



Gemmologie de laboratoire

LA COQUILLE FLAMMÉE DU CASQUE ROUGE, *CYPRÆCASSIS RUFA*

Jean-Pierre Gauthier¹, Jacques Fereire¹, Thanh Nhan Bui²

Abstract

*Among molluscs with porcelain shells mainly constituted of non-pearly aragonite, we have chosen that of a gastropod, *Cypraeacassis rufa* (Linné, 1758), to show an example of the presence of flames on cabochon-cut specimens. The crossed structure of this shell, formed of lamellae of different orders, is present in its body. On fragments with a polished flat surface, a moiré effect can be seen. Moreover, on the curved surfaces of the cabochons, a kind of pseudo-chatoyancy appears. The flames are due to the reflection of light on second-order lamellae stacked in first-order lamellae of alternating orientation around their stacking axis.*

Résumé

Parmi les mollusques à coquille dite porcelainée, constituée principalement d'aragonite non nacrée, nous avons choisi celle d'un gastéropode, *Cypraeacassis rufa* (Linné, 1758), pour montrer un exemple de la présence de flammes sur des cabochons. La structure croisée de cette coquille, formée de lamelles de différents ordres, est à l'origine des flammes visibles sur des échantillons taillés dans sa paroi interne. On observe un effet de moiré sur des fragments à surface plane polie et une pseudo-chatoyance sur des formes en cabochon. Les flammes sont dues à la réflexion de la lumière sur des lamelles de second ordre empilées dans des lamelles de premier ordre d'orientation alternée autour de leur axe d'empilement.

¹ Centre de Recherches Gemmologiques, Nantes, France : jpk.gauthier@gmail.com ; jacques.fereire@hotmail.fr

² Rue du Compas, 47/4, 1070 Brussels, Belgium : tnhan93@gmail.com

Image d'illustration de l'article : Cabochons flammés provenant d'une coquille de *Cypraeacassis rufa*. Taille : J. Fereire, Photo : J.-P. Gauthier.

Header image: *These cabochons made of shells of *Cypraeacassis rufa* all display a flame structure. Cut by J. Fereire, photo by J.-P. Gauthier.*

INTRODUCTION

Parmi les effets optiques décrits en gemmologie, les "flammes" restent l'apanage des perles et des coquilles de certains bivalves ou gastéropodes à coquille non nacrée, même si l'on a pu trouver ponctuellement un phénomène très ressemblant dans une opale d'Éthiopie (Renfro, 2017). Ces mollusques sont susceptibles de produire des perles dites porcelainées, pouvant présenter des flammes visibles à l'œil nu.

Les perles flammées sont beaucoup moins courantes que les perles nacrées : relativement rares sur le marché, mais parfois très attractives sont les perles de *Tridacna gigas* (Linné, 1758), - le bénitier géant -, et plus généralement de la famille des Tridacnées [du genre *Tridacna* (Bruguière, 1797) ou *Hippopus* (Lamarck, 1799)].

Les plus connues et très appréciées en haute joaillerie sont les perles roses de *Aliger gigas* (*Strombus gigas*) (Linné, 1758), - pink conch ou *Queen conch* en anglais - (Fritsch & Misiorowski, 1987; Federman & Bari, 2007), suivies par les perles de Melo (Broderip, 1826 pour le genre, Lightfoot, 1786 pour l'espèce), moins fréquentes. Rarissimes sont celles d'autres mollusques univalves ou bivalves (voir Gauthier *et al.* 2019).

Des imitations de perles flammées ont pu être réalisées dans des coquilles de bénitier -*Tridacna gigas*- en raison de leur épaisseur suffisante (Wentzell, 2004), toujours teintées quand il s'agit de simuler des perles de Melo (Wentzell, 2006 ; Krzemnicki, 2006) ou dans des coquilles de Lambi - *Aliger gigas* - (Disner & Notari, 2015). Toutefois, elles ne doivent pas tromper le gemmologue averti en raison de la différence de structure entre perle et coquille

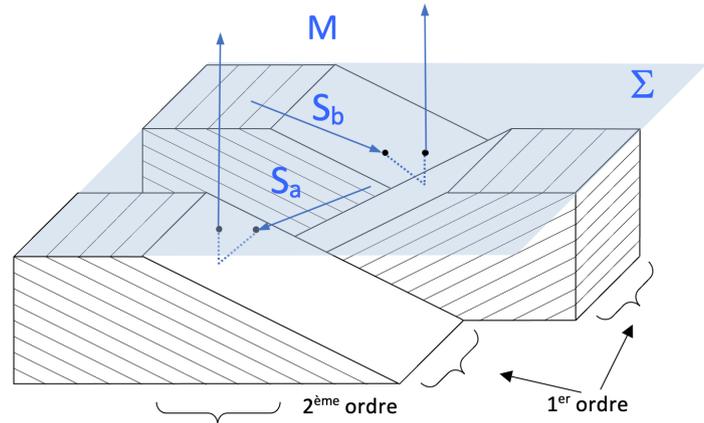


Figure 1 : Représentation des premier et deuxième ordres de la structure croisée d'une coquille de mollusque "porcelainée". Pour être observées au microscope (M), les flammes visibles sur les Figures 6a et 6b doivent être éclairées par des sources Sa et Sb très inclinées par rapport à la verticale. Celles-ci sont orientées dans l'axe des lamelles de premier ordre, à gauche et à droite, respectivement, et les faisceaux de lumière, entrant par le plan de polissage (Σ), sont réfléchis par les lamelles de second ordre.

Figure 1: Representation of the first- and second-orders of the crossed-lamellar structure in a porcelaneous mollusc shell. To be observed under the microscope (M), the flames visible in Figures 8a and 8b must be illuminated by sources Sa and Sb strongly tilted from the vertical. These sources are oriented along the axis of the first-order lamellae, Sa to the left and Sb to the right respectively, and the light beams, entering through the polished surface (Σ) of the sample, are reflected by the second-order lamellae.

(Krzemnicki & Cartier, 2017) et également, pour la coquille de Melo, de sa faible épaisseur, souvent peu propice à la réalisation de perles de diamètre suffisant. Dans les mollusques porcelainés, on rencontre une structure en lamelles d'aragonite entrecroisées, décrite dans de très nombreux articles (voir par exemple : Kamat, 2000 ; Osuna-Mascaró, 2014 ; Ballarini & Heuer, 2008). L'enchevêtrement des lamelles peut se faire selon plusieurs ordres, jusqu'à cinq ou six, ce qui est d'ailleurs un gage de très bonne tenue mécanique (ex: Kamat *et al.*, 2000 ; Romana, 2013).

