

Le saphir d'Auvergne/ Issoire
Etude Gemmologique

Sommaire

Introduction	P 3-4
1er partie : Etude sur 68 saphirs d’Auvergne/Issoire	P 5-14
A) Matériel portatif – Examens possibles d’être réalisés sur le terrain par un gemmologue à l’aide d’instruments simples	
1) Couleur	
2) Eclat / Transparence/ Forme	
3) Inclusions loupe fois 10	
4) Le polariscope et le conoscope	
5) Le pléochroïsme	
6) Le filtre de Chelsea	
7) Le spectroscope	
B) Etude à l’aide de matériel de laboratoire	
1) Le réfractomètre	
2) Spectrographie UV-vis	
2eme partie : observation de saphirs ayant d’autres origines géographiques et géologiques	P 15-23
A) Thaïlande	
1) Kantchanaburi : mines de Bo Phloi	
2) Chanthaburi : mines de Tha Mai	
B) Madagascar	
C) France : Auvergne	
1) La rivière du Sioulot	
2) Le Puy-en-Velay	
3eme partie : comparaison entre des gisements de saphirs d’origines géologiques et géographiques variées France(3) – Thaïlande(2) – Madagascar(3)	P 24-28
A) Couleur	
B) Inclusions visibles à la loupe fois 10	
C) Méthodes avancées	
1) Spectrométrie UV-vis	
2) Isotopes de l’oxygène	
3) Rapport Ga / Mg	
Conclusion	P 29
Annexes	P 30

Introduction

Cette étude a pour but de comparer des saphirs d'Auvergne à d'autres saphirs récupérés sur le terrain ou dans des commerces lors de deux années de recherches et de prospection à travers le monde.

Mon périple m'amena du massif central au pont de la rivière Kwai en passant par les hauts plateaux du sud de Madagascar et m'a permis d'acquérir ou de trouver de nombreux corindons bleus.

Les premiers saphirs que j'ai ramassés, étaient au fond d'une batée lors d'un séjour en Auvergne. Depuis j'ai toujours été fasciné par les gemmes et particulièrement par les corindons.

Les saphirs proviennent de 3 sites en Auvergne, 3 sites à Madagascar et de 2 en Thaïlande. Je veux présenter le travail qu'un gemmologue peut réaliser avec un équipement et du matériel de terrain et les informations que l'on peut avoir avec du matériel de laboratoire. Le but étant de mettre en avant les spécificités des saphirs français et plus particulièrement ceux de la région d'Issoire par rapport aux autres corindons.

Les données analysées sont la couleur des pierres, les inclusions visibles à la loupe fois dix et des analyses spectrométriques Uv-vis réalisées au laboratoire de gemmologie de Marseille.

Généralités sur les corindons bleus :

- Système cristallin : Rhomboédrique
- Formule chimique : Al_2O_3 oxyde d'aluminium
- Echelle de Mohs : 9
- Origine : métamorphique ou magmatique
- Inclusions : cristallines - solides - givres et zones de couleurs sont courants et peuvent prendre divers aspects
- Spectre : ce qui caractérise le saphir bleu est la présence d'une bande ou de raies d'absorption dans le spectre visible autour de 450 nanomètres, ce qui démontre la présence de fer dans la structure cristalline qui est l'élément chromophore de la gemme.

Généralités sur les saphirs d'Issoire :

Les saphirs d'Issoire ont déjà fait l'objet de plusieurs publications scientifiques :

- 1) Les saphirs d'Auvergne peuvent avoir une origine magmatique ou une origine métamorphique. E .Gaillou DEA 2003

- 2) La région d'Issoire a été le théâtre de nombreux épisodes volcaniques. Il y a 20 millions d'années des conditions particulières de pression et température au niveau du manteau terrestre permirent à des corindons ainsi qu'à des zircons de se former. Une éruption a suivi et a ramené à la surface du magma contenant les gemmes. Travaux réalisés à l'université de Clermont-Ferrand J.Ricci 2010

- 3) Le cénozoïque : Les saphirs d'Issoire (Limagne) ont une origine magmatique remontant à 20 millions d'années. E.Médard 2015

1^{er} Partie : étude sur 68 saphirs d'Auvergne / Issoire

Toutes les pierres présentées ont été trouvées par 4 personnes différentes lors de recherche au tamis dans le lit de rivière autour de la ville d'Issoire entre 2006 et 2015.

A) Matériel portatif - Examens possibles d'être réalisés sur le terrain par un gemmologue à l'aide d'instruments simples.

Descriptif des pierres : L'étude porte sur 68 gemmes de corindon variété saphir dont 60 pierres taillées (8 taillées en France) et 8 pierres bruts.

Descriptif du matériel : une loupe fois 10 ; un polariscope à filtres croisés ; un conoscope ; un dichroscope de Londres ; un filtre de Chelsea et un spectroscope à réseau de diffraction.

1) La Couleur

Bleu 11 + bleu clair acier 17 + bleu/vert 12 soit BLEU
Laiteux 10 soit %
Vert 16 soit
Marron 2 soit



2) L'Eclat / Transparence / Forme

Eclat : Vitreux très brillant : 17

Vitreux brillant : 43

8 bruts qui présentent au niveau des cassures un éclat vitreux brillant

Transparence : 2 opaques – 10 laiteux transparents à translucides – 56 transparentes.

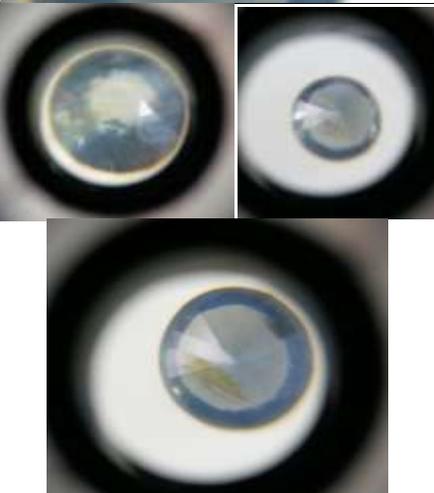
Forme : 1 Baguette taille à degré
 3 Ovaes taille Brillant
 2 Poires taille Brillant
 1 Carré taille Coussin
 53 Ronds taille Brillant

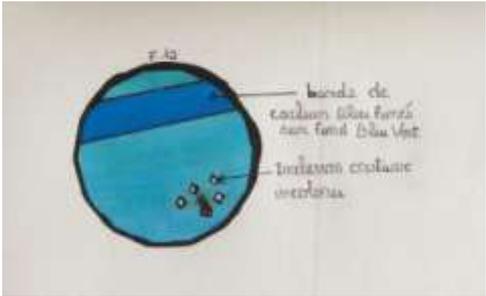
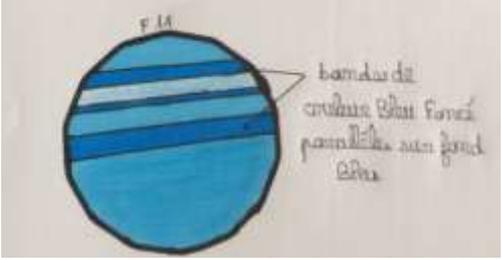
3) Les inclusions visibles à loupe 10 X.

