

# Opale de feu, synthèses et imitations



*L'offre des opales de feu proposée sur le marché est large et très variable. Par quelles caractéristiques peut-on les définir et les distinguer des synthèses et des imitations ?*

*Comment faire pour ne pas y voir que du feu ?*



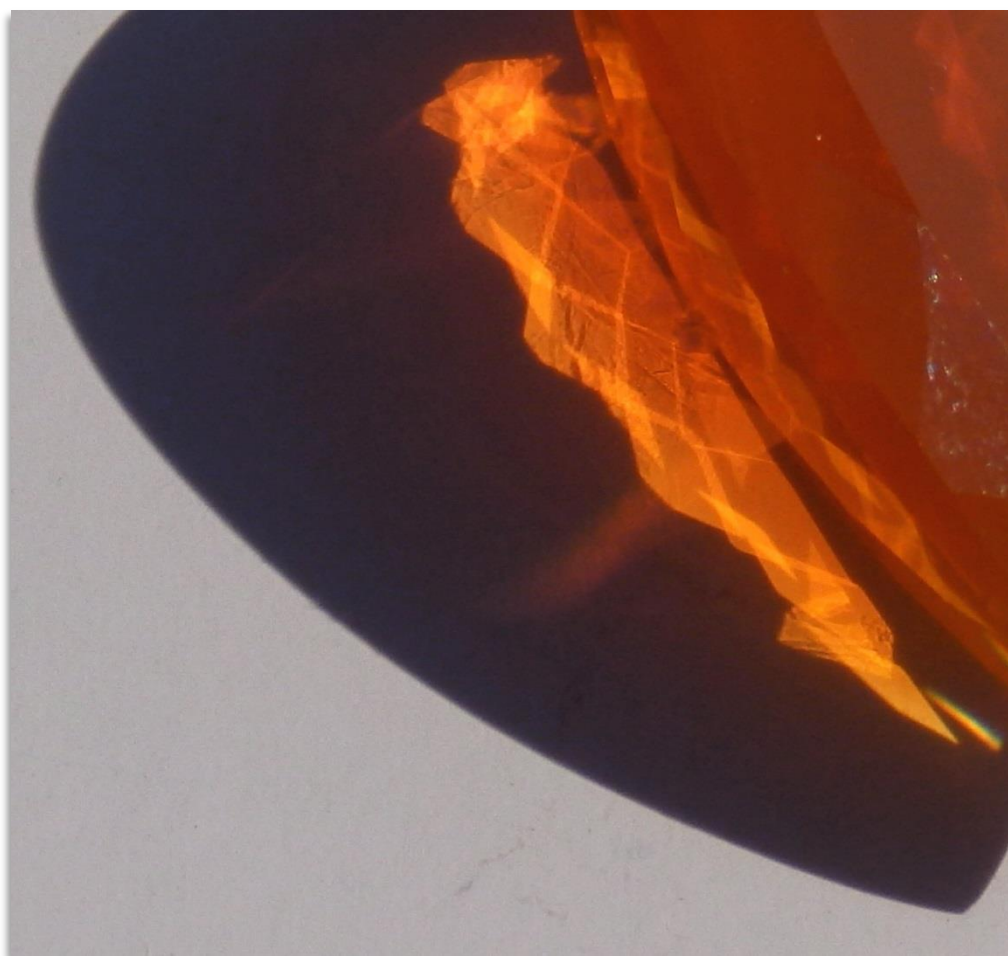
Kerstin Föge

Projet de Diplôme 2014

Laboratoire de Gemmologie de Marseille

## Contenu

1. L'opale de feu naturelle.....	3
Les gisements :.....	3
La composition de l'opale :.....	5
Les structures :.....	6
La durabilité :.....	7
Les traitements :.....	7
2. L'opale de feu synthétique.....	8
3. Les imitations artificielles.....	10
4. Les imitations naturelles.....	11
5. Conclusion.....	12
6. Tableau de synthèse.....	13
Remerciements et sources.....	15
Annexe.....	16



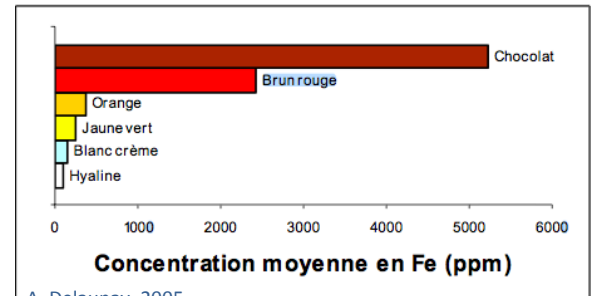
## 1. L'opale de feu naturelle

La couleur et d'autres critères de qualité :  
La palette des couleurs comprend le jaune, l'orange, le rouge et le brun, même si l'appréciation des couleurs est subjective, les exemplaires incolores, laiteux, jaune clairs et brun sombres ne sont pas des opales de feu.



Opale de feu commune

L'élément colorant est le fer ( $\text{Fe}^{3+}$ ), présent sous forme de petites inclusions ou remplaçant le Si sur son site tétraédrique. Plus la teneur de fer augmente, plus la couleur sera foncée.



Si la taille des microsphères de silice est suffisamment grande (150 à 300 nm), la lumière est diffractée et la pierre montre un jeu de couleur en plus de sa couleur de masse ; la valeur de ces opales de feu nobles est plus élevée.

L'autre facteur qui détermine le prix est la transparence. Les plus belles qualités sont taillées en facettes, les cabochons sont souvent translucides à opaques et/ou comportent un peu de matrice.