Ce système lamellaire complexe, schématisé sur la Figure 1 pour les deux premiers ordres, - généralement visibles au microscope optique - , donne lieu,

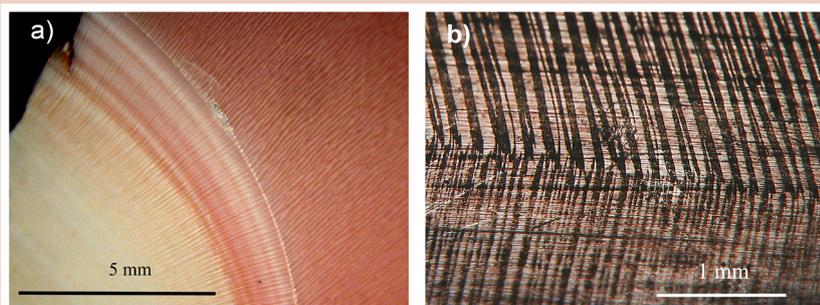


Figure 2 : a) Structures lamellaires d'une coupe de *Aliger gigas*, réalisée perpendiculairement à l'axe d'enroulement de la coquille, montrant des variations de la teinte colorée selon les zones de croissance. b) Alternance d'orientation des lamelles de premier ordre, claires et sombres, en deux blocs distincts, supérieur et inférieur. Leur striation révèle l'émergence des lamelles de second ordre. Photos J.-P. Gauthier.

Figure 2: a) Lamellar structures on a section of *Aliger gigas*, cut perpendicular to the winding axis of the shell showing variations in color hues depending on the growth layers. b) Alternating orientation of the first-order lamellae, light and dark, into two distinct blocks, upper and lower. Their striation reveals the emergence of second-order lamellae. Photos by J.-P. Gauthier.

lorsque la matière est travaillée par le lapidaire, à de beaux effets optiques, comme nous le montrerons sur un gastéropode, *Cypraeacassis Rufa*.

Auparavant, nous pouvons illustrer ces structures lamellaires avec une coupe transversale de Lambi (*Aliger gigas*) (Figure 2a). Sur la Figure 2b, la structure croisée des lamelles de premier ordre est révélée par leur teinte alternativement claire et sombre. Sur les lamelles claires, la striation fine visible correspond à l'émergence en surface des lamelles de second ordre.

CYPRAEACASSIS RUFA



Figure 3 : Carte des occurrences de *Cypraeacassis rufa*, d'après les données du GBIF : © OpenStreetMap contributors.

Figure 3: Map of *Cypraeacassis rufa* occurrences, based on GBIF data: © OpenStreetMap contributors.

Ce gastéropode est une espèce abondante, de la zone Indo-Pacifique jusqu'à Madagascar. La Figure 3 montre une carte de distribution des occurrences de *Cypraeacassis rufa* éditée par le réseau GBIF (Global Biodiversity Information Facility, 2022). Il n'est pas - ou pas encore - protégé par la CITES (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora), mais une pêche intensive pourrait à terme mener à sa raréfaction.

Il porte le nom vernaculaire de "casque rouge" - *red helmet* en anglais - en raison de sa forme et de sa couleur, ou plus rarement de "gueule de taureau" (Figures 4a,b,c). Sa longueur peut atteindre 16 cm. Les variations de couleur de sa coquille, notamment en épaisseur, du brun rouge à rouge ou rose jusqu'au blanc, ont justifié son utilisation dans l'artisanat

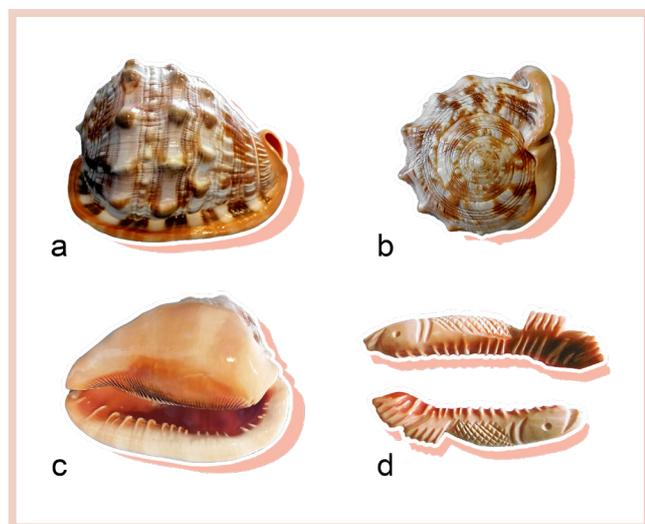


Figure 4 : a) Vue de la partie dorsale, b) de la partie ventrale et c) de la base d'une coquille de *Cypraeacassis rufa* (Photos : Thanh Nhan Bui). d) Porte-couteaux en forme de poissons taillés dans l'ouverture de la partie ventrale (Collection & photo : J.-P. Gauthier).

Figure 4: a) Dorsal view, b) ventral view and c) posterior view of a *Cypraeacassis rufa* shell (Photos by Thanh Nhan Bui). d) Fish-shaped knife holders carved into the opening of the ventral part (Collection & photo: by J.-P. Gauthier).

du camée (Brown, 1986) comme d'ailleurs *Cassis madagascariensis*, le "casque empereur" - *queen helmet* en anglais – qui vit principalement dans l'Atlantique Ouest, le Golfe du Mexique et les Caraïbes et pas du tout dans l'Océan Indien.

Cypraeacassis rufa a aussi été en vogue, notamment dans les années 1920/1930, dans les arts de la table, taillé sous forme de porte-couteaux dans la partie ventrale, au bord de l'ouverture (Figure 4d). Dans l'ancien temps, la lèvre externe de *Cypraeacassis rufa* a aussi été travaillée et utilisée comme outil de coupe dans les archipels du Pacifique Ouest (Radclyffe, 2015).

