

2014-2019

DIPLÔME D'UNIVERSITE DE GEMMOLOGIE

présenté

devant l'Université de Nantes

U.F.R. des Sciences et des Techniques

par

M. Louis Eyben

**Le caractère hydrophane des opales du Wollo en
Ethiopie**

soutenu publiquement le 8 mars 2019

au Département des Sciences de la Terre et de l'Univers

devant la commission d'examen composée de:

M.E.FRITSCH Professeur Président

M.B.RONDEAU Maître de Conférences Vice-Président

M.F.NOTARI Directeur, Gemtechlab Examineur

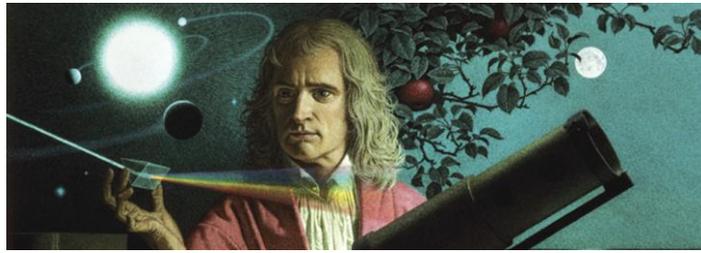
M.C.EWELS Chargé de Recherches Examineur

M.S.KARAMPELAS Directeur de Recherche, Danat Examineur

M.C.LATOCHE Maître de Conférences Examineur

M.B.LASNIER Professeur émérite Invité

M. F. MAZZERO Chercheur Invité



1. REMERCIEMENTS
2. INTRODUCTION
 - a) Généralités
 - b) Minéralogie de l'opale
 - c) L'opale hydrophane
3. LES OPALES de WOLLO
 - a) Différentes origines
 - b) Situation géographique
 - c) Géologie
4. MATERIAUX
 - a) Objectifs et matériaux
5. METHODES
 - a) Instruments
 - b) Mode opératoire
6. RESULTATS
 - a) Gemmologie classique
 - b) Mesures de prise d'eau
 - c) Epreuve de répétabilité
 - d) Spectrométrie Raman
7. DISCUSSION
8. CONCLUSION
9. BIBLIOGRAPHIE
10. ANNEXES

1. REMERCIEMENTS

Je remercie de grand cœur Emmanuel Fritsch et Benjamin Rondeau, qui ont été deux enseignants pédagogues de grande valeur. D'être restés présents, aidants et soutenant lors de l'écriture et l'élaboration de ce mémoire.

Tout spécialement je m'adresse à Emmanuel pour sa présence omniprésente surtout sur la fin de ce travail, je le remercie.

Je remercie Francesco Mazzero pour son accueil, sa profonde humanité, son aide et son attrait pour ce sujet de mémoire.

Je remercie la Société Royale Belge de Gemmologie et ses enseignants de m'avoir aidé, ils se reconnaîtront sans faille.

Je remercie tout particulièrement Muriel Emsens pour son prêt de super appareil photo et conseils photo, sans quoi la qualité n'aurait été la même.

Je remercie, enfin ma famille d'avoir eu des moments de partage du sujet, d'aide informatique, de relecture et d'encouragements sans relâche.

Je remercie Luis, d'avoir confectionné avec moi un pied vertical pour les diverses prises de vue de photographies.

Je remercie Quentin, Carine et Laurent pour qui ils sont

Et membres du jury de bien vouloir juger ce travail.

2. INTRODUCTION

A) Généralités

Les opales sont depuis bien longtemps une source de grand intérêt pour moi. En effet c'est à cette pierre que je dois ma passion pour la gemmologie.

Parler des opales d'Éthiopie est un plaisir que je m'offre afin de mieux connaître cette pierre qui éveille en moi beaucoup de curiosité due à son jeu de couleurs intense ! À mon sens cette pierre reflète et révèle le mystère inscrit dans tout l'univers. Sa richesse et sa diversité des tons me trouvent chaque fois dans l'émerveillement.

« C'est, le feu de l'escarboucle, le pourpre de l'améthyste, le vert éclatant de l'émeraude, brillant ensemble, tantôt séparés, tantôt unis par le plus admirable mélange ». *Pline*

J'ai choisi comme sujet de mémoire l'étude et l'analyse des propriétés qu'elles possèdent d'une part à absorber de l'eau (opale hydrophane) et de l'autre part à la libérer, dans un délai plus ou moins long, de façon à retrouver leur masse spécifique après avoir subi une immersion totale dans l'eau.

B) Minéralogie

L'opale est de la silice amorphe hydrate ou de la cristobalite mal cristallisée hydratée (Fritsch et al, 2012). C'est une gemme tendre avec une dureté comprise entre celle de l'apatite et l'orthose sur l'échelle de Mohs ($5^{1/2}$ - $6^{1/2}$). Sa formule chimique étant $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Les briques atomiques composant l'opale sont arrangées de façon quelconque, irrégulière, sans symétrie (Fig.1). Ces substances auront également une forme quelconque externe. Cette organisation se résume en empilements de petites boules composées de cristobalite ou de silice amorphe et hydratée (SiO_2). Les dimensions de ces boules peuvent être de tailles différentes et ont un diamètre compris entre 150 à 250 nm (Bauer & Bouska, 1985). L'opale contient toujours un peu d'eau (3 à 30%), et peut se déshydrater avec le temps. Ce qui éventuellement peut causer des fissures et diminuer l'iridescence, feux de l'opale noble,(Schumann, 2008) (voir Fig.2).

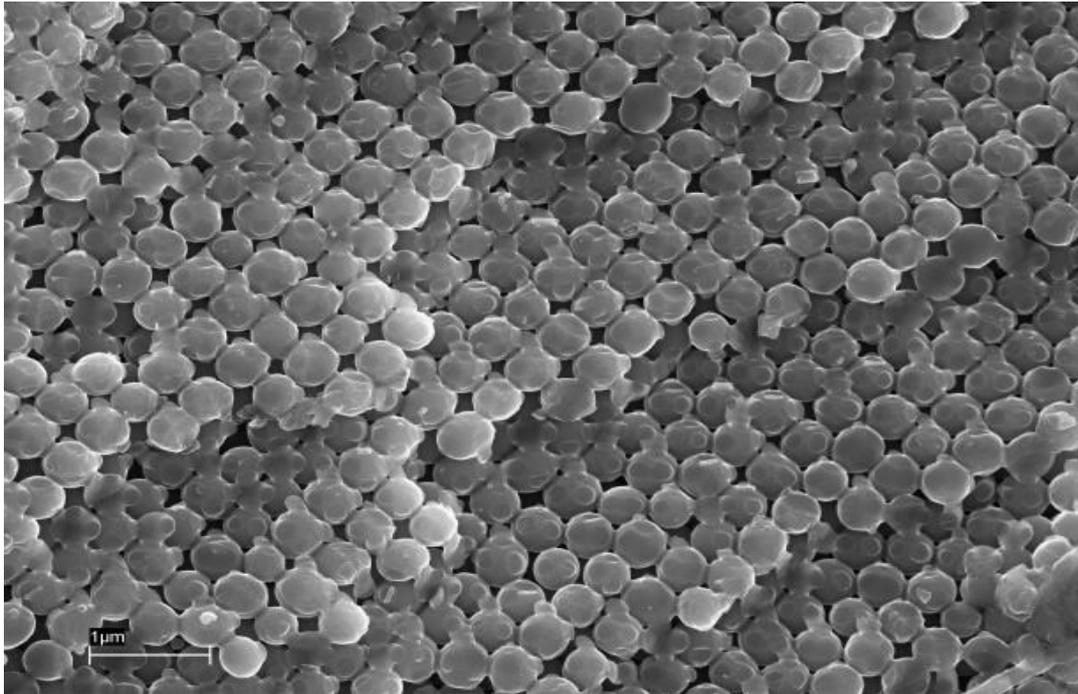


Figure 1. Structure de l'opale représentant une organisation régulière.

Propriétés gemmologiques

Substance amorphe

Dureté / $5^{1/2}$ - $6^{1/2}$

Clivage/ Aucun

Densité/ 1.98 – 2.50

Transparent à opaque

Indice de réfraction (IR)/ 1.37 – 1.52

La couleur du corps des échantillons d'opale que nous avons étudiés étaient transparente, blanche, orange, brun clair et brun foncé.

Classifications

Opale CT

Il s'agit d'une opale avec un arrangement en empilements de tétraèdres ordonnés de silice de type cristobalite et de tridymite. C'est une opale dite volcanique, celle dont nous parlerons dans ce sujet de mémoire.

Opale A

Opale dite amorphe, c'est une opale souvent sédimentaire.

Noble, commune

Opales qui regroupent les CT et les A (gisements principaux en Australie, et plus récemment découverts en Ethiopie)

Ci-dessous, une version schématique de l'irisation, (Fig.2)

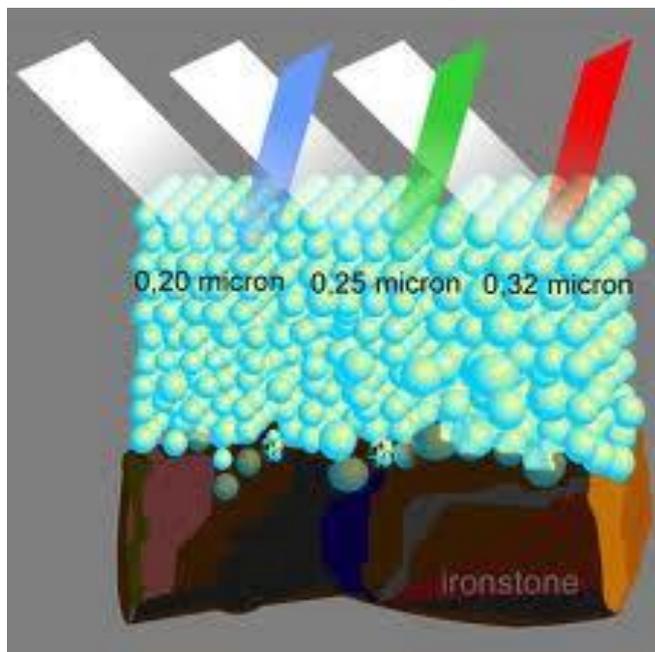


Figure 2. Microstructure de l'opale CT, représentant l'irisation par le phénomène de la diffraction de façon schématique
F. Mazzero

Hydrophane

L'opale hydrophane de classe CT ou A, se dit d'opales poreuses (pouvant se fracturer après absorption d'eau). L'opale maintient toutefois son jeu de couleurs même après saturation en eau, elle devient également plus translucide et quelquefois tout à fait transparente. (cfr. photos en annexe).

C) L'opale hydrophane

L'opale hydrophane est sujet à description depuis le 17ème siècle. C'est en effet Robert de Berquen avec son traité : 'Les merveilles des Indes Occidentales et Orientales' qui y fait allusion. Au 18ème siècle Abraham Gottlob Werner, précise que l'opale hydrophane fait partie de la catégorie des opales communes, « qui n'offre qu'une lumière flottante dans son intérieur, sans aucun de ces reflets vifs et colorés qui brillent dans l'opale noble ».

Plus tard au 20ème siècle Robert M Shipley commente la propriété hydrophane :

« hydrophane is a dehydrated yellowish, brownish or greenish variety of common opal which when immersed in water, becomes more translucent or transparent. Sometimes may exhibit play of color » (Shipley, 1948). Il donne également un autre nom pour l'opale hydrophane : celle qui exhibe un jeu de couleurs (oculus mundi) ou 'œil du monde'.

Cependant les opales éthiopiennes montrent un jeu de couleur sans être immergées dans l'eau. Or les opales éthiopiennes nommées hydrophanes ne sont pas communes mais nobles.

Il existe aussi une possibilité de changements de nomenclature pour l'opale d'origine hydrophane. D'où une brève explication ci-dessous.

Controverse actuelle

Il est question de changer la nomenclature de l'opale. Le Gemstone Industry & Laboratory Conference (GILC), recommande de changer la nomenclature du matériau quand il absorbe de l'eau, il devrait être mentionné comme opale hydrophane. En effet des millions de carats circulent sur le marché de l'opale hydrophane ; ces pierres absorbent de l'eau, de l'huile, ainsi que des colorants. Il est question que toutes ces opales soient vendues en étant précédées du terme 'hydrophane'. Un sujet actuellement en plein débat...

Nomenclature acceptée :

Type 1 - precious opal 'hydrophane'

Type 1 – uniquement de l'opale (non hydrophane/ non poreux)

Dans l'article paru dans UniGem écrit par Olivier Segura et Emmanuel Fritsch, il serait de dire qu'après un temps donné de 5 minutes d'immersion dans l'eau, l'opale qui est au-delà de 4% d'absorption d'eau est impropre à la vente, ou trop fragile pour l'usage en bijouterie-joaillerie et serait qualifiée d'hydrophane. La plupart des échantillons analysés, sont pratiquement tous au-dessus de 4% d'absorption. Il y a quelques exceptions. Un commentaire intéressant d'un négociant de pierres est le suivant, il constate que les opales dites "cristal" pas ou peu absorbantes sont plus susceptibles d'être fragiles que les opales blanches (white body colour) qui sont absorbantes (commentaire personnel d'Abouchar, 2018).

3. LES OPALES du WOLLO

A) Différentes origines

L'opale d'Ethiopie provenant du Wollo a été découverte en 2008. Plusieurs gisements sont répertoriés dans ce pays. Ceux du Shewa (Mezezo) et du Wollo (Wegeltena) sont sans doute les plus connus. Le gisement de Mezezo est à 250 km au nord-est d'Addis Ababa, la capitale d'Ethiopie situé au centre du pays. Le gisement de Wegeltena à environ 500 km de la capitale se trouve dans la région du Wollo. Les deux gisements sont localisés sur les hauts plateaux d'Abyssinie. (voir Fig. 3). En Ethiopie les opales ont d'abord été découvertes à Mezezo dans les années 90. Elles sont cependant en grande partie hydrophanes et fragiles, ce qui limite leur emploi en joaillerie, (Johnson et al., 1996). Ce n'est pas le cas des opales du Wollo qui ont trouvé un marché. Il existe également des opales, qui sont classées comme hydrophanes au Mexique, aux USA et parfois en Australie. C'est en Ethiopie que l'on trouve le plus grand nombre de ces opales hydrophanes.

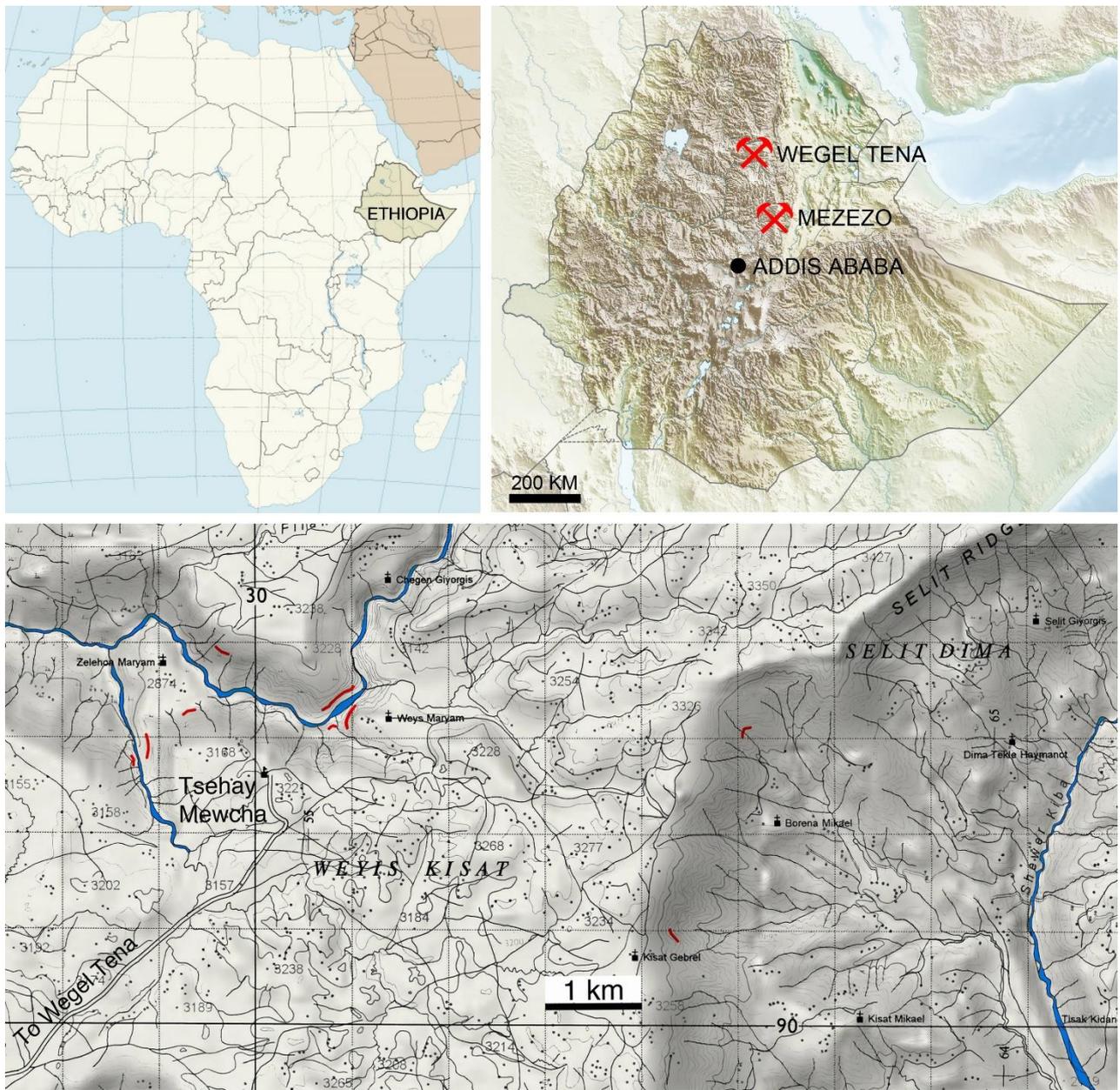


Figure 3. L'Ethiopie se trouve dans le Nord du continent africain, ci-contre y figurent les deux gisements, en dessous une carte avec les gisements d'opales en rouge.



Figure 4. Le gisement du Wollo est située dans le nord de l’Ethiopie, aux alentours du village de Wegeltena (Rondeauet al 2010).

La découverte des premières opales de Mezezo eu lieu en février 1994 en Ethiopie, (Barot, 1994).

Ces opales sont formées en nodules, extraites à la main car résistent très mal au dynamitage suite à leurs grande fragilité. Dans le rapport du G&G de 1996, il y est reporté que sur un certain échantillonnage, une opale a éclatée suite à une exposition à la lumière et une température de 68°C (soit 155°F) d’une période de 24 heures (Johnson et al., 1996).

B) Situation géographique

L’Ethiopie est située en Afrique du Nord Est (corne de l’Afrique) entre le Tropique du Cancer et l’Equateur. Ayant comme végétation naturelle, des savanes arborées humides et sèches ainsi que des végétations de haute montagne à certains endroits. Ses pays limitrophes sont l’Erythrée et le Djibouti au Nord, la Somalie à l’Est, le Kenya au Sud et le Soudan à l’Ouest (Charlier et al, 2004). Les hauts plateaux d’Ethiopie occupent une superficie de plus de 5200 000 km² et abritent plus de 80% des hauts sommets du continent. Qualifiée de “toit de l’Afrique”, cette région aux nombreux sommets entre 4000 et 4600m d’altitude présente peu de zones en dessous de 1500m d’altitude. De grands fleuves comme le Nil Bleu y prennent source.

C) Géologie

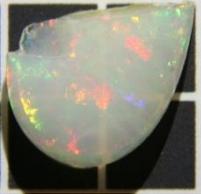
La région du Wegeltena et du Mezezo ont une situation géologique très favorable à l’opale. Les opales de Mezezo se trouvent essentiellement sous forme de nodules. Le gisement du Wegeltena est volcano-sédimentaire, de l’opale CT donc. L’opale se trouve à flanc de falaises en couches de 1m à 1.5m d’épaisseur, sur de grandes longueurs (plusieurs centaines de mètres).

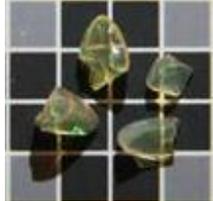
4. MATERIAUX

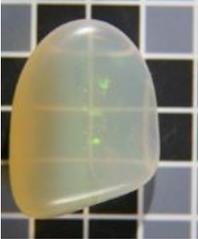
Prêt de la part de Benjamin Rondeau et don de la part de Francesco Mazzero, (Nom de l’échantillon, masse en carats et dimension de l’échantillon Longueur x largeur x hauteur) Fig.4

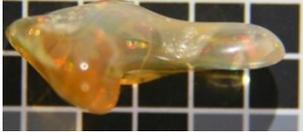
Seuls 6 échantillons (tableau ci-dessous) ont fait l’objet d’une série comptée de mesure. 21 autres échantillons ont fait l’objet de simples observations du caractère hydrophane

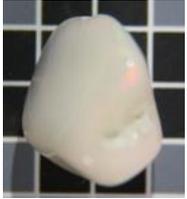
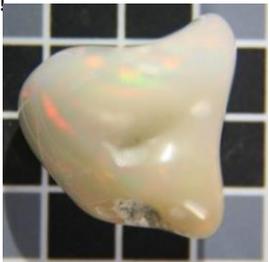
A) Objectifs et matériaux : Tableau 4 échantillonnage

<u>LE01</u>	<u>1.878cts</u>	<u>7.70 x 9.00 x 5.20mm</u>	
<u>LE02</u>	<u>1.828cts</u>	<u>8.60 x 8.30 x 5.20mm</u>	

<u>LE03</u>	<u>2.986cts</u>	<u>20.08 x 7.90 x 4.30mm</u>	 A single, elongated, oval-shaped opal with a smooth surface, showing iridescent colors of green, yellow, and orange against a white background.
<u>LE04</u>	<u>1.491cts</u>	<u>8.80 x 7.80 x 4.80mm</u>	 A cluster of several small, irregularly shaped opal pieces, some showing iridescent colors and others appearing more translucent.
<u>LE05</u>	<u>0.522ct</u>	<u>6.00 x 4.00 x 4.10mm</u>	 A small, rounded, dome-shaped opal with a smooth surface, showing iridescent colors of blue, green, and yellow.
<u>LE06</u>	<u>2.286cts</u>	<u>10.09 x 8.00 x 6.07mm</u>	 A single, irregularly shaped opal with a smooth surface, showing iridescent colors of red, orange, and yellow.
<u>LE07</u>	<u>5.535cts</u>	<u>17.70 x 12.15 x 3.25mm</u>	 A large, irregularly shaped opal with a smooth surface, showing iridescent colors of blue, green, and yellow, with some internal inclusions.