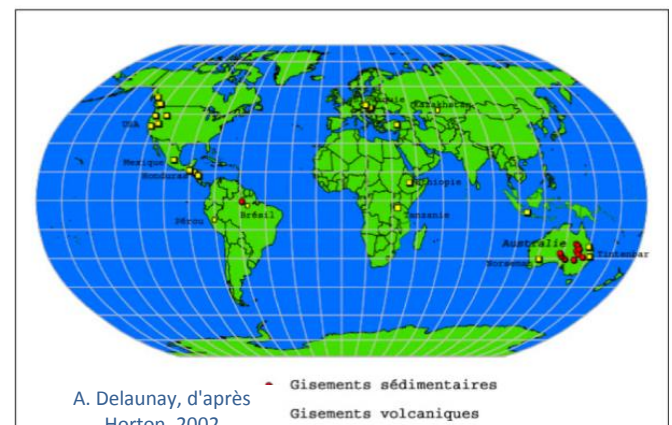
Opales de feu du Mexique

### Les gisements :

L'opale est un minéral d'altération, géologiquement « jeune » il s'est formé dans des roches du tertiaire (- 70 000 M), il s'est préservé uniquement en absence de tout événement géologique ultérieur.

On peut le trouver au Mexique, au Brésil, aux USA, en Ethiopie, au Kazakhstan, en Australie, dans des roches d'origine volcanique, par ex. rhyolite, tufs, ignimbrite, ou sédimentaire, par ex. grès, argile.

Mexique : tous les gisements connus sont d'origine volcanique, la « ceinture d'opale » va de Guadalajara à l'ouest à Pachuca à l'est. Les roches mères,



Opale dans la roche mère



souvent des rhyolites roses, sont très siliceuses, env. 70%, pleines de cavités et fracturées, résultat d'un volcanisme très explosif, avec peu de coulées de lave, mais beaucoup d'éjections de fragments de roche.

L'eau circule facilement dans ces roches poreuses et se charge en silice. Si une couche imperméable empêche l'évacuation de la solution sursaturée en silice, il se forme des particules sphériques de



"Cantera" du Mexique

silice, qui à partir d'un certain diamètre (env. 10 nm) se déposent au fond des creux. Magdalena, Mina Iris et Zimapan sont des mines très connues. Quand les opales sont taillées avec leur matrice, les Mexicains les appellent « Canteras ».

Brésil et l'Australie : presque tous les gisements sont sédimentaires (sauf Tintenbar et Norseman, en Australie), un événement tectonique antérieur ayant créé des fissures et des vides, l'opale se forme d'une façon similaire aux opales d'origine volcanique, mais sur une période beaucoup plus longue avec une alternance de climats secs et humides. Le dépôt des sphères de silice est lent, leur arrangement plus régulier.



Opale brute du Brésil

Ethiopie : sur les hauts plateaux les gisements sont de type volcanique. Ils se trouvent dans des couches de tuf entre des roches de rhyolite. Les opales de Menz Gische peuvent ressembler aux mexicaines, celles de Yita Ridge sont plus foncées, couleur chocolat. En général elles sont hydrophanes et moins stables que les opales des gisements sédimentaires du Wollo.



Opale d'Ethiopie

USA : dans l'Oregon on trouve des opales jaunes, oranges, souvent d'un aspect un peu trouble, « jelly opale », plus rarement rouges ou foncées, dans des géodes des zones d'altération (argile), dans des couches de lave basaltiques. En Californie, à San Bernardino, il y a un gisement d'opale de feu.



Opale brute d'Oregon, photo fossiles-et-minéraux.forumactif

Turquie : les opales de feu sont également plutôt claires, d'origine volcanique et viennent du district de Simav, à l'ouest du pays.

Kazakhstan : fournit des opales de bonne qualité, mais l'emplacement du ou des gisements (anciennes mines d'uranium ?) reste à confirmer.

Slovaquie : les opales sont d'origine volcanique, Dubnik et Cervenica, ou sédimentaire au sud du pays.

## La composition de l'opale :

C'est un hydroxyde, un dioxyde de silicium hydraté,  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , avec une quantité variable d'eau, 4 – 10 %, présente sous deux formes : moléculaire ( $\text{H}_2\text{O}$ ), en tant qu'inclusion liquide dans les interstices ou adsorbé par les surfaces internes, ou sous forme de silanol,  $\text{SiOH}$ , attaché à la surface et à l'intérieur des sphères d'environ 250 nm.

Selon la teneur en eau la densité varie entre 1,90 et 2,25, l'IR entre 1,420 et 1,475.

L'opale de feu contient 7 à 10 % d'eau, a une densité autour de 2,0, un IR de 1,40 à 1,43 et craint un peu moins la déshydratation que d'autres opales.

Sa dureté de 5,5 à 6,5 est en dessous de celle du quartz (7), elle est donc sensible à l'abrasion par la poussière et aux chocs physiques.

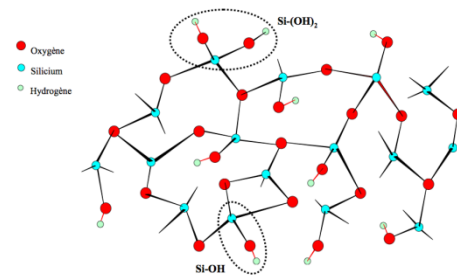
La fluorescence est vert-brun, due à une faible teneur en uranium, est généralement occultée par le fer, l'impureté principale de l'opale de feu.

La concentration de certains éléments, par ex. le baryum, détectés par la spectrométrie Raman, peut indiquer l'origine volcanique, pauvre en baryum, ou sédimentaire, riche en baryum, de l'opale. Elle différencie les gisements volcaniques du Mexique, moins de césium, de ceux d'Ethiopie, plus de césium.

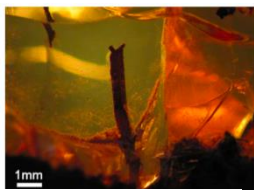
Les inclusions typiques des opales mexicaines sont de petits cristaux de calcite, quartz, amphibole ou limonite, hématite, quelquefois il ne reste que le cristal négatif après leur dissolution.

Les opales avec des inclusions végétales fossilisées sont d'origine sédimentaire.