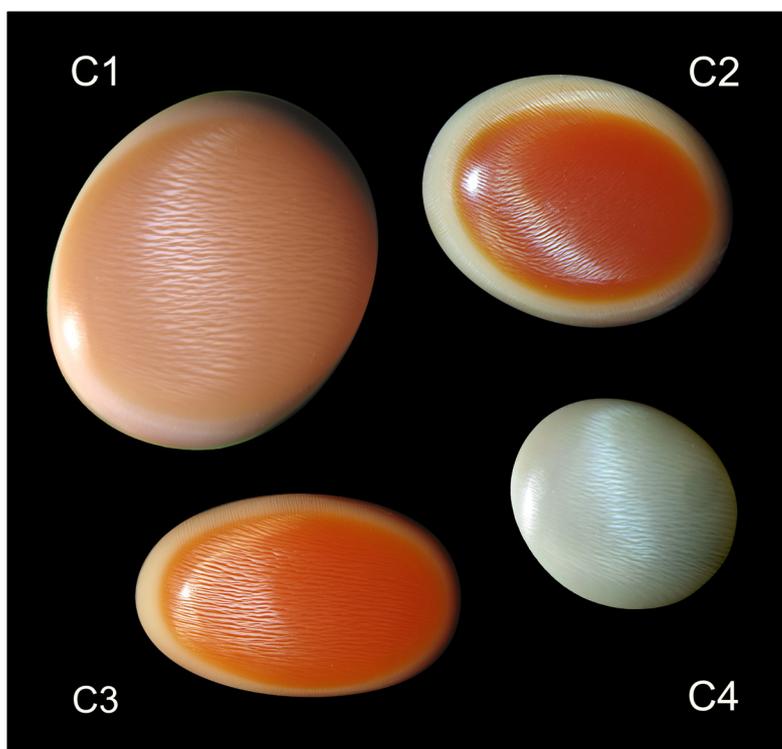


Figure 5 : Cabochons flammés provenant d'une coquille de *Cypraeacassis rufa*. Taille : J. Fereire, Photo : J.-P. Gauthier.

Figure 5: These cabochons in shells of *Cypraeacassis rufa* all display a flame structure. Cut by J. Fereire, photo by J.-P. Gauthier.

MATÉRIEL D'ÉTUDE

L'un des auteurs (JF) a réalisé des coupes dans des coquilles de *Cypraeacassis rufa* afin d'en tailler quelques morceaux en plaquettes et en forme de cabochons. Très vite il s'est aperçu que l'entreprise n'est pas aisée lorsqu'il s'agit de mettre en exergue les parties flammées. En particulier, certaines des plus belles structures lamellaires sont localisées dans une partie mince et concave de la coquille, d'où la difficulté de taille en cabochon.

Le tableau A présente l'ensemble des échantillons utilisés dans cet article. Sur la Figure 5, tous les cabochons proviennent de la paroi interne de *Cypraeacassis rufa* et ont une base sensiblement parallèle aux zones de croissance, qui rendent compte aussi de la succession dans l'épaisseur de la coquille des couleurs claires et sombres, et qui s'étalent du rouge orangé au blanc, avec des nuances roses intermédiaires selon leur localisation.

Formes	Référence	Masse (carats)	Dimensions L x l x h (mm)	Numéros de figure
Cabochons	C1	3,7	14,6 x 12,5 x 3,1	5 et 12
	C2	1,9	12,5 x 9,4 x 3,1	5 et 11
	C3	2,85	13,5 x 8,4 x 4,1	5
	C4	1,3	9,4 x 8,3 x 2,1	5
	C5	1,4	11,5 x 8,3 x 3,0	9 à gauche
	C6	2,0	12,5 x 8,3 x 3,3	9 à droite
	C7	2,6	12,5 x 9,4 x 2,7	10
	C8	1,9	13,5 x 8,3 x 3,1	13
Plaquette plane	P1	3,55	21,9 x 11,4 x 2,5	7

Tableau A : Liste des échantillons utilisés.

Table A: Sample list.

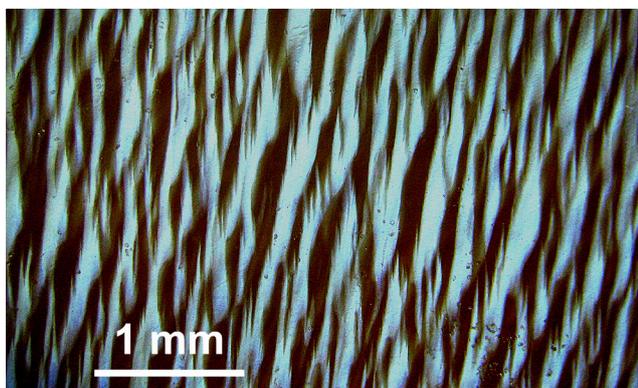


Figure 6 : Aspect des flammes de *Cypraea rufa*. Photo J.-P. Gauthier.

Figure 6: Aspect of the flames of Cypraea rufa. Photo by J.-P. Gauthier.

Mise en évidence des flammes de la coquille

À fort grossissement, les effets lumineux sont très caractéristiques et méritent bien le nom de flammes, plus ou moins larges et surtout ornées de nombreuses "flammèches" fines et pointues (Figure 6). Elles s'alignent dans une direction générale moyenne, mais peuvent changer d'orientation dans une autre partie de l'échantillon (voir Figure 12). Leurs dimensions latérales s'évaluent en dixièmes de millimètre. Leur aspect changeant mérite que l'on décrive plus précisément les conditions d'apparition des phénomènes optiques observés.

Observation des flammes sur un échantillon plat

Moirés

Dans un premier temps, un des échantillons (P1) a été aplani et lustré sur un plateau de polissage. Si l'on impose un léger mouvement de précession à l'échantillon, sous une lampe fixe, ou si l'on fait osciller la lampe source au voisinage d'une position permettant l'observation des flammes, celles-ci sont très mouvantes et l'on a tout à fait l'impression de moirés. Les Figures 7a et 7b, prises pour deux positions légèrement différentes de la source de lumière montrent des ensembles de franges nettement différents sur l'échantillon resté en place.

