
Ïy Mise au point d une approche non subjective de discri artificiellement modifiés (les Fakes) à partir de coquillages naturels : Approche photométrique et microscopique

Auteur : Ducrocq, Joséphine

Promoteur(s) : Poulicek, Mathieu

Faculté : Faculté des Sciences

Diplôme : Master en biologie des organismes et écologie, à finalité approfondie

Année académique : 2019-2020

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/9870>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.



PROMOTEUR DU MEMOIRE :

Dr. Mathieu Poulicek

Laboratoire d'écologie animale et
écotoxicologie, Unité d'écologie marine

**Mise au point d'une approche non subjective de discrimination de
coquillages artificiellement modifiés (les Fakes) à partir de
coquillages naturels :**

Approche photométrique et microscopique

Département Biologie, Ecologie, Evolution

Faculté des Sciences

Joséphine DUCROCQ

Année académique : 2019-2020

Mémoire présenté dans le cadre de l'obtention du Master en Biologie, à finalité approfondie.

REMERCIEMENTS

Au début de ce mémoire, il m'est important de remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de celui-ci.

Je voudrais d'abord remercier mon directeur de mémoire, Monsieur Poulicek, pour m'avoir fait confiance pour mener à bien ce projet. Mais aussi pour m'avoir laissé la liberté de réaliser celui-ci comme je l'entendais tout en m'accordant sa disponibilité, ses conseils et ses connaissances inépuisables sur le vaste domaine que sont les *Olividae*. Sa collection personnelle ainsi que sa bibliothèque m'ont également été d'un grand secours.

Je tiens également à remercier Monsieur Guido Poppe qui, malgré les milliers de kilomètres qui nous séparent, a bien voulu répondre à toutes mes questions sur les Fakes et m'a fait découvrir le monde des experts en identification et des collectionneurs.

J'adresse également mes vifs remerciements à Monsieur Compère, qui durant ces temps difficiles, a réalisé les manipulations au microscope et m'a donc permis d'étoffer mes résultats. Dans cette continuité je tenais également à remercier Monsieur Eppe qui, bien que notre collaboration n'ait pu aboutir, a tout de même pris le temps de me rencontrer et de discuter de mon sujet et ses possibilités.

Un grand merci également au laboratoire d'écologie animale et écotoxicologie qui m'a accueilli en ses murs ainsi qu'au laboratoire d'océanologie à l'étage du dessus qui m'a laissé utiliser sa salle de repos. Par la même occasion je tenais à remercier les mémorants et doctorants de ces deux laboratoires qui m'ont accueillie parmi eux et ont pu m'apporter leurs idées autour de repas souvent passionnés.

Pour finir avec ces remerciements, un tout grand merci à mes parents qui ont pris le temps de relire ce mémoire et ainsi de le rendre un peu plus Français. Merci également à toutes les personnes qui, par de simples discussions, ont pu me débloquer ou m'inspirer et enfin un grand merci à mes amis et mon copain qui ont subi mes frustrations autant que mes joies.

Mise au point d'une approche non subjective de discrimination de coquillages artificiellement modifiés (les Fakes) à partir de coquillages naturels : approche photométrique et microscopique réalisée au laboratoire d'écologie animale et écotoxicologie. Promoteur : Dr. Mathieu Poulicek

RESUME

Depuis des milliers d'années, les coquillages fascinent les hommes. D'abord utilisés à des fins alimentaires, leur utilisation a évolué pour devenir maintenant des objets de collection. De par leur nouvelle définition est apparue une nouvelle dynamique autour d'eux à savoir une dynamique économique. La création de marchés et de salle des ventes destinés aux coquillages a permis de consolider leur place parmi les objets de collection mais a également fait se développer des marchés de contrefaçon. Ces marchés proposent de manière directe et légale des faux à la revente ou de manière illégale c'est-à-dire sans mention de leurs altérations et l'on parle à ce moment-là de vente de Fakes, nom désignant des coquilles altérées par l'Homme. L'identification de ces Fakes est alors au cœur du sujet et de nombreuses méthodes plus ou moins sophistiquées ont vu le jour. Imparfait, il a été tenté ici de mettre au point une méthode de discrimination objective et non destructive des Fakes.