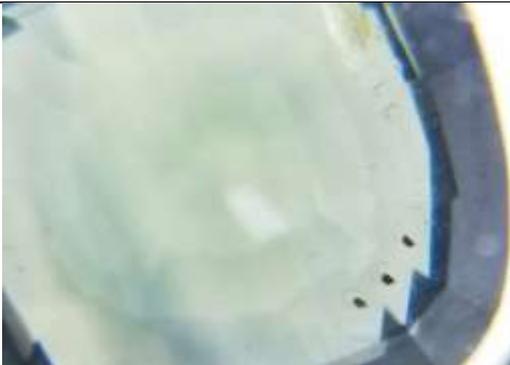
Lot de 51 pierres dont 46 taillées et 5 bruts

Tableau : 20 échantillons particulièrement représentatifs de part leurs inclusions

		<p>1 - Forme : poire / Taille : brillant Couleur : vert/ bleu - bande de couleur bleu -inclusion cristalline incolore de forme octaédrique étirée : zircon</p>
		<p>2 - Forme : rond / Taille : brillant Couleur : bleu - « soies » aiguilles de rutile Aspect Laiteux</p>
		<p>3 -Forme : rond /Taille : brillant Couleur : bleu (acier) - Inclusions noires cristalline (pyrrhotites) entourées de fissures - Inclusions cristallines incolores - Zone de couleur bleu foncé</p>
		<p>4 - Forme : rond / Taille : brillant Couleur : bleu - Inclusions incolores - Inclusion noire entourée d'une fissure - « soies » aiguilles de rutile Aspect Laiteux</p>

	<p>5 - Forme : rond / Taille : brillant Couleur : bleu / vert</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bandes de couleur parallèles bleu foncé - Inclusions cristallines incolores : zircon
	<p>6 - Forme : rond Taille : brillant Couleur : bleu</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fissure colorée par un liquide jaunâtre - Inclusions cristallines incolores : zircon
	<p>7- 8 - 9 - Forme : 3 ronds Taille : 3 brillants Couleur : 3 bleus</p> <ul style="list-style-type: none"> - Inclusions de cristaux incolores : zircon (visible 7-8-9) - Inclusion vitreuse incolore (visible 8) - Fissure montrant une coloration jaunâtre (visible 9)

	<p>10 - Forme : rond Taille : brillant Couleur : bleu</p> <ul style="list-style-type: none"> - Inclusions de cristaux incolores - Bande couleur bleu foncé
	<p>11 - Forme : rond Taille : brillant Couleur : bleu</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bandes de couleur parallèles bleu foncé

	<p>12 – Forme : rond Taille : brillant Couleur : bleu</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bandes de couleur parallèles bleu foncé - Inclusions de cristaux incolores - Fissure parsemée d’inclusions noires
	<p>13 - Forme : rond Taille : brillant Couleur : bleu (acier)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bandes de couleur parallèles bleu - Inclusions de cristaux transparents - Fissure touchant la surface de la pierre parsemée d’inclusions noires
	<p>14 - Forme : carré Taille : coussin Couleur : bleu</p> <ul style="list-style-type: none"> - 3 inclusions cristallines incolores entourées de halo : zircon - 2 inclusions incolores - Fissure à coloration jaunâtre - Zones de couleur parallèles bleu foncé
	<p>15 - Forme : ovale Taille : brillant Couleur : bleu</p> <ul style="list-style-type: none"> - Inclusions cristallines incolores : zircon
	<p>16 - 5 bruts sans forme Translucides : 5 Couleur : bleu ; bleu ; bleu vert ; vert ; brun</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bandes de couleur parallèles : 5 - Fissure montrant une coloration jaunâtre : 1 - Inclusion incolore : 1

	<p>17 - Agrandissement d'un brut Bleu vert (1^{er} à gauche sur la photo des bruts (16))</p> <ul style="list-style-type: none">- Bandes de couleur parallèles bleu foncé sur fond vert- Inclusion incolore visible à la loupe
---	---

L'étude se poursuit sur un lot de 31 pierres taillées :

Annexe n°1 résultats des observations.

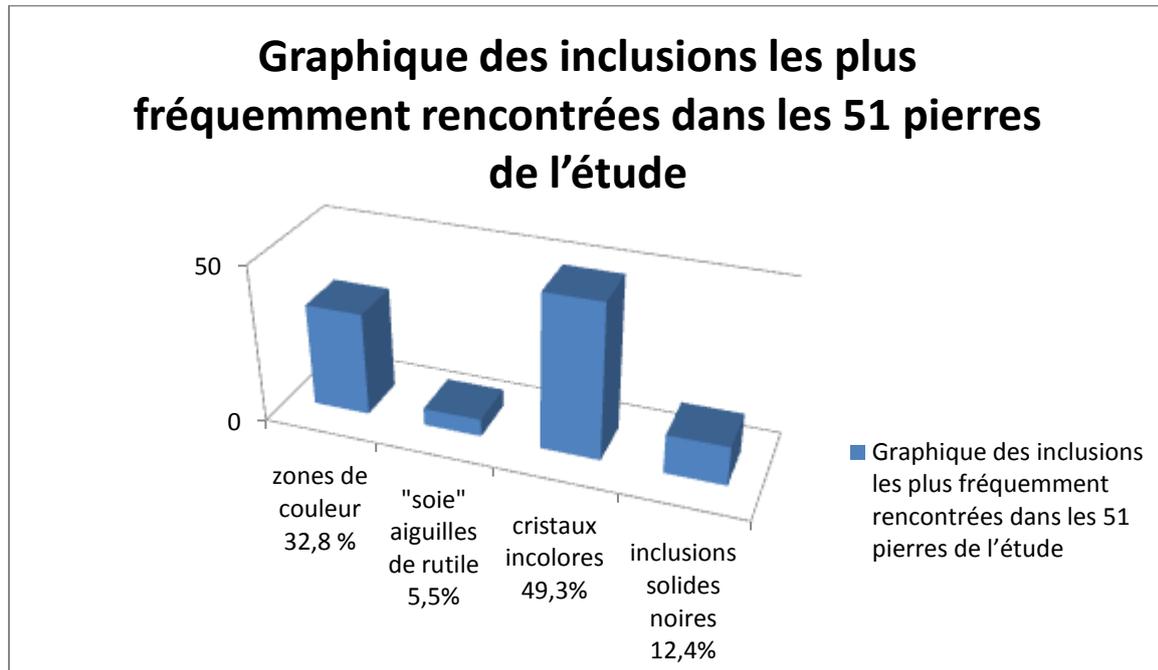
- Observation en immersion :

De plus, 3 pierres vont être placées en immersions dans un liquide pour être observées. Les échantillons 13-14-15 seront immergés dans de l'huile d'amande achetée dans une pharmacie.

Ce test a permis de mettre en évidence des inclusions de cristaux incolores mais n'a pas montré plus d'inclusions significatives que l'examen à la loupe fois 10.

L'huile d'amande fut testée pour déterminer son indice de réfraction avec une pierre taillée quartz variété améthyste dont l'indice de réfraction est connu (1,54) les facettes ont un peu disparu dans le liquide .L'huile d'amande mesurée sur un réfractomètre donne un IR = 1,47.