<u>LE08</u>	<u>5.890cts</u>	<u>16.50 x 10.65 x</u> <u>3.15mm</u>	 A photograph of an opal specimen, LE08, which is a smooth, oval-shaped stone with a pale yellowish-white base color and subtle iridescent flashes of green and blue. It is set against a white grid background.
<u>LE09</u>	<u>6.100cts</u>	<u>15.40 x 13.30 x</u> <u>3.05mm</u>	 A photograph of an opal specimen, LE09, showing a more irregular, rounded shape. It has a light blue base color with prominent iridescent flashes of red, orange, and yellow. It is set against a white grid background.
<u>LE10</u>	<u>5.715cts</u>	<u>11.70 x 8.45 x</u> <u>3.05mm</u>	 A photograph of an opal specimen, LE10, which is an irregularly shaped stone with a clear, colorless base. It exhibits very strong and vibrant iridescent flashes of red, green, and blue. It is set against a white grid background.
<u>LE11</u>	<u>3.610cts</u>	<u>16.00 x 11.75 x</u> <u>6.30mm</u>	 A photograph of an opal specimen, LE11, which is a smooth, oval-shaped stone with a uniform, warm brownish-orange color. It is set against a white grid background.
<u>LE12</u>	<u>5.700cts</u>	<u>16.55 x 17.95 x</u> <u>9.20mm</u>	 A photograph of an opal specimen, LE12, which is a large, somewhat rectangular stone with a light, milky white base color. It shows iridescent flashes of red, green, and blue. It is set against a white grid background.
<u>LE13</u>	<u>6.425cts</u>	<u>11.95 x 11.20 x</u> <u>11.50mm</u>	 A photograph of an opal specimen, LE13, which is an irregularly shaped stone with a light yellowish base color. It exhibits iridescent flashes of green and blue. It is set against a white grid background.

<u>LE14</u>	<u>5.350cts</u>	<u>16.30 x 11.60 x</u> <u>9.40mm</u>	
<u>LE15</u>	<u>6.700cts</u>	<u>22.45 x 9.90 x</u> <u>7.75mm</u>	
<u>LE16</u>	<u>5.895cts</u>	<u>14.50 x 13.45 x</u> <u>6.10mm</u>	
<u>LE17</u>	<u>10.095cts</u>	<u>15.20 x 11.40 x</u> <u>10.90mm</u>	
<u>LE18</u>	<u>6.860cts</u>	<u>24.75 x 11.55 x</u> <u>8.00mm</u>	
<u>LE19</u>	<u>8.530cts</u>	<u>19.45 x 14.50 x</u> <u>16.20mm</u>	
<u>LE20</u>	<u>3.740cts</u>	<u>14.60 x 8.40 x</u> <u>6.65mm</u>	

<u>LE21</u>	<u>8.185cts</u>	<u>14.75 x 11.45 x 10.90mm</u>	
<u>LE22</u>	<u>6.725cts</u>	<u>19.50 x 12.00 x 8.75mm</u>	
<u>LE23</u>	<u>6.040cts</u>	<u>17.30 x 14.55 x 7.45mm</u>	
<u>LE24</u>	<u>8.280cts</u>	<u>16.40 x 12.60 x 9.05mm</u>	
<u>LE25</u>	<u>7.290cts</u>	<u>10.15 x 13.45 x 8.00mm</u>	
<u>LE26</u>	<u>9.025cts</u>	<u>15.10 x 10.60 x 11.40mm</u>	

<p><u>LE27</u></p>	<p><u>8.660cts</u></p>	<p><u>17.45 x 11.25 x</u> <u>10.20mm</u></p>	
---------------------------	-------------------------------	--	---

5. METHODES

A) Instruments

- Une Lampe UV, Bioblock scientific, VL.215.LC (254 nm=UVC rayonnement ultra violet court; 365 nm/ UVL rayonnement ultraviolet long), Tubes de 15 Watt. Puissance de 30W.

Eclairé à une distance de 7cm des tubes. Fig. 5

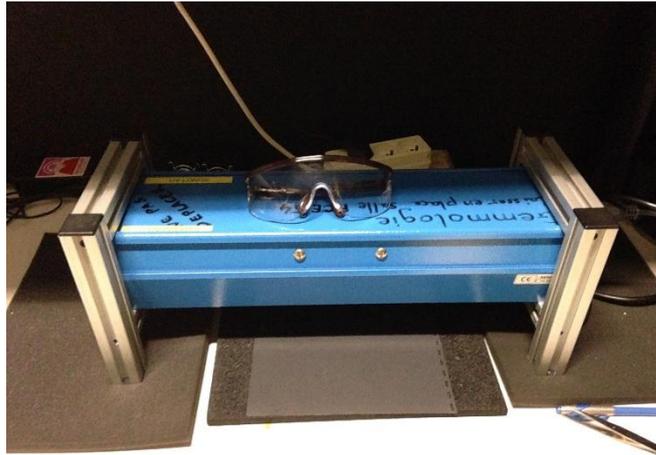


Figure.5 Lampe UV.

- Une balance Gem, précise au 0.001cts, Fig.6



Figure.6 Balance, source internet

- Un appareil photo CANON EOS5, avec un bague 31 mm et une bague macro, Fig.7



Figure.7 Appareil Photo du type utilisé

- Une lampe LED Lenser appliquée au pied vertical, Fig.8 montée sur un pied vertical qui maintient l'appareil photo à 5,5 cm de l'échantillon, dans le but de conserver toujours les mêmes conditions d'éclairage et d'exposition.



Figure 8. Lampe LED et pied vertical

- Un four Severin réglable à basse température (25° et 40° utilisés ; Fig.9)



Figure 9. Four Severin , source internet

- Un support papier quadrillé (1 carré = 5 mm), (Fig10)

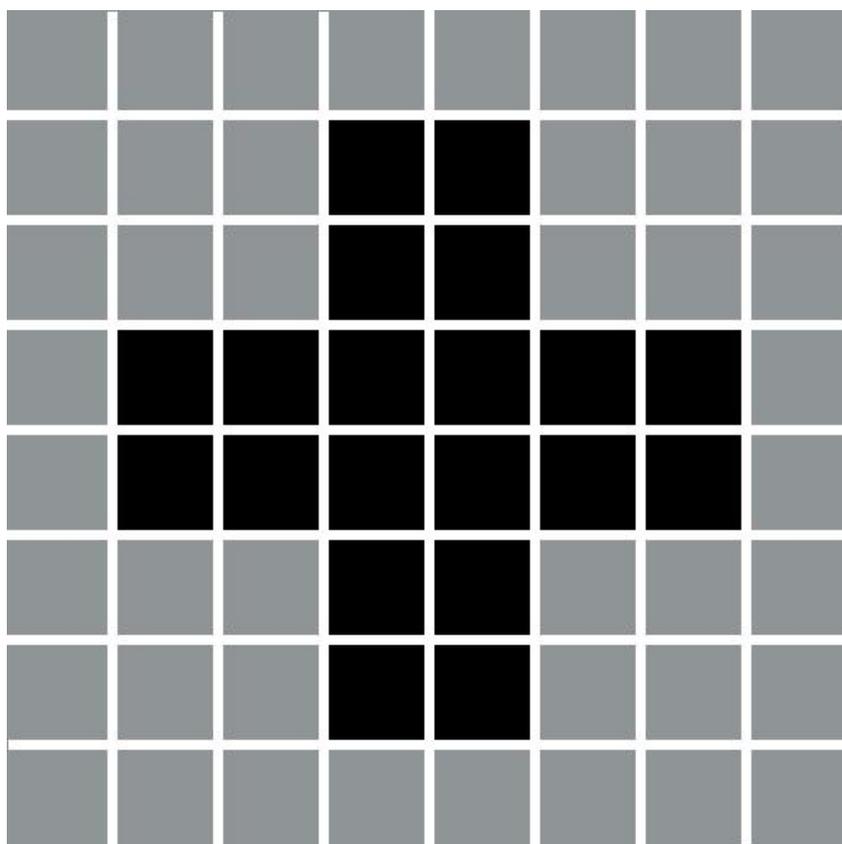


Figure 10. Support papier, (F. Mazzero)

Le but est de tester la transparence de l'opale hydrophane avant et après imprégnation dans l'eau. Ce support papier nous a permis d'analyser l'avancement de l'absorption en eau des échantillons, ce qui était très visible grâce à ce quadrillage. La couleur noir au centre, rendant plus visible les échantillons avant l'absorption complète en eau.

Spectrométrie de diffusion Raman.

Les analyses ont toutes été effectuées sur un Raman à transformée de Fourier, (Figure 11, ci-dessous) modèle Multiram de chez Brüker, il comprend un laser YAG :Nd³⁺ à la longueur d'onde de 1064nm. La puissance du laser d'excitation pour les analyses a été fixée à 270 mW . 1000 scans ont été accumulés pour chaque mesure. Pour chaque échantillon, les spectres ont été obtenu à l'état « sec » puis après saturation en eau

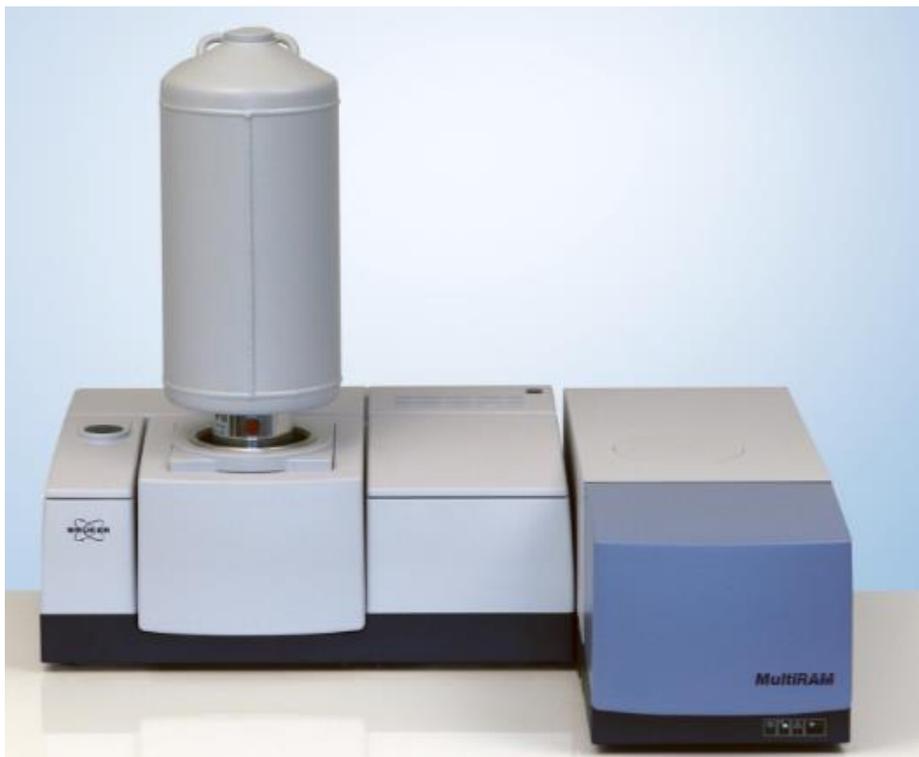


Figure 11. Raman à transformée de Fourier utilisé pour les analyses d'opales.

B) Mode opératoire

Muni d'une « piscine à opale » bécber de 100 ml rempli d'eau (Cfr. Fig.10), j'ai calculé pour chaque échantillon le moment où l'absorption d'eau était à son plus haut (varie de 20 min à +/- 80 min). Ensuite j'ai obtenu son spectre à l'aide du Raman (transformée de Fourier). Les conditions de mesure ont été faites à l'eau de ville, ainsi qu'à température ambiante.



Figure 10. Ci-dessous, voici la "piscine à opales"

Simulation des courbes de prise d'eau

Nous avons choisi le logiciel "Ploty" (www.ploty.ly) pour simuler ou "fitter" les courbes de prise d'eau. La courbe ressemble à une croissance exponentielle négative. Toutes les courbes montrent une croissance qui tend vers une valeur limite.

La formule utilisée est donc :

$$Y = A - B * \exp(-K * x)$$

A= masse maximum attendu = plateau.

B= différence de poids entre le "plateau" et le poids d'origine. K= rate constant = constant de vitesse -

y= valeur de la masse

x= valeur du temps

exp= exponentiel

Calcul de fx et r2

répétabilité de la prise d'eau

L'épreuve de répétabilité s'est effectuée avec 5 échantillons (LE 01, LE 07, LE 08, LE 09 et LE 10). Tous ces échantillons ont été taillés en lames minces d'une épaisseur de +/- 3mm, d'une part pour mieux pouvoir évaluer la transparence ainsi que l'avancement de l'absorption d'eau des échantillons, et d'autre part à voir si le fait de les avoir taillés allait modifier leur caractère hydrophane. Les mêmes mesures ont été effectuées.

6. RESULTATS

A) Gemmologie classique

Indice de réfraction : Je ne les ai pas mesurés car non utiles pour ce travail de recherche.

Masse spécifique : la masse spécifique pour nos échantillons varie entre 3,780 et 10,250 g/cm³

Happe à la langue ou pas :

<i>Fortement</i>	<i>Moyennement</i>	<i>Faiblement</i>	<i>Pas du tout</i>
<i>LE 08</i>	<i>LE 09 et LE 11</i>	<i>LE 15 et LE 22</i>	<i>Tous les autres</i>

Inclusions

Nous avons pas détecté d'inclusions dans l'échantillonnage, des fissures sont apparues avec les différentes mesures effectuées, et se sont aussi encrassées.

Suite aux analyses certains échantillons se sont scindés en plusieurs morceaux.

Les plus notables étant LE 04, LE 07, LE 08 et LE 10.

luminescence U.V (tableau ci-dessous)

Nous avons uniquement observé une fluorescence aux UVC pour les échantillons secs. les échantillons à saturation en eau sont restées inertes sous UVC et UVL.

	<i>UVC (couleur/ intensité)</i>	<i>UVL (couleur/ intensité)</i>
<i>LE01</i>	<i>Blanchâtre/ fort</i>	<i>inerte</i>
<i>LE02</i>	<i>inerte</i>	<i>inerte</i>
<i>LE03</i>	<i>Blanchâtre/ fort</i>	<i>Blanchâtre/ faible</i>

LE04	<i>inerte</i>	<i>inerte</i>
LE05	<i>Blanc/ fort</i>	<i>inerte</i>
LE06	<i>inerte</i>	<i>inerte</i>

B) Mesures de la prise d'eau

Première prise d'eau

L'échantillon LE01 montre un changement d'aspect net au cours de la première prise d'eau (figure A les 4 photos) et la prise d'eau ralenti beaucoup au-delà d'environ 1 h d'immersion figure B courbe

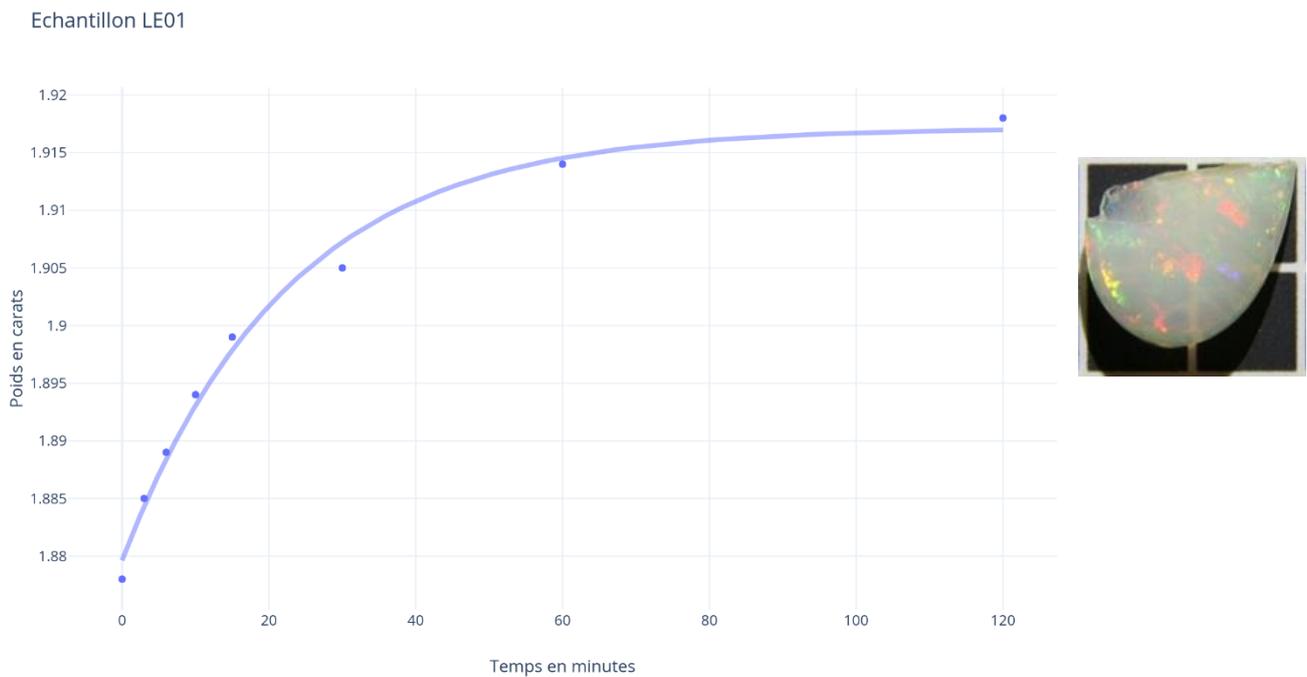


Figure 12. L'échantillon LE01, atteint son plateau après 2h d'immersion.

Echantillon LE02

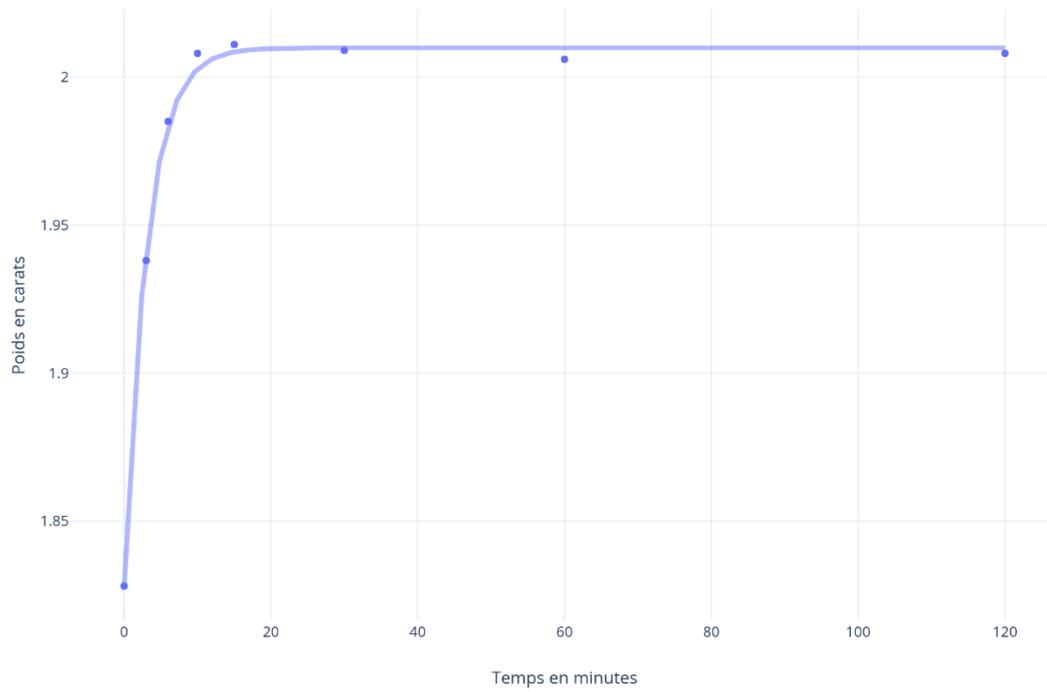


Figure 13. L'échantillon LE02 atteint son plateau après +/- 15 minutes d'immersion dans l'eau.

Echantillon LE03

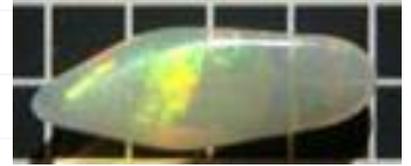
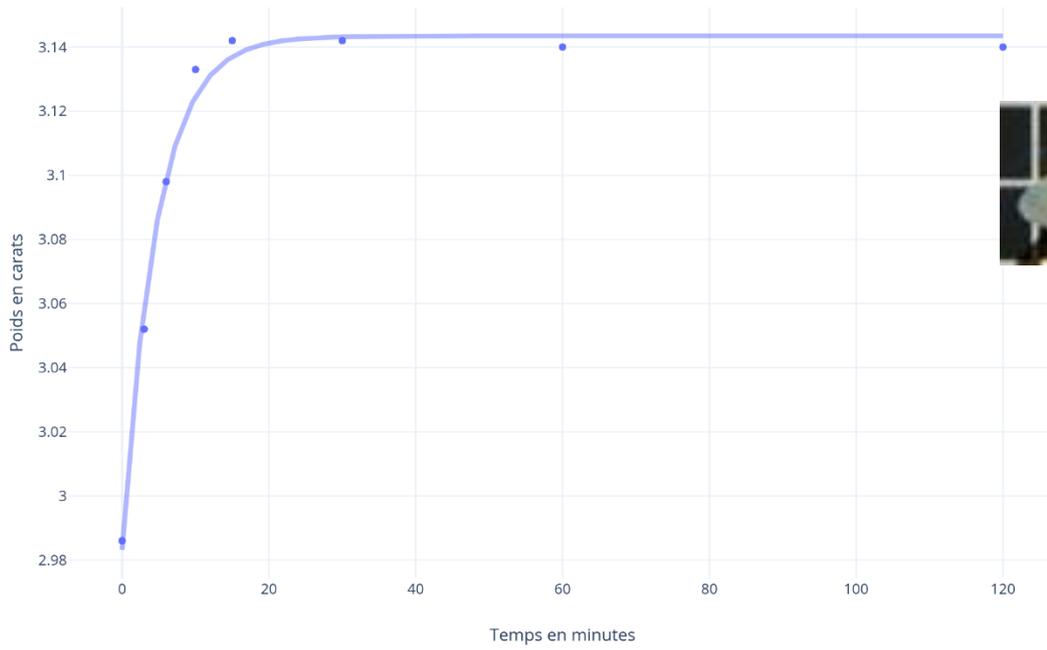


Figure 14. L'échantillon LE 03 arrive en 20 minutes à son plateau.

Echantillon LE04

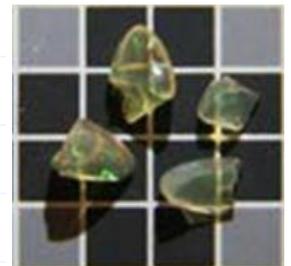
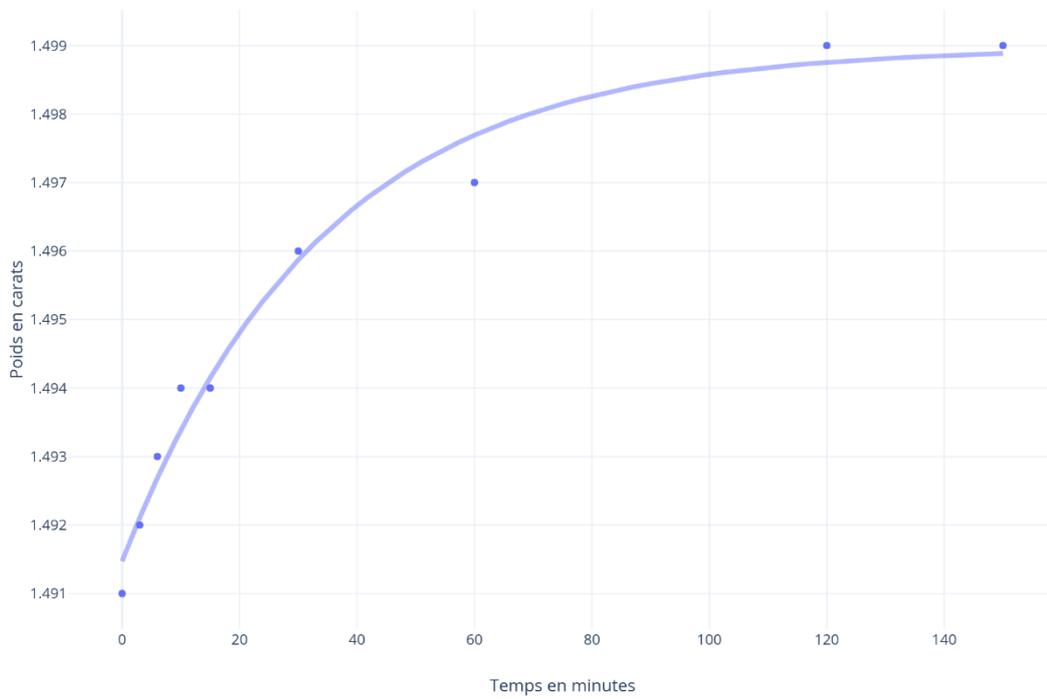


Figure 15. L'échantillon LE 04 arrive à saturation en 2 heures.