Pour cela des coquilles d'*Oliva oliva* ont été utilisées. Celles-ci ont subi un traitement photométrique puis ont été altérées par chauffage au four à moufle avant de subir un deuxième traitement photométrique puis un traitement microscopique.

Les analyses ont montré la présence de pigments thermolabiles qui, avec la chaleur, passaient de brun à orange et de crème à blanc. Il a également pu être mis en évidence la présence de microfissures, non visibles à l'œil nu mais visibles au SEM, à la surface de la coquille si celle-ci avait été chauffée à 200°C. Les traitements photométriques et microscopiques ont ainsi démontré leurs intérêts et leur avenir dans la discrimination et l'identification des coquillages.

Development of a non-subjective approach to discriminate artificially modified shells (Fakes) from natural shells: Photometric and microscopic approach carried out in the animal ecology and ecotoxicology laboratory. Promoter: Dr. Mathieu Poulicek

ABSTRACT

For thousands of years, seashells have fascinated people. First used for food purposes, their use has evolved into now a collector's item. By their new definition, a new dynamic has emerged around them, namely an economic dynamic. The creation of a market and auction room for shells helped consolidate their place among collectibles but also led to the development of counterfeit markets. These markets offer directly and legally counterfeit for resale or illegally, when there is no mention of alterations and we speak then of Fakes, name designating shells altered by humans. The identification of these Fakes is then at the heart of the subject and many, more or less sophisticated, methods have emerged. Imperfect, it has been attempted here to develop an objective and non-destructive method of discrimination against Fakes.

For this, *Oliva oliva* shells were used. These have undergone a photometric treatment before being altered by heating in a muffle furnace before undergoing a second photometric treatment and then a microscopic treatment.

The analyzes showed heat-labile pigments which with heat changed from brown to orange and cream to white. It was also possible to demonstrate the presence of microcracks, not visible to the naked eye but visible on SEM, on the surface of the shells if they had been heated to 200°C. Photometric and microscopic treatments have thus demonstrated their interest and their future in the discrimination between “natural” shells and Fakes.

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE I : INTRODUCTION.....	1
I. LE GENRE <i>OLIVA</i>	1
I.1. Phylogénie :	1
I.2. Le problème <i>Oliva</i> :	2
I.3. Ecologie du genre <i>Oliva</i> :	6
I.4. La coquille :	7
I.5. Pigmentation et Patterns :	12
I.6. Espèce d'intérêt : <i>Oliva oliva</i>, décrite par Tursch et Greifeneder en 2001	14
II. COQUILLES ALTEREES : LES FAKES	15
II.1. Définition :	15
II.2. Fabrication :	16
II.3. Discrimination :	17
II.4. Autres :	18
III. LA COULEUR EN INFORMATIQUE	19
III.1. Qu'est-ce que la couleur en informatique ?	19
III.2. Espace couleur et Format d'image	20
CHAPITRE II : CONTEXTE ET OBJECTIFS	23
CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES	25
I. DESCRIPTION DU MATERIEL BIOLOGIQUE.....	25
II. FABRICATION DES FAKES SELON DIFFERENTES METHODES.....	27
II.1. Chauffage au four à moufle :	27
II.2. Chauffage au four à micro-ondes :	29
II.3. Chauffage aux lampes UV :	29
II.4. Combinaison du chauffage au four à moufle et aux lampes UV :	29
III. ANALYSE INFORMATIQUE DES COULEURS.....	30
III.1 Prise de photo des coquilles non altérées et altérées :	30
III.2. Logiciel informatique :	31
IV. ANALYSE MICROSCOPIQUE DE LA SURFACE DE LA COQUILLE.....	34
IV.1. Réalisation des Fakes	34
IV.2 Méthode d'observation	34
CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION	36
I. ANALYSE DES DIFFERENTS PROTOCOLES.....	36