Résultats :



Les résultats montrent que les inclusions les plus fréquemment rencontrées sont des cristaux incolores. Les observations faites à la loupe sont identiques à la photo n°3 (Photoatlas vol1 E.J.Gübelin J.I.Koivula p338) montrant une inclusion de zircon entouré d'un halo. De plus, un travail d'étude et de recherche (Université Blaise Pascal 2010 J .Ricci) sur les saphirs de la Limagne a pu déterminer l'âge de ces saphirs à 20 millions d'année en comparant le rapport Pb/U présent dans des zircons inclus, ce qui correspondrait aux derniers épisodes volcaniques de cette région.

Les autres inclusions incolores présentes sont des feldspaths (variété à déterminer) .

Les inclusions de solides noires sont comparables à celle de la photo n°1 (Photoatlas vol1 E.J.Gübelin J.I.Koivula p353) montrant des inclusions de pyrrhotite entourées de fissures.

Quant aux inclusions d'aiguilles de rutile, elles sont reconnaissables et peuvent donner si elles sont très présentes un aspect laiteux à la pierre. Le travail de recherche à l'université Blaise-Pascal en 2010 , a montré que certaines de ces aiguilles étaient en fait constituées d'ilménorutile .

Toutes les inclusions observées font parties de celles décrites par E.Gaillou dans son rapport « Les saphirs du massif Central » D.E.A 2002. Les saphirs d'Issoire ont des inclusions typiques de corindon ayant une origine magmatique.

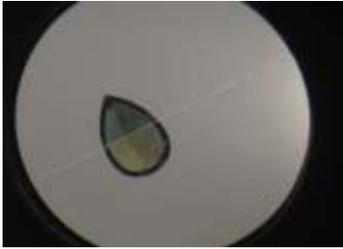
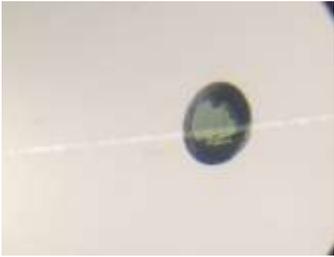
4) Le polariscope et le conoscope.

Les gemmes testées montrent 4 extinction lors d'une rotation à 360° sur un polariscope à filtres en position croisés ce qui est typique d'un matériau ANISOTROPE.

Lorsque la pierre observée dans un polariscope est placée dans l'axe optique, il n'y a plus d'extinction mais nous pouvons dans ce cas observer des figures d'interférence grâce à un conoscope (bille de verre). Les images obtenues d'une croix et de cercles concentriques sont typiques d'un matériau ANISOTROPE UNIAXE.

5) Le pléochroïsme.

Observation de 4 pierres taillées au dichroscope. L'examen au dichroscope de Londres montre un pléochroïsme prononcé bleu/vert.

	<p>1) Pierre de couleur Vert-bleu Axe optique est à 45° avec la table de la pierre taillée N°1.</p> <p>Pierre dichroïque : Bleu gris / vert jaunâtre</p>
	<p>2) Pierre de couleur Bleu-vert Axe optique à 90° avec la table de la pierre taillée N°14.</p> <p>Le pléochroïsme est visible à son maximum d'intensité. Pierre dichroïque : Bleu / Vert</p>
	<p>3) Pierre de couleur Bleu N°5</p> <p>Pierre dichroïque : Bleu/vert jaunâtre</p>
	<p>4) Pierre de couleur Bleu Axe optique à 90° avec la table de la pierre taillée N°10 Pléochroïsme très marqué.</p> <p>Pierre dichroïque : Bleu / vert</p>

6) Le filtre de Chelsea.

L'observation montre qu'une gemme bleue devient verte au travers du filtre de Chelsea. La coloration est marquée et peu être qualifiée de vive.

7) Le spectroscope.

Un spectroscope à réseau de diffraction donne un spectre où seule une bande dans le bleu aux alentours de 450 nanomètres est visible. Nous avons la même image dans le livre « A students' guide to spectroscopie » de Colin H. Winter page 53.

De plus, la bande visible dans le bleu paraît diffuse ce qui pourrait indiquer une marque de chauffage, ce qui serait compatible avec une origine magmatique.

Le spectre des pierres sera plus étudié dans la section UV-vis .

B) Etudes à l'aide de matériel de laboratoire.

1) Le réfractomètre.

Un lot de 10 pierres est testé à l'aide d'un réfractomètre et d'une source de lumière jaune monochromatique. Nous déterminerons pour chacune des pierres un IR (indice de réfraction) minimum et un IR maximum ainsi que la biréfringence.

- N°26 : IRmin = 1.766 IRmax = 1.773 et Bir = 0,007
- N°10 : IRmin = 1.766 IRmax = 1.773 et Bir = 0,007
- N°3 : IRmin = 1.758 IRmax = 1.765 et Bir = 0,007
- N°31 : IRmin = 1.765 IRmax = 1.772 et Bir = 0,007
- N°53 : IRmin = 1.765 IRmax = 1.771 et Bir = 0,006
- N°13 : IRmin = 1.763 IRmax = 1.771 et Bir = 0,008
- N°52 : IRmin = 1.762 IRmax = 1.771 et Bir = 0,009
- N°1 : IRmin = 1.765 IRmax = 1.772 et Bir = 0,007
- N°15 : IRmin = 1.762 IRmax = 1.770 et Bir = 0,008

Les résultats obtenus ont montré que les pierres étaient UNIAXE NEGATIF .

L'indice de réfraction des échantillons se situent tous entre 1.758 et 1.773 et une biréfringence moyenne de 0,007.

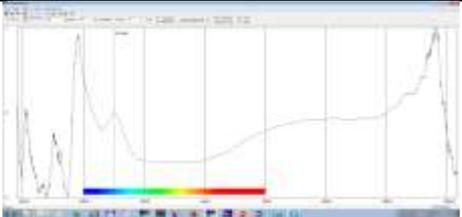
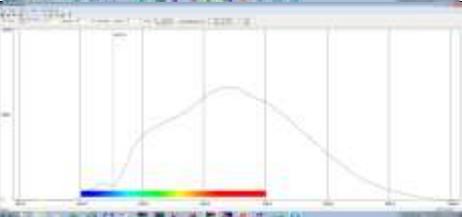
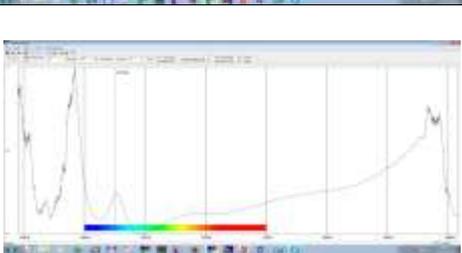
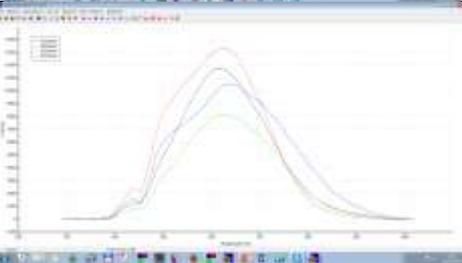
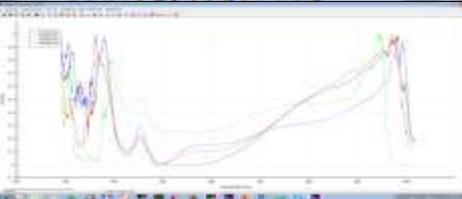
2) Spectrométrie UV-vis.

