.M. & LISHMUND S.R.** (1996) - Alkali basalts and associated volcanoclastic rocks as a source of sapphire in Eastern Australia. *Australian Journal of Earth Sciences*, 43, pp. 289-298.
- OKRUSCH M., BUNCH T.E. & BANK H.** (1976) - Paragenesis and petrogenesis of a corundum-bearing marble at Hunza (Kashmir). *Mineralium Deposita*, 11, pp. 278-297.
- O'REILLY S.Y. & ZHANG M.** (1995) - Geochemical characteristics of lava-field basalts from eastern Australia and inferred sources: connections with the subcontinental lithospheric mantle? *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 121, pp. 148-170.
- OZEROV K.** (1945) - Form of corundum crystals as dependent upon chemical composition of medium. *Dokladi Akademii Nauk SSSR, XLVII*, pp. 49-52.
- PAMIC J., SCAVNICAR S. & MEDJIMOREC S.** (1973) - Mineral assemblages of amphibolites associated with alpine-type ultramafics in the Dinaride ophiolite zone (Yugoslavia). *Journal of Petrology*, 14, pp. 133-157.
- PAQUETTE J.L., NEDELEC A., MOINE B. & RAKOTONDRAZAFY M.** (1994) - U-Pb single zircon Pb-evaporation and Sm-Nd isotopic study of a granulite domain in SE Madagascar. *Journal of Geology*, 102, pp. 523-538.
- PERETTI A., MULLIS J. & KUNDIG R.** (1990) - Die Kaschmir-Saphire und ihr geologisches Erinnerungsvermögen. *Forschung und Technik, Neue Zürcher Zeitung*, 187, p. 59.
- PERETTI A., SCHMETZER K., BERNHARDT H.J. & MOUAWAD F.** (1995) - Rubies from Mong Hsu. *Gems & Gemology*, 31, pp. 2-26.
- PHAN TRONG T. & HOANG QUANG V.** (1997) - So Dô Kiên Tao Vinh Luc Yên. Carte géologique de Luc Yen, échelle : 1:200000. *Institute of Geological Sciences, Hanoi*.
- POIROT J.P.** (1997) - Rubis et saphirs du Viêt-Nam. *Revue de Gemmologie AFG*, 131, pp. 3-5.
- POMIAN-SRZEDNICKI I.P.** (1997) - Caractérisation des corindons par des mesures du rapport isotopique de l'oxygène 16O/18O. *Mémoire de diplôme de l'Institut de Minéralogie et Pétrologie de l'Université de Lausanne*, 88p.
- RAKOTONDRAZAFY M.A.F., MOINE B. & CUNEY M.** (1996) - Mode of formation of hibonite (CaAl₂O₇) within the U-Th skarns from the granulites of S-E Madagascar. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 123, pp. 190-201.
- RANSON W.A.** (2000) - Margarite-corundum phyllites from the Appalachian orogen of South Carolina: Mineralogy and metamorphic history. *American Mineralogist*, 85, pp. 1617-1624.
- RAVOLOMIANDRINARIVO B., RAKOTONDRAZAFY M. & MOINE B.** (1997) - Pétrographie des roches à saphir de la région d'Andranondambo, S-E de Madagascar. *Proceedings of the UNESCO-IUGS-IGCP 348/368 International Symposium and Field Workshop on Proterozoic Geology of Madagascar*, 2p.
- ROBB L.J. & ROBB V.M.** (1986) - Archean pegmatite deposits in the North-Eastern Transvaal. *Mineral Deposits of South Africa*, pp. 437-449.
- ROSE R.L.** (1957) - Andalusite- and corundum-bearing pegmatites in Yosemite National Park, California. *American Mineralogist*, 42, pp. 635-647.
- ROSSOVSKIY L.N., KOVALENKO S.I. & ANANJEV S.A.** (1982) - Conditions of ruby formation in marbles. *Geologiya Rudnykh Mesorozhdenii*, 24, pp. 57-66 (en Russe).
- RUPASINGHE M.S. & DISSANAYAKE C.B.** (1985) - Charnockites and the genesis of gem minerals. *Chemical Geology*, 53, pp. 1-16.