I.1. Observation et ajustement des protocoles de chauffage au four à moufle	36
I.2. Observation et ajustement des protocoles de chauffage au micro-onde	38
I.3. Observation pour le protocole réalisé par exposition aux UV	38
I.4. Observation pour le protocole réalisé par exposition successive au four à moufle et aux UV	39
II. ANALYSE INFORMATIQUE DES COULEURS	39
II.1. Analyse des coquilles non altérées	39
II.2. Analyse des coquilles altérées	42
III. ANALYSE MICROSCOPIQUE DE LA SURFACE DE LA COQUILLE	44
IV. CONCLUSIONS	47
V. PERSPECTIVES	48
BIBLIOGRAPHIE	

TABLE DES FIGURES

- FIGURE 1:** Espèces simples représentant en 1-5 : *Oliva atalina* et de 12-17: *Oliva scripta* (Tursch and Greifeneder, 2001)p10
- FIGURE 2:** espèce complexe 4-9-11-14-19 : *Oliva spicata* (Tursch and Greifeneder, 2001)p11
- FIGURE 3:** espèce complexe 6-11-17-18-22-28-29 : *Oliva bulbosa* (Tursch and Greifeneder, 2001)p11
- FIGURE 4:** exemples de formes de spires que l'on peut retrouver sur les coquilles d'*Oliva*. (Tursch and Greifeneder, 2001)p14
- FIGURE 5:** dessins descriptifs de la partie inférieure de la coquille chez les *Oliva*. (Tursch and Greifeneder, 2001)p15
- FIGURE 6:** coupe longitudinale d'une coquille d'*Oliva reticulata*. Obtenue par microscopie électronique à balayage (SEM). P= pellicule externe (épiostracum), E= couche externe, T= zone de transition, M= couche intermédiaire, I= couche interne (Tursch and Machbate,1995)p16
- FIGURE 7:** représentation schématique du phénomène de bio minéralisation chez les Olividae. Partie supérieure : coupe transversale à travers la lèvre extérieure de la coquille entourée du manteau. Partie inférieure : étapes de la bio minéralisation. (1) couche externe, (2) zone de transition, (3) couche intermédiaire, (4) couche interne, (5) cellule épithéliale du manteau, (6) zone de production des protéines structurale (gros points) et préliminaire (petits points) pour la croissance des cristaux de la coquille, (7) zone de production des substances à destination de la croissance de la couche intermédiaire, (8) cellule épithéliale du manteau au stade initial des protéines structurales et croissance des cristaux, (9) sécrétion des premières substances dans la zone située entre les cellules épithéliales et la coquille, (10) groupement des protéines structurales et début de la croissance des cristaux , (11) nouvelle couche lamellaire de cristaux. (Günther. H.W. Sterba, 2004)p18
- FIGURE 8 :** Zone et points de prélèvement du premier lot de coquilles. La carte à gauche situe la position de l'île de Samar aux Philippines. La photo à droite représente la plage où ont été réalisés le tamissage et la récolte des coquilles d'*Oliva oliva*.....p32
- FIGURE 9 :** Carte représentant la baie de Hansa sur la côte Nord de la Papouasie Nouvelle Guinée. Les points PNG1 et PNG2 représentent les deux points de prélèvement des coquilles d'*Oliva oliva*.....p33
- FIGURE 10 :** Images représentant les plages des deux points de prélèvement PNG1 et PNG2 respectivement à gauche et à droite p33
- FIGURE 11 :** page d'accueil de la partie analyse du logiciel Image Color Summarizer ainsi que les paramètres utilisés pour l'étudep39
- FIGURE 12 :** représentation de 10 clusters sur une image témoin d'une coquille d'*Oliva spicata*. Les images 1,2,5 et 10 représentent les clusters de couleurs liés au fond de la photo. L'image 8 représente un cluster altéré par le refletp40
- FIGURE 13 :** représentation de la fonctionnalité Color inspector 3D du logiciel ImageJ. Exemple issu d'une coquille d'*Oliva oliva*p40
- FIGURE 14 :** Tableau des pigments observés suite à l'analyse des photos de coquilles naturelles effectuée par le logiciel Image Color Summarizer et leur nombre d'apparitions sur les 50 coquilles étudiéesp47
- FIGURE 15 :** image et graphique issus de l'analyse par le logiciel ImageJ et Color Inspector 3D, d'une coquille d'*Oliva oliva* provenant du lot 1p47
- FIGURE 16 :** image et graphique issus de l'analyse par le logiciel ImageJ et Color Inspector 3D, d'une coquille d'*Oliva oliva* provenant du lot 2p47