Les mesures suivantes ont été effectuées au Laboratoire de Gemmologie de Marseille sur le matériel suivant



Echantillons N°1-3-5-10 (de gauche à droite sur la photo) utilisés lors des mesures au spectromètre UV-vis. Nous regarderons plus particulièrement les valeurs des courbes dans la partie du spectre visible (400 – 700 nanomètres nm) ainsi que dans la partie des ultra-violet (UV 300-400nm).

	<p>Taille : Poire brillant / Couleur : Vert N°1 Analyse simple :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Une seule cassure de la courbe à 452,23 nm
	<p>N°1 Analyse normalisée :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Visible : Pic d'absorption à 451,06 nm - UV : série de pics à 320-375-390 nm
	<p>Taille : Rond brillant / Couleur : Bleu N°2 Simple :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Absorption à 452,23 nm - Une légère inflexion à environ 560 nm
	<p>N°2 Normalisé :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Visible : Un pic à 451,06 nm et un moins marqué à 560 nm - UV : Pics d'absorption à 305-350-365-380 nm
	<p>Taille : Rond brillant / Couleur : Vert Bleu N°3 Simple :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Spectre visible : Absorption à 452,23 nm

	<p>N°3 Normalisé :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Visible : Pic à 451,06 nm - UV : série de pic à 310-360-390 nm
	<p>Taille : Rond brillant / Couleur : Bleu N°4 Simple :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Spectre Visible : absorption à 452,23 nm et une moins marquée à 560 nm
	<p>N°4 Normalisé :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Visible : Pic à 451,06 nm - UV : série de pic 315-350-380 nm
	<p>N°1-2-3-4 Simple :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Spectre Visible : une absorption à 452,23 nm et une peu marquée à 560 nm pour les 2 pierres bleues.
	<p>N°1-2-3-4 Normalisé :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Visible : un pic à 451,06 nm - UV : série de 3 pics 310-350-385 nm

Résultats :

Les 4 saphirs d'Issoire montrent des courbes similaires. Nous avons des pics d'absorption dans le visible à 452,23 nm et (peu marqué) à 575 nm, et une série de 3 pics dans le spectre UV à 310-350-385 nm.

Les absorptions marquées à 380-390 et 450 nm sont dû à la présence de fer (paire d'ions $Fe^{3+} - Fe^{3+}$)

Pour les 2 pierres bleues nous avons une absorption légère dans le visible à 560 nm ce qui montre la présence de Fer et Titane (transfert de charge $Fe^{2+} - Ti^{4+}$ et $Fe^{3+} - Ti^{3+}$).

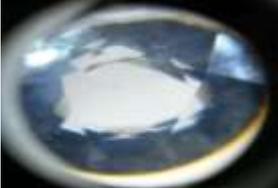
2^{ème} PARTIE : observations de saphirs ayant d'autres origines géographiques et géologiques

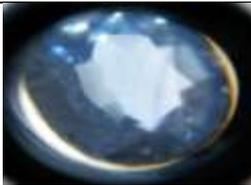
A) Thaïlande

Les pierres étudiées proviennent pour Kantchanaburi du musée « Anantapol » (annexe) et pour Chanthaburi des mines de Mr Boat et de la famille Kunthai.

1) Kantchanaburi : mines de Bo Phloï

- Tableau des inclusions visibles à la loupe fois 10.
- Lot de 7 pierres taillées de couleur bleu.

		N°1	<ul style="list-style-type: none"> - Inclusions de cristaux incolores - Inclusions de cristaux aciculaires, aiguilles de rutile
		N°2	<ul style="list-style-type: none"> - Bandes de couleur parallèles bleu foncé - Voiles, givres de guérison - Inclusion incolore entourée d'une fissure
		N°3	<ul style="list-style-type: none"> - Zones de couleur (bandes parallèles) bleu soutenu - Inclusions de cristaux transparents entourées de halos - Voiles, givres de guérison - Inclusions solides noires
		N°4	<ul style="list-style-type: none"> - Bandes de couleur parallèles bleu soutenu - Givres de guérison enforme d'empreinte digitale
		N°5	<ul style="list-style-type: none"> - Bandes de couleur parallèles bleu soutenu formant des angles à 120°

	 <p>N°6</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Bandes de couleurs parallèles bleu soutenu - Inclusions de cristaux incolores
	 <p>N°7</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Bandes de couleur parallèles bleu soutenu - Inclusions solides noires - Givres de guérison en forme d'empreinte digitale

Résultats : Les inclusions les plus rencontrées sont des givres de guérisons (image d'une empreinte digitale), des cristaux incolores et des solides noires. Tous les échantillons observés présentent des bandes de couleur parallèles.

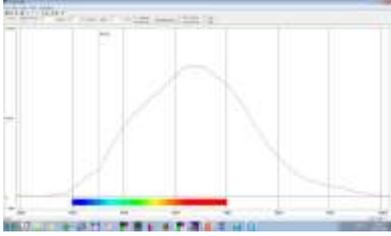
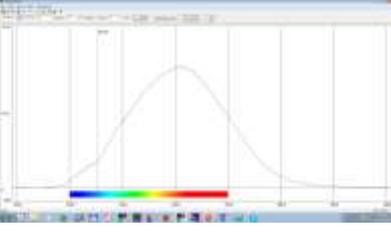
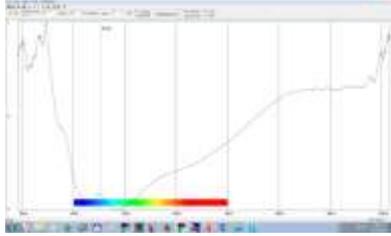
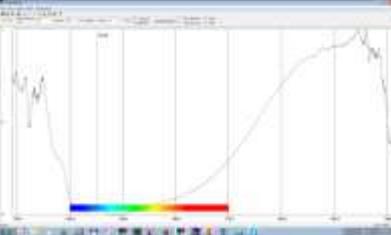
- **Le pléochroïsme :**

Un lot de 3 pierres taillées est observé au travers d'un dichroscope de Londres à l'aide d'une lumière tamisée.

		<p>N°1 Dichroïque : Vert / Bleu</p>
		<p>N°5 Dichroïque : Vert / Bleu Marqué car nous sommes perpendiculaire à l'axe optique</p>
		<p>N°6 Dichroïque : Vert / Bleu</p>

Le pléochroïsme est marqué et on observe à travers le dichroscope un dichroïsme Bleu / Vert.