- SAMINPANYA S.** (2000) - Mineralogy and origin of gem corundum associated with basalt in Thailand. *Mémoire de thèse, Université de Manchester, UK*, 395p.
- SCHREYER W., WERDING G. & ABRAHAM K.** (1981) - Corundum-fuchsite rocks in greenstone belts of Southern Africa: Petrology, Geochemistry and possible origin. *Journal of Petrology*, 22, pp. 191-231.
- SCHREYER W.** (1988) - A discussion of: "Corundum, Cr-muscovite rocks at O'Briens, Zimbabwe: the conjunction of hydrothermal desilicification and LIL-element enrichment - geochemical and isotopic evidence". *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 100, pp. 552-554.
- SCHWARZ D.** (1998) - Aus Basalten, Marmoren und Pegmatiten. Spezielle Ursachen formten in der Erdkruste edle Rubine und Saphire. In : *Weisse Ch. Ed., Rubin, Saphir, Korund : schön, hart, selten, kostbar. Extra-Lapis*, 15, pp. 5-9.
- SCHWARZ D., KANIS J. & SCHMETZER K.** (2000) - Sapphires from Antsirana Province, Northern Madagascar. *Gems & Gemology*, 36, pp. 216-233.
- SCHWARZ D., PETSCH E.J. & KANIS J.** (1996) - Sapphires from the Andranondambo Region, Madagascar. *Gems & Gemology*, 32, pp. 80-99.
- SEIFERT A.V. & HYRSL J.** (1999) - Sapphire and garnet from Kalalani, Tanga Province, Tanzania. *Gems & Gemology*, 35, pp. 108-120.
- SERVICE GEOLOGIQUE DE MADAGASCAR, TANANARIVE** (1977) - *Carte minière de Madagascar*, 1/2500000, troisième édition.
- SILVA K.K.M.W. & SIRIWARDENA C.H.E.R.** (1988) - Geology and the origin of the corundum-bearing skarn at Bakamuna, Sri Lanka. *Mineralium Deposita*, 23, pp. 186-190.
- SIMONET C.** (1997) - La géologie des gisements de saphirs. *Revue de Gemmologie AFG*, 132, pp. 21-23.
- SIMONET C.** (2000) - Géologie des gisements de saphir et de rubis. L'exemple de la John Saul mine, Mangare, Kenya. *Mémoire de thèse de l'Université de Nantes. Faculté des Sciences et des Techniques*, 349p.
- SMITH C.P.** (1998) - Rubies and pink sapphires from the Pamir Mountain Range in Tajikistan, former USSR. *Journal of Gemmology*, 26, pp. 103-109.
- SMITH C.P., GUBELIN E.J., BASSETT A.M. & MANANDHAR M.N.** (1997) - Rubies and fancy-color sapphires from Nepal. *Gems & Gemmology*, 33, pp. 24-41.
- SMITH C.P., KAMMERLING R.C., KELLER A.S., PERETTI A., SCARRATT K.V., KHOA N.D. & REPETTO S.** (1995) - Sapphires from Southern Vietnam. *Gems & Gemology*, 31, pp. 168-186.
- SOLSEBURY F.** (1967) - Gem corundum pegmatites in NE Tanganyika. *Economic Geology*, 62, pp. 983-991.
- SPIRIDONOV E.M.** (1998) - Gemstone deposits of the former Soviet Union. *Journal of Gemmology*, 26(2), pp. 11-124.
- SUTHERLAND F.L.** (1996) - Alkaline rocks and gemstones. Australia. *Australian Journal of Earth Sciences*, 43, 323-343.
- SUTHERLAND F.L. & COENRAADS R.R.** (1996) - An unusual ruby-sapphire-saphirine-spinel assemblage from the Tertiary Barrington volcanic province, New South Wales, Australia. *Mineralogical Magazine*, 60, pp. 623-638.
- SUTHERLAND F.L., COENRAADS R.R., SCHWARZ D., RAYNOR L.R., BARRON B.J. & WEBB G.B.** (2003) - Al-rich diopside in alluvial ruby and corundum-bearing xenoliths, Australian and SE Asian basalt field. *Mineralogical Magazine*, 67, pp. 717-732.