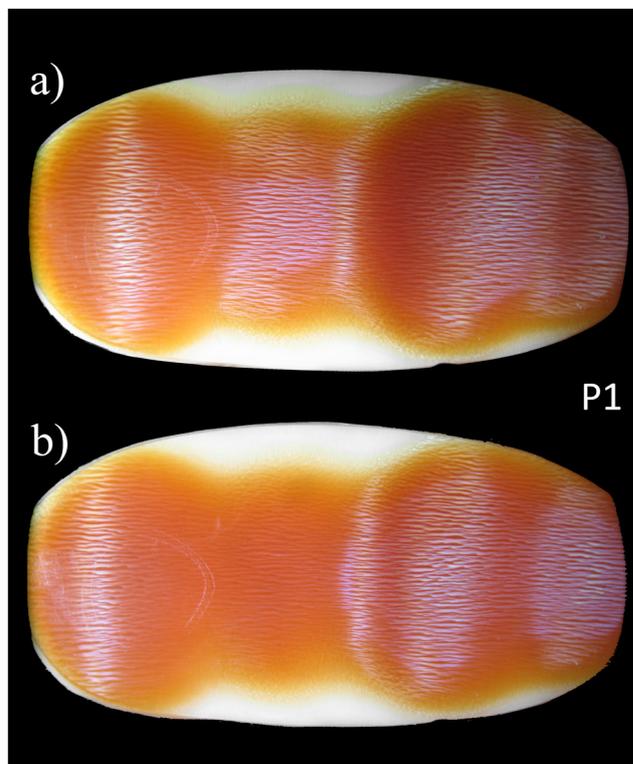


Figure 7 : a) Effet de moiré sur une surface plane de coquille de *Cypraea rufa* (échantillon P1). La source de lumière provenant de la gauche est très proche de l'horizontale en (a) et relevée de 5 degrés environ en (b). Photo J.-P. Gauthier.

Figure 7: a) Moiré effect on a flat surface of Cypraea rufa shell (sample P1). The light source, located on the left, is very close to the horizontal in (a) and raised about 5 degrees in (b). Photo by J.-P. Gauthier.

Inversion du système de flammes

Une autre constatation peut être faite : Nous avons vu que les flammes s'éclairent lorsque la source est dirigée selon leur axe, par exemple à gauche (Figure 8a). Que se passe-t-il si l'on place la lampe en position symétrique, à droite ? Le système de flammes initial "s'éteint", alors qu'un autre système de flammes "s'allume" (Figure 8b). Il y a inversion des zones claires et des zones sombres de sorte que la seconde figure apparaît comme un négatif de la première. Pour s'en convaincre, il suffit de superposer les deux images (en prenant la précaution de conférer une transparence adéquate aux clichés pour tenir compte des différences d'intensité lors du basculement de la lampe d'un côté à l'autre) et de constater que l'on obtient une zone sensiblement uniforme (Figure 8c).

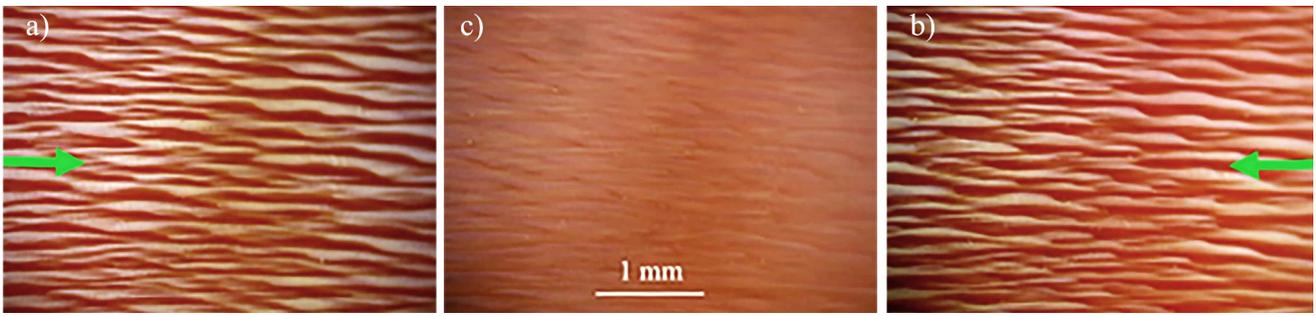


Figure 8 : Inversion du système de flammes lorsque la source de lumière est déplacée symétriquement, de gauche (a) à droite (b), dans l'axe des flammes. En superposant les deux clichés, on obtient une zone quasi uniforme (c). Les flèches indiquent la direction de la lumière, dans l'axe des flammes. Photos J.-P. Gauthier.

Figure 8: Reversal of the flame structure when the light source moves symmetrically from left (a) to right (b). By superimposing the two images, we obtain an almost uniform area (c). Green arrows indicate the direction of light, along the flame axis. Photos by J.-P. Gauthier.

Observation des flammes sur des cabochons

Dans la configuration de coupe mentionnée ci-dessus (approximativement parallèle aux couches de croissance), les échantillons C5 et C6 en forme de cabochon n'ont montré de flammes que dans des conditions assez restrictives. Il s'est avéré qu'elles apparaissent pour une source orientée dans la direction générale des flammes et sous une incidence proche de l'horizontale (Figures 9a et 9b). En changeant progressivement l'azimut de la lampe à partir de sa position initiale, toujours sous une incidence proche de l'horizontale, les flammes disparaissent rapidement. La Figure 9c montre en particulier leur absence pour une source presque horizontale, c'est-à-dire au voisinage du plan de base du cabochon, et dirigée perpendiculairement à l'axe des flammes. Elles disparaissent également lorsque l'angle d'incidence diminue. La Figure 9d montre cette extinction pour une source située à la verticale au-dessus du dôme concerné.

Pseudo chatoyance

La chatoyance apparaît dans une gemme lorsqu'elle possède des inclusions fines, allongées et parallèles diffusant la lumière et qu'elle est taillée en cabochon. Les flammes fines et grossièrement parallèles des coquilles aragonitiques dites porcelainées de mollusques peuvent donner l'impression d'un œil-de-chat, comme sur le cabochon C7 de la Figure 10. La réalité est bien différente : l'effet optique

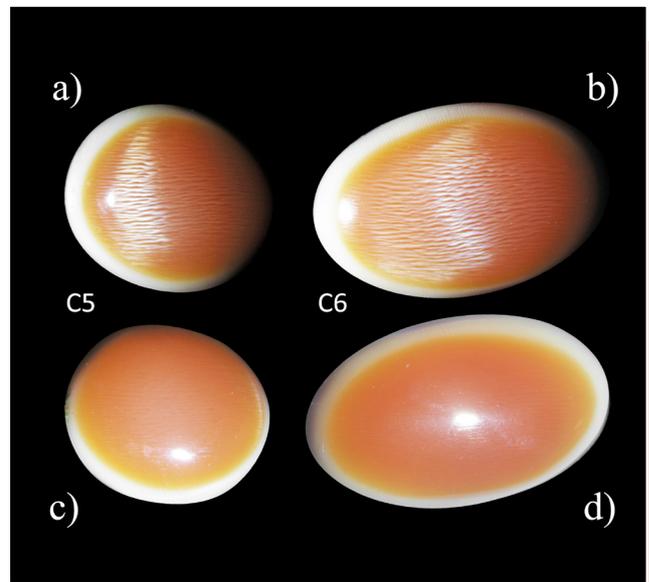


Figure 9 : Conditions d'apparition ou d'extinction des flammes : a) et b) Source basse proche de l'horizontale, provenant de la gauche et dans l'axe des flammes ; c) Source basse provenant du bas, dirigée perpendiculairement aux flammes ; d) Source à la verticale du cabochon.