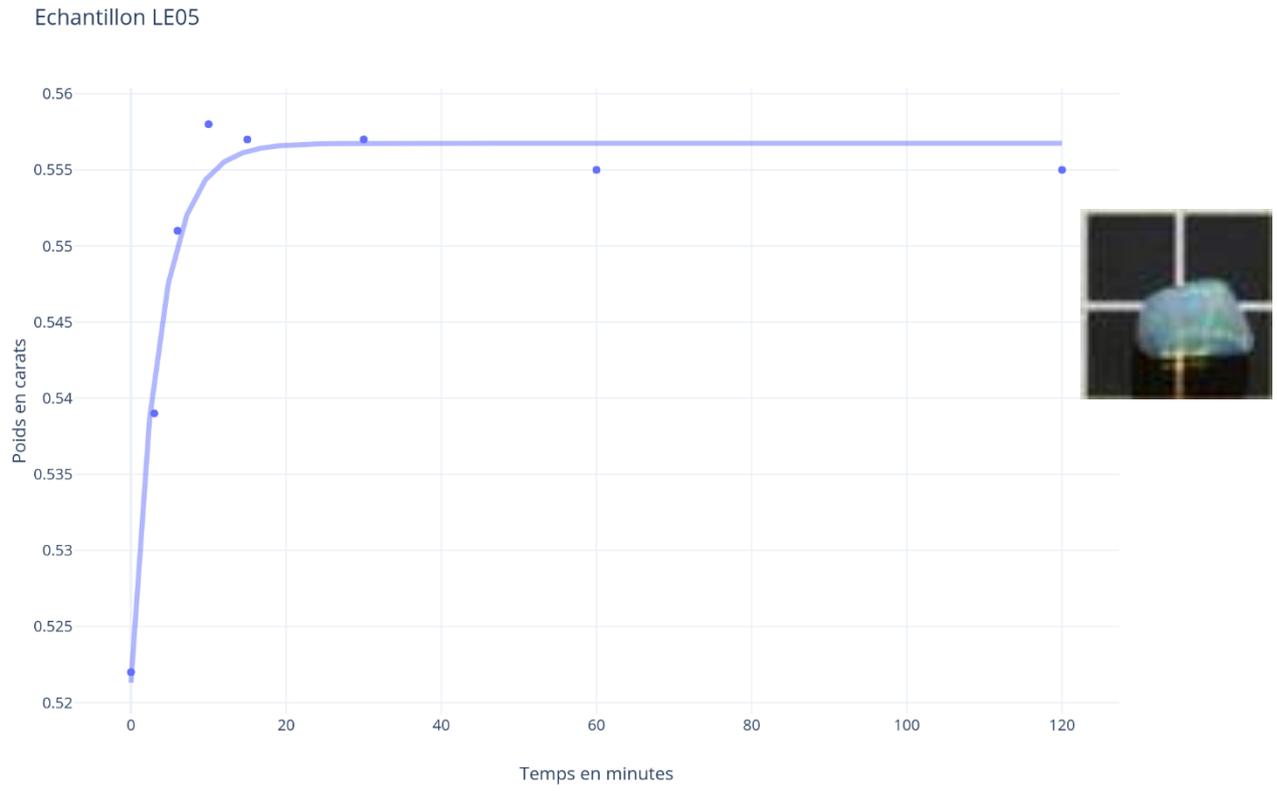


Figure 16. L'échantillon LE05 arrive à saturation en 15 minutes.

Echantillon LE06

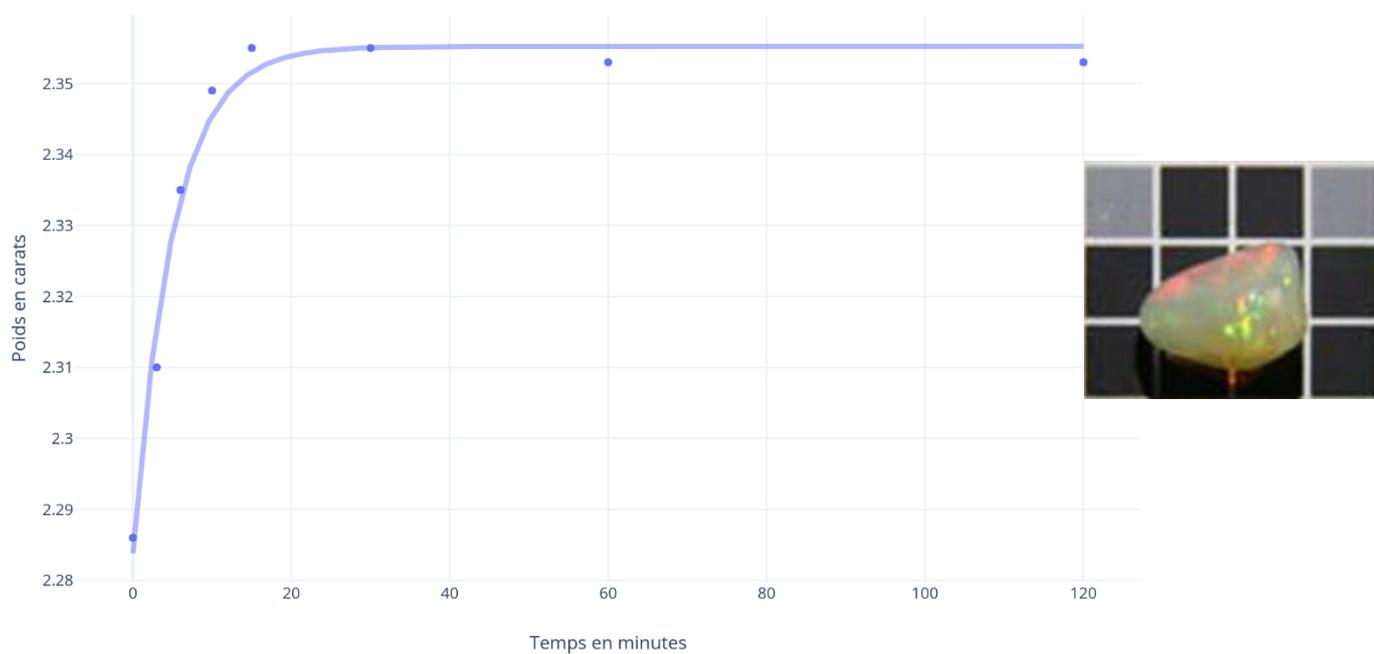


Figure 17. L'échantillon LE 06 arrive à saturation après 40 minutes.

Tableau n3 ci-dessous : pourcentage d'eau incorporé lors de la prise d'eau par les 27 échantillons

<u>Numéro d'échantillon</u>	<u>Poids à sec (ct)</u>	<u>Poids à saturation d'eau (ct)</u>	<u>Différence</u>	<u>% de poids supplémentaire</u>
LE 01	1.878	1.918	0.04	2.13%
LE 02	1.828	2.008	0.18	9.85%
LE 03	2.986	3.142	0.16	5.22%
LE 04	1.491	1.499	0.008	0.54%
LE 05	0.522	0.555	0.033	6.32%
LE 06	2.286	2.353	0.067	2.93%
LE 07	5.535	5.620	0.085	1.53%
LE 08	5.890	7.175	1.28	21.82%
LE 09	6.100	6.690	0.59	9.67%
LE 10	5.715	6.215	0.5	8.75%
LE 11	3.610	4.670	1.06	29.36%
LE 12	5.700	6.175	0.47	8.33%
LE 13	6.425	6.870	0.44	6.93%
LE 14	5.350	6.130	0.78	14.58%
LE 15	6.700	7.585	0.88	13.21%
LE 16	5.895	6.445	0.55	9.33%
LE 17	10.095	11.005	0.91	9.01%
LE 18	6.860	6.935	0.075	1.09%
LE 19	8.530	9.435	0.90	10.61%
LE 20	3.740	4.165	0.42	11.36%
LE 21	8.185	8.730	0.54	6.66%
LE 22	6.725	7.955	1.23	18.29%
LE 23	6.040	6.795	0.75	12.5%
LE 24	8.280	8.655	0.37	4.53%
LE 25	7.290	8.055	0.76	10.49%
LE 26	9.025	9.315	0.29	3.21%
LE 27	8.660	9.330	0.67	7.74%

C) Epreuve de la répétabilité

La série d'échantillons présentés ci-dessous ont un graphe présentant l'échantillon en pierre roulé et l'autre graphe présente ce même échantillon qui a été taillé en lame mince de +/- 3mm. Nous présentons ici LE01, LE07, LE08, LE09 et LE10.

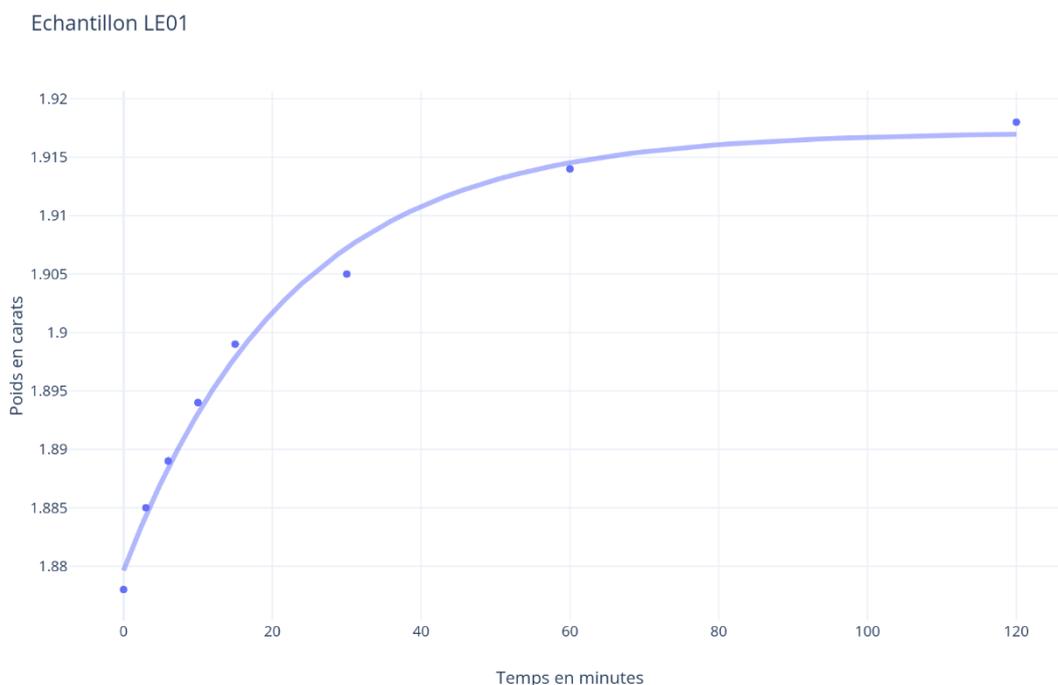
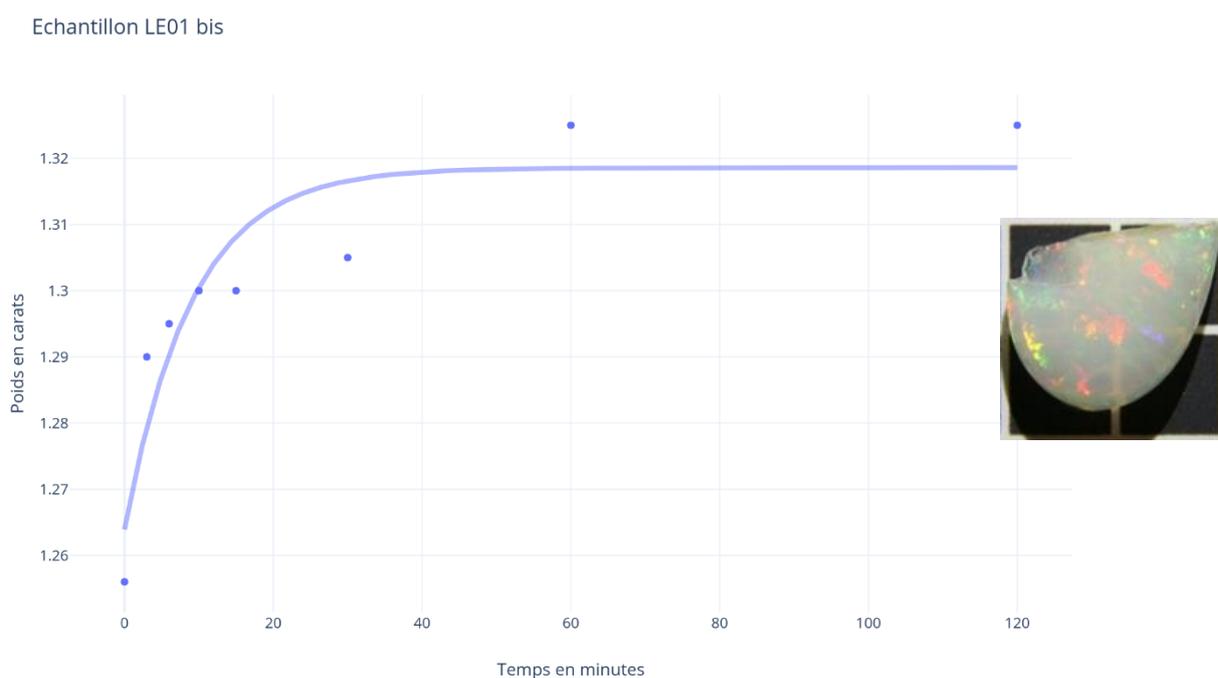
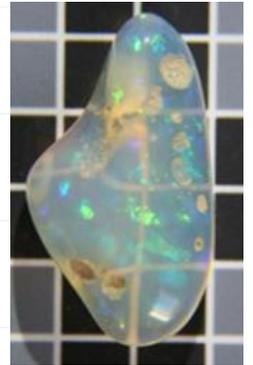
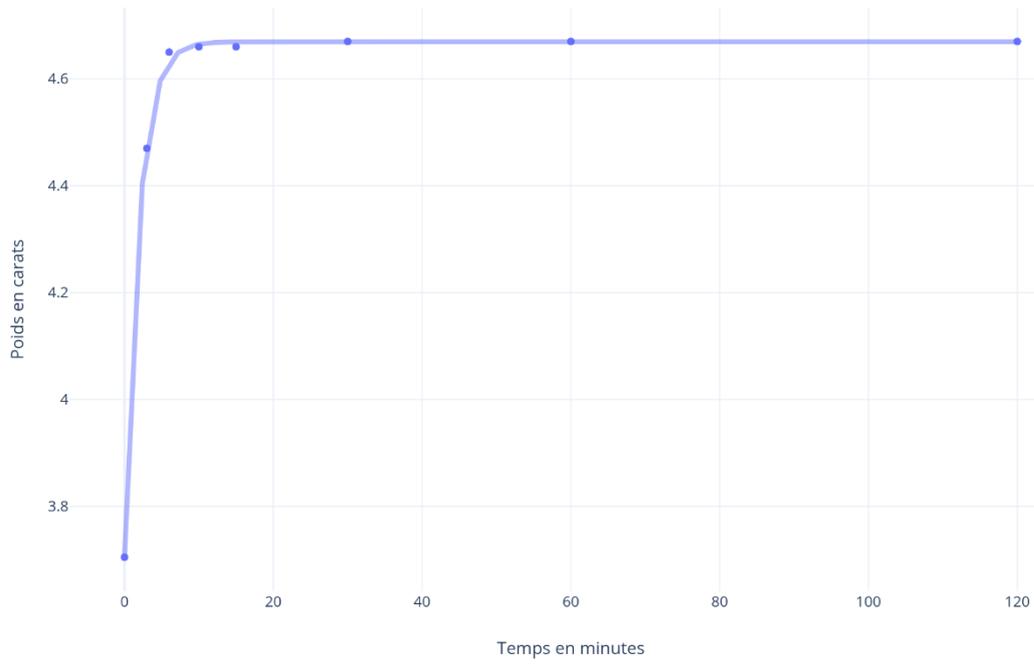


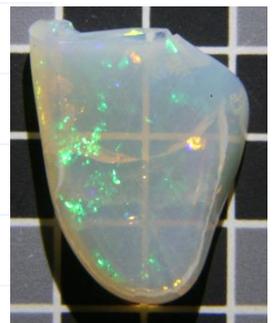
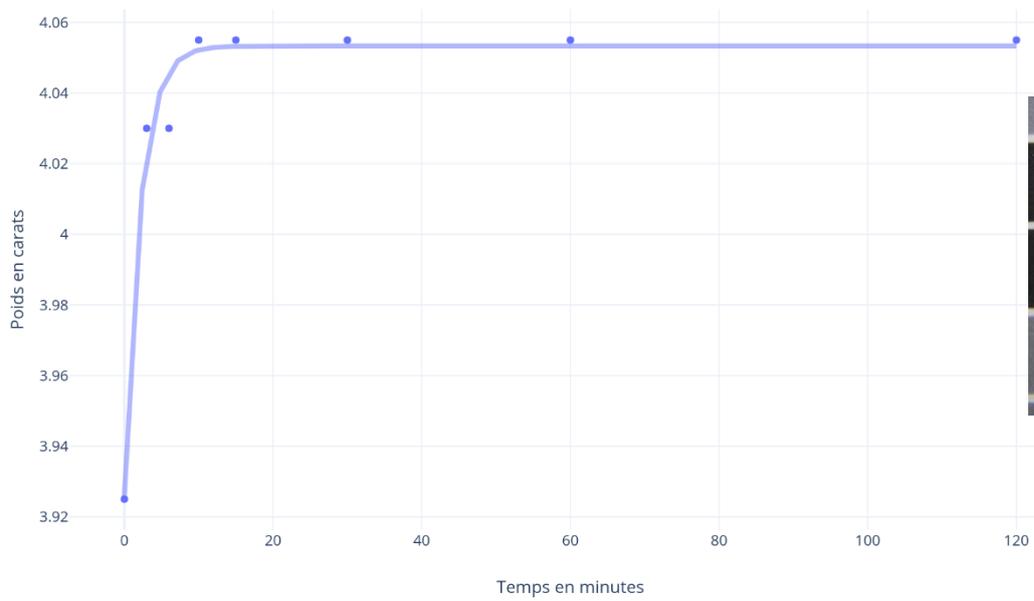
Figure 18. L'échantillon LE 01 atteint vaguement son plateau à 120 minutes. La deuxième courbe d'eau, est l'échantillon taillé en lame mince.