Le réseau de silice hydratée :



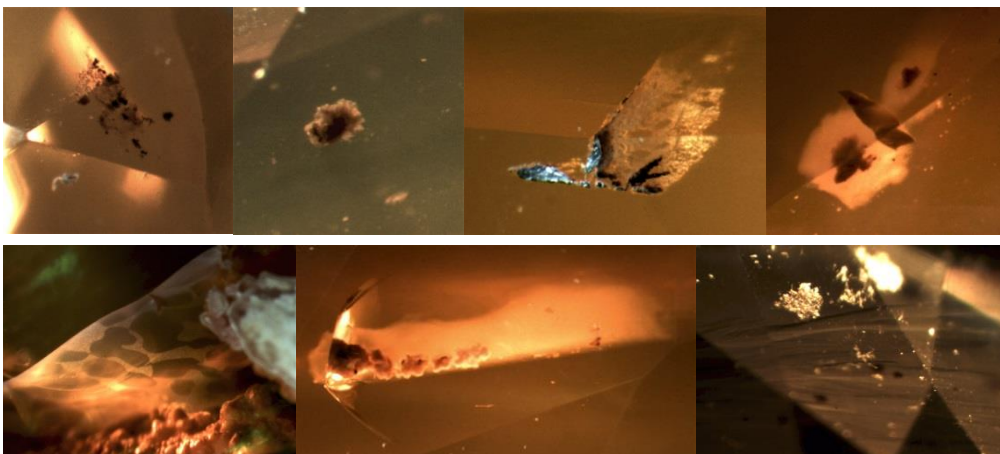
J.-P. Gauthier



Inclusions de hornblende, Mexique, photo E.Gaillou



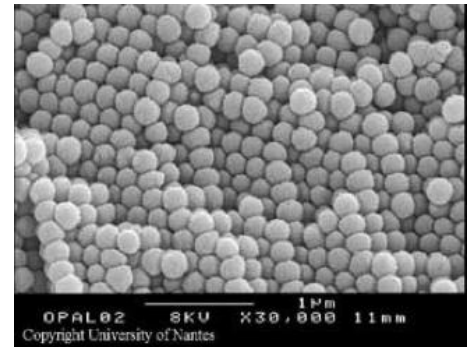
Inclusions végétales fossilisées, Wollo, Ethiopie, photo B. Rondeau



Inclusions dans l'opale de feu

## Les structures :

L'opale est une matière amorphe, constituée de cristobalite et tridymite, polymorphes de la silice de basse pression et de basse température. On différencie deux types de structure, opale A et opale C et CT. Opale-A : constituée de sphères de cristobalite avec des espaces vides ou peu cimentés par de petits grains. Sur des sphères de 150 à 300 nm de  $\varnothing$ , la diffraction de la lumière visible est possible, l'opale montre un jeu de couleur. Si les sphères sont trop grosses, trop petites, de tailles très différentes ou déformées, l'opale sera commune.



Structure d'une opale A, E.Fritsch et al. 2002

L'arrangement même des sphères est désordonné, l'opale A est amorphe. Elle est en général d'origine sédimentaire et s'est formée à des températures autour de 45 °C. La formation dans des roches volcaniques est possible si la météorisation a lieu après leur refroidissement.

Opale C-CT : constituée de nanograins de cristobalite et tridymite de 10 à 50 nm  $\varnothing$ , ces opales forment une série continue avec C et T comme pôles.

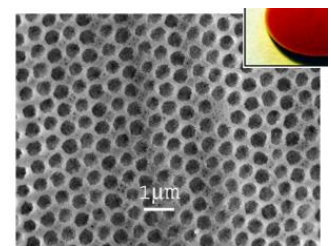
L'opale CT est d'origine volcanique, après une éruption quand les eaux chargées de silice sont encore chaudes, des particules granuleuses se forment à 190 °C. La croissance est plus rapide que celle des opales sédimentaires. Les nanograins forment des lépisphères (organisation à peu près sphérique) ou s'organisent en



Lépisphères formant une structure radiolaire, Flörke, et al. 1976

tablettes qui se groupent dans une structure radiolaire d'environ 200 nm  $\varnothing$ , cimentées par des micrograins.

Si leur arrangement est régulier, le jeu de couleur est présent, désorganisé l'opale est commune. L'acide fluorhydrique attaque moins le ciment que les sphères, permettant ainsi grâce au MEB l'observation des différentes structures de l'opale CT.



Structure d'une opale CT, B.O. Aguilar Reyes, 2004

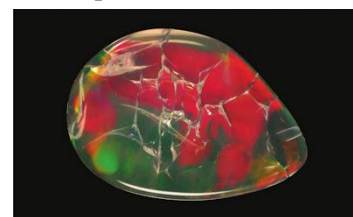
La plupart des opales de feu sont des opales CT (sans jeu de couleur) : plus la structure des nanograins d'env. 20 nm  $\varnothing$  est homogène et dense, plus la pierre est transparente; sinon elle aura l'aspect légèrement nébuleux, typique des opales de feu. Un empilement de sphères de la «bonne» taille comme dans l'opale A noble, permet la diffusion de la lumière mais la pierre est moins transparente. Les opales A et CT sont différenciées par la spectrométrie Raman.

TYPE D'OPALE	BANDE RAMAN DE LA SILICE ( $\text{cm}^{-1}$ ) Si-O-Si
Opale A	375-420
Opale CT	300-340

B. O. Aguilar Reyes, 2004

## La durabilité :

En plus de l'usure et des risques quotidiens, les chocs physiques et thermiques, le contact avec des produits chimiques ou de la poussière, il y a un risque que l'opale se déshydrate et se fissure (« crazing ») dans l'année qui suit son extraction, les négociants sérieux les gardent un à deux ans en observation. Environ 30 à 40 % de la production mondiale se déstabilise. En Ethiopie les opales hydrophanes, poreuses sont moins stables que celles du Wollo contenant moins d'eau.



Opale fissurée, photo F. Mazzero

Les opales du Mexique peuvent montrer un blanchissement qui commence au centre de la pierre, qui peut s'expliquer par une perte d'eau en surface causant une contrainte de compression entre la surface et le centre. 80 % des opales de feu de l'Oregon se fissurent contre 10 % d'opales bleues, hydrophanes ou nobles du même gisement.