N.B. : Les taches spéculaires (images de la lampe réfléchiées par la surface des cabochons) rendent compte clairement de la position de la source (cabochon C5 à gauche et C6 à droite). Photo : J.-P. Gauthier.

Figure 9: Conditions for the appearance or extinction of flames: a) and b) Source close to the horizontal, oriented along the flame axis; (c) Near horizontal source, directed perpendicular to the flames; (d) Vertical source with respect to the cabochon.

N.B.: The specular spots (images of the lamp reflected by the cabochon surfaces) clearly reflect the position of the source (C5 cabochon on left and C6 on right). Photo by J.-P. Gauthier.

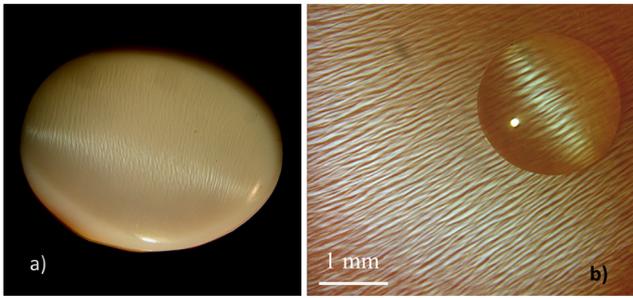


Figure 10 : a) Pseudo-œil-de-chat sur le cabochon C7 taillé dans une coquille de *Cypraeacassis rufa*. b) La pseudo-chatoyance observée sur un cabochon de faible courbure est ici mise en valeur à l'aide d'une goutte d'eau. Photos J.-P. Gauthier.

Figure 10: a) Pseudo-cat's-eye on the cabochon C7 cut in a shell of *Cypraeacassis rufa*. b) The large band of pseudo-chatoyancy visible on a cabochon of low curvature is enhanced significantly by placing a water drop on the surface. Photos by J.-P. Gauthier.

provient de la réflexion de la lumière sur des lamelles d'orientation alternée, conduisant à l'observation de flammes claires et sombres juxtaposées, comme nous l'avons indiqué ci-dessus. Lorsque la surface est plate, les flammes sont étendues et réfléchissent la lumière sur une surface importante (Figure 7). En revanche, la taille en cabochon limite le domaine de réflexion sur la longueur des flammes, d'autant plus que la courbure de la surface est forte, pour donner une pseudo-chatoyance consistant en une bande hachurée plus ou moins large, perpendiculaire aux flammes (Figure 10a). Du fait de la faible épaisseur de la coquille et de la présence de flammes sur la partie concave de la coquille, les cabochons ont souvent une courbure faible, - sauf pour les plus petits d'entre eux -, et donc une large bande de pseudo-chatoyance (Figure 10b).

Cette bande peut être artificiellement resserrée en utilisant la méthode de la goutte d'eau, parfois mise en œuvre par le lapidaire pour détecter la chatoyance ou l'astérisme sur un minéral brut et centrer un œil-de-chat ou une étoile (Gauthier, 2011). Sur la Figure 10b, l'impression d'un effet œil-de-chat est générée par la forte courbure de la goutte d'eau, qui restreint le champ d'observation des flammes.

De toute évidence, deux pseudo-œils-de-chat différents, angulairement séparés, sont attendus sur le cabochon C2 éclairé par deux sources, comme

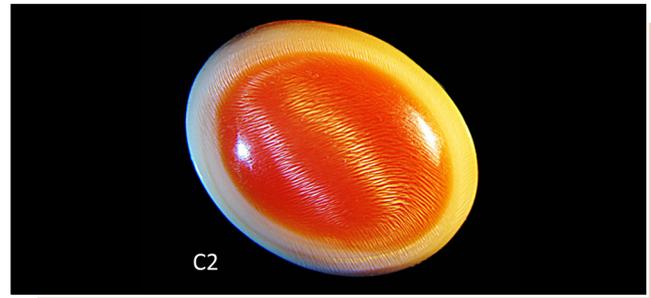


Figure 11 : Pseudo-œils-de-chat sur l'échantillon C2 obtenus avec deux lumières différentes (froide et chaude) afin de distinguer leur origine respective. Photo J.-P. Gauthier.

Figure 11: Pseudo-cat's-eyes on the C2 sample obtained by two different lights (cold and warm) in order to distinguish their respective origin. Photo by J.-P. Gauthier.

sur la Figure 11, où une lumière froide (à gauche) et une lumière chaude (à droite) sont utilisées. Il faut ajouter que les pseudo-œils-de-chat se déplacent dans le sens opposé au mouvement de la lampe, comme dans le cas de la chatoyance classique.

Doubles ensembles de flammes

Les flammes s'expriment à partir d'une structure aragonitique de strates parallèles minces. Dans l'épaisseur de la coquille, les ensembles de strates peuvent changer d'orientation, comme illustré par Hänni dans le cas du lambi (2009, 2010) ou sur le cabochon C1 de *Cypraeacassis rufa* (Figure 12). Sur cette figure, le cabochon de couleur saumon

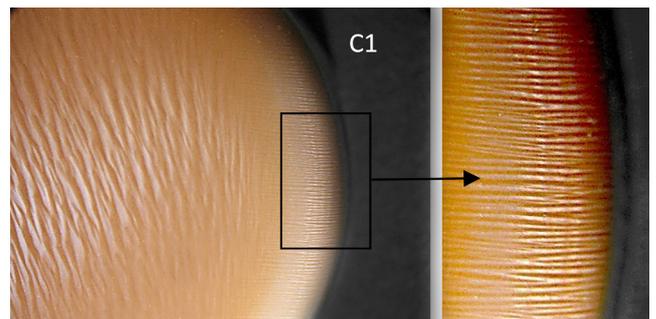


Figure 12 : Cabochon C1 de *Cypraeacassis rufa* avec deux effets pseudo-chatoyants, dus à deux jeux de flammes, a) l'un sur le dôme (largeur de champ : 1 cm) et b) l'autre sur le bord. Photos de J.-P. Gauthier.