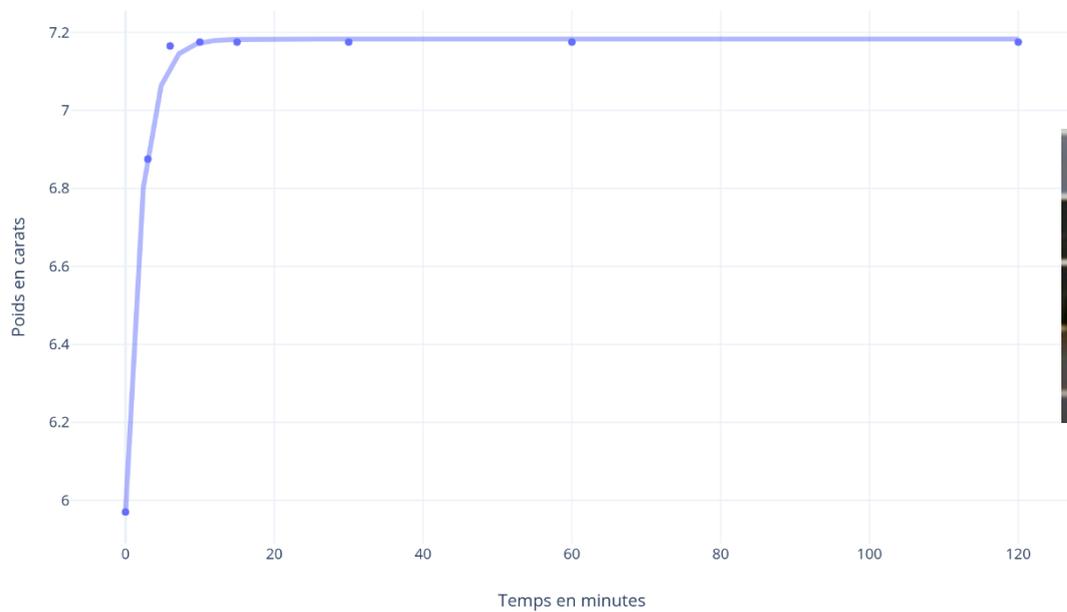
Echantillon LE07



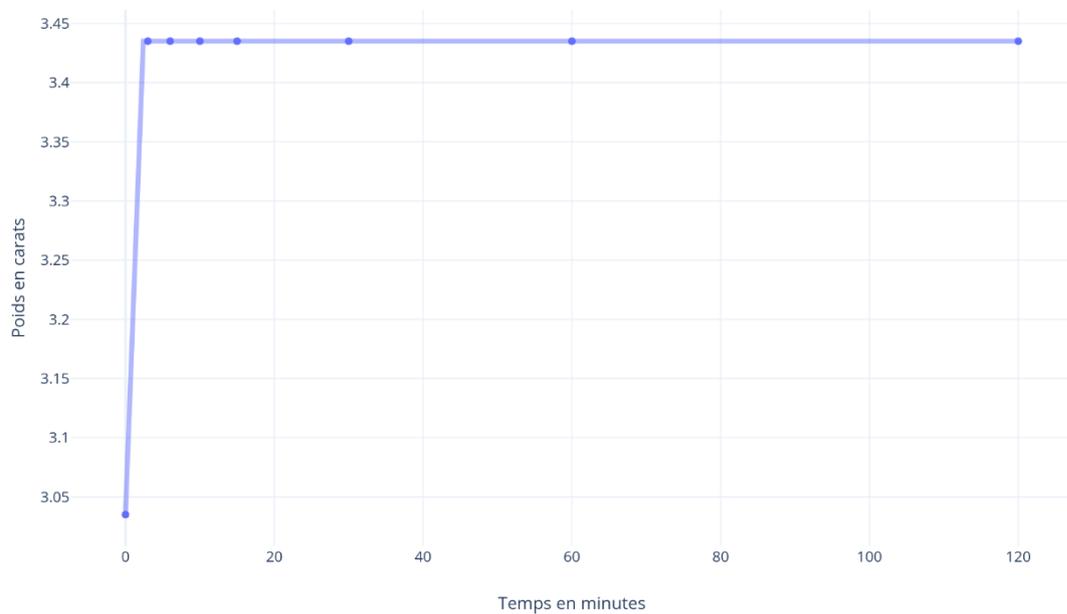
Echantillon LE07 bis



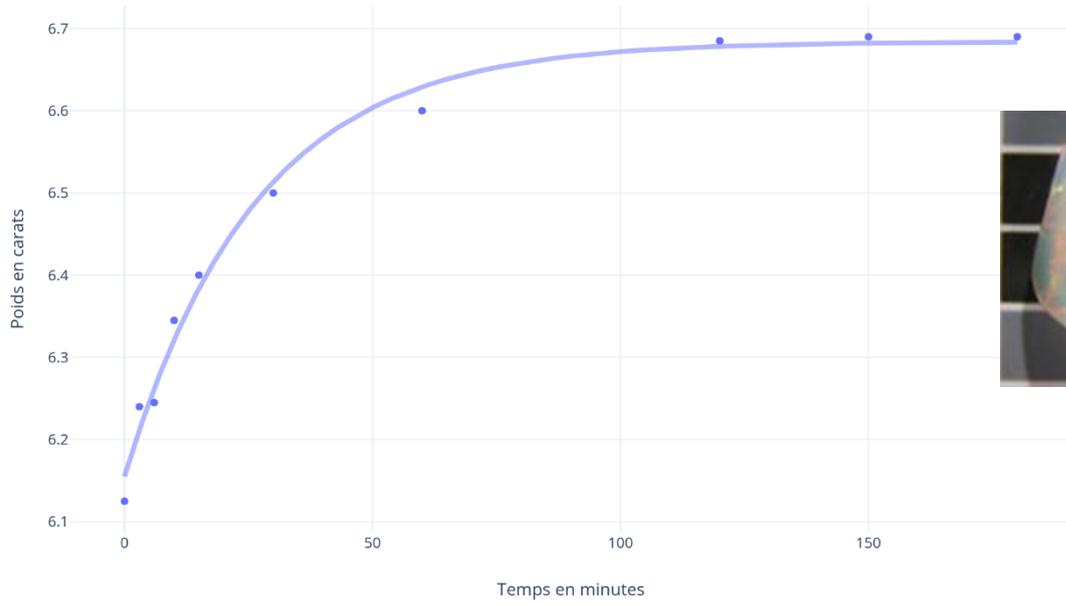
Echantillon LE08



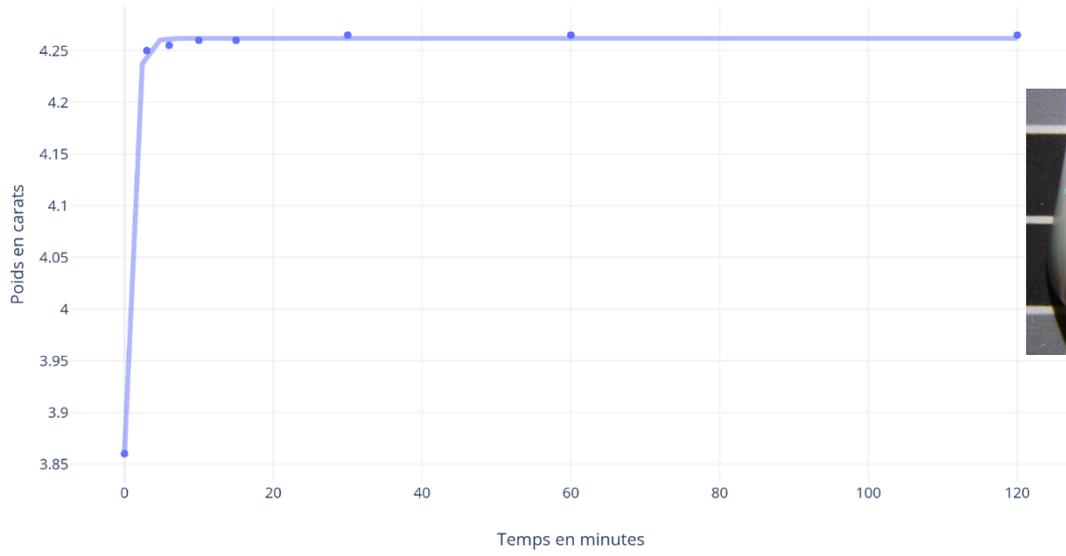
Echantillon LE08 bis



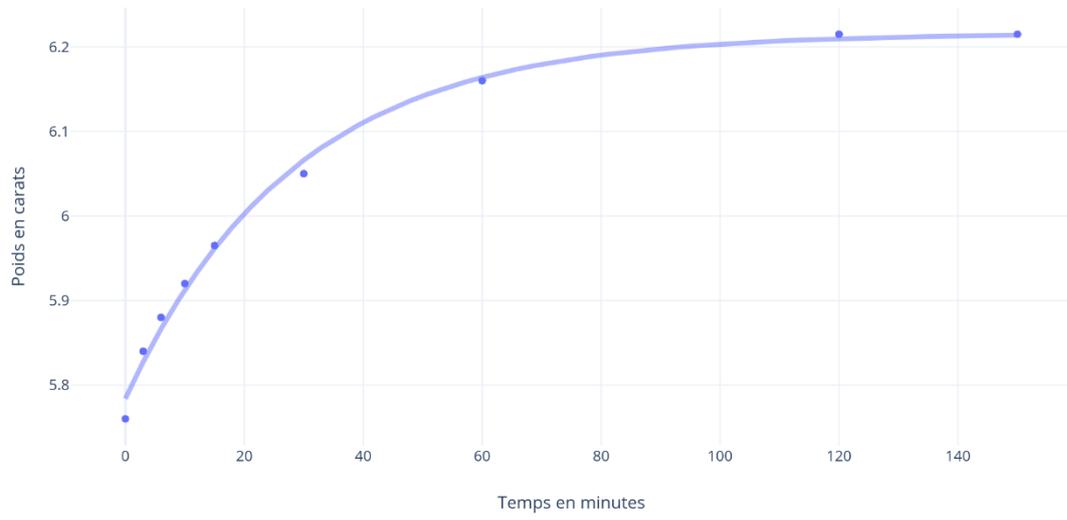
Echantillon LE09



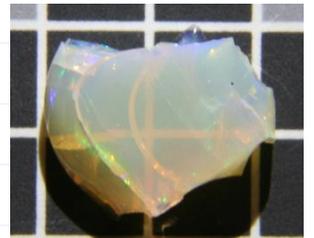
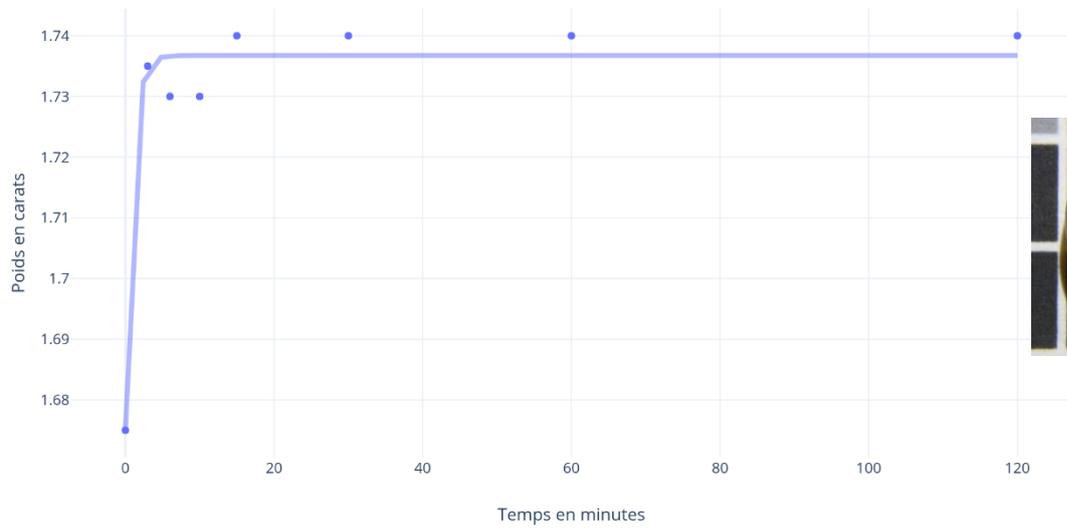
Echantillon LE09 bis



Echantillon LE10



Echantillon LE10 bis



Le tableau ci-dessous démontre que les pourcentages d'absorption a changé avec les échantillons d'opales qui ont été taillés en lame minces.

<u>Numéro d'échantillon</u>	<u>Poids à sec (ct)</u>	<u>Poids à saturation d'eau (ct)</u>	<u>Différence</u>	<u>% de poids supplémentaire</u>
LE 01	1.290	1.325	0.035	2.71%
LE 07	3.925	4.055	0.13	3.31%
LE 08	3.035	3.435	0.4	13.18%
LE 09	3.860	4.265	0.405	10.49%
LE 10	1.675	1.745	0.07	4.18%

Tableau de résultats des mesures rassemblées des 27 échantillons. On a regroupé dans la figure ci-dessus le temps nécessaire pour arriver au début du plateau, pour chaque échantillon. Cela donne une idée du temps nécessaire pour "saturer" l'échantillon en eau.

Le temps de saturation en eau des 27 échantillons

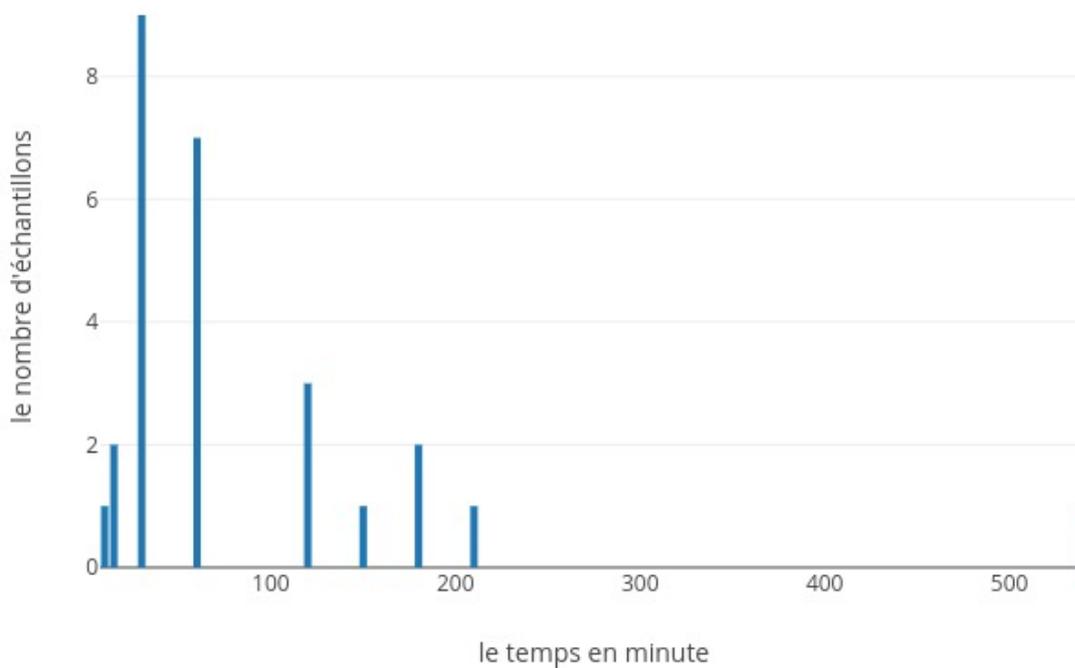


Figure 22. histogramme du nombre d'opales éthiopiennes arrivant à saturation au bout d'un temps déterminé. Nous pouvons constater avec aisance que la majorité des échantillons atteignent la saturation en eau entre 60 minutes et 120 minutes.

D) Observation

Au cours du processus d'analyse, après une moyenne de ± 4 h, l'opale a tendance à retrouver son jeu intense de couleur. Cette acquisition de couleur dépend aussi énormément d'un spécimen à l'autre. En ce qui concerne la masse spécifique, certains échantillons ont tendance à avoir un comportement anormal. En fonction du temps la masse spécifique augmente ou diminue.

Ayant fait les photos des échantillons à sec et à saturation d'eau sous UVC et UVL, il s'est avéré que les échantillons pleins d'eau paraissaient plus translucides (plus clairs) que les secs sous UVC. Cependant ceux-ci sous UVL n'ont rien donné : invisible, sans aucune fluorescence.

7.DISCUSSION

A) Spectrométrie Raman

Voici ici représentés les différents spectres effectués avec le Raman.

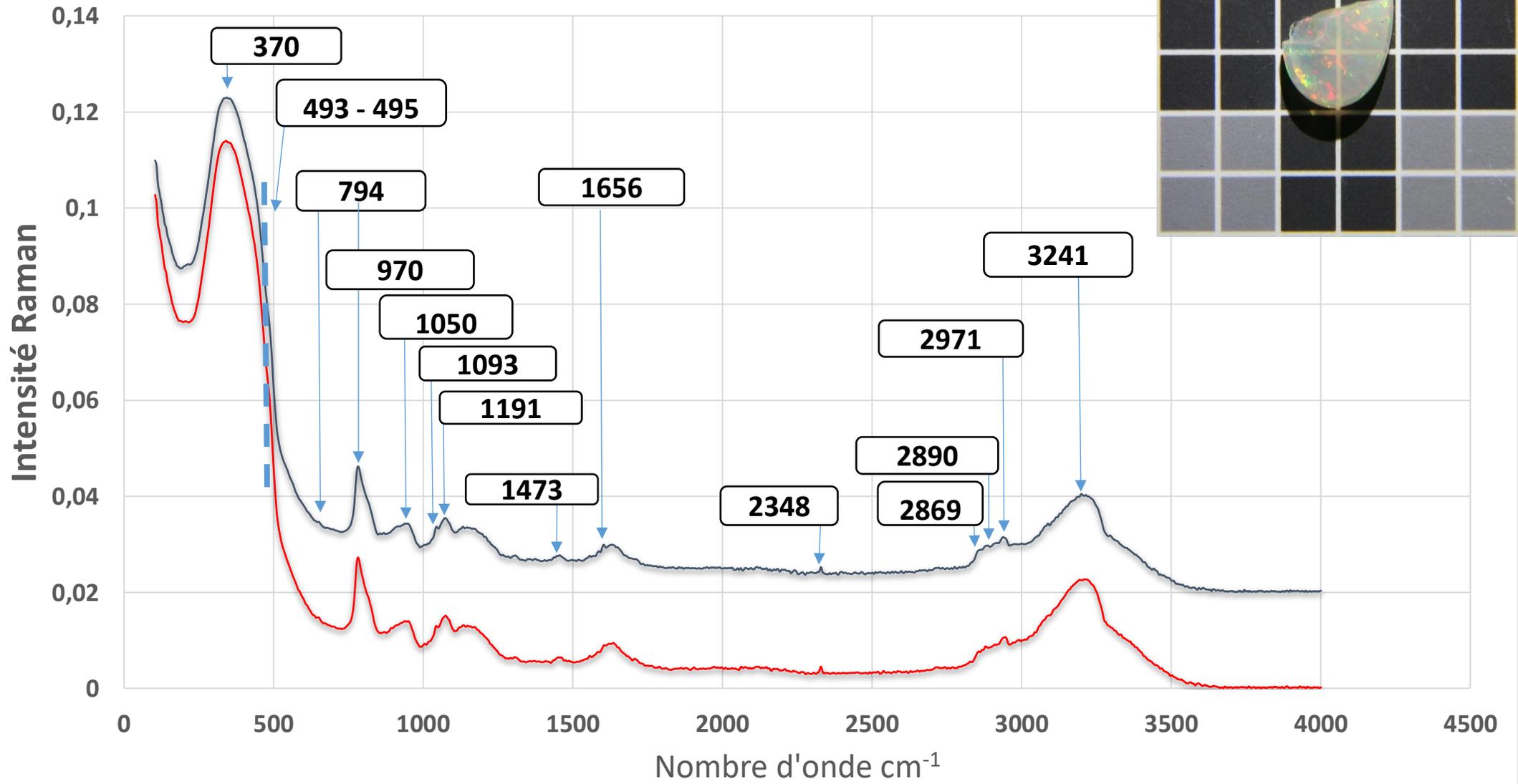
J'y ai analysé les 6 échantillons (LE01 jusqu'au LE06).

Les mesures ont été prises à température ambiante avec de l'eau de ville.

Pour chaque graphique la courbe rouge représente les échantillons d'opales à sec et la courbe bleue représente les échantillons arrivés à saturation en eau.

On détaille seulement un spectre dans la figure (passage) pour indiquer les positions des différents pics. Ces positions ne sont pas affectées par l'incorporation d'eau

Echantillon LE 01



Le tableau suivant (Fig.24) est un spectre d'opale

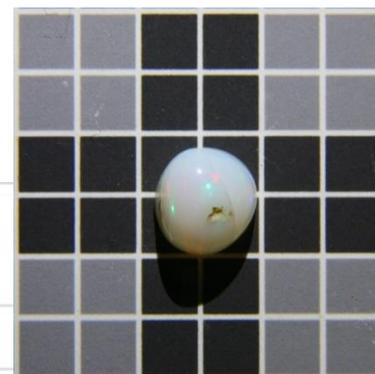
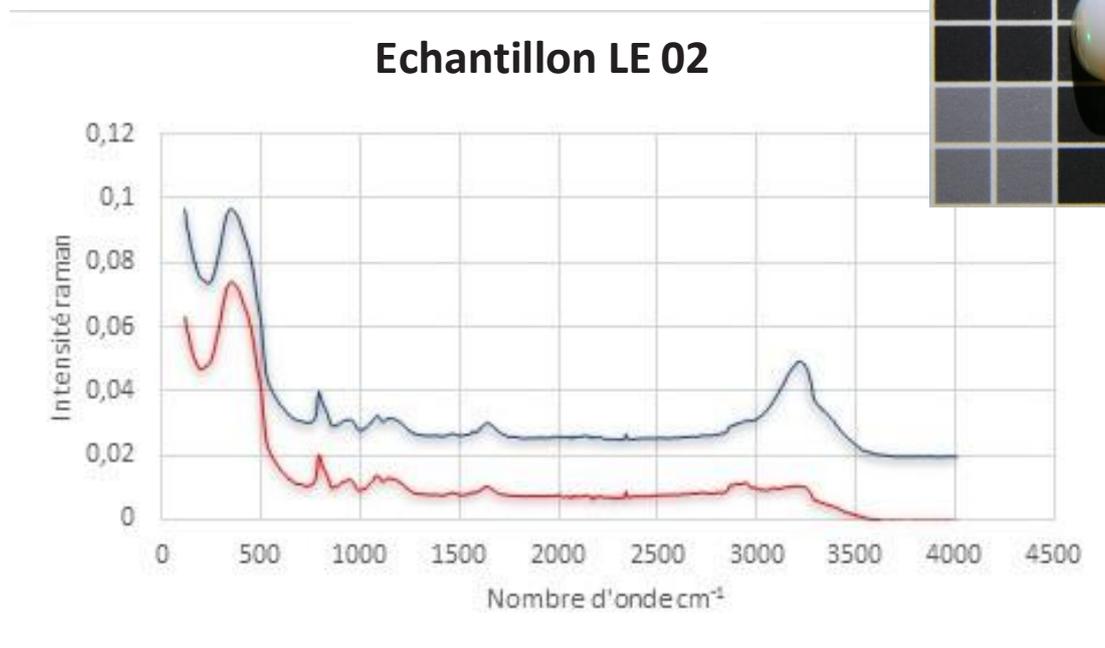


Figure 23 : Spectre d'opale, la courbe rouge représente l'échantillon à sec et la courbe bleue l'échantillon à saturation en eau.

Le tableau suivant (Fig.25) est un spectre d'opale

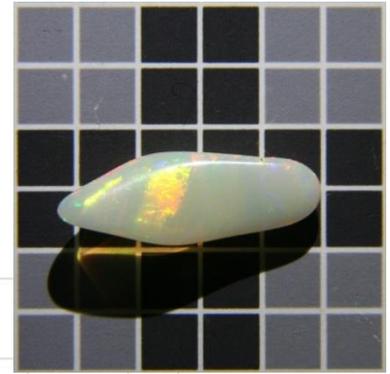
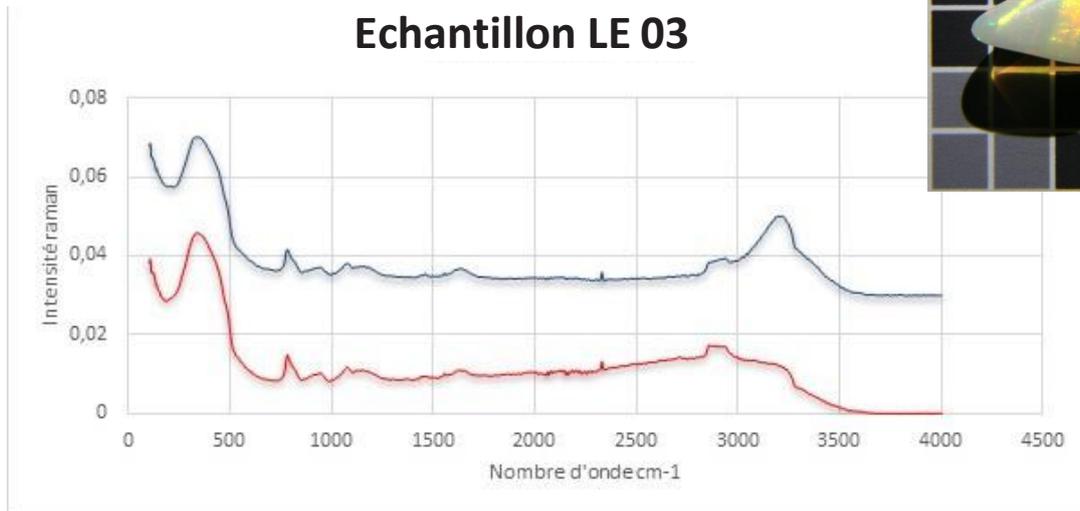


Figure 24 : Spectre d'opale, la courbe rouge représente l'échantillon à sec et la courbe bleue l'échantillon à saturation en eau.