- **Spectrométrie UV-vis :**

	<p>Taille : ovale brillant / Couleur : bleu N°5 Analyse Simple :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Spectre visible : légère absorption à 452,23 nm
	<p>Taille : ovale brillant / Couleur : bleu N°6 Analyse Simple :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Spectre visible : légère absorption à 452,23 nm
	<p>N°5 Normalisée :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Visible : petit pic à 451,06 nm - UV : série de 2 pics à 305 et 350 nm
	<p>N°6 Normalisée :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Visible : petit pic à 451,06 nm - UV : série de 3 pics à 300-320-350 nm

Résultats :

Dans le spectre visible (400-700nm) nous observons qu'une absorption à 452,23 nm qui pourrait être dû à la présence de fer (paire d'ion Fe^{3+} - Fe^{3+}).

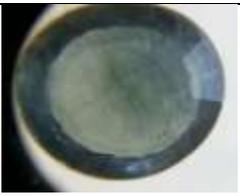
Au niveau des ultra-violets (300-400nm) il n'y a qu'une série de 2 pics présents à 305 et 350.

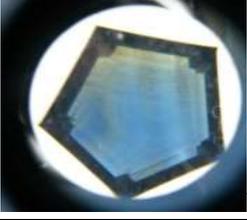
2) Chanthaburi : mines de Tha Mai

Les saphirs de la région de Chanthaburi aurait une origine magmatique (article AFG 09/2005). Ceux de Tha Mai proviennent de l'exploitation d'un ancien lit de fleuve asséché et pourraient avoir des origines variées.

- Les pierres de l'étude ont été soit achetées sur le marché de Chanthaburi en fév 2016 échantillons : N°1-2-3 soit directement trouvées dans des mines/exploitations à Tha Mai (10km à l'ouest de Chanthaburi) en fév 2015 échantillons : N°4-5-6-7-8
- Lot de 8 pierres : 4 pierres roulées et 4 pierres taillées à facette

- Tableau des inclusions visibles à la loupe fois 10

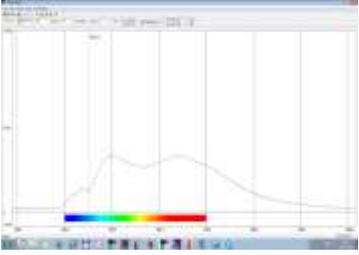
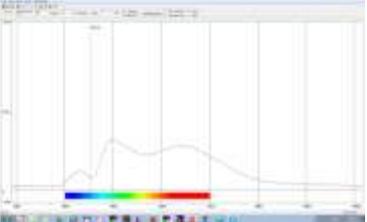
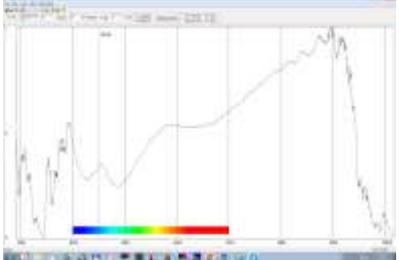
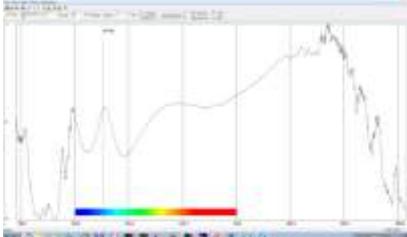
	1	Source : Chanthaburi Taille : Rond Brillant /Couleur : Bleu - Givres de guérison parsemés de minuscules inclusions noires
	2	Source : Chanthaburi Taille : Rond Brillant /Couleur : Vert - 3 Fissures parallèles - Inclusions de cristaux incolores
	3	Source : Chanthaburi Taille : Rond Brillant /Couleur : Vert/bleu - Bandes de couleur parallèles bleu et marron sur fond vert
	4	Source : Tha Mai mine de Mr Boat Pierre Roulée / Couleur : Vert - Inclusions aciculaires brun/jaunâtre orientées dans 3 directions angle à 120° : aiguilles de rutile
	5	Source : Tha Mai mine de Mr Boat Pierre Roulée /Couleur : Bleu - Fissures atteignant la surface - Voile, givres de guérison - Inclusions solides noires
	6	Source : Tha Mai mine de Mr Boat Pierre Roulée / Couleur : Brun / Bleu / Brun - Bandes de couleur parallèles

	<p>Source : Tha Mai mine de Mr Kunthai Taille : Pentagone à degré / Couleur : Bleu</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bandes de couleur parallèles - Inclusions orientées dans 2 direction angle à 120°
	<p>Source : Tha Mai mine de Mr Kunthai Pierre Roulée / Couleur : Bleu</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bandes de couleur parallèles bleu foncé - Givre de guérison en forme d'empreinte digitale

Résultats :

Nous observons surtout des inclusions d'aiguilles de rutile, des bandes de couleur parallèles et des givres de guérison. Les pierres sont de couleurs plutôt sombres vert – bleu – marron.

- **Spectrométrie UV-vis :**

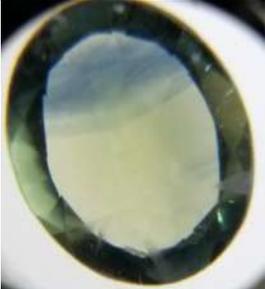
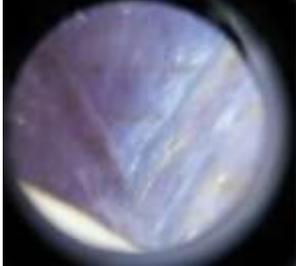
	<p>Taille : pentagone à degré / Couleur : bleu N°7 Analyse Simple :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Spectre visible : absorption à 452,23 nm ainsi qu' à 580 nm
	<p>Pierre Roulée / Couleur : bleu N°8 Analyse Simple :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Spectre visible : absorption à 455 et une autre à 580 nm
	<p>N°7 Normalisée :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Visible : pic à 455 nm et un moins marqué à 560 nm - UV : série de 3 pics à 315-360-390 nm
	<p>N°8 Normalisée :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Visible : pic à 460 nm et un moins marqué à 560 nm - UV : série de 3 pics à 315-380-390 nm

Résultats :

Pour les saphirs de Chanthaburi nous observons au niveau du spectre visible une absorption à 460nm et une légère à 560 nm (présence de fer+titane), et du spectre UV une série de 2 pics à 315 et 390 nm mais absence de pic 350nm.

B) Madagascar

- Tableau des inclusions visible à la loupe fois 10 d'un lot de 4 pierres : 2 taillées et 2 bruts