Figure 12: C1 cabochon of *Cypraeacassis rufa* with two pseudo-chatoyant effects, due to two flame sets, a) one on the dome (fov: 1 cm) and b) the other on the rim. Photos by J.-P. Gauthier.

présente deux domaines de flammes, l'un foncé sur la partie haute du dôme, l'autre légèrement plus clair en embase. Ils correspondent à deux orientations différentes des lamelles. Ce changement d'orientation des lamelles est souvent accompagné d'un changement de teinte ou de couleur, comme dans le cas présent. Une bande de pseudo-chatoyance large est observée sur le dôme à faible courbure, et une autre plus étroite sur le pourtour plus incurvé.

Le cabochon C8 bicolore de la Figure 13a présente apparemment au centre du dôme deux systèmes de flammes angulairement décalés. Mais ce n'est pas une grille bidimensionnelle. Cet effet est dû au fait qu'on se trouve juste à la séparation entre deux blocs de lamelles avec des alignements de flammes tournés d'environ 55° l'un par rapport à l'autre (Figure 13b). Une certaine transparence, due à la très faible épaisseur de la couche supérieure, est bien entendu nécessaire pour l'observation de cette grille. Du fait de la

double striation, on pourrait s'attendre à un pseudo-astérisme dû à la combinaison de l'effet optique sur chacun des deux réseaux. Cependant nous n'observons qu'une pseudo-chatoyance large provenant de la couche supérieure (que l'on restreint à l'aide d'une goutte d'eau, correspondant aux lamelles orientées SO-NE (Figure 13b, flèche). Mais il faut rappeler que les flammes s'observent lorsque le faisceau de lumière est dans l'axe de celles-ci et donc que l'on peut tout au plus n'avoir qu'un effet de pseudo-chatoyance sur cette grille.

Enfin, une observation complémentaire peut être faite sur cet échantillon. En raison de la faible épaisseur et de la transparence de la première couche sur le dôme du cabochon de la Figure 13a, il est possible de voir la forme des parois des lamelles de premier ordre : presque perpendiculaires à la base du cabochon et éclairées latéralement, elles apparaissent (mais plus particulièrement au microscope binoculaire) sous forme de bandes

Les flammes s'expriment à partir d'une structure aragonitique de strates parallèles minces.

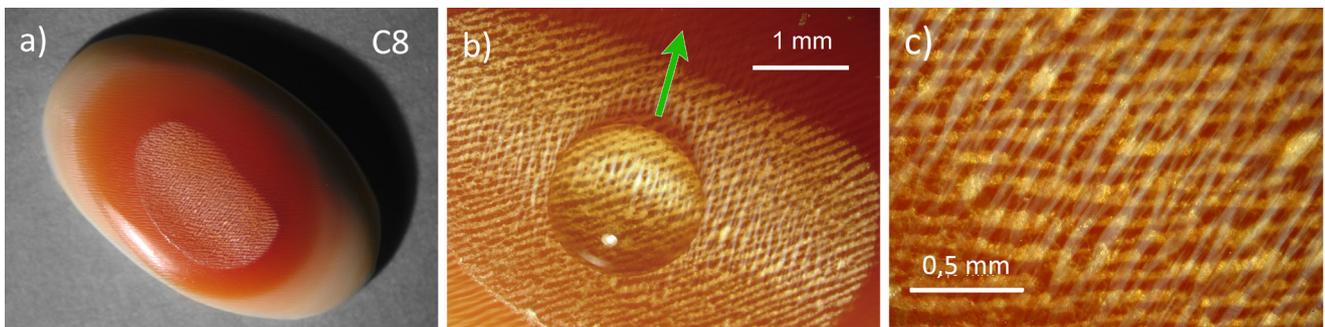


Figure 13 : a) Le cabochon C8 de *Cypraecassis rufa* présente deux systèmes croisés de flammes dans la partie supérieure du dôme ; b) Elargissement de la zone apicale, montrant les deux orientations des lamelles et mise en évidence à l'aide d'une goutte d'eau de la pseudo-chatoyance due au système de lamelles de la partie supérieure, orientées SSW-NNE (flèche verte). La tache spéculaire montre que la lampe est en position très inclinée par rapport à la verticale et dirigée parallèlement aux lamelles induisant la pseudo-chatoyance ; c) Les bandes blanches translucides représentent les parois des lamelles de premier ordre. Photos J.-P. Gauthier.

Figure 12: a) The C8 cabochon of *Cypraecassis rufa* displays two crossed flame systems in the upper part of the dome; b) Enlargement of the apical zone, showing both orientations of the lamellae and highlighting with a drop of water the pseudo-chatoyance due to the system of lamellae, oriented SSW-NNE (green arrow), in the upper part. The specular spot shows that the lamp is largely tilted with respect to the vertical and directed parallel to the lamellae inducing pseudo-chatoyancy. c) The translucent white bands represent the walls of the first-order lamellae. Photos by J.-P. Gauthier.

laiteuses sinueuses très minces, légèrement inclinées par rapport à la verticale (Figure 13c). Elles sont probablement constituées de matière organique, comme dans tout assemblage des "briques" élémentaires des coquilles d'univalves et de bivalves.

DISCUSSION

Il était difficile a priori d'expliquer facilement la présence et le comportement des flammes dans la coquille d'un mollusque "porcelainé" car, avant la taille, on ignore généralement l'orientation exacte des plans lamellaires dont l'existence est visible par leur trace en surface. Cependant, la connaissance par la littérature de la structure croisée non nacrée de certains mollusques ainsi que la présente expérimentation nous conduisent à la conclusion que :

- Les flammes sont parallèles aux lamelles de premier ordre.
- Leur présence peut être comprise comme la réflexion (et non la diffusion) de la lumière, dans l'axe des flammes, sur les lamelles de second ordre. La structure croisée des lamelles de premier ordre explique l'alternance des flammes claires et sombres (voir le schéma de la Figure 1).

Par rapport à la chatoyance classique, des différences sont à noter :

Les flammes sont obtenues avec une lumière dirigée selon leur axe, alors que les inclusions aciculaires, en incidence rasante, sont visibles lorsqu'elles sont perpendiculaires à la direction de la lumière (Gauthier et Bui, 2017). En revanche, la bande de chatoyance est perpendiculaire à l'axe des flammes, comme l'œil-de-chat est perpendiculaire aux inclusions aciculaires des gemmes chatoyantes usuelles.