Le tableau suivant (Fig.26) est un spectre d'opale

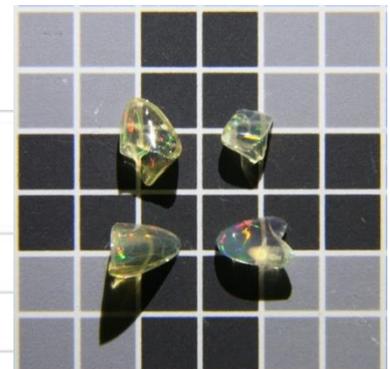
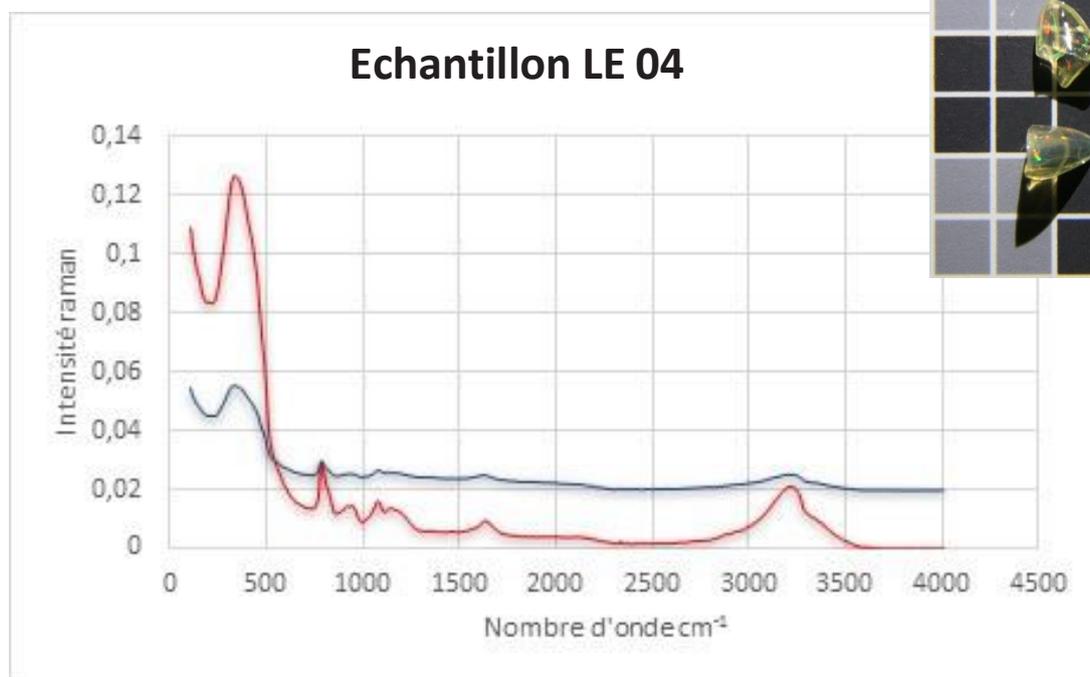


Figure 25 : Spectre d'opale, la courbe rouge représente l'échantillon à sec et la courbe bleue l'échantillon à saturation en eau. Cet échantillon s'est scindé lors d'une analyse dans le FT-Raman. C'est fort probablement à cause de cela que son spectre à saturation contient moins d'eau.

Le tableau suivant (Fig.27) est un spectre d'opale

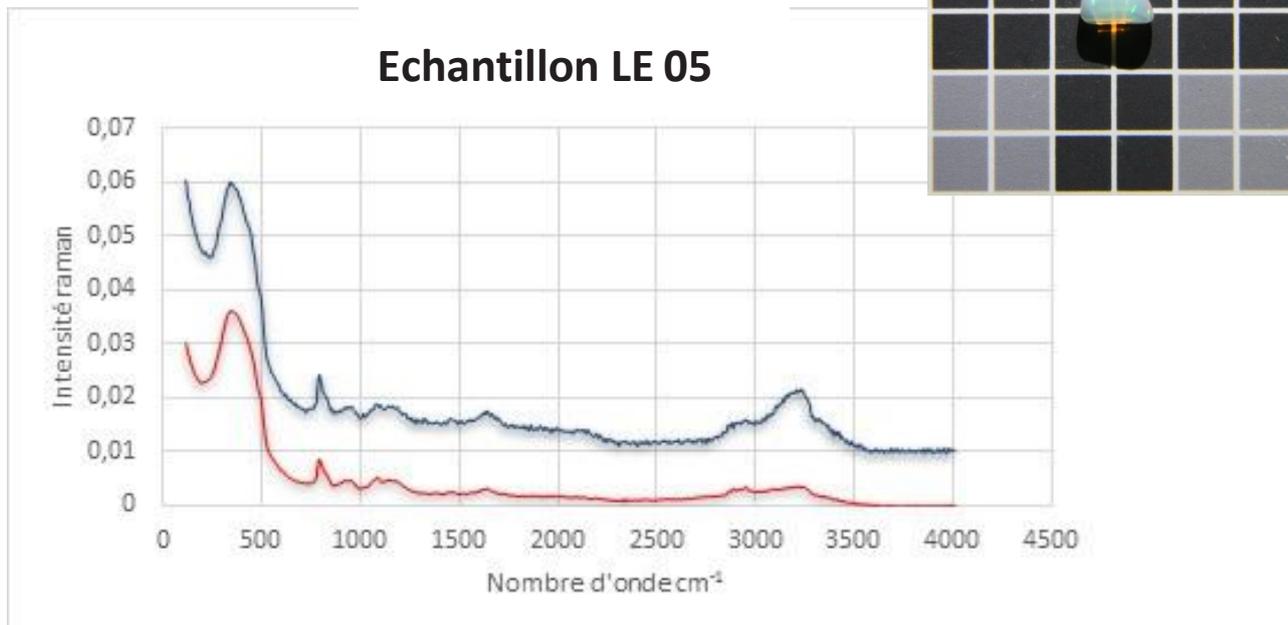


Figure 26 : Spectre d'opale, la courbe rouge représente l'échantillon à sec et la courbe bleue l'échantillon à saturation en eau.

Le tableau suivant (Fig.28) est un spectre d'opale

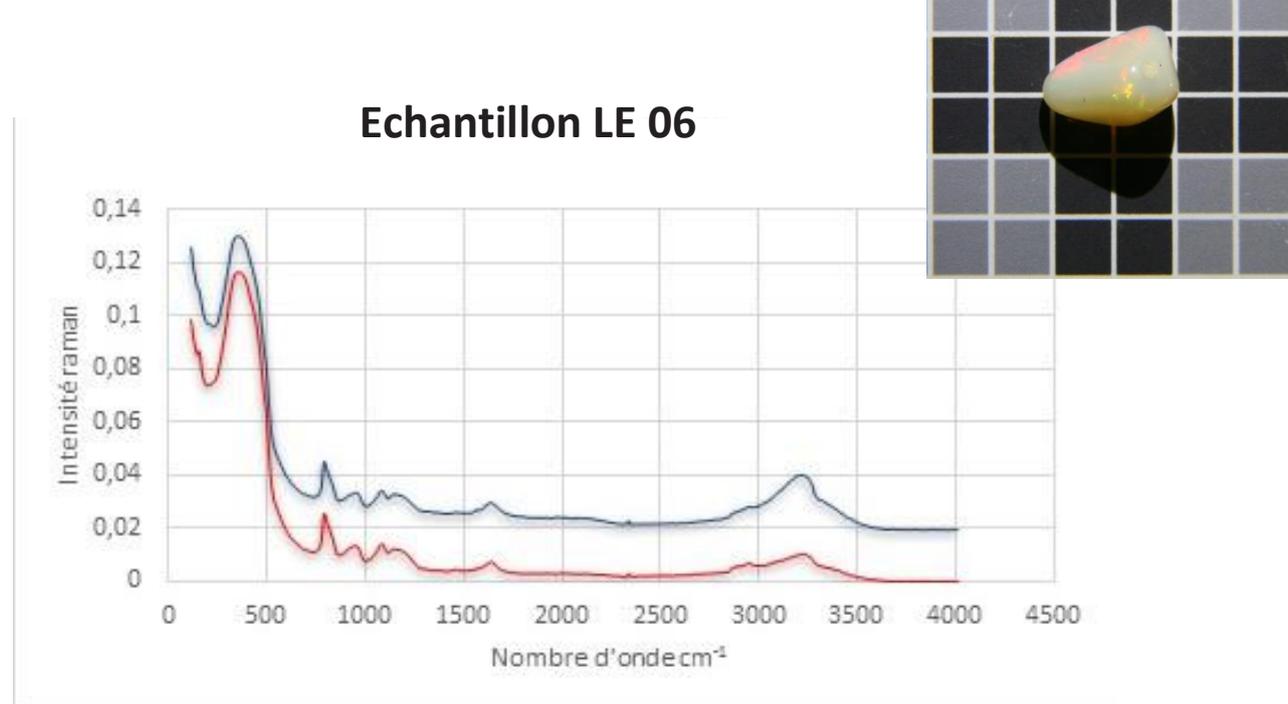


Figure 27 : Spectre d'opale, la courbe rouge représente l'échantillon à sec et la courbe bleue l'échantillon à saturation en eau.

8. CONCLUSION

Sur base de ce travail, nous avons également effectué des calculs afin d'exprimer en pourcentage la prise d'eau. Il varie assez fortement suivant les échantillons forcément. Pour LE04 nous avons obtenu 0.53%. Alors que pour LE01 (9.85%) et LE02 (5.36%) qui sont relativement peu en comparaison avec les deux échantillons suivants qui promettent d'être très hydrophanes. En effet, nous obtenons pour LE05 (63.22%) et LE06 (29.31%). Sur les spectres Raman, ci-dessus nous pouvons constater une nette prise en eau des échantillons dévoilés par la courbe bleue, aux alentours de 3200 cm^{-1} .

9. Bibliographie

Bauer J., Bouska V., (1985) Le multiguide nature des pierres précieuses et pierres fines, Bordas, Paris, pp. 227, pp. 138-140

Charlier J., Charlier-Vanderschraege D., De Koninck R., Dorval G., (2004) Le grand Atlas, éd de Boeck, Bruxelles, pp. 216, pp. 116-119.

Dedeyne R., Quintens I., (2007) Tables of gemstone identification, Glirico, Belgique, pp. 310.
Gautier Y., Dictionnaire des roches et minéraux (pétrologie et minéralogie), pp. 393 et pp.649- 650.

Gauthier E., Philippe M., Sirakian D., Fritsch E., Carpentier C., (2012) Gemmes de l'Association Française de Gemmologie, Compédit Beauregard, pp. 267, pp. 148-154.

Gauthier J.P., Mazzero F., Mandaba Y., Fritsch E., (2004) L'opale d'Ethiopie : gemmologie ordinaire et caractéristiques exceptionnelles, Revue de gemmologie a.f.g., Vol. 149, pp. 15-23.

Johnson O., (2006) Guide delachaux des minéraux, Delachaux et Niestlé, Paris, pp. 438, pp. 364-365

Lulzac Y, (2001) Manuel de determination des pierres taillées de joaillerie ou de collection, SARL Multicopies Services, Nantes, pp. 139.

Payette F., (1995) La gemmologie, Fisher Press, Québec, pp. 227.

M. Shipley R, (1948) Dictionary of Gems and gemology, Fourth Edition, USA, pp. 261.

Rey A., (2005) Dictionnaire Culturel en langue française. Dictionnaires Le Robert- SEJER, Paris, pp. 1748 et pp. 1753)

Renfro N., (2013) A useful technique to confirm the hydrophane nature of opal. Gems & Gemology, Vol 49, No.3.

Renfo N., McClure S.F., (2011) Dyed purple hydrophane opal. Gems & Gemology, Vol 47, No.4, pp. 260-270.

Rondeau B., Fritsch., Gauthier J.P., Mazzero F., Cenki-Tok B., Bekele E., Gaillou E., (2010) Play-of-color opal from Wegel Tena, Wollo Province, Ethiopia. Gems & Gemology, Vol. 46, No.2, pp. 90-105.

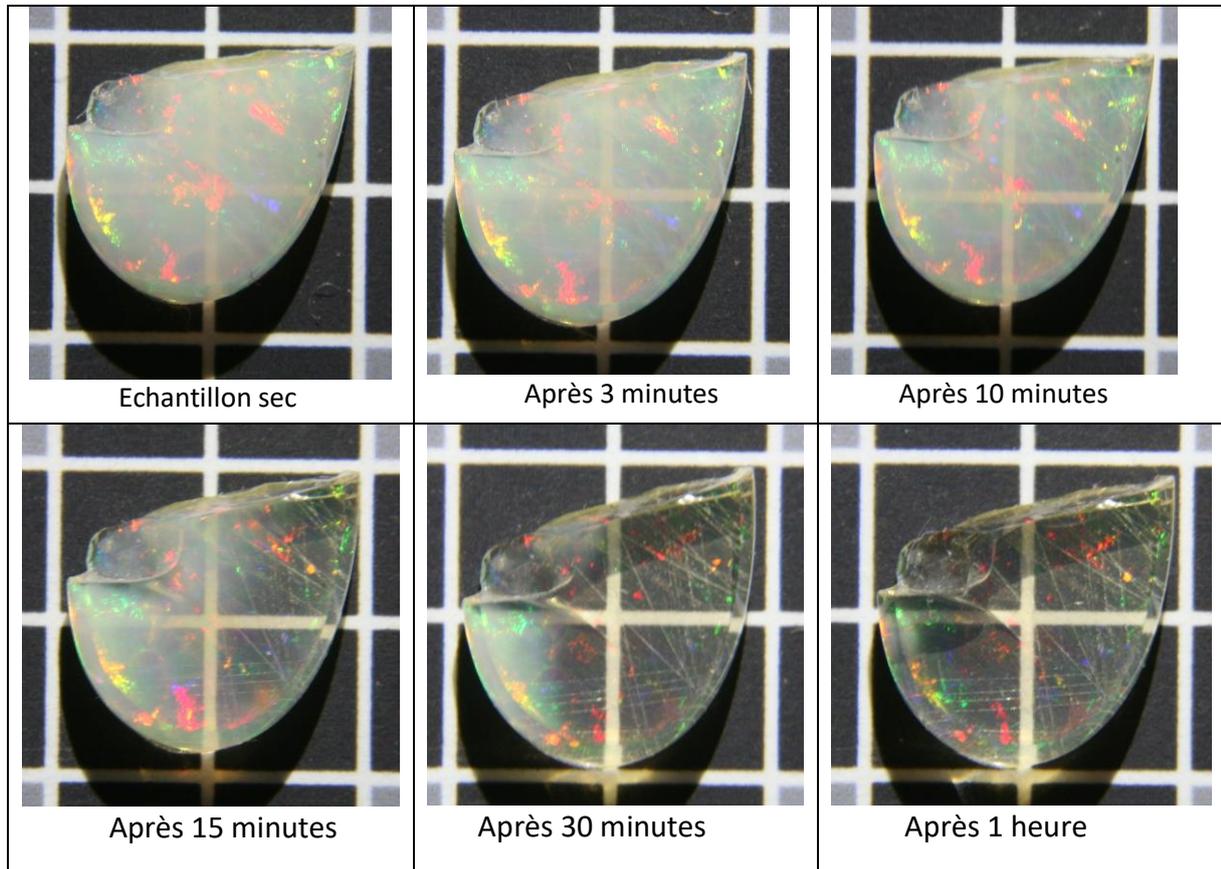
Schumann W, (2008) Guide des pierres précieuses, pierres fines et ornementales, Delachaux et Niestlé, Munich, pp. 320, pp.166-169.

Werner., Nouveau dictionnaire d'histoire naturelle, pp. 250-253

10. Annexes

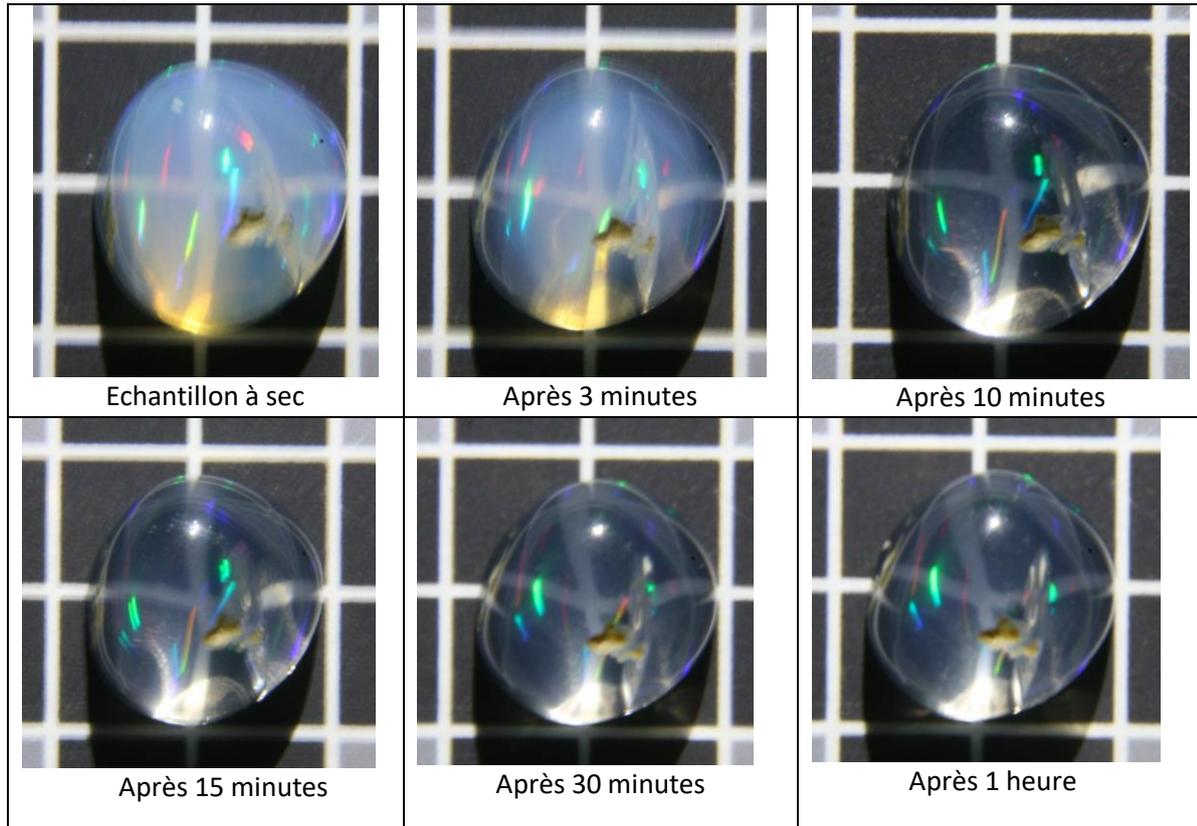
Ci-dessous, vous trouverez les séries continues de photos des 27 échantillons d'opales qui dévoilent de façon très visibles l'absorption de prise d'eau, au travers de l'échantillon avec l'aide de la grille, qui sert d'échelle.

L'échantillon LE01

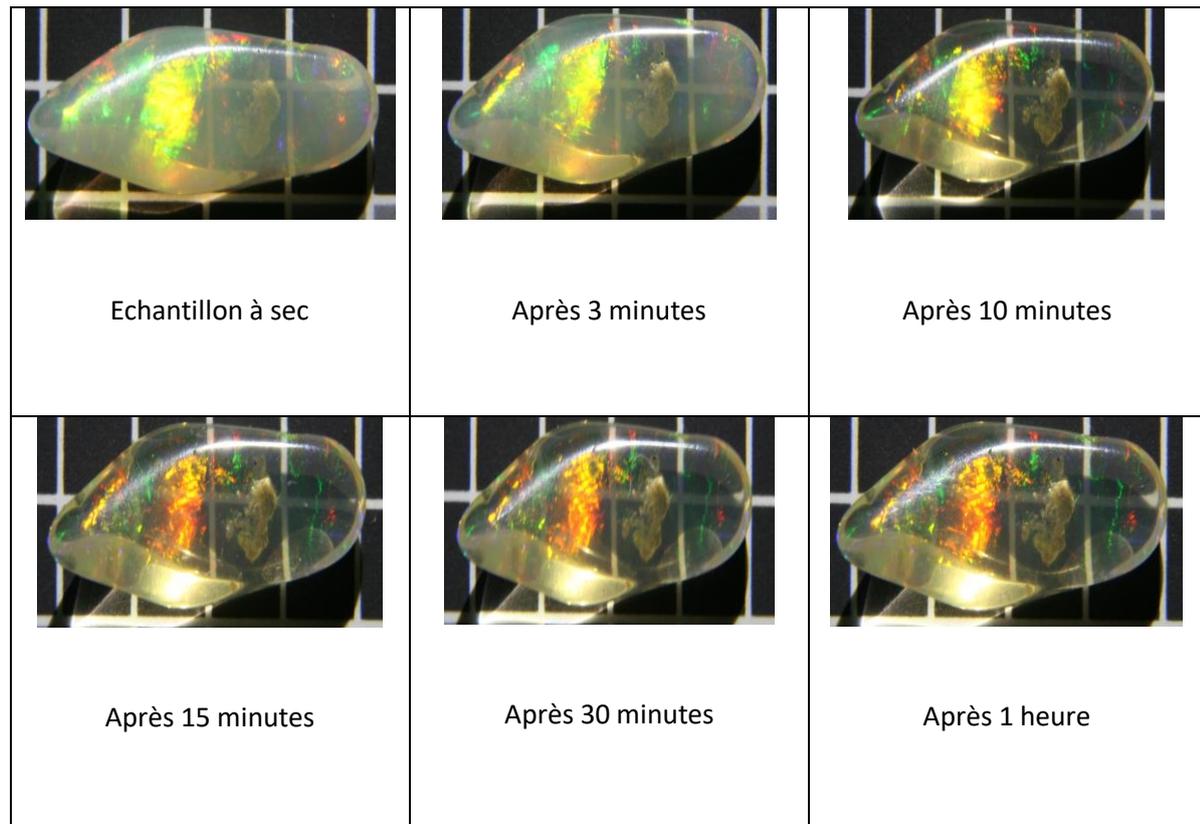


Les lignes apparentes sont celles laissées par le disque de polissage.