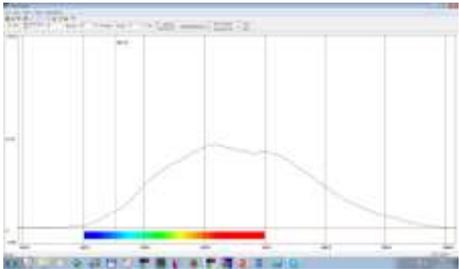
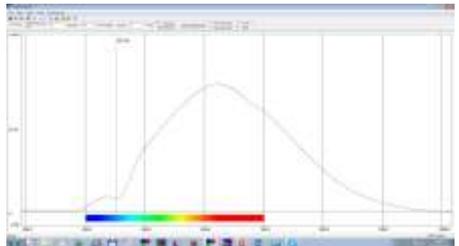
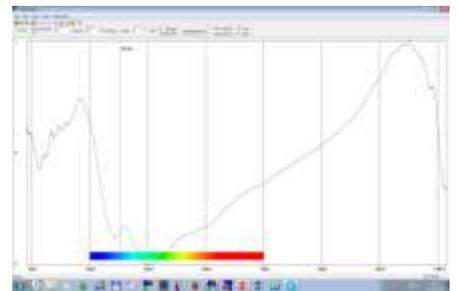
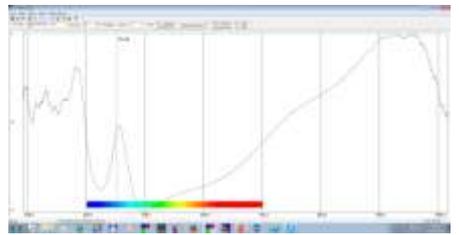
	<p>Source : Diego Suarez (nord de Madagascar)</p> <ul style="list-style-type: none">- Inclusion de cristaux incolores- Zone de couleur bleu sur fond vert formé de bandes parallèles se coupant à 120°
	<p>Source : Ilakaka (partie centrale du sud de Madagascar)</p> <ul style="list-style-type: none">- 4 Inclusions de solides noirs dont 3 ont des traînées colorées en noir
	<p>Source : Ihosy (100km Nord d'Ilakaka) Puits Mono</p> <ul style="list-style-type: none">- Marques de croissance triangulaires sur la face basale- Marques de croissance irrégulières en escalier sur les bords des faces prismatiques
	<p>Source : Ihosy Puits Mono</p> <ul style="list-style-type: none">- Inclusions de solides noirs sur les faces prismatiques

Résultats :

Nous devons différencier les pierres suivant leur source car les saphirs d'Ihosy sont d'origine métamorphiques (roche hôte : gneiss à micaschistes) et les saphirs de Diego Suarez sont d'origine magmatiques (roche hôte : basalte alcalin). Les saphirs d'Ilakaka proviennent d'un placier géant qui

s'est enrichie de nouvelles gemmes pendant des millions d'années, il regroupe plusieurs types de corindon de différentes époques et de différentes sources et origines. Pour les saphirs d'origine magmatiques de Diego Suarez : - Cristaux incolores et zones de couleur. Pour les saphirs d'origine métamorphiques d'Ihosy : - Inclusions solides noires.

- **Spectrométrie UV-vis :**

	<p>Taille : Ovale brillant / Couleur : bleu Source : Ilakaka N°9 Analyse Simple :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Spectre visible : une absorption à 460 nm - Une légère absorption vers 670 nm
	<p>Taille : Ovale brillant / Couleur : Bleu – Jaune vert Source : Diego Suarez N°10 Analyse Simple :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Spectre Visible : absorption à 455 nm
	<p>N°9 Normalisée :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Visible : pic à 460 nm - UV : série de pics à 350 et 390 nm
	<p>N°10 Normalisée :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Visible : pic à 455 nm - UV : série de 2 pics à 350--390 nm

Résultats :

Nous retrouvons un pic à 455nm et 2 pics dans la partie UV à 350-390 nm pour l'échantillon N°10 de Diego Suarez qui a une origine magmatique.

C) France : Auvergne

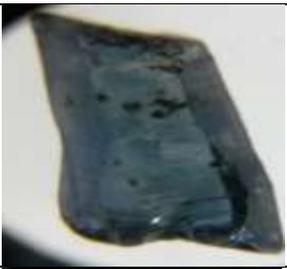
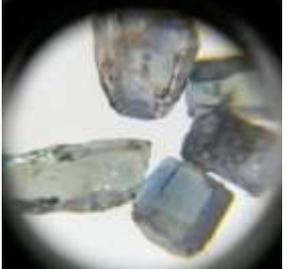
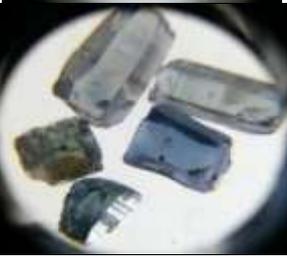
Il n'y a pas qu'une occurrence de Saphir en Auvergne, depuis le moyen-âge de nombreux autres sites ont été exploités. Les plus connus sont le Puy -en-Velay , le Mont-Coupet et les rivières de la Sioule et du Sioulot. Les corindons (ainsi que les zircons)récoltés, étaient destinés à embellir les couronnes et autres attributs des monarchies européennes ainsi que ceux de la papauté.

L'exploitation des saphirs d'Auvergne s'arrêtera au 17^{ème} siècle ce qui concorde avec l'avènement du commerce avec les Indes et l'arrivée des pierres du Kashmir, de Ceylan et de tout le sud-est asiatique.

1) La rivière du Sioulot

Les saphirs trouvés dans la rivière la Sioule et son affluent le Sioulot auraient une origine métamorphique (DEA E.Gaillou).

Lot de 11 pierres brutes de couleur bleu à bleu/vert.

	Source : rivière « le Sioulot » <ul style="list-style-type: none">- Inclusions solides noires
	5 cristaux bruts du Sioulot <ul style="list-style-type: none">- Fissures colorées par un résidu jaunâtre- Inclusions cristaux incolores- Inclusions solides noires
	5 cristaux bruts du Sioulot <ul style="list-style-type: none">- Fissures colorées résidu jaunâtre- Inclusions solides noires

Résultats :

Les inclusions solides noires sont courantes ainsi que des cristaux incolores. Nous avons aussi de nombreuses fissures colorées par des résidus jaunâtres.

2) Puy-en-Velay

Les saphirs du Riou Piuzalou, un petit ruisseau du Puy-en-Velay, ont une origine magmatique.
Matériel observé : Lot de 5 pierres brutes de couleur bleu à bleu/vert

			<p>5 cristaux bruts du Riou Piuzalou</p> <ul style="list-style-type: none">- Inclusions noires- Inclusions de cristaux incolores
			<p>Récolte d'une journée de batée au Riou Piuzalou</p> <ul style="list-style-type: none">- Péridots, Zircons et Saphirs

Résultats : On retrouve des inclusions noires et incolores. Les zircons sont des gemmes qui font parti des graviers gemmifères associés aux saphirs dans les dépôts alluvionnaires.

3ème PARTIE : Comparaisons entre des gisements de Saphirs d'origines géologiques et géographiques variées France (3) – Thaïlande (2) – Madagascar (3)

A) Couleur

Généralités :

Un corindon (Al_2O_3 oxyde d'aluminium) est une pierre qui normalement quand elle est pure, est transparente. La plupart des saphirs que nous rencontrons sont des gemmes colorées. Ceci s'explique par le fait que les saphirs lors de leur formation vont incorporer d'autres éléments (en forme de trace) dans leur structure cristalline . Parmi les éléments on retrouve le fer, le titane , le vanadium, le chrome ainsi que bien d'autres en quantité infinitésimale comme le gallium, le Magnésium ; ceux sont ces éléments appelés chromophores qui vont conférer une couleur aux saphirs.