FIGURE 17 : image et graphique issus de l'analyse par le logiciel ImageJ et Color Inspector 3D, d'une coquille d' <i>Oliva oliva</i> provenant du lot 3	p48
FIGURE 18 : image et graphique issus de l'analyse par le logiciel ImageJ et Color Inspector 3D, d'une coquille d' <i>Oliva oliva</i> provenant du lot 4	p48
FIGURE 19 : image et graphique issus de l'analyse par le logiciel ImageJ et Color Inspector 3D, d'une coquille d' <i>Oliva oliva</i> provenant du lot 5.....	p48
FIGURE 20 : image et graphique issus de l'analyse par le logiciel ImageJ et Color Inspector 3D, d'une coquille d' <i>Oliva oliva</i> provenant du lot 6	p48
FIGURE 21 : image et graphique issus de l'analyse par le logiciel ImageJ et Color Inspector 3D, d'une coquille d' <i>Oliva oliva</i> provenant du lot 7	p48
FIGURE 22 : image et graphique issus de l'analyse par le logiciel ImageJ et Color Inspector 3D, d'une coquille d' <i>Oliva oliva</i> provenant du lot 8	p48
FIGURE 23 : tableau répertoriant les pigments, analysés par le logiciel Image Color Summarizer, selon leur protocole de chauffage et la température d'exposition	p50
FIGURE 24 : coquilles altérées d' <i>Oliva oliva</i> . L'image de droite est obtenue à partir d'une coquille à fort pattern et chauffée à 200°C. L'image de gauche est obtenue à partir d'une coquille à faible pattern chauffée à 200°C. Les coquilles proviennent respectivement des lots 3 et 6	p50
FIGURE 25 : coquille altérée d' <i>Oliva oliva</i> . L'image est obtenue à partir d'une coquille sans pattern ayant subi un chauffage à 200°C. Cette coquille provient du lot 7	p50
FIGURE 26 : Images Microscopiques obtenues au SEM en Low-vac. La première ligne correspond à la coquille témoin avec en A : la spire en GSE, B : la spire en BSE, C : le corps en GSE, D : le corps en BSE. La deuxième ligne correspond à la coquille chauffée à 100°C avec en E : le corps en GSE et en F : le corps en BSE	p51
FIGURE 27 : Images microscopiques obtenues au SEM en Low-vac. Les 4 images représentent la surface du corps de la coquille selon deux points de vue et deux modes différents. A = angle 1 mode GSE, B = angle 1 mode BSE, C = angle 2 mode GSE, D = angle 2 mode BSE	p52
FIGURE 28 : Images microscopiques obtenues au SEM en Low-vac. Les deux premières images représentent la spire de la coquille en GSE puis en BSE. Les deux dernières images représentent la base de la coquille en GSE puis en BSE	p52
FIGURE 29 : Images microscopiques obtenues au SEM en Low-vac. Les deux photos représentent la répartition de la substance sur une microfissure en GSE puis en BSE	p53
FIGURE 30 : Images microscopiques obtenues au SEM en Low-vac. Les deux images représentent selon deux angles le relief et la taille de la substance observée le long des microfissures en mode GSE.....	p53
FIGURE 31 : Images microscopiques obtenues au SEM en Low-vac. Les deux images représentent selon deux angles le contraste de la substance par rapport à la surface de la coquille et ce en mode BSE	p53

CHAPITRE I : INTRODUCTION

Depuis des milliers d'années, les coquillages ont exercé un attrait particulier sur l'Homme. Ils ont, au cours de leur histoire, pu être utilisés comme ornements, objets décoratifs, parures, monnaie ou encore comme ressource d'ordre alimentaire.