Blanchissement, photo T. Pradat gemmo-eu

## Les traitements :

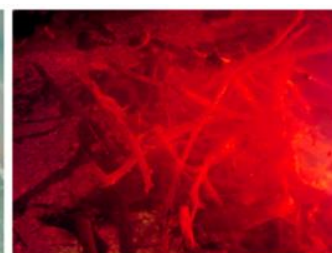
Opale teintée : elle peut être présentée comme opale de feu venant de Mexique, mais en réalité, ce sont des opales claires, de pauvre qualité, teintées en rouge ou orange, en surface ou plus en profondeur si l'opale est hydrophane. Leurs couleurs prononcées et des caractéristiques indiquant une origine sédimentaire ont éveillé les soupçons de quelques négociants. Des pierres testées par un laboratoire en 2011 montraient des propriétés des opales du Wello, Ethiopie : hydrophane, inclusions de pyrite, des végétaux fossilisés, "digit-pattern" (des cellules de couleur entourées par de l'opale commune), matrice beige ou beige sous la surface, petits cristaux de quartz et feldspath dans la matrice. D'autres indices confirmaient le traitement par teinture : zones de couleurs plus vives près de la surface (observation en immersion), la couleur est plus concentrée autour des rayures et des petites dépressions de la surface, car la teinture est absorbée par capillarité et la surface des reliefs est plus grande. Avec la permission du propriétaire une opale trempée pendant 72 h dans une solution de peroxyde en sortait visiblement décolorée.



Opale orange teintée 1,39 ct, avant et après un bain dans l'acétone pendant 72 h  
Photo © Gemmo.eu



Couleur de l'acétone après un bain de 72 heures d'une Opale éthiopienne traitée par imprégnation de teinture orange  
Photo © Gemmo.eu



Végétaux fossilisés : opale du Wollo (gauche) et opale teintée (droite)  
photos S.F. McClure

Une immersion dans l'eau peut



masquer des fissures de dessèchement, mais l'effet est de courte durée. La surface de l'opale est quelquefois stabilisée avec de l'huile ou de la résine, mais là non plus, le résultat n'est pas durable. Afin d'améliorer sa transparence, l'opale de feu est traitée par un remplissage des fissures avec par ex. l'époxy. Avec le temps on constate les mêmes dégâts que pour l'émeraude, les fissures sont de nouveau visibles - même plus - à cause de l'expansion et de la décomposition de la résine.

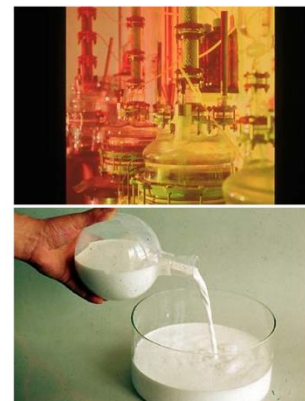
Souvent un fond noir est obtenu par immersion dans une solution sucrée ou dans du miel, puis dans l'acide sulfurique bouillant, ou par échauffement avec de l'huile.

Les opales CT nobles, sans ciment (hydrophanes), sont rares : à Jalisco au Mexique il y a une mine où elles sont traitées par « fumage ». Entourées de pierres ponces, placées dans un papier cartonné, elles sont chauffées au chalumeau, le gaz carbonique rentre dans les porosités et les colore en noir, le jeu de couleur ressort mieux.

## 2. L'opale de feu synthétique

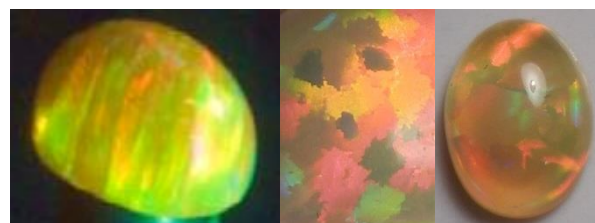
Depuis 1964 on connaît la structure de l'opale grâce aux images du microscope électronique à balayage, la création des opales synthétiques devient possible et est réalisée par Pierre Gilson en 1972. Généralement les opales synthétiques sont plus stables que les naturelles.

Gilson : la première synthèse commercialisée (1974), entre autre en rouge-orange, toujours avec un jeu de couleur, est produite selon la méthode Gilson. Un tétra-éthyl ortho silicate  $(C_2H_5O)_4 Si$  est dispersé en petites gouttelettes dans un mélange alcool-eau, en rajoutant de l'ammoniac et en touillant, une réaction chimique provoque la formation de petites sphères de silice contenant un peu d'eau. La solution mise au repos, l'organisation de ces sphères dure environ un an.



La "soupe" d'opale

La dernière phase est la stabilisation par un gel de silice avec un IR différent, le peu d'eau présent peut s'évaporer selon la température du chauffage.



Structure colonnaire et "peau de lézard"

La matière est structurée en colonnes, vues par-dessus leur aspect ressemble à une peau de lézard avec des écailles multicolores. Les pierres sont souvent taillées en cabochon avec la base positionnée perpendiculairement aux colonnes, celles-ci sont visibles par le côté sauf si le cabochon est bas et/ou serti en serti clos. Les indices visuels sont importants, car les propriétés physiques et chimiques sont très proches de l'opale naturelle.



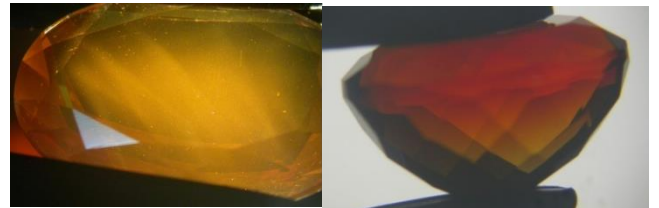
Mexifire : commercialisé depuis 2007 il ressemble beaucoup à une opale de feu naturelle sans jeu de couleur.



Opales synth. Mexifire, photo Rhea Industries

L'IR (1,470) et la densité (2,19) sont un peu plus hauts que ceux de l'opale de feu naturelle. Au polariscope l'extinction anormale est ondulante. En 2009 les méthodes de fabrication sont améliorées, les propriétés sont si proches de son équivalent naturel que l'utilisation de méthodes avancées, par ex le FTIR, pour détecter la quantité d'eau, peut être nécessaire.