Les corindons d'origine magmatique auront surtout du fer et du titane en impureté, les autres éléments colorant étant peu présent au niveau mantellique. (3 couleurs possibles)

- Basalte alcalin : saphirs BLEU – VERT – JAUNE

Les corindons d'origine métamorphique auront un plus large panel d'impureté, tous les éléments étant présent et plus abondant au niveau de l'écorce terrestre, et circulant au travers de fluides infiltrés ou de remontées de vapeurs métalliques. (large possibilité de couleurs)

- Micaschiste : JAUNE
- Skarn : BLEU – VIOLET
- Amphibolite : ROSE – ROUGE

Etude :

Les pierres d'Auvergne (Issoire) qui ont été observées, sont de couleur Bleu – Vert.

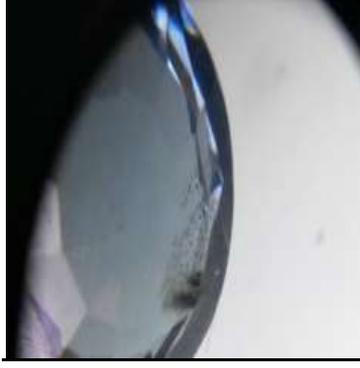
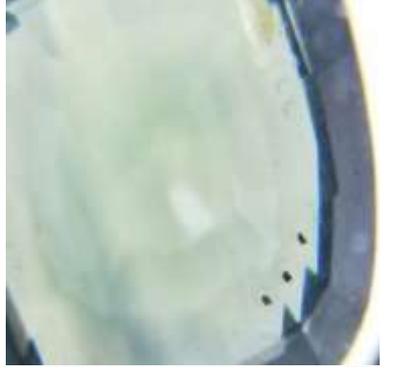
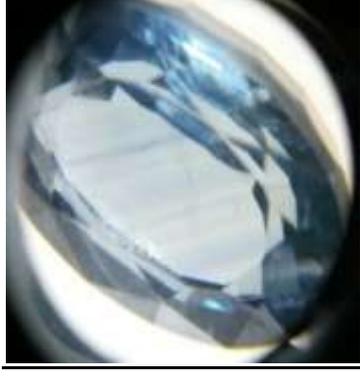
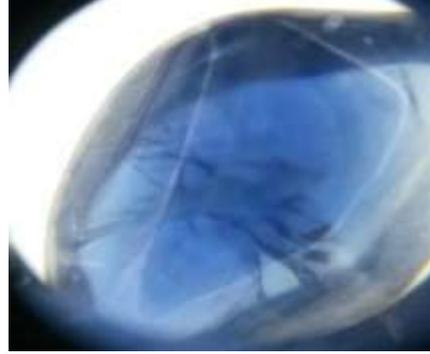
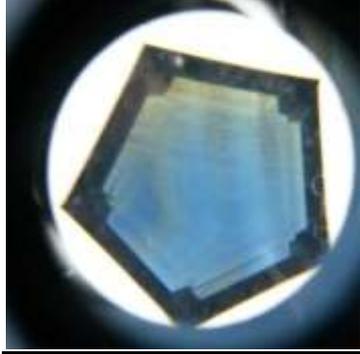
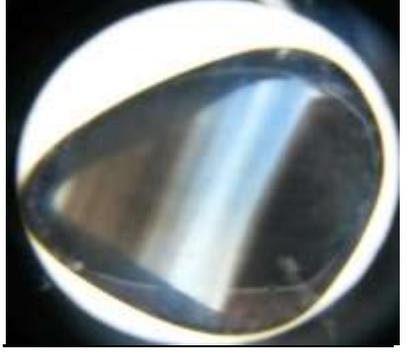
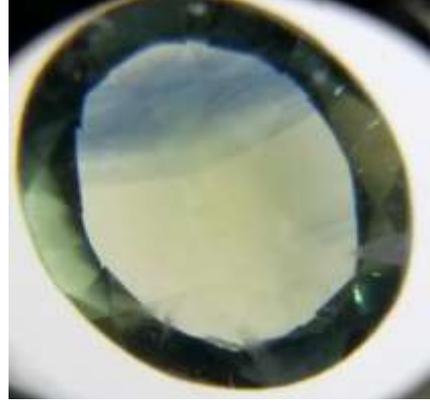
Les gemmes ont des teintes de bleu et un éclat que l'on retrouve dans les saphirs de Diego Suarez à Madagascar.

Les saphirs de Chanthaburi sont plus sombres et plus saturés en couleur.

Le bleu des saphirs de Kantchanaburi est différent, plus éclatant et moins métallique.

Les saphirs d'Auvergne/Issoire ont une couleur et un éclat qui peut aider à les identifier et à les différencier des autres saphirs.

B) Inclusions visibles à la loupe fois 10

France : Auvergne/Issoire			
Thaïlande : Kantchanaburi			
Thaïlande : Chanthaburi			
Madagascar : Diego Suarez Ilakaka Ihosy			

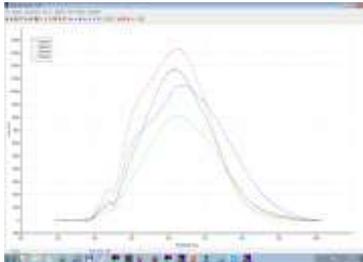
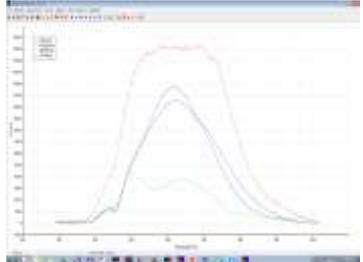
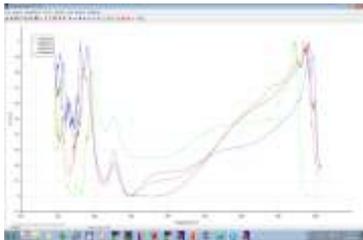
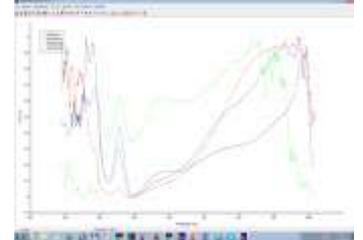
Les inclusions les plus présentes dans les saphirs d'Issoire sont des cristaux incolores et des zones de couleur parallèles ainsi que des fissures colorées en marron jaunâtre. Il n'ont pas de givres de guérison ou de voiles comme les saphirs de Bo Phloi ni autant d'inclusions noires que les saphirs d'Ilakaka ou d'Ihosy.

C) Méthodes avancées

1) Spectrométrie UV-vis

Code couleur 4 gisements :

- Rouge : Bo phloi (Thaïlande)
- Vert : Tha Mai (Thaïlande)
- Bleu : Diego Suarez (Madagascar)
- Noir : Auvergne (Issoire)

	<p>4 saphirs d'Auvergne (Issoire) : analyse simple</p> <ul style="list-style-type: none">- Spectre visible : absorption à 452,23 nm et légère à 575 nm
	<p>4 Gisements : analyse simple</p> <ul style="list-style-type: none">- Auvergne et Diego Suarez ont des courbes identiques.
	<p>4 saphirs d'Auvergne : analyse normalisée</p> <ul style="list-style-type: none">- UV : 3 pics d'absorption à 310-350-385 nm
	<p>4 Gisements : analyse normalisée</p> <ul style="list-style-type: none">- UV : des courbes similaires avec une série de 3 pics à 310-350-380 nm à part ceux de Bo Phloi qui n'ont pas de pics à 380 nm.