Flammes et flammèches

Le modèle idéalisé de lamelles à parois planes et parallèles est théorique. En fait, si elles présentent des courbures et ondulations, les flammes ne seront pas des rectangles ou parallélogrammes plans réfléchissant la lumière de façon géométrique. De ce fait, leurs contours sont plus harmonieux, et accentuent les effets optiques de moirés.

Les orientations exactes des lamelles de premier ordre et de second ordre par rapport à la surface de coupe ne sont pas forcément bien connues. Il en résulte que l'interprétation des formes et imbrications des flammes et flammèches n'est pas évidente.

Cependant, le modèle rigide n'est pas inintéressant pour proposer une origine possible de la relation entre flammes et flammèches. La structure entrecroisée entraîne un positionnement angulaire différent des ensembles de lamelles de second ordre par rapport à la surface de l'échantillon. Si les lamelles de second ordre sont peu inclinées dans une lamelle de premier ordre par rapport à cette surface, elles seront probablement beaucoup plus inclinées dans la lamelle de premier ordre voisine (Figure 14a).

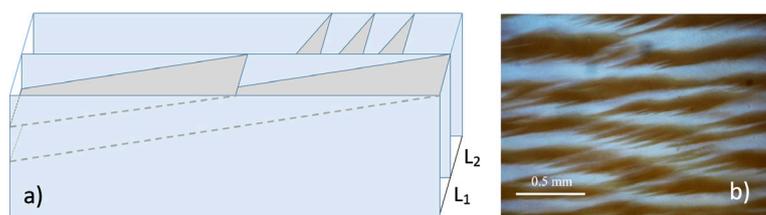


Figure 14: a) Représentation de deux lamelles adjacentes L_1 et L_2 de premier ordre (limitées par les parois bleu clair) présentant des lamelles de second ordre inclinées faiblement (en avant) ou fortement (en arrière) par rapport à la surface de l'échantillon. b) Flammes et flammèches pourraient résulter de ce modèle. Photo by J.-P. Gauthier.

Figure 14: a) Sketch of two adjacent first-order lamellae L_1 and L_2 (bounded by the light blue walls) with second-order lamellae tilted slightly (forward) or strongly (backward) with respect to the sample surface. b) Flames and sparks could result from this model. Photo by J.-P. Gauthier.

Dans le premier cas, les flammes seront très allongées. Dans le second cas, le faisceau de lumière réfracté à la surface et réfléchi par les lamelles vers l'objectif du microscope montre la succession rapide de zones alternativement claires et sombres, constituant les flammèches, comme le montre le croquis de la Figure 15.

Au total, la réunion des réflexions sur des lamelles de second ordre pour deux lamelles de premier ordre adjacentes donne l'aspect de "peigne" observé sur la Figure 14b. En revanche, si la configuration est telle que les ensembles voisins de lamelles de second ordre sont relativement faiblement inclinés par rapport à la surface, on aura une situation mieux représentée par la Figure 8.

CONCLUSION

La texture croisée (semblable aux panneaux de bois en lamellé-collé), constituée de plusieurs ordres lamellaires de la coquille de mollusques "porcelainés", leur confère une grande résistance mécanique et a fait l'objet de nombreuses publications. Les couleurs alternées de *Cypraeacassis rufa* conviennent à la fabrication de camées, obtenus sur la partie externe de la coquille et parallèlement aux couches de croissance.

En revanche, la réalisation de cabochons pour souligner la structure de la flamme se heurte à sa localisation préférentielle dans les parties internes concaves de la coquille et à l'épaisseur relativement faible de la paroi concernée. Il est alors difficile de découper des cabochons de taille centimétrique à forte courbure. Les flammes orientées dans la même direction moyenne sont sinueuses et relativement larges, et donnent sur les cabochons coupés dans la coquille un effet pseudo-chatoyant tout à fait différent du phénomène œil-de-chat des cabochons réalisés dans des gemmes à inclusions minuscules et parallèles.

Cette pseudo-chatoyance apparaît comme une bande hachurée de portions de flammes plus ou moins larges selon la courbure des cabochons. Les flammes sont parallèles aux lamelles de premier ordre, mais elles sont dues à la réflexion de la lumière sur les lamelles de second ordre. Elles sont préférentiellement observées avec une lumière dirigée perpendiculairement à l'axe d'empilement des lamelles du premier ordre. La texture croisée, caractérisée par une alternance d'orientation des lamelles de second ordre, expliquerait en partie l'apparition de flammes et flammèches tour à tour claires ou sombres.

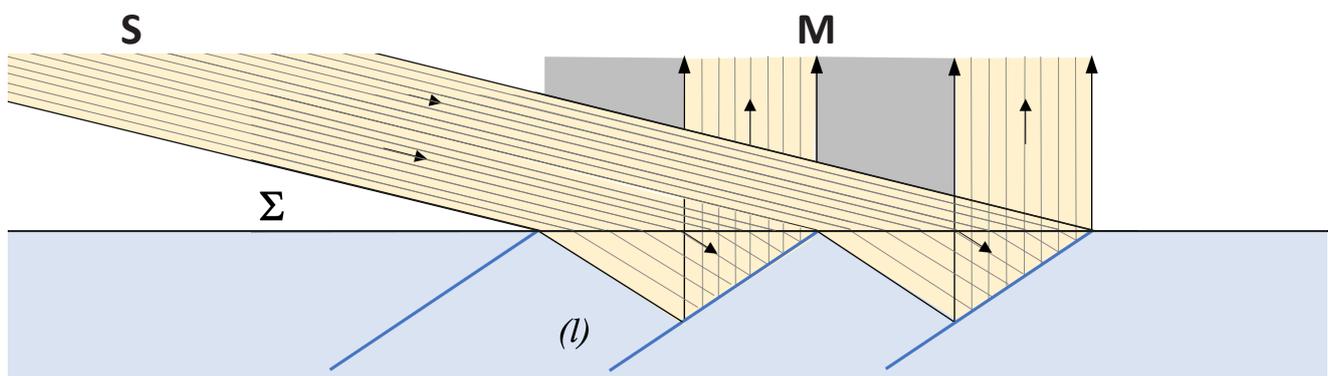


Figure 15: Représentation en coupe de la lamelle de premier ordre L2 de la Figure 14a. Lorsque les lamelles de second ordre (l) sont fortement inclinées par rapport à la surface (Σ) de l'échantillon, il y a une alternance rapide de zones sombres et claires, générant un système de flammèches tel que celui de la Figure 14b. Source S, observation au microscope M.