Avec l'arrivée de l'activité de collection, les coquillages ont vu leur popularité croître. Un intérêt financier s'est alors dégagé et la création de contrefaçons nommées « Fakes » est apparue. Les techniques actuellement utilisées pour la discrimination de ces coquilles sont des méthodes qui se basent sur la comparaison visuelle et la mesure de critères d'identification. Il s'agit donc de méthodes subjectives et/ou fastidieuses dans leur utilisation.

La mise au point de nouvelles techniques de discrimination entre des coquilles naturelles et des Fakes, permettrait à la fois de préserver l'échantillon étudié dans son intégralité et ceci grâce à la mise en place de méthodes non destructrices mais aussi de faciliter le travail des experts en mettant au point des techniques simples, rapides et peu coûteuses.

I. LE GENRE *OLIVA*

I.1. Phylogénie :

Les mollusques (Cuvier, 1795) sont des métazoaires triploblastiques coelomates. Il s'agit d'individus non segmentés et présentant de manière générale une symétrie bilatérale qui peut toutefois présenter des altérations. On note également la présence de quelques caractères dérivés propres à ce clade comme la présence d'une radula et d'un manteau. A l'heure actuelle, on compte environ 120 000 espèces décrites et une estimation de pas moins 50 000 espèces marines encore non décrites (Bouchet ; Rocroi, 2005). La diversité de ce groupe reste souvent sous-estimée en son sein comme au sein des classes les plus connues qui le composent comme les gastéropodes (Lecointre & Le Guyader, 2001).

Il est particulièrement difficile de rassembler tous les groupes qui composent le clade des Gastéropodes par leur seul aspect extérieur. Cependant en se basant sur certaines similitudes anatomiques, il est toutefois possible de les regrouper. Parmi ces critères anatomiques on peut citer une tête bien distincte du corps, la présence de tentacules sur la tête ou en position dorsale, qui peuvent porter des yeux, ou encore la présence d'une coquille. Pour cette dernière il ne s'agit pas d'un caractère fixe, cependant lorsqu'elle est présente elle se situe majoritairement en position dorsale, présente une valve et est torsadée (Lecointre & Le Guyader, 2001).

En continuant de dérouler la phylogénie, nous arrivons à l'infraordre des *Neogastropoda*, la super famille des *Olivoidea* puis enfin à notre famille d'intérêt les *Olividae* (Bouchet ; Rocroi, 2005).

SYSTEMATIQUE (Hunon et al., 2009):

Phylum : Mollusca

Classe : Gastropoda (Cuvier, 1795)

Ordre : Sorbeoconcha (Ponder and Lindberg, 1995)

Sous-ordre : Neogastropoda (Wenz, 1938)

Super famille : Olivoidea (Latreille, 1825)

Famille : Olividae (Latreille, 1825)

Sous famille : Olivinae (Latreille, 1825)

Genre : *Oliva* (Bruguère, 1789)

Espèces : *Oliva oliva*

Les *Olividae* ou communément appelées Olives sont une des familles de gastéropodes marins parmi les plus reconnaissables au sein des Néogastropodes tropicaux et subtropicaux. On y compte une trentaine de genres récents pour pas moins de 460 espèces acceptées (WoRMS, 2019). Famille reconnaissable mais toutefois très diversifiée aussi bien de manière intra qu'inter spécifique.

Au sein des *Olividae*, nous allons rencontrer le genre *Oliva*. Il s'agit du genre le plus riche en termes de diversité de cette famille, ce qui pose de nombreux problèmes aux taxonomistes pour classer les différentes espèces qui le composent. A l'heure actuelle on compterait 19 sous-genres et plus d'une centaine d'espèces. Parmi celles-ci on va retrouver *Oliva oliva* qui est notre espèce d'étude (Petuch & Sargent, 1986).

I.2. Le problème *Oliva* :

Le genre *Oliva*, de la famille des *Olividae*, est l'un des genres possédant le plus de variabilité en termes de formes, de tailles et de motifs colorés au sein de cette famille. Même si en réalité il serait plus juste de parler d'une homogénéité du genre et d'une variabilité des espèces (Tursch, 1992).