2) Isotopes de l'oxygène

Le rapport des concentrations entre les isotopes de l'oxygène O18 et O16 permet de déterminer l'origine géologique des saphirs. (article « AFG » 06/2005)
Les valeurs de ce rapport varient pour les saphirs entre 2,9 et 23 (pour 1000).

- Rapport $18O/16O = 2,9$ à $5,9$ (pour 1000) . Saphirs d'origine Magmatique.

Saphirs Auvergne Mont Coupet : 5,9 (pour 1000) (DEA E.Gaillou)

Saphirs Madagascar Diego Suarez : 5,5 (pour 1000) (art AFG)

- Rapport $18O/16O = 6$ à 23 (pour 1000) . Saphirs d'origine Métamorphique.

Saphirs Auvergne Sioulot : 6 (pour 1000) alluvionnaire (DEA E.Gaillou)

Saphirs Madagascar Ihosy : 10,7 à 14 (pour 1000) roche hôte gneiss
feldspathique (DEA Y.Offrant)

Saphirs Myanmar Mogok : 10,4 à 18,4 (pour 1000) roche hôte marbre (art AFG)

3) Rapport Ga / Mg

La quantité de Gallium et de Magnésium contenu dans les saphirs semblent pouvoir indiquer l'origine géologique des saphirs. (art AFG 09/2005). Un rapport supérieur à 15 montre une origine magmatique alors qu'un rapport de 0,5 à 1,2 est typique d'une origine métamorphique.

- Suite magmatique : Rapport Ga/Mg

Saphirs Auvergne Mont Coupet : 10 à 80 (DEA E.Gaillou)

Saphirs Thaïlande Chantaburi : 26 (art AFG)

Saphirs bleu Cambodge Pailin : 52

Saphirs Madagascar Diego Suarez : 22 (art AFG)

- Suite métamorphique : Rapport Ga/Mg

Saphirs Auvergne Sioulot : 0,6

Saphirs Madagascar Ilakaka : 1,0

Saphirs couleur pastel Cambodge Pailin : 0,5

De plus, les résultats publiés dans la revue AFG 09/2005 montrent que les saphirs bleus d'origine magmatique (roche hôte basalte alcalin) ont des concentrations en fer plus élevées que celles de saphirs d'origine métamorphique.

Nous pouvons aussi remarquer que des saphirs d'origines diverses puissent se retrouver dans une même région géographique, comme c'est le cas à Pailin au Cambodge ou Madagascar Nord et Sud ainsi qu'en Auvergne. Des lieux d'origine variée géologiquement peuvent être proche géographiquement mais différenciés comme à Madagascar et en Auvergne, ou bien les lieux d'origine sont éloignés et généralement inconnus mais les saphirs sont trouvés mélangés dans un même placier (alluvionnaire) de graviers gemmifères comme c'est le cas à Pailin au Cambodge.

Conclusion

Les résultats de l'étude montrent que les observations faites avec du matériel de terrain ne peuvent donner l'identification formelle de la provenance d'un corindon ni de son origine géologique.

Les inclusions que l'on peut observer à la loupe fois dix donnent de précieuses indications mais aucune ne sont spécifiques à un gisement. Celles que l'on observe dans les saphirs d'Auvergne / Issoire peuvent se retrouver dans les saphirs d'autres gisements (ex : Diego Suarez Madagascar). Seules des analyses de laboratoire pourraient faire ressortir des particularités spécifiques à une source et une origine déterminée.

Remerciements :

Mme Agata Cristol , gemmologue professeur LGM Marseille

Mme Eloise Gaillou ,gemmologue Musée des Mines Paris

Mr Yohann Offrant , géologue

Annexes

- 1°) Liste des observations réalisées à la loupe fois 10 sur 31 saphirs taillés d'Issoire.
- 2°) Schéma réalisé en Fév 2015 dans les mines de Tha Mai Chanthaburi
- 3°) Photos : Périple à Madagascar Nov 2015
- 4°) Fiche d'information sur les saphirs de Bo Phloi réalisée pour le musée de Kantchanaburi en Fév 2016

-----LISTE des INCLUSIONS-----

- 21 – rond / brillant / bleu acier / inclusions : cristaux incolores
- 22 – rond / brillant / bleu acier / inclusions : cristaux incolores
- 23 – navette / brillant / 1,35 cts / bleu / inclusions : cristaux incolores ; bandes de couleur parallèles bleu foncé ; fissure parsemée d'inclusions noires
- 24 – poire / brillant / 1,08 cts / bleu vert / inclusions : bandes de couleur parallèles bleu ; cristaux incolores
- 25 – rond / brillant / bleu / inclusions : fissure montrant une coloration jaunâtre ; cristaux incolores
- 26 – rond / brillant / vert / inclusions : cristaux incolores
- 27 – rond / brillant / vert jaune / inclusions : cristaux incolores
- 28 – rond / brillant / vert / Aspect Laitéux / inclusions : rien de visible
- 29 – rond / brillant / vert / Aspect Laitéux / inclusions : cristaux incolores
- 30 – rond / brillant / vert / inclusions : cristaux incolores
- 31 – rond / brillant / bleu / inclusions : cristaux incolores
- 32 - rond / brillant / bleu acier / inclusions : cristaux incolores ; inclusions solides noires entourée d'une fissure
- 33 - rond / brillant / bleu vif / inclusions : bandes de couleur parallèles bleu foncé ; cristaux incolores
- 34 – rond / brillant / bleu acier / inclusions : cristaux incolores
- 35 – rond / brillant / bleu / inclusions : bandes de couleur parallèles
- 36 – rond / brillant / bleu / inclusions : cristaux incolores
- 37 – rond / brillant / bleu acier / inclusions : cristaux incolores
- 38 – baguette / à degré / vert bleu / inclusions : fissures parsemées d'inclusions noires
- 39 – rond / brillant / bleu / inclusions : bandes de couleur parallèles bleu foncé
- 40 – rond / brillant / bleu / inclusions : bandes de couleur parallèles bleu foncé ; cristaux incolores
- 41 – rond / brillant / bleu / inclusions : cristaux incolores
- 42 – rond / brillant / bleu / inclusions : solide noir ; bandes de couleur montrant des angles à 120°

- 43 – rond / brillant / bleu / inclusions : bandes de couleur parallèles bleu foncé
- 44 – rond / brillant / bleu / inclusions : fissure montrant une coloration jaunâtre ; cristaux incolores entourés de fissure
- 45 – rond / brillant / bleu / inclusions : bandes de couleur parallèles bleu foncé ; cristaux incolores
- 46 – rond / brillant / bleu acier / inclusions : bandes de couleur parallèles bleu foncé ; cristaux incolores
- 47 – rond / brillant / bleu / inclusions : bandes de couleur parallèles avec des angles à 120° ; cristaux incolores
- 48 – rond / brillant / bleu / inclusions : solides noires (pyrrhotites) entourés d'une fissure
- 49 – rond / brillant / bleu / inclusions : cristaux incolores
- 50 – rond / brillant / bleu / inclusions : bandes de couleur parallèles bleu foncé
- 51 – rond / brillant / bleu / inclusions : cristaux incolores