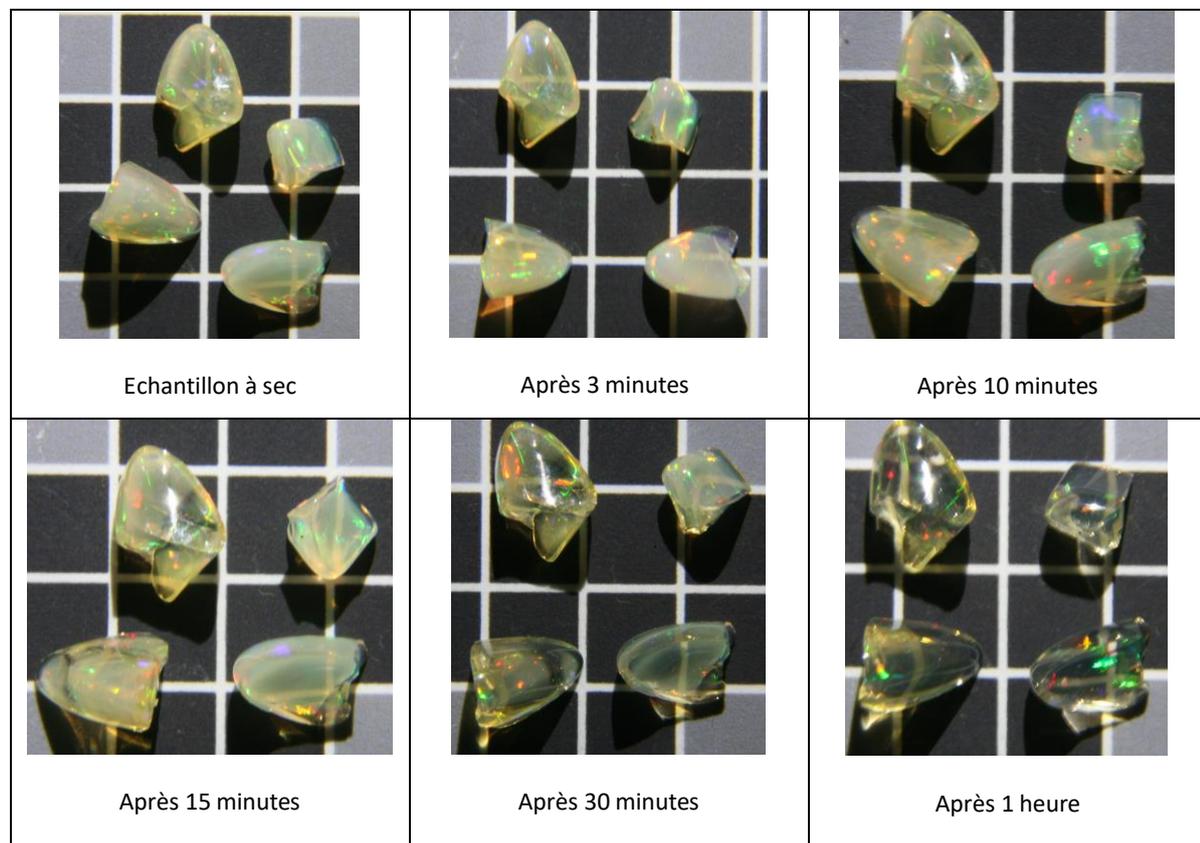
L'échantillon LE02



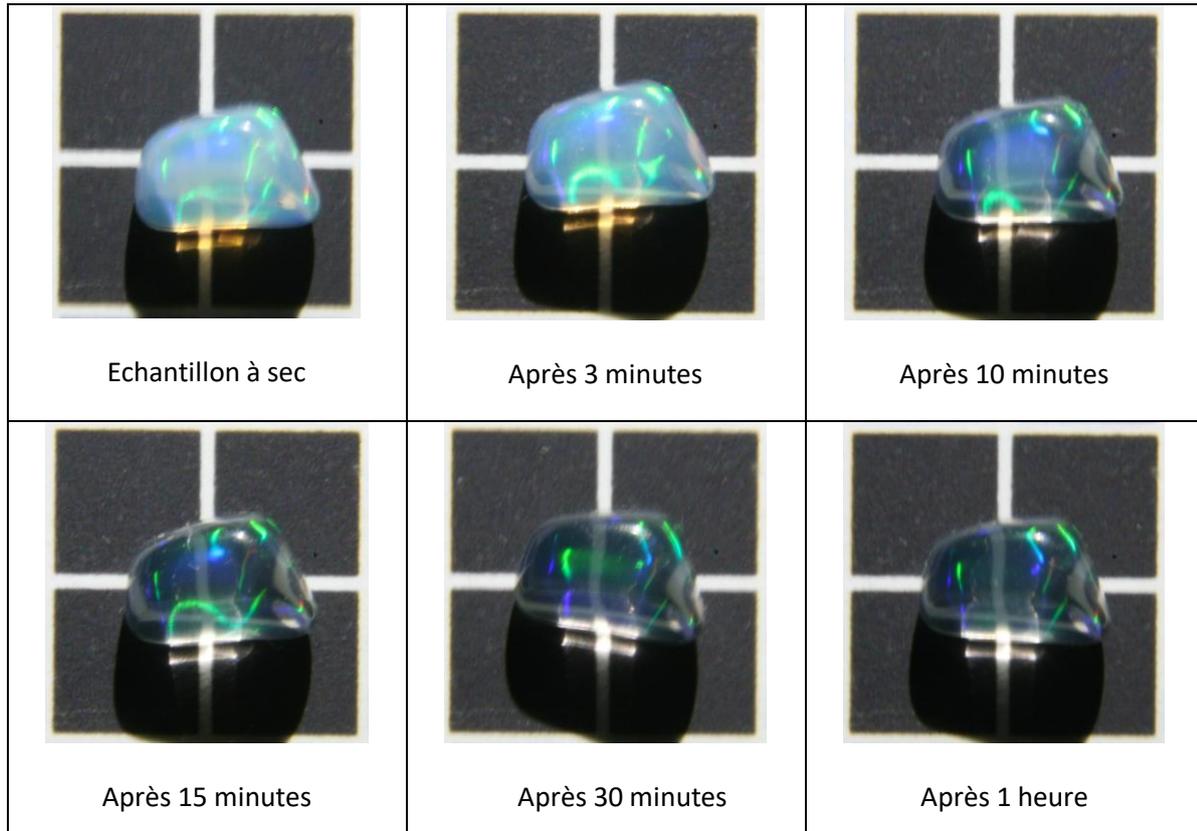
L'échantillon LE03



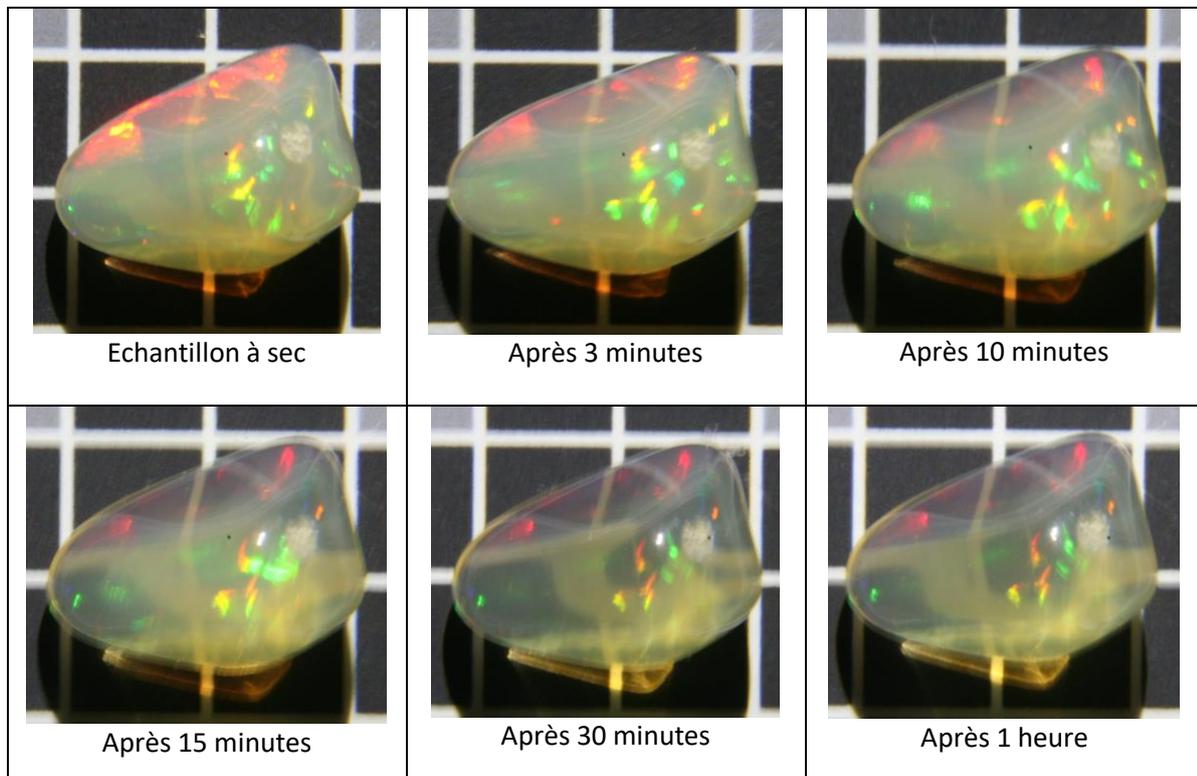
L'échantillon LE04



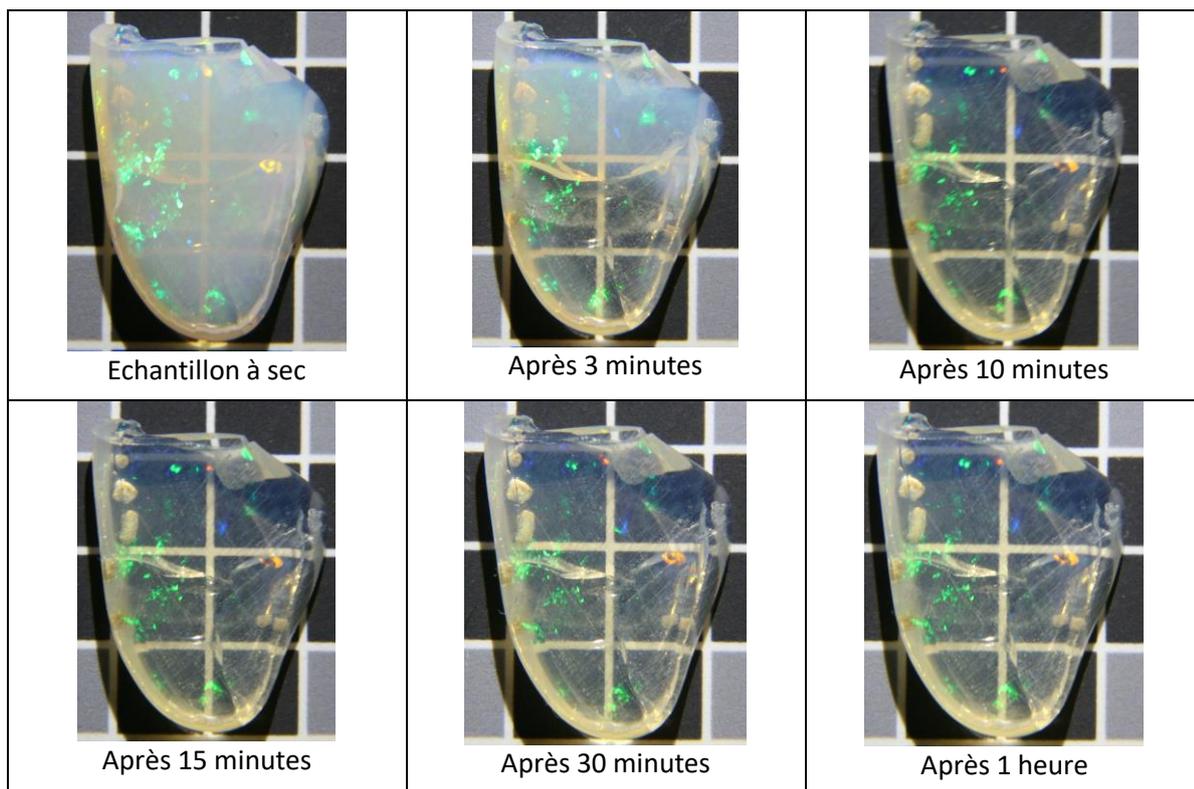
L'échantillon LE05



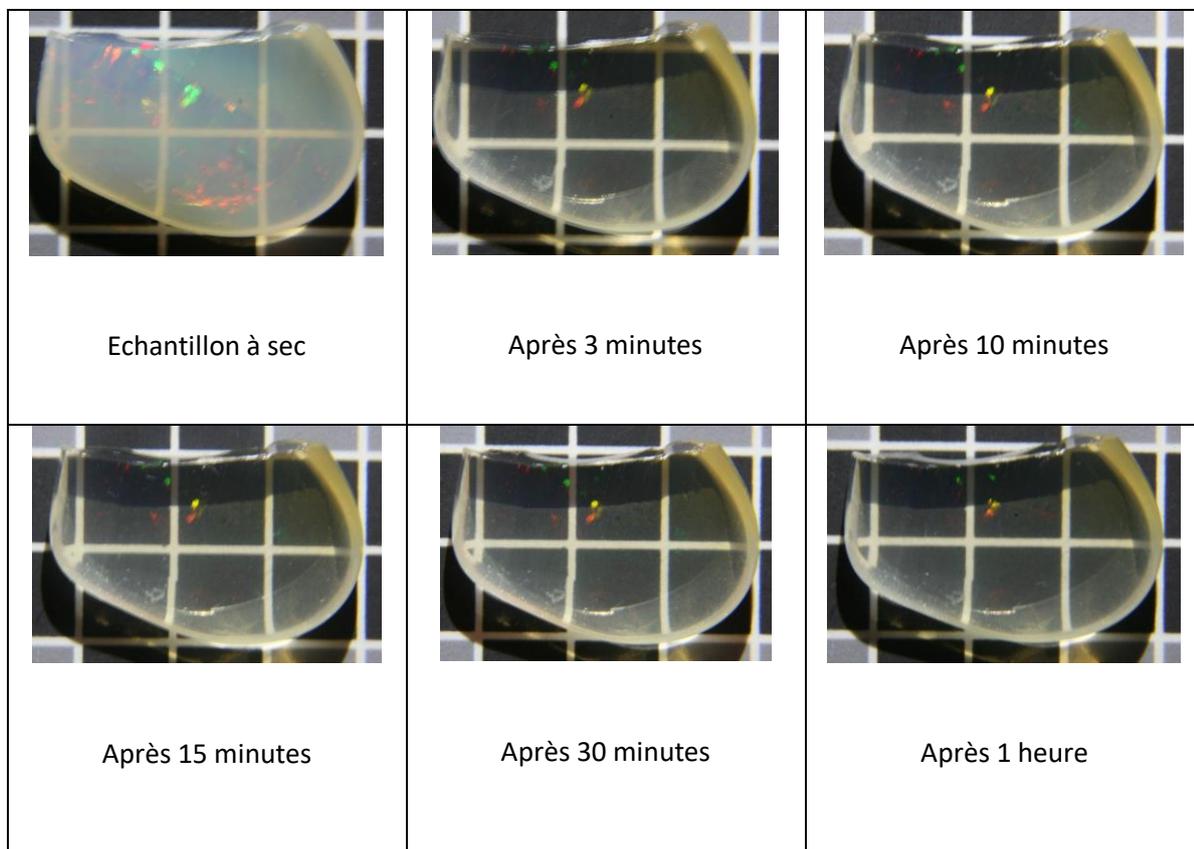
L'échantillon LE06



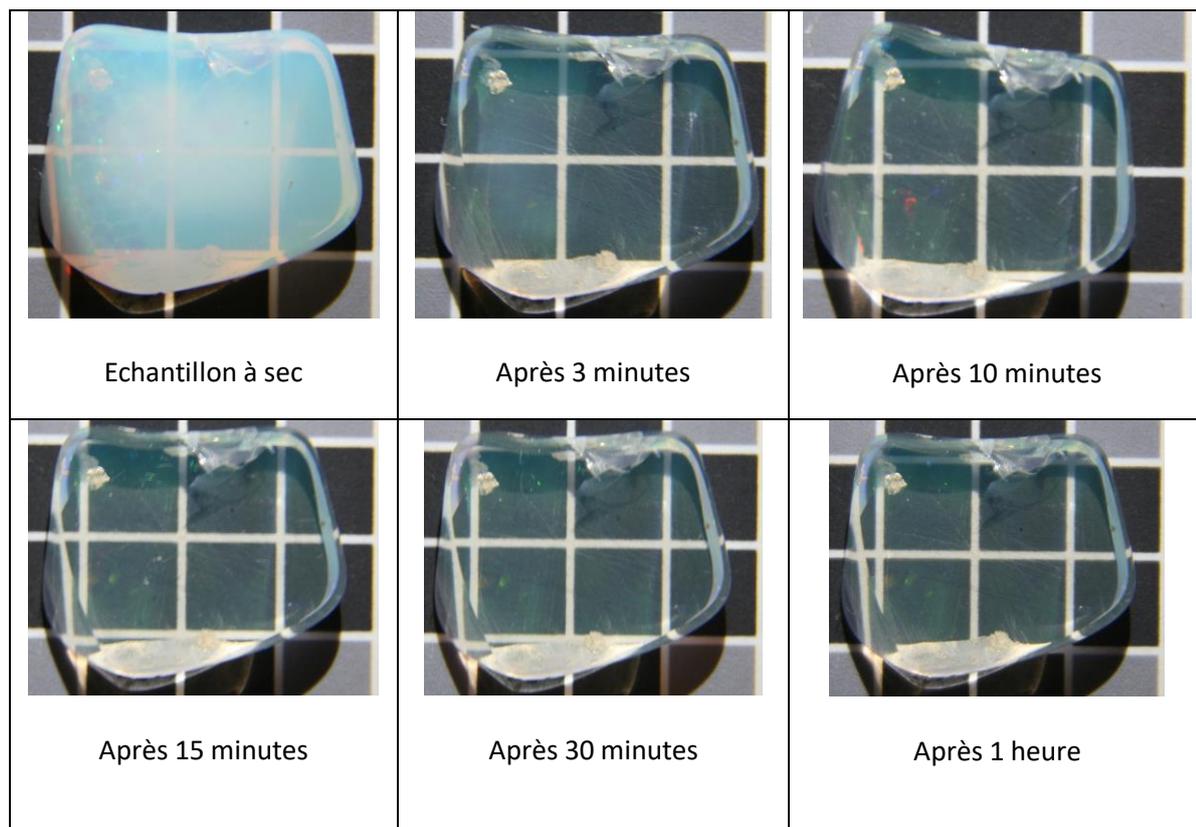
L'échantillon LE07



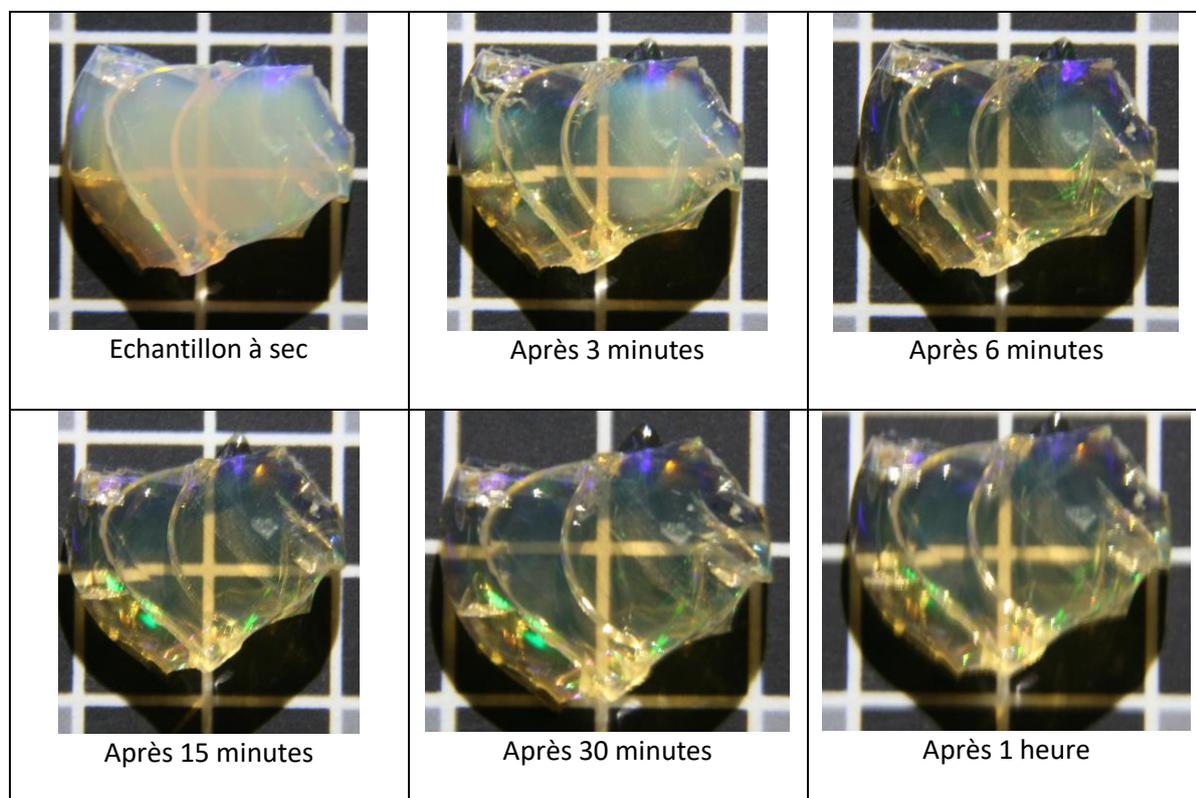
L'échantillon LE08



L'échantillon LE09

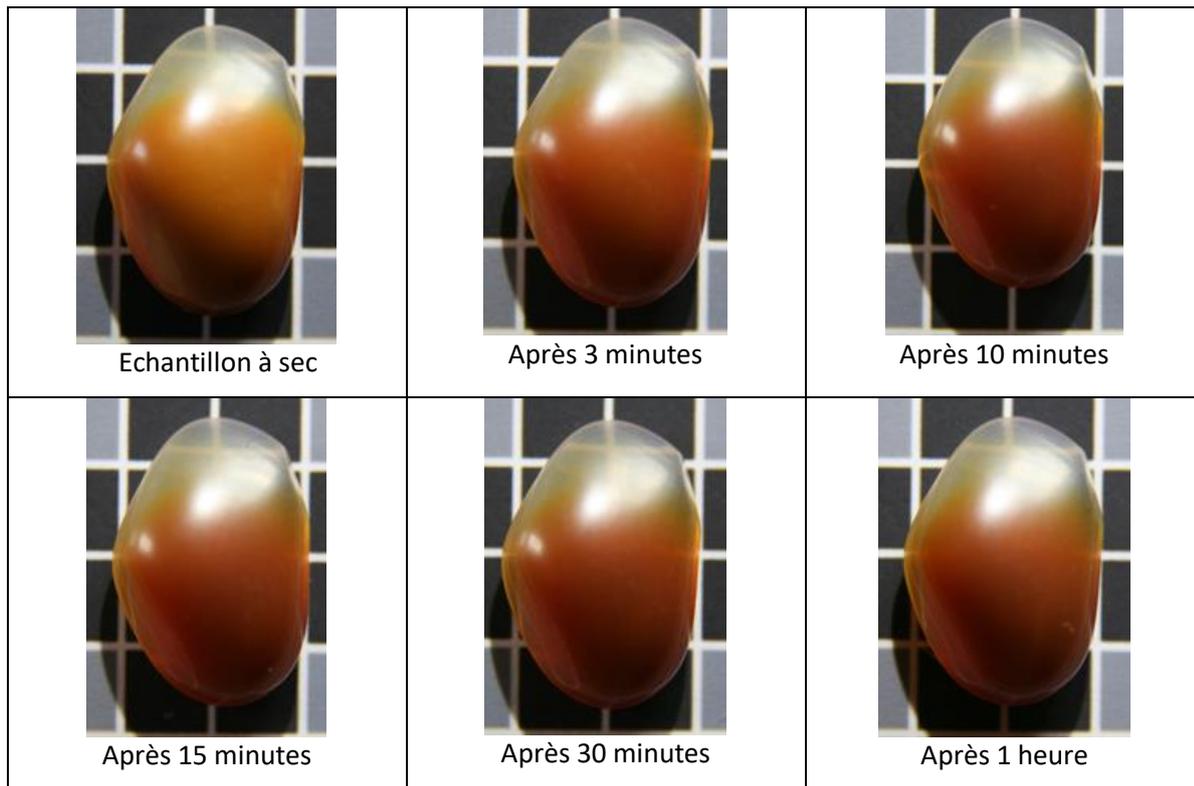


L'échantillon LE10

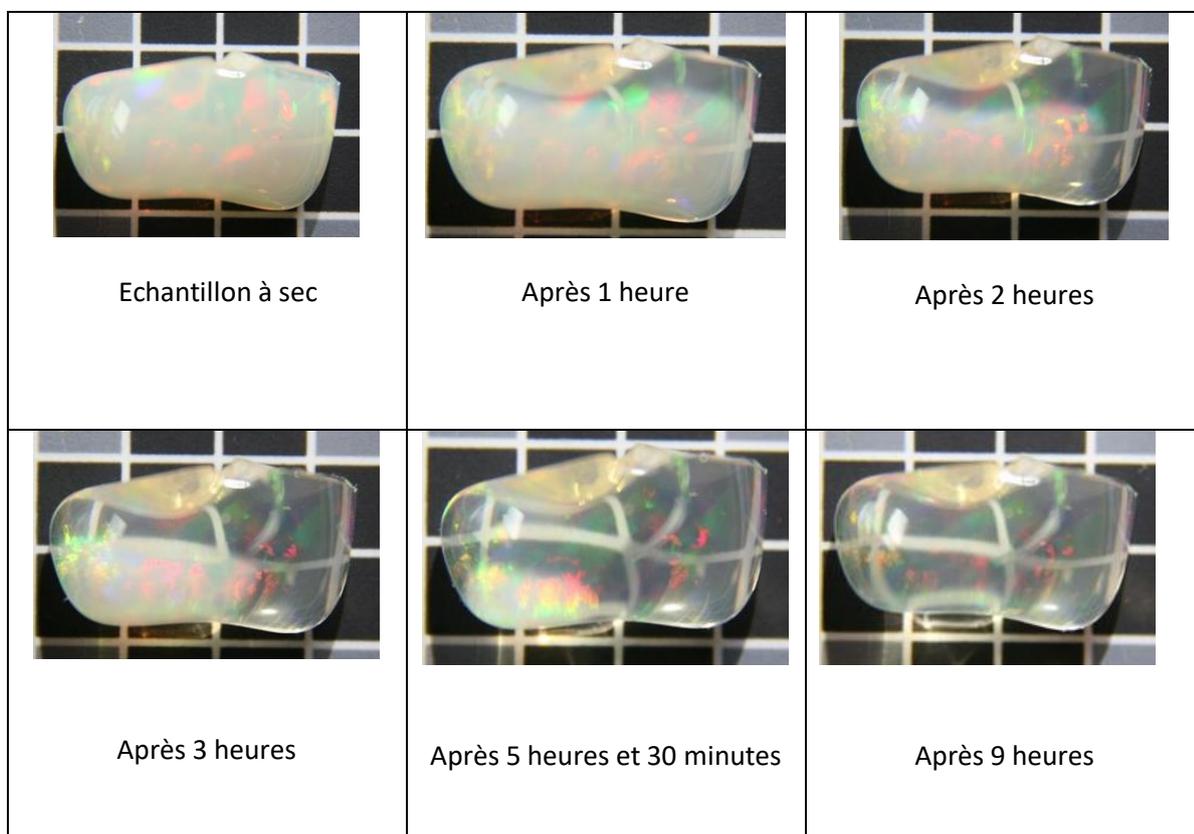


(Pour cette série ci-dessus, nous avons présentés l'échantillon après 6 minutes d'absorption dans l'eau car c'était pertinent et visible sur la photo).