De ce fait, la taxonomie et phylogénie de ce genre est particulièrement problématique, on observe d'ailleurs de nombreux ouvrages traitants « du problème *Oliva* » dont notamment un des ouvrages de référence qui sera utilisé dans cette partie à savoir « *Oliva Shells : The genus *Oliva* and the Species problème* » par Bernard TURSH et Dietmar GREIFENEDER.

Cette taxonomie incertaine est due à différentes causes que nous allons exposer dans les paragraphes suivants. Nous allons ainsi traiter des problèmes liés à la biologie de l'animal ainsi que des problèmes liés aux méthodes d'identification et de classification.

1.2.a. D'un point de vue biologique

Deux problèmes majeurs se posent ici, l'homogénéité du genre et la variabilité de l'espèce.

Pour l'homogénéité du genre, on observe très peu de différences morphologiques au niveau de la coquille entre les espèces du même genre, ce qui signifie une faible variabilité interspécifique (Tursch, 1992). Peu d'espèces sont alors identifiables par des « yes/No » caractéristiques. C'est là que se pose le problème d'identification des différentes espèces d'un même genre. L'absence de caractères morphologiques distinguables ou réduite à de subtiles variations rend l'exercice difficile. De plus les quelques caractères qui pourraient entrer en compte dans l'identification de certaines espèces sont des caractères durs à observer. En effet l'un des caractères souvent utilisé pour l'identification des olives est la forme de la « plication » columelle. Cependant ce caractère où l'on compte le nombre de reliefs est difficile à étudier car ceux-ci s'effacent ou se réduisent souvent à des reliefs quasi imperceptibles avec le vieillissement de la coquille (Tursch & Greifeneder, 2001).

Pour la variabilité, on l'observe au sein d'une même espèce, on parle alors de variabilité intraspécifique. En effet on observe une extrême diversité au niveau des couleurs et des patterns que l'on peut trouver sur les coquilles notamment en plus évidemment des variances de taille ou de forme. Toutes ces différences sont le plus souvent observables au sein d'une même population qu'entre les populations elles-mêmes. Il devient donc plus difficile de déterminer à quelles espèces on a à faire plutôt que de savoir qu'il s'agit du genre *Oliva*. De plus certaines espèces sont plutôt stables au niveau de leur forme ou leur couleur (Tursch & Greifeneder, 2001). Comme par exemple *Oliva atalina* (Figure 1 : référence 1 à 5) ou encore *Oliva scripta* (Figure 1 : référence 12 à 17) :