Le procédé de fabrication (une solution de gel modifiée) est différent de celui des autres opales, le gel obtenu après le "repos" est séché et puis fritté, l'élément colorant reste le fer.



Zones troubles, concentration de la couleur, photos G. Choudhary

Dans le spectre infrarouge il y a une forte absorption en-dessous de 4000 cm<sup>-1</sup>, qui empêche la détection d'une éventuelle présence des polymères.

Kyocera : fabriquées depuis 1993, les opales "Inamori" sont plutôt classées dans les imitations à cause de la présence d'une résine, contrairement aux opales transparentes et noires de la 1ère génération (début des années 80). L'ajout facultatif de petites sphérules d'oxyde de zirconium augmente le jeu de couleur. L'ajout d'une résine permet la cohésion des sphères et raccourcit la durée et - en conséquence - le coût de la production. Les couleurs et le jeu de couleur sont très ou trop prononcés, la structure colonnaire est visible par le côté et "la peau de lézard" par le dessus.

La densité autour de 1,80 est basse et une fluorescence forte, jaune-orange est possible.



Opale synth. "Inamori", structure colonnaire, "peau de Lézard"

Opales synthétiques de Russie : leur couleur, noire ou blanche, ne correspond pas à celles des opales de feu, mais l'absence d'une structure colonnaire et de l'aspect "peau de lézard" vu par le dessus, typique pour une opale synthétique avec jeu de couleur, en font des synthèses assez convaincantes en général. La densité (1,74 à 1,86) est plus basse et le spectre infrarouge indique que la quantité d'eau est moindre.

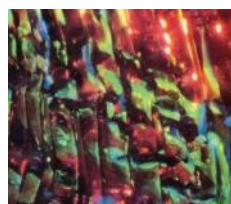
La classification en tant que "synthétique" dépend surtout de la présence et de la quantité d'eau et de résine. Ce sujet a occupé non seulement les gemmologues mais aussi la justice américaine en 2001 quand Manning International, fabriquant selon la méthode Gilson, accusa ses concurrents commercialisant des opales méthode Kyocera de concurrence déloyale. Les opales "Inamori" sont appelées "opales synthétiques imprégnées de résine".

### 3. Les imitations artificielles

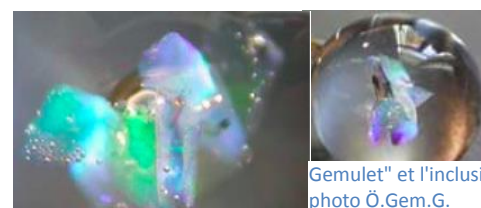
Slocum Stone : arrivée sur le marché en 1974, les pierres de J. Slocum ont un jeu de couleur très différent, causé par des réflexions sur des inclusions de minces paillettes métalliques froissées de couleurs différentes. On peut les observer à la loupe 10 x, ainsi que les fissures de tension qui les entourent. La matière de base est du verre fabriqué, qui peut être coloré en rouge, orange ou jaune. Les autres indices sont l'éclat plus vitreux, la densité, la dureté et l'IR plus élevés.



Opale Slocum et ses inclusions, photo GemHall



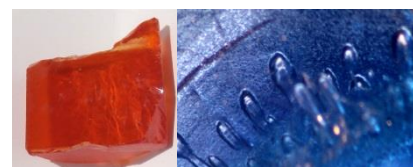
Gemulet : nom commercial d'un verre avec des inclusions d'éclats d'opale synthétique : les méthodes d'identification sont les mêmes que pour le Slocum.



Gemulet et l'inclusion, photo Ö.Gem.G.

Corindon, saphir synthétique orange : l'éclat vitreux brillant, la netteté des arêtes des facettes et le peu d'usure, dureté 9, sont faciles à observer. Le Corindon étant anisotrope, on observe le pléochroïsme, la réaction au polariscope, et deux limites d'ombre au réfractomètre. Selon les méthodes de fabrication, Verneuil, Czochalski, ou la méthode du fondant on peut voir des inclusions typiques, bulles de gaz, cavités remplies de fondant, plaquettes de platine.

Spinnelle synthétique orange : la densité, la dureté et l'IR sont plus élevés. Bien qu'isotrope, du fait des tensions internes, le spinnelle synthétique Verneuil montre au polariscope des extinctions anormales, ainsi que des inclusions typiques : bulles allongées, profilées.



Bulles profilées, photo Gem-expertise

Verre fabriqué, CZ ou plastique de couleurs jaune à rouge : ils imitent l'opale de feu sans jeu de couleur. Ici encore c'est l'éclat, la densité et l'IR qui les différencient. On pourrait aussi observer des caractéristiques typiques, bulles de gaz, coulures, revêtement (verre), zones de couleurs droites, surface très rayée, lignes de moulure (plastiques).



CZ

Verre avec revêtement



Plastiques : zones de couleur nettes, traces de moulage, surface très rayée



Verre opalisé, v. opalisé avec fond métallique, inclusions: bulles de gaz, fondant, photos Ö.Gem.G.

#### 4. Les imitations naturelles

Corindon, saphir jaune, orange, rouge et spinelle jaune, orange, rouge : presque les mêmes caractéristiques que leurs équivalents synthétiques, mais à cause de leur prix plus élevé il est improbable qu'ils soient vendus intentionnellement comme des opales de feu.

Grenat grossulaire, hessonite : par son aspect trouble et ses couleurs il ressemble à l'opale de feu, mais un examen à la loupe 10 X ou au microscope montre souvent des petits grains imbriqués, c'est un agrégat. La densité et l'IR sont nettement plus élevés.



Hessonite

Grenat, spessartite : généralement transparent, on peut voir à la loupe ou au microscope des inclusions, de gouttelettes liquides. L'éclat est vitreux brillant,



Spessartite

l'IR est au-dessus de 1,78, la densité et la dureté sont aussi nettement plus hautes.

La spessartite est fortement attirée par un aimant.