- SUTHERLAND F.L., HOSKIN P.W.O., FANNING C.M. & COENRAADS R.R.** (1998a) - Models of corundum origin from alkali basaltic terrains: a reappraisal. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 133, pp. 356-372.
- SUTHERLAND F.L., SCHWARZ D., JOBBINS E.A., COENRAADS R.R. & WEBB G.** (1998b) - Distinctive gem corundum suites from discrete basalt fields: a comparative study of Barrington, Australia, and West Pailin, Cambodia, gemfields. *Journal of Gemmology*, 26, pp. 65-85.
- SUTHERLAND F.L. & SCHWARZ D.** (2001) - Origin of gem corundums from basaltic fields. *Australian Gemmologist*, 21, pp. 30-33.
- SUTTHIRAT C., SAMINPANYA S., DROOP G.T.R., HENDERSON C.M.B., MANNING D.A.C.** (2001) - Clinopyroxene-corundum assemblages from alkali-basalt and alluvium, eastern Thailand: constraints on the origin of Thai rubies. *Mineralogical Magazine*, 65, pp. 277-295.
- TAPPONNIER P., PELTZER G., LE DAIN A.Y., ARMIJO R. & COBBOLD P.** (1982) - Propagating extrusion tectonics in Asia: new insights from simple experiments with plasticine. *Geology* 7, pp. 611-616.
- TAPPONNIER P., PELTZER G. & ARMIJO R.** (1986) - On the mechanics of the collision between India and Asia. In: Coward M.P. & Ries A.C. (Eds.) *Collision Tectonics*. Geological Society, London, *Special Publication*, 19, pp. 115-157.
- TENTHOREY E.A., RYAN J.G. & SNOW E.A.** (1996) - Petrogenesis of sapphirine-bearing metatrolites from the Buck Creek ultramafic body, southern Appalachians. *Journal of Metamorphic Geology*, 14, pp. 103-114.
- TEREKHOV E.N., KRUGLOV V.A. & LEVITSKII V.I.** (1999) - Rare earth elements in corundum-bearing metasomatic and related rocks of the Eastern Pamirs. *Geochemistry International*, 37, pp. 202-212.
- THEMELIS T.** (1992) - The heat treatment of ruby and sapphire. *Gemlab Inc.*, 256p.
- UPTON B.G.J., ASPEN P. & CHAPMAN N.** (1983) - The upper mantle and deep crust beneath the British Isles: evidence from inclusions in volcanic rocks. *Journal of the Geological Society of London*, 140, pp. 105-121.
- UPTON B.G.J., HINTON R.W., ASPEN P., FINCH A.A., VALLEY J.W.** (1999) Megacrysts and associated xenoliths: evidence for migration of geochemically enriched melts in the upper mantle beneath Scotland. *Journal of Petrol.*, 40, pp. 935-956.
- VICHT P., VUDHICHATVANICH S. & HANSAWEK R.** (1978) - The distribution and some characteristics of corundum-bearing basalts in Thailand. *Journal of Geological Society of Thailand*, pp. M4-1 - M4-27.
- WEISE CH.** (1998) - Rubin, Saphir, Korund: schön, hart, selten, kostbar. *Extra-Lapis*, 15, 96p.
- WELLS A.** (1956) - Corundum from Ceylon. *Geological Magazine*, 93, pp. 25-31.
- WHITFORD-STARK J.L.** (1987) - A survey of Cenozoic volcanism on mainland Asia. *Geological Society of America, Special Papers*, 213, 74p.
- WRIGHT J., HASTINGS D., JONES W. & WILLIAMS H.** (1985) - Geology and mineral resources of West Africa. *Allen & Unwin (Eds.)*, London, 187p.
- YUI T.F., KHIN ZAW & LIMKATRUN P.** (2003) - Oxygen isotope composition of the Denchai sapphire, Thailand; a clue to its enigmatic origin. *Lithos*, 67, pp. 153-161.

Garnier V., Giuliani Gaston, Ohnenstetter D., Schwarz D.
(2004)

Les placers à corindon gemme

Le Règne Minéral, (55), 36-47

ISSN 1259-4415