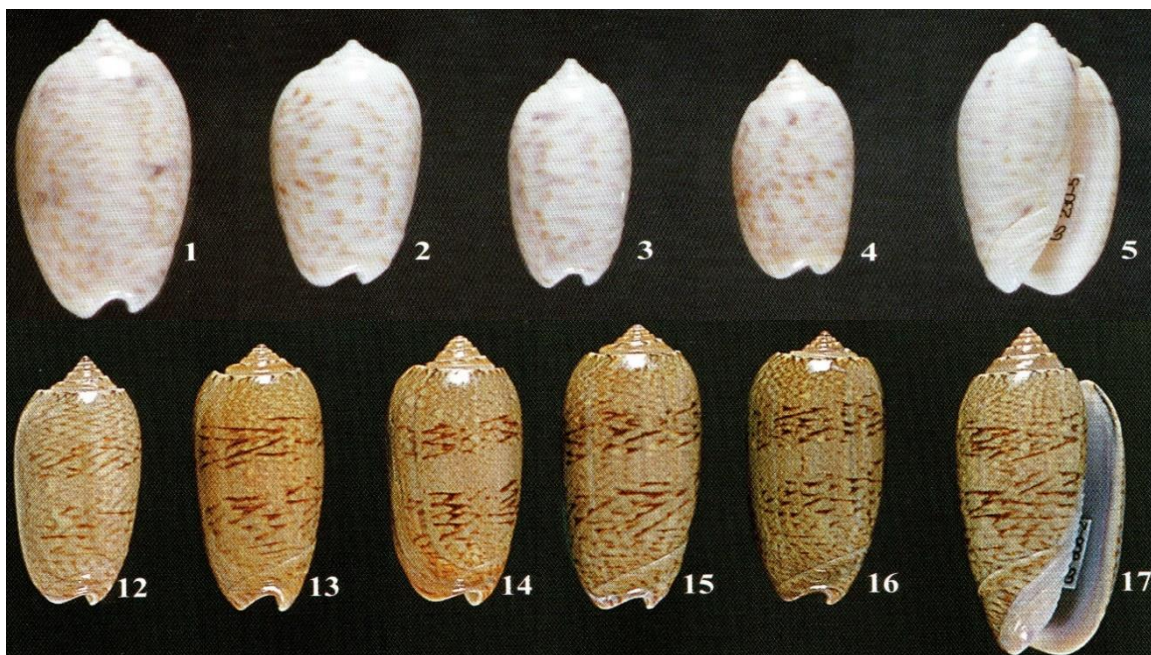


Figure 1 : Espèces simples représentant en 1-5 : *Oliva atalina* et de 12-17: *Oliva scripta* (Tursch and Greifeneder, 2001)

En revanche certaines sont au contraire très variables et sont alors appelées « espèces complexes »(Tursch & Greifeneder, 2001). Parmi celles-ci on retrouve évidemment les *Oliva oliva*, notre espèce d'intérêt ; mais on peut aussi citer par exemple les *Oliva spicata* (Figure 2) ou encore les *Oliva bulbosa* (Figure 3) :

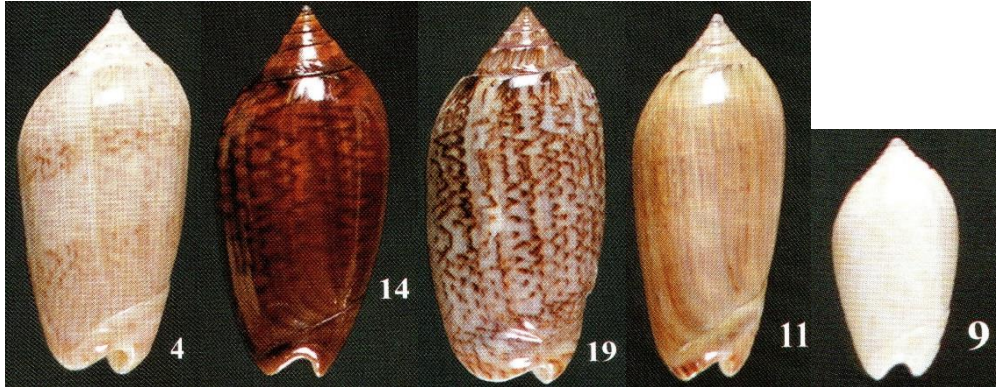


Figure 2 : espèce complexe 4-9-11-14-19 : *Oliva spicata* (Tursch and Greifeneder, 2001)

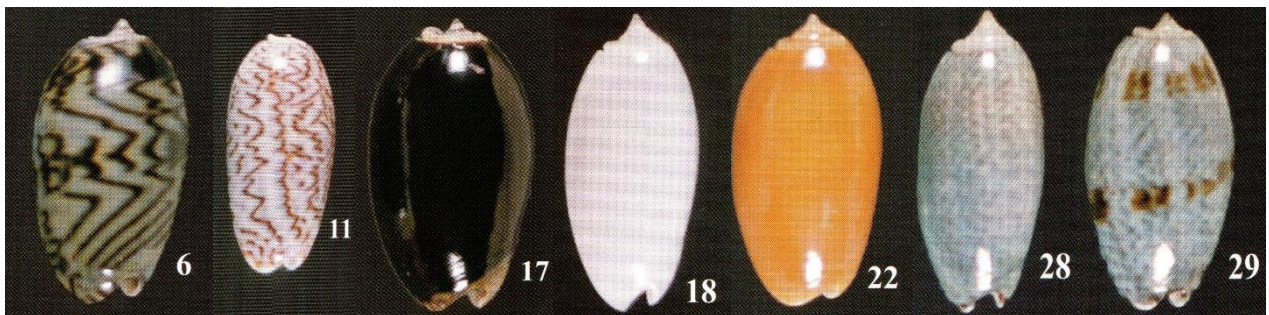


Figure 3 : espèce complexe 6-11-17-18-22-28-29 : *Oliva bulbosa* (Tursch and Greifeneder, 2001)

La combinaison de ces deux niveaux de variabilité rend ce genre particulièrement difficile à identifier et à classer.