Inclusion solide, gouttelettes

Quartz, citrine (améthyste chauffée) : l'IR et la densité sont plus élevés et elle est anisotrope. On pourrait donc observer un comportement anisotrope au polariscope, du pléochroïsme, deux limites d'ombre au réfractomètre (valables pour tous les quartz cristallins), avec en plus, pour la citrine, un œil-de-taureau au polariscope et à la loupe ou au microscope des zones de couleurs droites et des stries « peau de zèbre ».

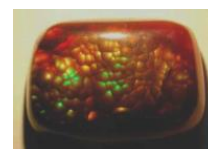
Quartz, cornaline : polycristalline elle reste claire au polariscope et peut présenter un aspect rubané.



Cornaline, rubans ondulants



Quartz, agate de feu : des minces couches de minéraux ferreux (la pierre est attirée par un aimant) entre les couches de calcédoine provoquent des iridescences, observables à la loupe et au microscope.



Agate de feu, photo Ö.Gem.G.

Calcite miel : l'éclat et la densité sont plus élevés, mais sa dureté est nettement plus basse. Elle est anisotrope avec une forte biréfringence, souvent observable à l'œil nu, et le clivage (rhomboédrique) est parfait.



Calcites : "orange", "orchidée", "miel"

clivage interne

En dernier, les pierres composées : les doublets peuvent être naturels, avec la roche mère comme base, ou composés d'opale naturelle ou synthétique collée sur une base généralement noire. Les triplets imitent plutôt des opales blanches et noires, c'est des assemblages d'une mince tranche d'opale sur une base noire, le tout surmonté par une matière incolore (verre ou plastique).



Triplet d'opale, photo GemHall

Des galets polis ou des cabochons avec un aspect bréchié, constitués de morceaux d'opale de feu liés avec un ciment, existent. Pour les différencier de la rhyolite une observation au microscope est nécessaire, ou si possible un test destructif avec une goutte d'acide chlorhydrique (10 %). Contrairement à la rhyolite la plupart des ciments ont une réaction effervescente.



Opale de feu dans rhyolite, photo K. Sieber



Morceaux d'opale cimentés, photo forum EPI

## 5. Conclusion

Les conditions pour examiner des pierres sont importantes, surtout l'éclairage et les instruments disponibles, mais aussi l'entourage et le temps alloué. Si la pierre est taillée, les tests destructifs (crayon de dureté, acides, liquide du réfractomètre pour l'opale, aiguilles chauffées) sont exclus, sauf si on peut les faire à un endroit discret, au dos d'un cabochon, dans le creux d'une sculpture, sur le feuilletis.

Le choix peut être encore plus limité si la pierre est sertie, dans tous les cas le calcul de la densité n'est plus possible, pour les autres tests tout dépend du genre du serti (serti clos avec ou sans fond, serti griffes, pavé) et de l'emplacement de la pierre (proéminent, descendu, entouré d'autres pierres).

Bien que tous les tests proposés dans le tableau de synthèse qui suit ne soient pas toujours réalisables, qu'il ne tienne pas compte de toutes les exceptions parmi les pierres et ne soit certainement pas complet, j'espère qu'il sera utile pour l'identification d'opale de feu.



## 6. Tableau de synthèse

	Loupe 10 x Microscope	Dureté	Densité	IR et Biréfr.	Polariscope	Spectre	UVL	UVC	Filtre Chelsea	Autres
Opale de feu naturelle	Zones de couleur troubles incl.: pyrite, goethite, calcite, quartz, végétaux fossilisés	5,5 à 6,5	1,94 à 2,01	1,40 à 1,43 -	Faible extinction anormale: stries isotrope	-	si l'opale est claire :  Faible réaction blanchâtre, orange, brun verdâtre		-	Spectre infrarouge : Pic à 5350cm-1 sp. coupé après 4000cm-1 voir annexe
Opale naturelle teintée	Inclusions ne correspondant pas à l'origine indiquée, concentration de la couleur dans les rayures, dépressions de la surface	6	Si l'opale est hydrophane		Reste sombre isotrope	-	Fluorescence verdâtre, bleuâtre blanchâtre possible		-	observation en immersion trempage dans acétone ou solution de peroxyde,
			1,70 à 1,77	1,37 à 1,41						
Synthèses										
Mexifire 2 <sup>ème</sup> génération (2009)	Zones de couleur troubles ev. + foncées au centre incl. : « pinpoints »	5,5 à 6,5	2,19	1,470 -	Faible extinction anormale: stries isotrope	-	-	-	-	Spectre infrarouge : Pic à 4520cm-1 coupé après 2100cm-1 voir annexe
Méthode Gilson	« peau de lézard », structure colonnaire vu par le côté	6 à 6,5	2,00 à 2,10	1,40 à 1,45	Reste sombre, isotrope	-	Fluorescence violette possible		-	Spectre UV-VIS-PIR voir annexe
Méthode Kyocera	Jeu de couleurs très prononcé, « peau de lézard », structure colonnaire vu par le côté	4	1,80 à 1,90	1,45	Reste sombre, isotrope	-	Orange vif	Orange	-	EDXRF : détection des éléments traces, détection d'une résine ou d'un polymère
Imitations artificielles										
Saphir synthétique	incl. : bulles de gaz rondes, fondant, plaquettes de platine	9	3,8 à 4,05	1,76 à 1,78 Bir. : 0,008 à 0,009	4 x clair, 4 x sombre anisotrope	Sp. du fer	p. jaune : jaune- orange	Rouge terne	-	Dichroïque : Orange claire/ orange foncé
Spinelle synthétique	Incl. : bulles profilées	8	3,61 à 3,67	1,72 à 1,73	Extinction anormale isotrope	-	-	-	Rouge faible	EDXRF : détection des éléments traces
CZ	Eclat vitreux très brillant, « feux », peu d'usure	8,5	5,56 à 6,00	2,17	Reste sombre isotrope	Ev. sp. du colorant utilisé	Orange faible	-	-	Dispersion : 0,066