L'échantillon LE11

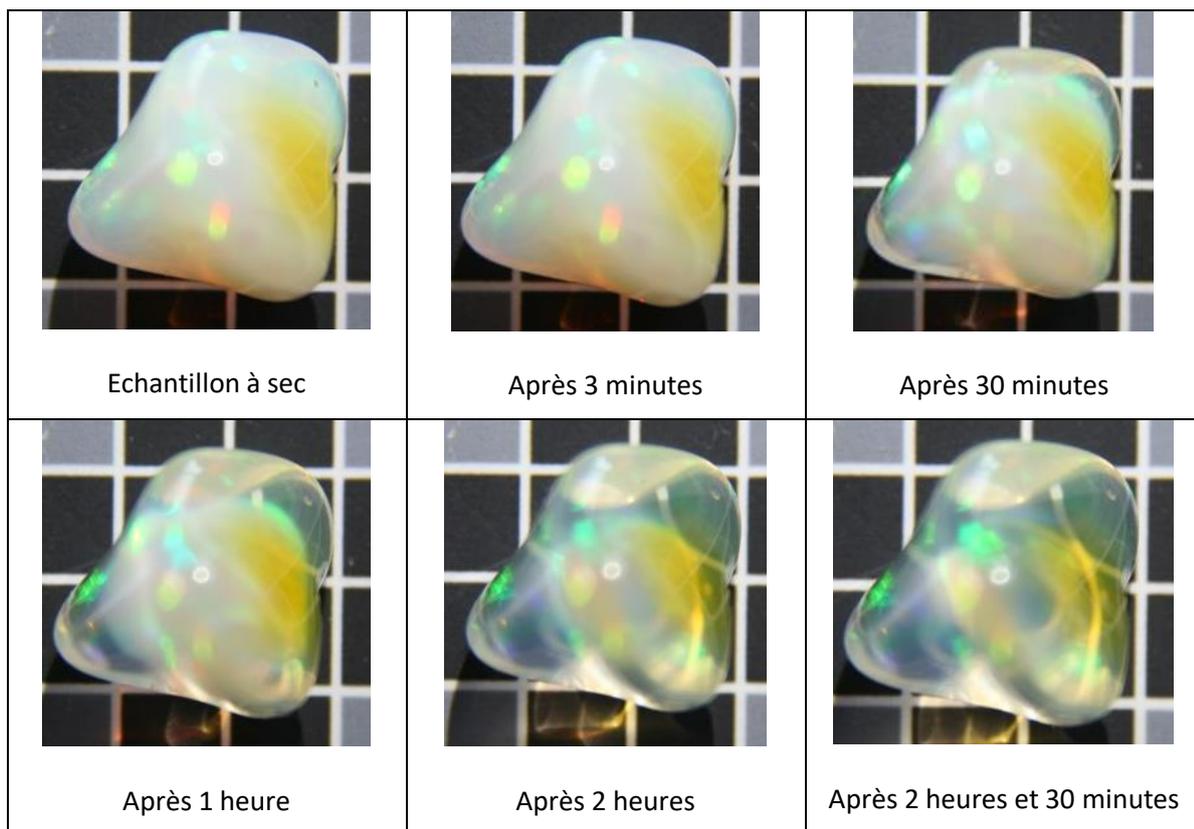


L'échantillon LE12



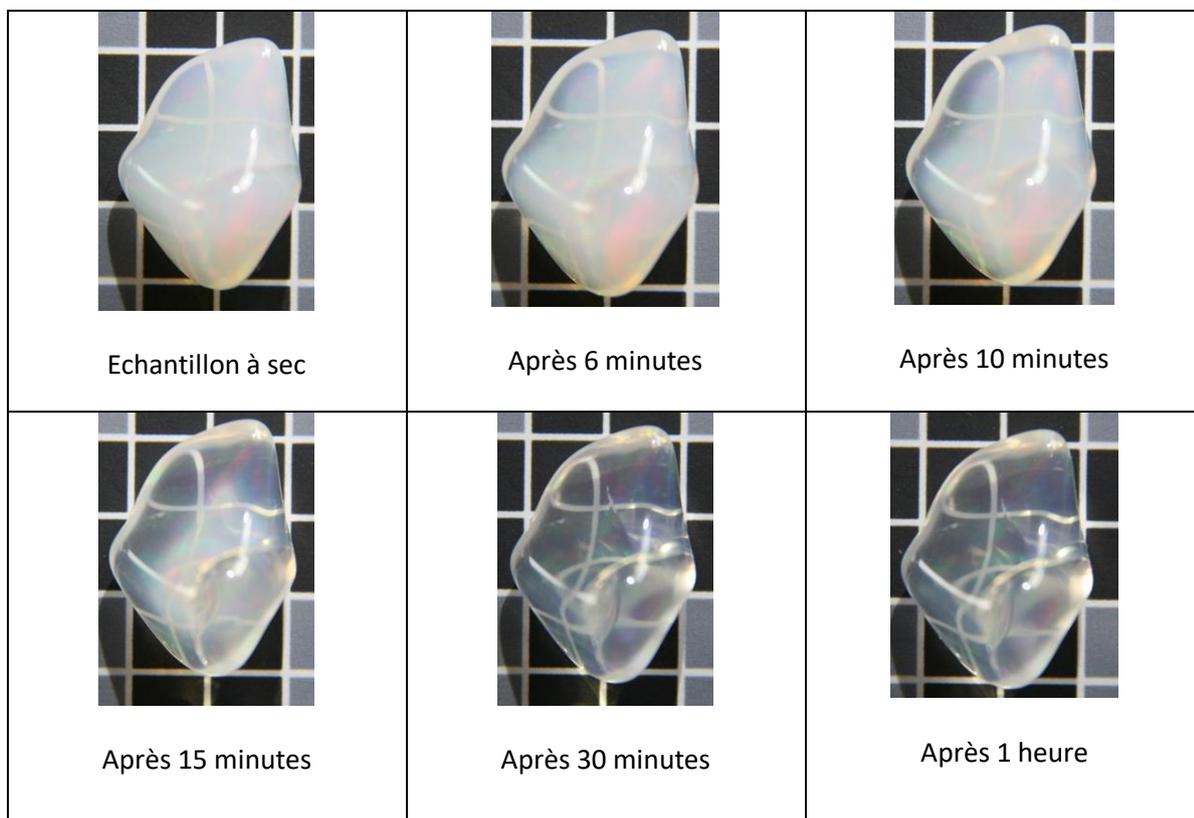
(Ci-dessus nous avons présentés les temps d'évolution de l'absorption en eau de l'échantillon auxquels il était simple de le constater, échantillon exceptionnel de part sa durée d'absorption).

L'échantillon LE13

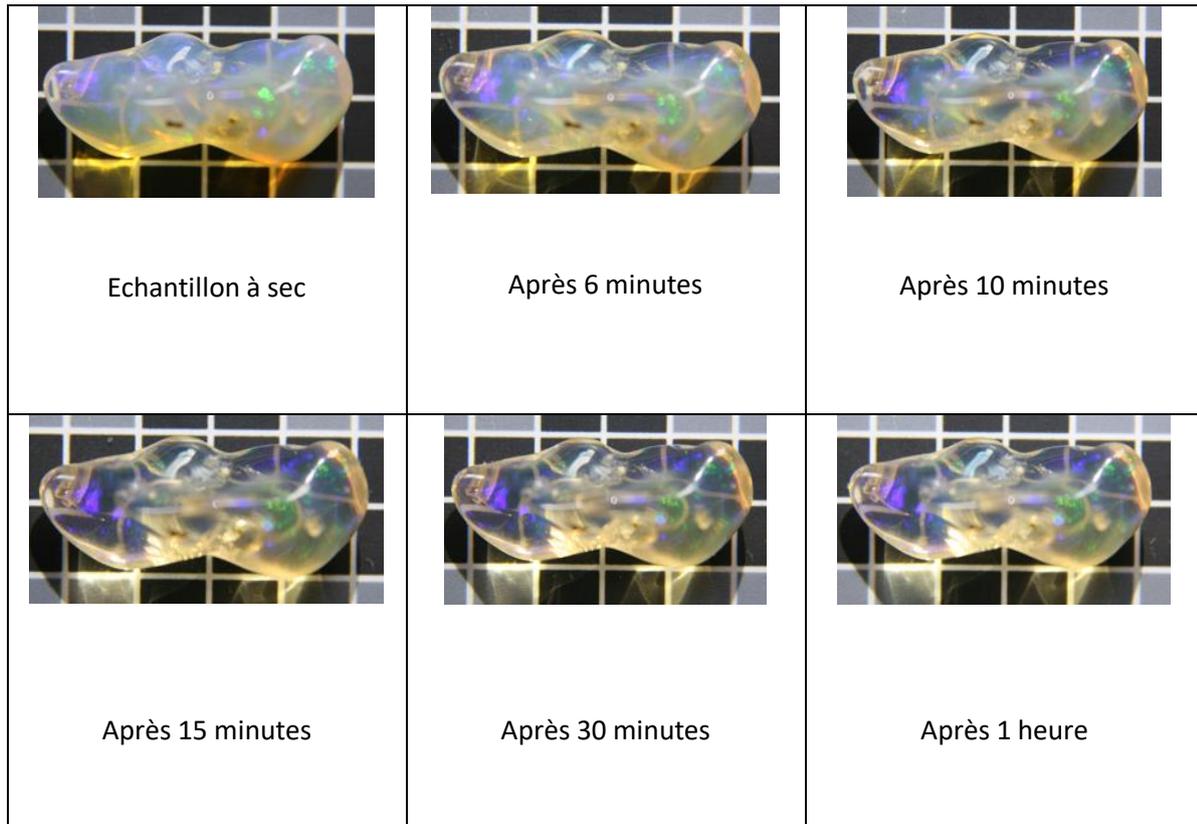


(L'échantillon ci-dessus est présenté avec des temps plus espacés car son absorption est visible et significative à partir de 30 minutes).