Figure 15: Cross-section of the first-order lamella L2 in Figure 14a. When the second-order lamellae (l) are steeply inclined to the surface (Σ) of the sample, there is a rapid alternation of dark and light areas, generating a succession of sparks such as those seen in Figure 14b. Source S, microscope M.

BIBLIOGRAPHIE

- Ballarini R. & Heuer A. (2008)** Des secrets dans la coquille. *Pour la Science*, 372, 86–92. <https://www.pourlascience.fr/sd/physique/des-secrets-dans-la-coquille-1339.php>
- Bari H. (2007)** The pink pearl: A natural treasure of the Caribbean. After the text by David Federman, *Skira ed.*, Milan, Italy, 173 p.
- Bari H. & Lam D. (2009)** Pearls. *Skira ed.*, Milan, Italy, 335 pp.
- Broderip (1826)** in: Sowerby, G.B.I. (1821-1834). The genera of recent and fossil shells, for the use of students, in *conchology and geology*. Published in 42 numbers. Vol. 1, pls 1-126 [1821-1825]; vol. 2, pls 127–262 + text (unpaginated) [1825-1834]. London: Sowerby.
- Brown G. (1986)** The gemmology of the shell cameo. *The Australian Gemmologist*, 16(4) 153–161.
- Bruguère J.G. (1791-1797)**. Tableau encyclopédique et méthodique des trois règnes de la nature. Vers, coquilles, mollusques et polypiers. Tome 1, 1-83, 85-132, pl. 1-95; Tome 2, pl. 96-189, pl. 190-286 Paris: Panckoucke.
- Dauphin Y., Guzman N., Denis A, Cuif J.P. & Ortlieb L. (2003)** Microstructure, nanostructure and composition of the shell of *Concholepas concholepas* (Gastropoda, Muricidae). *Aquatic Living Resources*, 16(2),95–103, [doi.org/10.1016/S0990-7440\(03\)00022-6](https://doi.org/10.1016/S0990-7440(03)00022-6).
- Disner E. & Notari F. (2015)** Gastropod shell beads disguised in a coral necklace. *The Journal of Gemmology*, 34(7),572–574.
- Fritsch E. & Misiorowski E.B. (1987)** The history and gemology of queen conch "pearls". *Gems & Gemology*, 23(4),208–221. <https://www.gia.edu/doc/The-History-and-Gemology-of-Queen-Conch-Pearls>
- Gauthier J.P. (2011)** Amusantes et instructives variations sur le thème de la détection de la chatoyance. *Revue de Gemmologie a.f.g.*, 178, 21–24.
- Gauthier J.P. & Bui T.N. (2017)** Illuminating different sets of acicular inclusions in 12-rayed star sapphires. *The Journal of Gemmology*, 35(7),587–589.
- Gauthier J.P., Fereire J. & Bui T.N. (2019)** Evidence of rotation on flame structured pearls from bivalves of Tridacnidae family. *Gems & Gemology*, 55(2),216–228.
- Global Biodiversity Information Facility (2022)**: https://www.gbif.org/occurrence/map?taxon_key=4360476.
- Hänni H.A. (2009)** Zur die Flammenstruktur bei einigen porzellanartigen Perlen. *Gemmologie-Zeitschrift der Deutschen Gemmologischen Gesellschaft*, 58(1–2) 47–52.
- Hänni H.A. (2010)** Explaining the flame structure of non-nacreous pearls. *The Australian Gemmologist*, 24(4),85–88.
- Kamat S., Su X., Ballarini R. & Heuer A.H. (2000)** Structural basis for the fracture toughness of the shell of the conch *Strombus gigas*. *Nature*, 405(6790) 1036–1040, doi.org/10.1038/35016535.
- Krzemnicki M.S. (2006)** A worked shell bead as an imitation of a Melo pearl. *The Journal of the Gemmological Association of Hong Kong*, 27, 31–33.
- Krzemnicki M.S. & Cartier L.E. (2017)** Fake pearls made from Tridacna gigas shells. *The Journal of Gemmology*, 35(5) 424–429, doi.org/10.15506/JoG.2017.35.5.424.
- Lamarck, J.B.M. (1799)**. Prodrôme d'une nouvelle classification des coquilles, comprenant une rédaction appropriée des caractères génériques, et l'établissement d'un grand nombre de genres nouveaux. Mémoires de la Société d'Histoire Naturelle de Paris. 1, 63-91.
- Lightfoot, J. (1786)**. A Catalogue of the Portland Museum, lately the property of the Dutchess Dowager of Portland, deceased; which will be sold by auction by Mr. Skinner & Co. [book]. London. viii + 194 pp.
- Linnaeus, C. (1758)**. Systema Naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis. Editio decima, reformata [10th revised edition], 1, 824 p. Laurentius Salvius: Holmiae.
- Osuna-Mascaró A., Cruz-Bustos T., Benhamada S., Guichard N., Marie B., Plasseraud L., Corneillat M., Alcaraz G., Checa A. & Marin F. (2014)** The shell organic matrix of the crossed lamellar queen conch shell (*Strombus gigas*). *Comparative Biochemistry and Physiology*, Part B, 168, 76–85, doi.org/10.1016/j.cbpb.2013.11.009.
- Radclyffe C.J.T. (2015)** Archaeology and shell adzes in Prehistoric Oceania: A revised methodological approach to the descriptive analysis of a Solomon Islands collection. Dissertation in Anthropology, University of Otago, Dunedin, New Zealand (9th October 2015), 94 p.
- Renfro N. & Skalwold E.A. (2017)** Flashes and flames in Ethiopian opal. *Gems & Gemology*, 53(1),104–105.
- Romana L., Thomas P., Bilas P., Mansot J.L., Merrifields M., Bercion Y. & Aranda D.A. (2013)** Use of nanoindentation technique for a better understanding of the fracture toughness of *Strombus gigas* conch shell. *Materials Characterization*, 76, 55–68, doi.org/10.1016/j.matchar.2012.11.010.
- Wentzell C.Y. (2004)** Imitation clam "pearl". *Gems & Gemology*, 40(4),355–356.
- Wentzell C.Y. (2006)** Imitation Melo "pearls". *Gems & Gemology*, 42(2),166–167.