Verre fabriqué	Bulles rondes, tourbillons de coulée, traces de moulage	6	2,0 à 4,2	1,50 à 1,70	Ev. extinctions anormales isotrope	Ev. sp. du colorant	Rouge-orange possible	Rouge-orange possible	Variable	
Pierre de Slocum	Incl. : pellicules de métal froissées, bulles de gaz	5,5	2,4 à 2,5	1,49 à 1,52	Reste sombre isotrope	-			variable	
Plastique	Rayures, usures à la surface, Incl. : bulles de gaz	1,5 à 3	1,90	1,48 à 1,51	Extinctions anormales isotrope	-	Bleuâtre, orange variable	Orange variable	Variable, plus pâle	Sécable avec une lame
Imitations naturelles										
Grenat gross. : Hessonite	Aspect trouble, structure d'un agrégat, nombreux petits cristaux (apatite, calcite, zircon)	7,25	3,4 à 3,8	1,70 à 1,75	Agrégat, peut rester claire isotrope	-	-	-	-	
Grenat : Spessartite	Incl. : givres de gouttelettes liquides, déchiquetées	7,5	4,12 à 4,20	1,79 à 1,82	Ev. extinctions anormales, isotrope	Sp. de la manganèse + du fer	-	-	-	Attirée par un aimant
Quartz crist. : Citrine	Incl.: zones tigrées ou zébrées, zones de couleur droites	7	2,65	1,54 à 1,56 Bir. : 0,009	Figure d'interférence œil de taureau, isotrope	-	-	-	-	Légèrement dichroïque : jaune/jaune clair
Quartz polycr. : Cornaline	Aspect rubané ondulant, si teintée : concentration de la couleur entre les grains	7	2,6	1,53 à 1,55	Reste clair isotrope	-	-	-	-	
Quartz polycr. : Agate de Feu	Incl. : minces films de minéraux ferreux	7	2,6	1,53 à 1,55	Reste clair isotrope	-	-	-	-	
Calcite	Clivages rhomboédriques, dédoublement des arêtes	3	2,58 à 2,75	1,48 à 1,66 Bir. : 0,172	4 x clair 4 x sombre anisotrope	-	Variable : faible à prononcée		-	
Composés										
Doublet, Triplet	Jeu de couleurs en profondeur, bulles rondes sur un même plan, jonction entre les matières visible par le côté	Doublet : même caractéristiques que l'opale employée, la densité dépend de la base								Observation en immersion
		Triplet : le dessus est généralement en verre ou en plastique incolore, avec les caractéristiques correspondantes, la densité dépend de l'ensemble des matériaux utilisés								
Opale Bréchique	Petits grains de sable, aspect très homogène	Morceaux d'opale : mêmes caractéristiques que l'opale employée liant : caractéristiques de la matière utilisée, généralement du ciment								effervescence au chlorhydrique 10 %
	Loupe 10 x Microscope	Dureté	Densité	IR et Biréfr.	Polariscope	Spectre	UVL	UVC	Filtre Chelsea	Autres

## Remerciements et sources

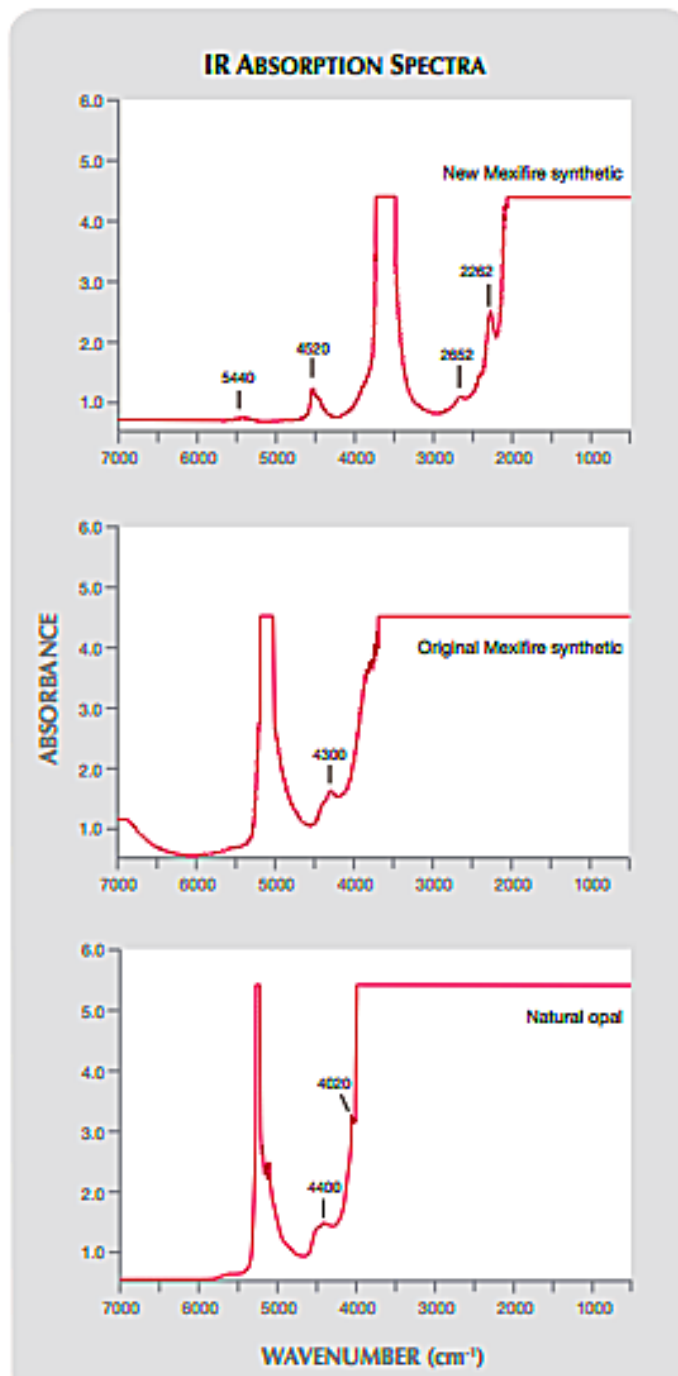
Remerciements :