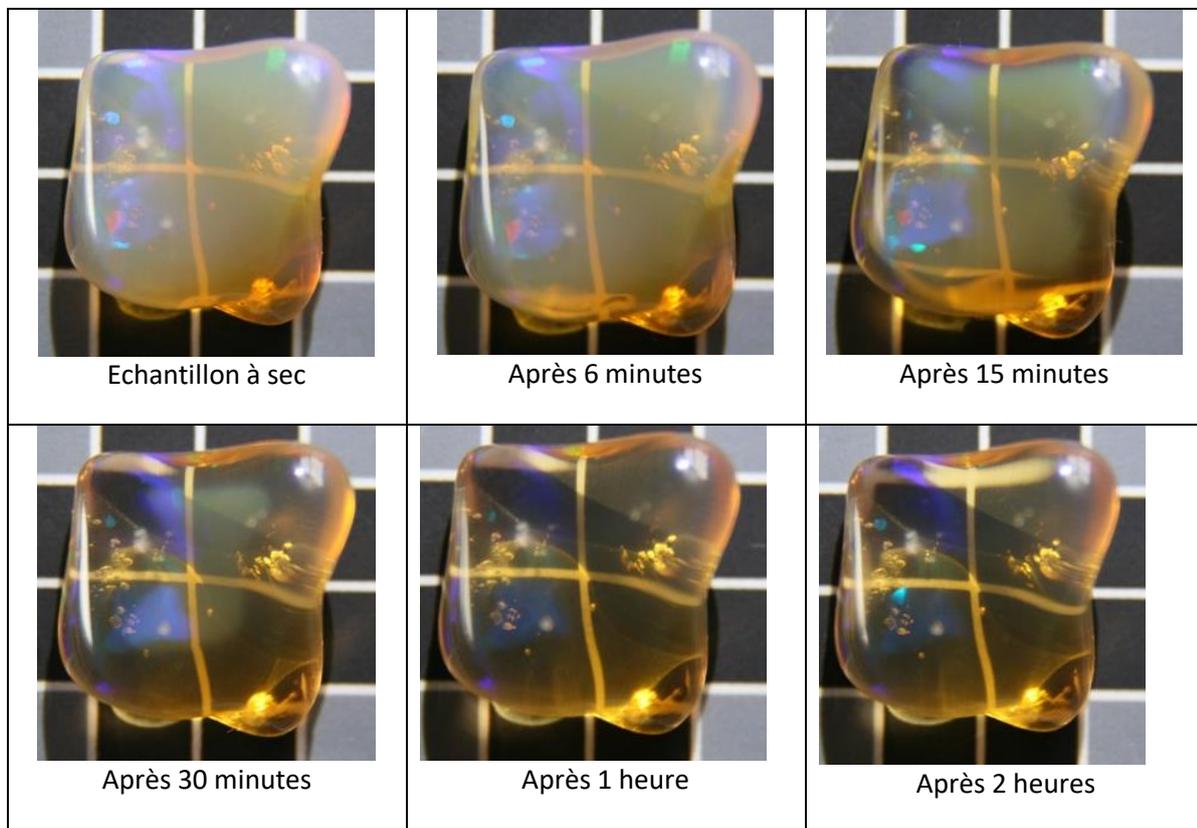
L'échantillon LE14



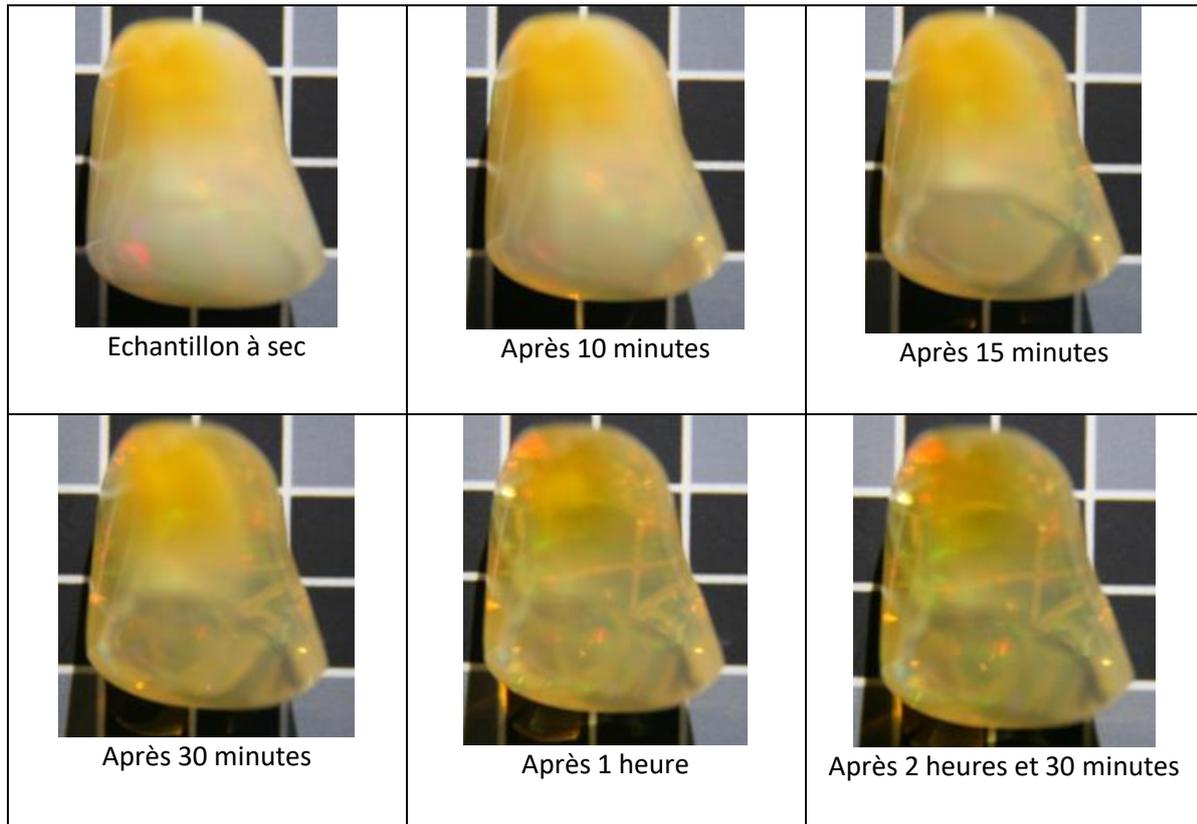
L'échantillon LE15



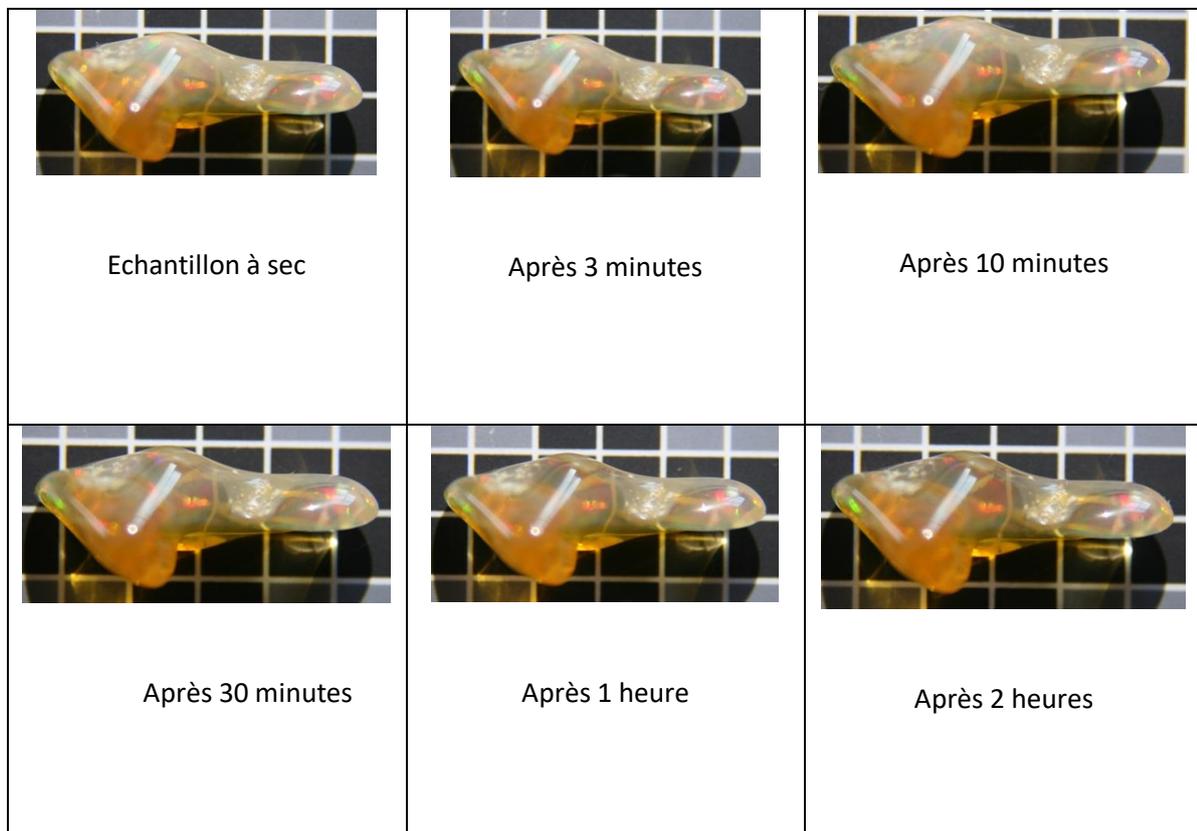
L'échantillon LE16



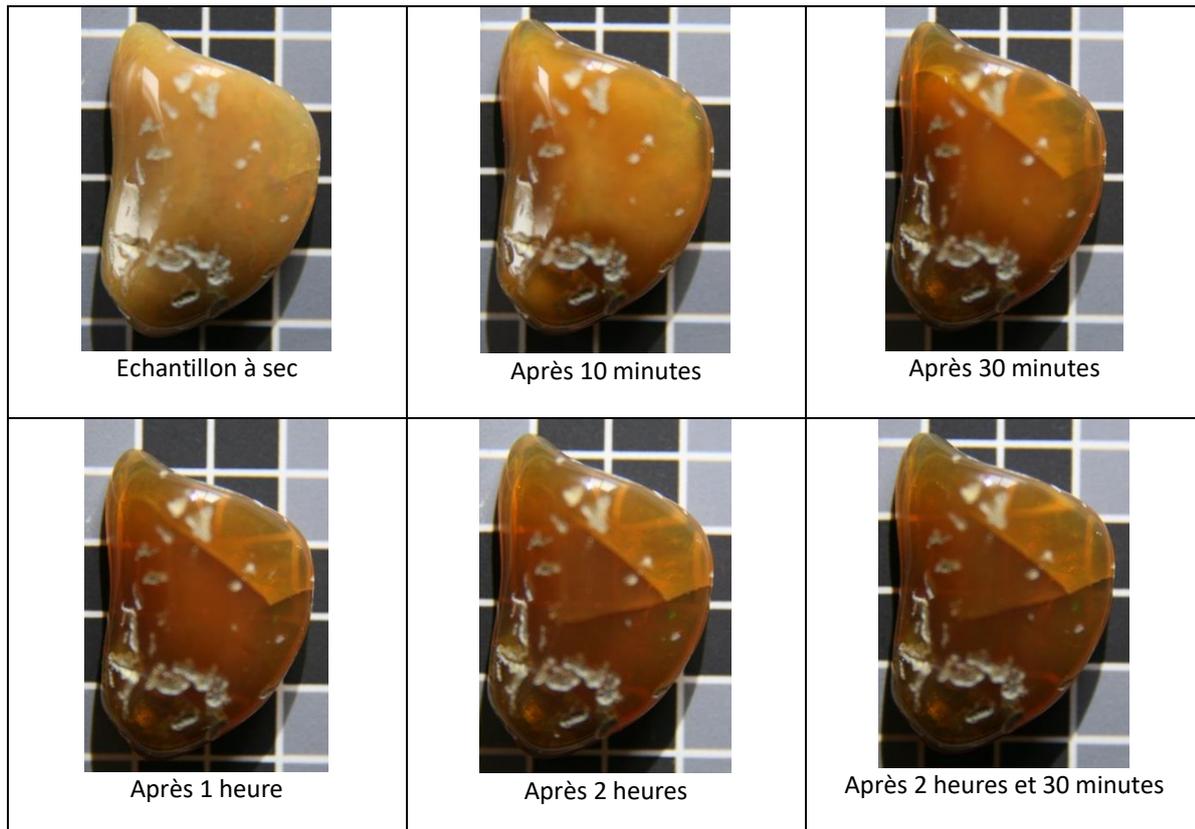
L'échantillon LE17



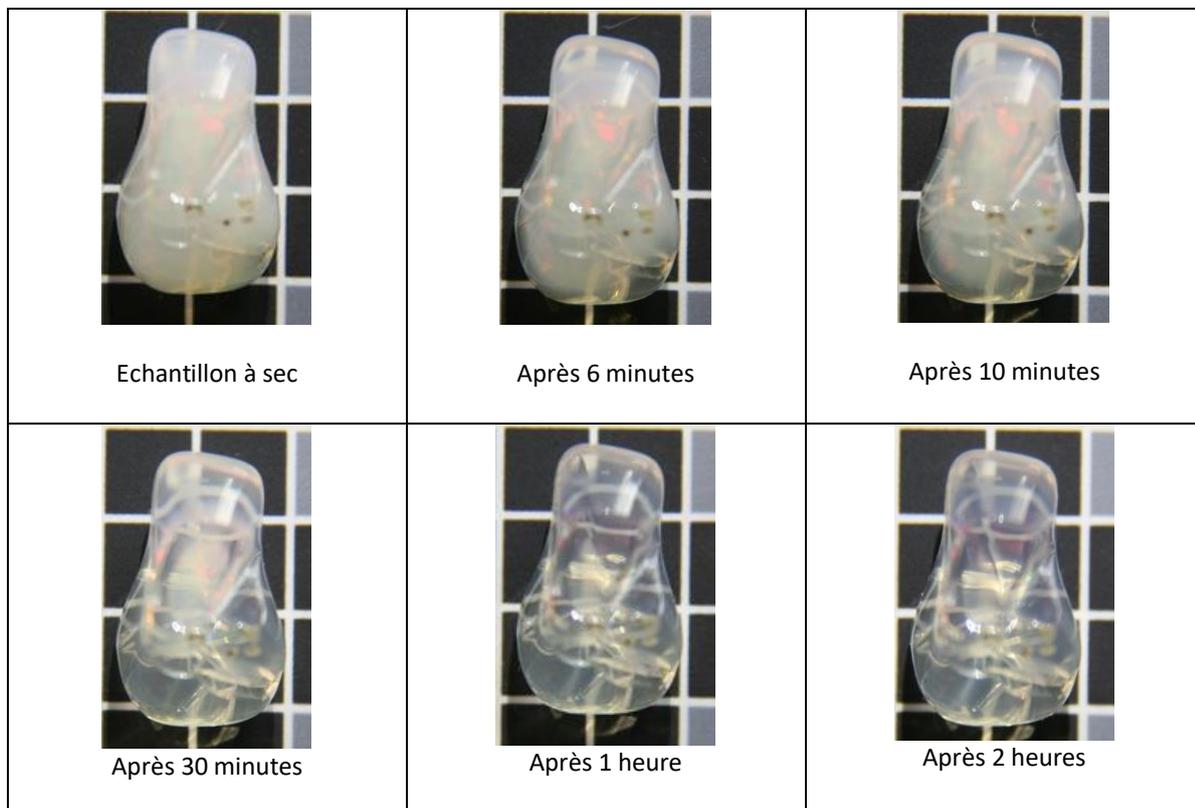
L'échantillon LE18



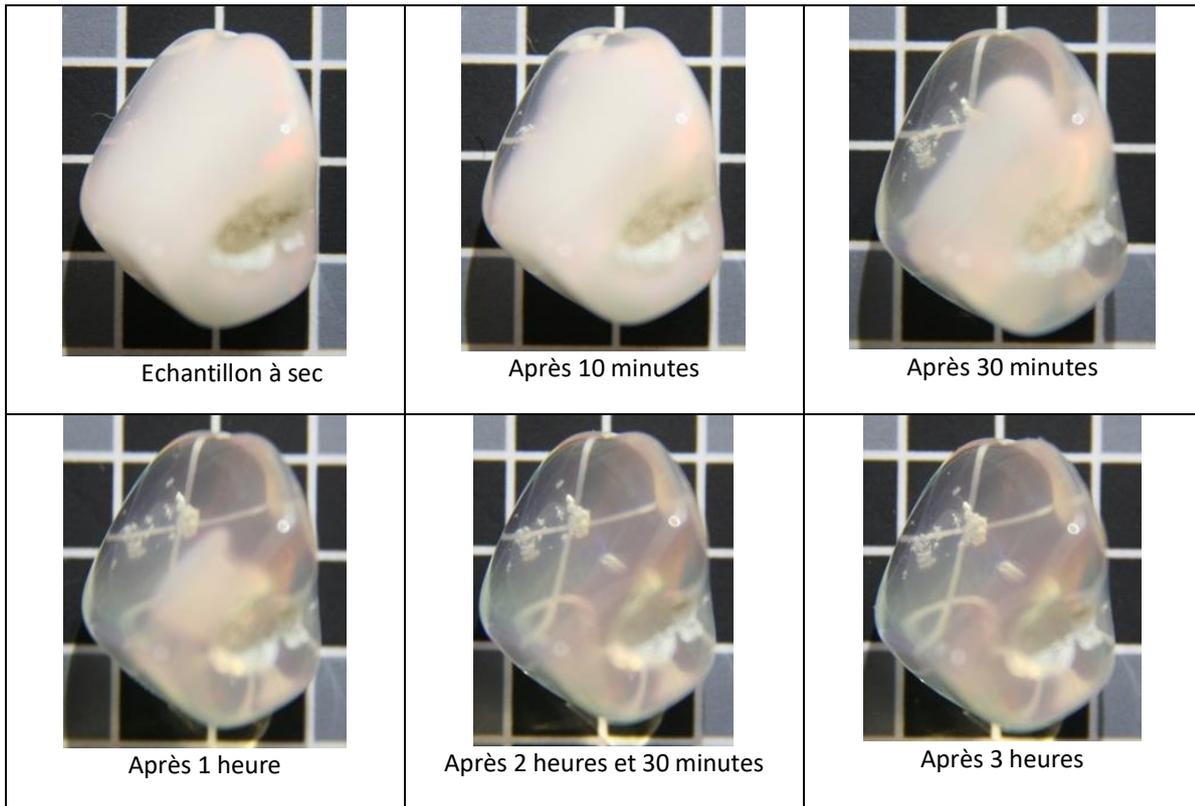
L'échantillon LE19



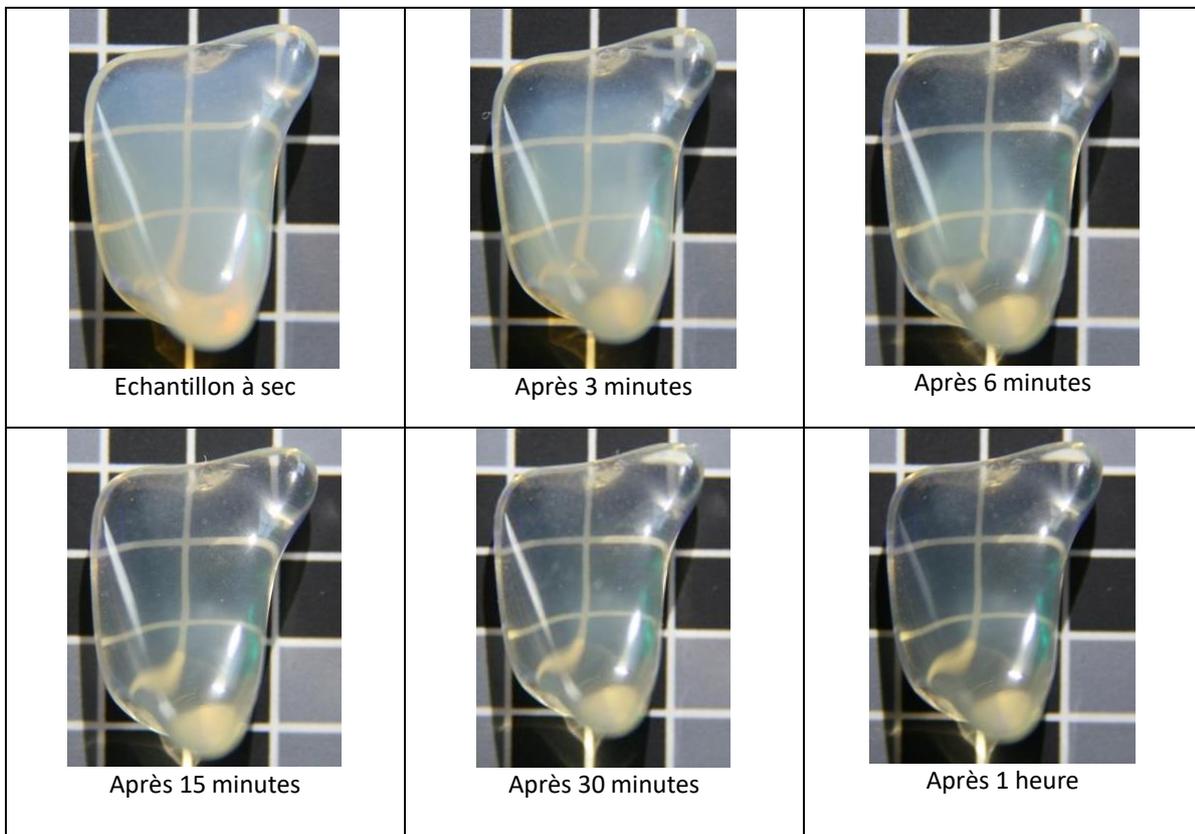
L'échantillon LE20



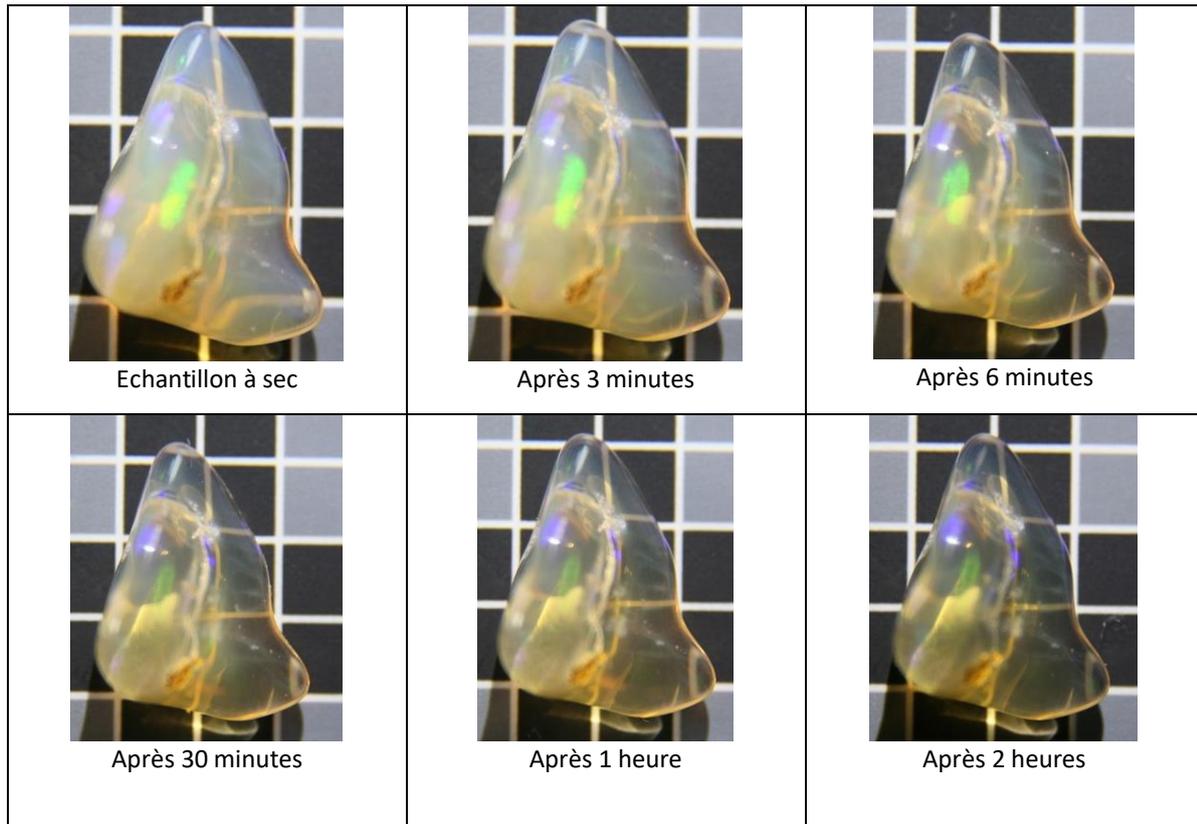
L'échantillon LE21



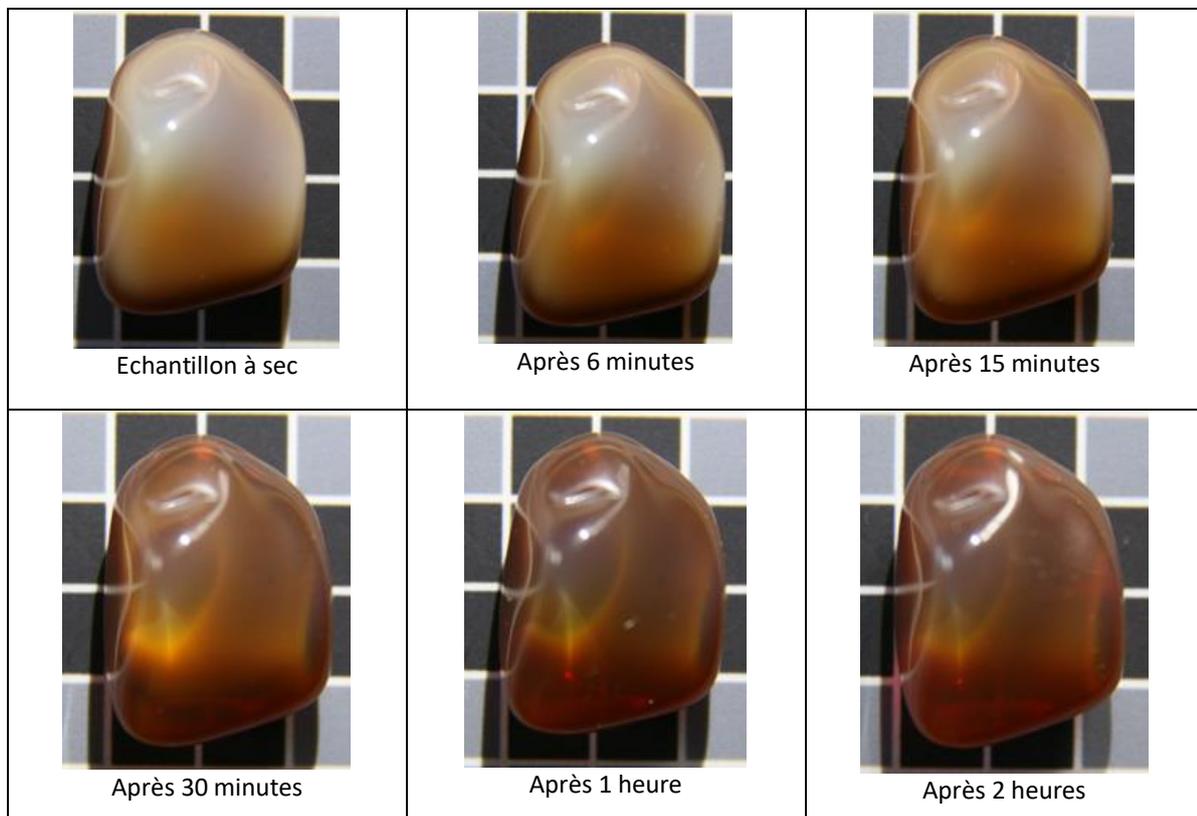
L'échantillon LE22



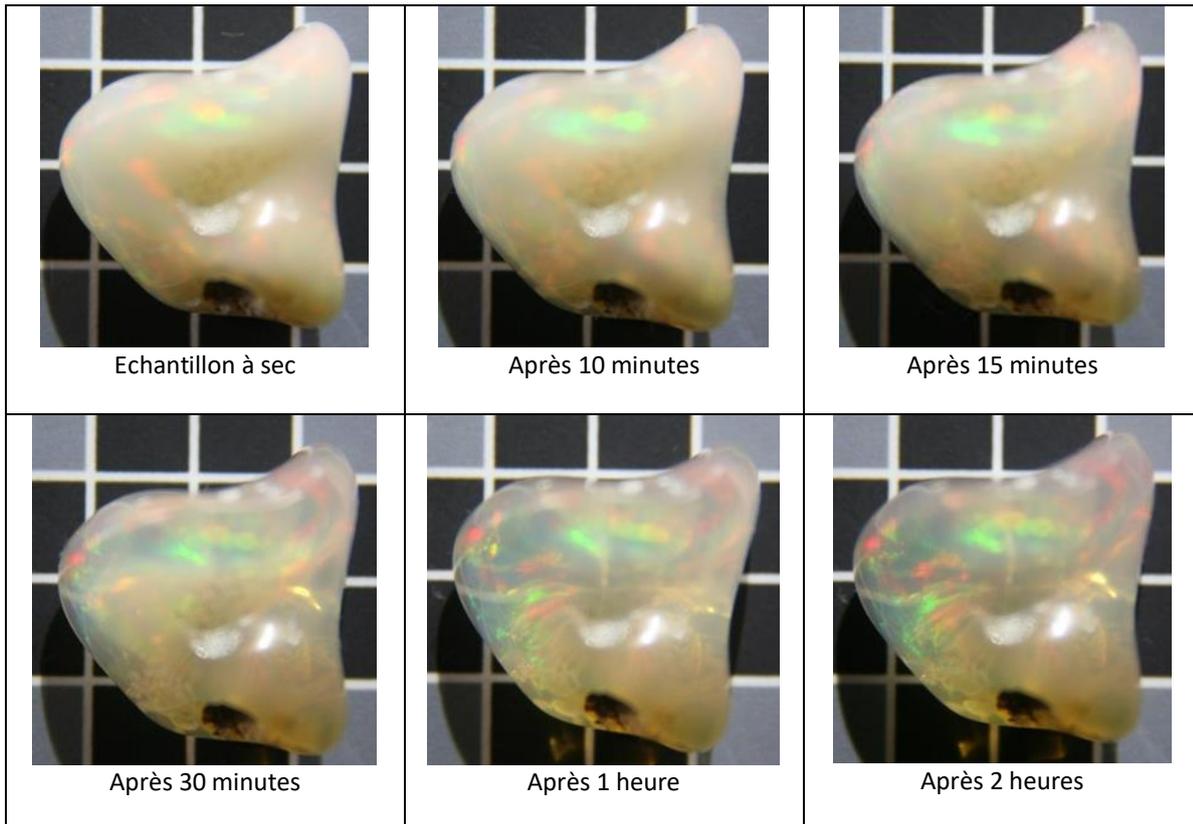
L'échantillon LE23



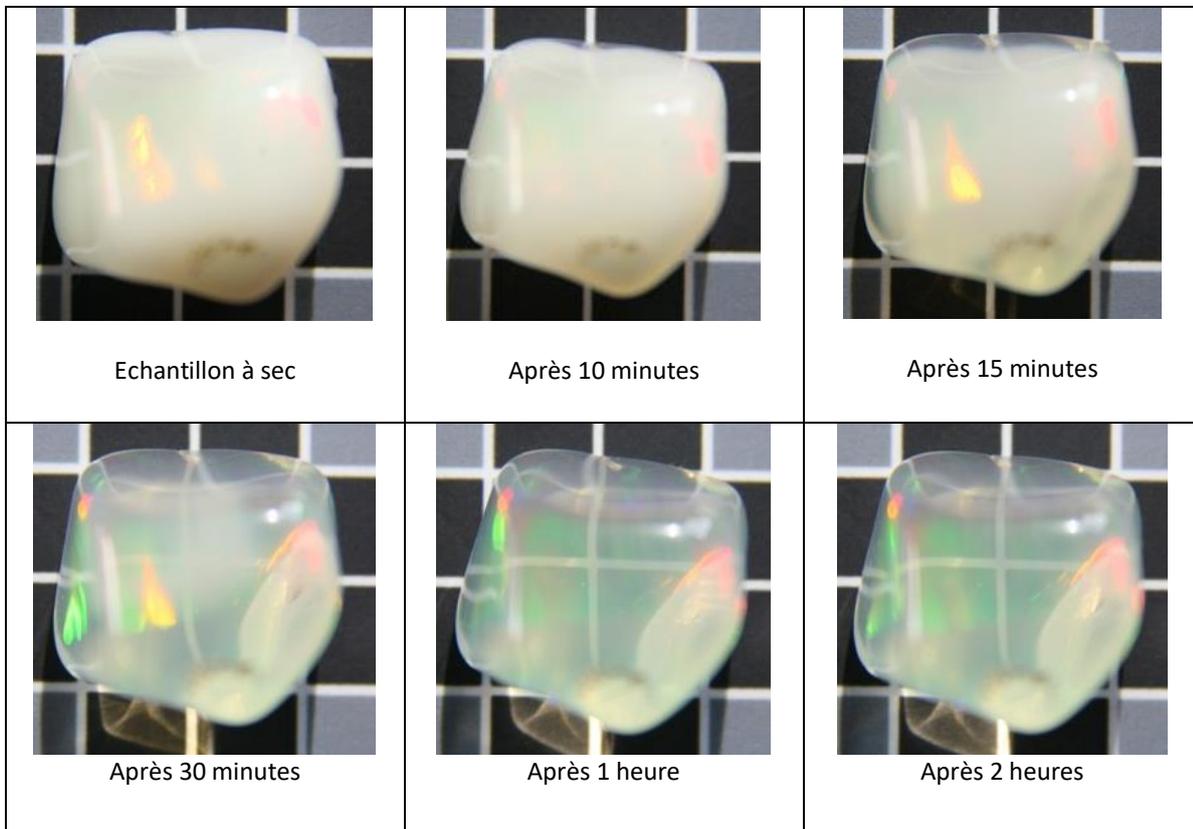
L'échantillon LE24



L'échantillon LE25



L'échantillon LE26



L'échantillon LE27