Agata Cristol, Gemlab, Marseille  
Daniel Gueneau  
Isabelle Pierre  
Philippe Coulon  
Photo du dragon : X. Charbonnier

Sources :

A. Delaunay, « Vers une géochimie de l'opale », Université de Nantes, 2005  
J.-P. Gauthier, « Jeu de couleurs dans les opales naturelles, de synthèse, ou d'imitation »,  
Institut Universitaire de Technologie B, Villeurbanne, 2002  
B. O. Aguilar Reyes, « Etude microstructurale des opales », Université de Nantes, 2004  
E. Gaillou, « Relations entre nanostructure, propriétés physiques et mode de formation  
des opales A et CT », Université de Nantes, 2006  
T. Pradat, Gems-plus, Gemmo-eu  
K. Schmetzer, U. Henn, "Synthetic or imitation ? ", Gems and Gemologie, 1987  
G. Choudhary, R. Bhandari, "A new type of synthetic fire opal",  
Gems and Gemology, 2008  
N. Renfro, SH. F. McClure, "Dyed purple hydrophane opal", Gems and Gemologie, 2011  
L. Tai-An-Lai, "Water immersion reveals dye in fire opal", Gems and Gemologie, 2013  
F. Mazzero, Opalinda  
Österreichische Gemmologische Gesellschaft  
EPI, Institut für Edelsteinprüfung  
Manning Inc., Hongkong  
emeraude.gilson.free.fr  
www.gemmologie.ch  
www15.plala.or.jp/gemuseum/gemhal.html  
[www.cnrs.fr/](http://www.cnrs.fr/), chimie et beauté

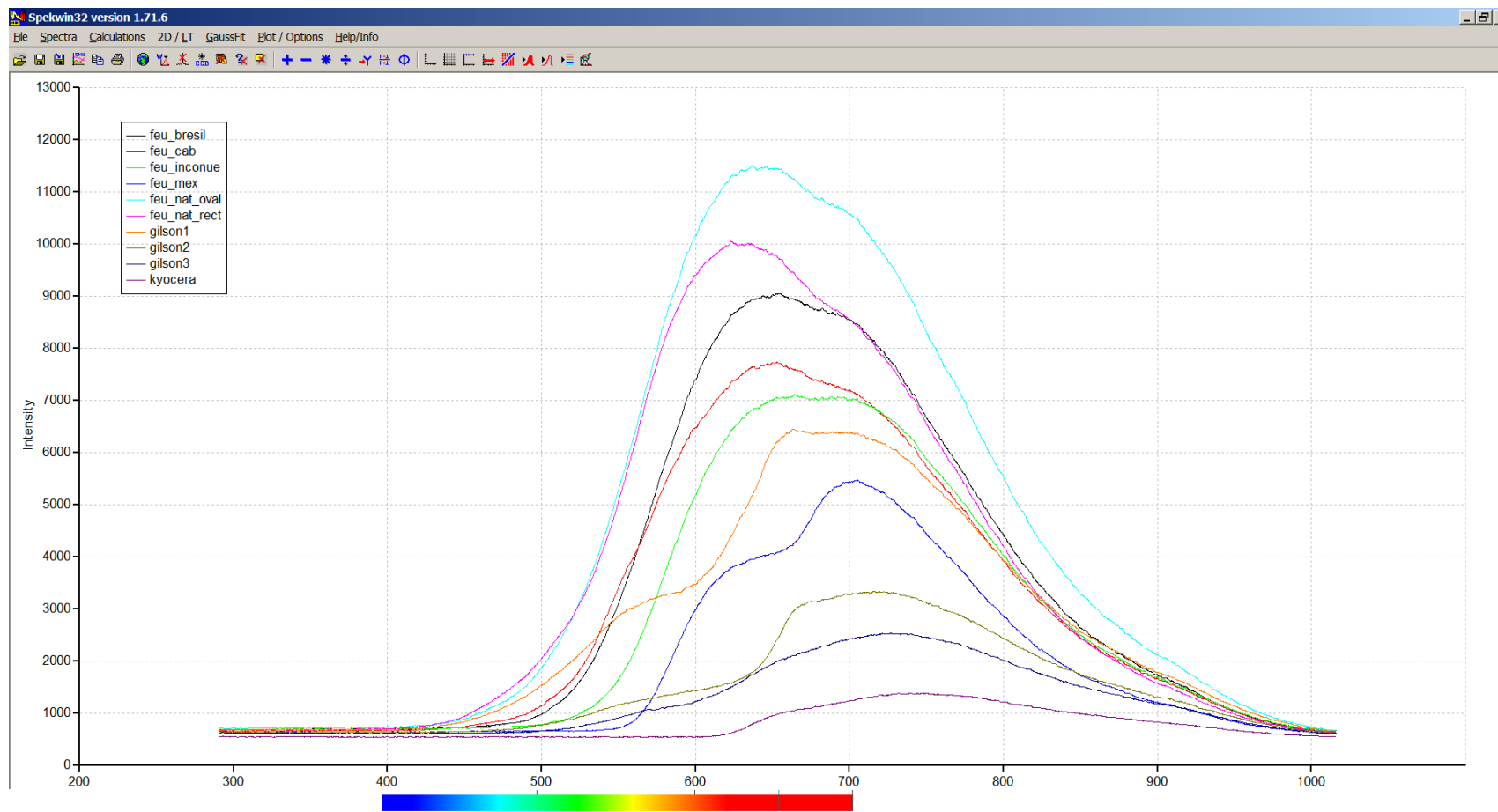




Le spectre infrarouge d'une tranche d'opale synthétique Mexifire de fabrication récente (en haut, 4,75 mm d'épaisseur) est assez différent de celui d'une tranche d'opale de la génération précédente (au centre, 4,75 mm) et de celui des opales naturelles (en bas, 0,6 à 4,0 ct) étudiées par les auteurs (G. Choundhary, R.Bhandari) antérieurement.



Spectre UV-VIS-PIR de 6 opales de feu naturelles, 3 opales synthétiques Gilson, 1 opale synthétique Kyocera



Laboratoire de Gemmologie de Marseille, A. Cristol