Pour aller plus loin, il a également été montré que certaines espèces possèdent un mimétisme remarquable. De par cette observation a été démontré que certaines espèces étaient cryptiques, c'est-à-dire que leur coloration s'accorde avec leur habitat. A partir de ces résultats il a pu en être déduit que deux espèces vivant dans un habitat similaire vont avoir tendance à se ressembler. La mise en évidence de ce caractère adaptatif de la coloration de la coquille a grandement aidé à comprendre l'origine du « problème *Oliva* » et donc à comprendre l'origine de tant d'homogénéité du genre et variabilité de l'espèce (Van Osselaer et al., 1994).

I.2.b. D'un point de vue méthodologique

Nombreux problèmes ont été mis en évidence dans le livre de Tursch et Greifeneder précédemment cité, on peut notamment retrouver comme problème la vision que l'on a de la classification. En effet à l'époque la classification ne servait qu'à classer de nouveaux individus mais n'avait pas réellement de sens scientifique et ne se basait que sur la comparaison entre l'individu nouveau et ceux déjà connus. La notion d'espèce ou des caractéristiques spécifiques de type morphologique était alors encore peu connue et de ce fait peu utilisée. Maintenant les scientifiques accordent une grande importance à la classification et au nom qu'ils donnent aux espèces. Celui-ci a alors une réelle signification. Cette différence fait que maintenant on se retrouve avec de nombreuses classifications qui n'ont aucune valeur biologique et qui sont donc partiellement fausses.

Un autre problème que l'on peut voir et qui découle directement du premier point est la pose de limites assez floues au niveau des critères d'identification ce qui va invariablement créer des problèmes au niveau du rang des espèces. Là encore cela vient directement de la différence dans la définition d'une espèce entre avant et maintenant.

Ensuite dans le cas plus spécifique du genre *Oliva*, on n'observe pas de caractère d'identification réellement précis ainsi la classification ancienne était souvent basée sur des caractères qui en réalité ne sont pas utilisables à l'échelle de l'individu pour une détermination « yes/No » c'est ainsi qu'on se retrouvait avec de nombreuses espèces ou genres qui en réalité étaient les mêmes, simplement parce que les caractères pris étaient source de variabilité au sein même de l'espèce. Variabilité qui n'avait alors pas été prise en compte ou même qui n'avait simplement pas été envisagée.

On peut aussi observer un problème lié aux descriptions des coquilles qui posent souvent problème pour l'identification cette fois. En effet à l'époque les auteurs ont décrit chaque espèce trouvée à leur manière sans se baser sur les descriptions précédentes. Ainsi aucun langage universel n'a été mis en place et on peut ainsi observer des descriptions totalement subjectives. En effet comment savoir lors de l'identification ce que sous entendait l'auteur par « usually fusiform » ou le sens exact de « rounded sides ». On observe ce même problème pour la description d'une même espèce mais réalisée par différents auteurs. Là encore des différences de vocabulaire sont visibles et il est alors compliqué de savoir comment interpréter ces différentes descriptions (Tursch, 1992).

D'autres problèmes liés à la classification et à l'identification sont également à noter comme par exemple la qualité des illustrations, la disponibilité des « types » ou encore des documents originaux (Tursch & Greifeneder, 2001).

I.3. Ecologie du genre *Oliva* :

Tous les membres du genre *Oliva* sont des individus sténohalins en plus d'être sténothermes.

On retrouve les conditions nécessaires à leur développement dans les zones océaniques tropicales et subtropicales du monde. Seulement une espèce peut être trouvée dans les eaux plus froides des côtes Est de l'Amérique du Sud à savoir *Oliva peruviana*. En revanche plusieurs espèces peuvent être retrouvées dans les régions tropicales et subtropicales mais tout de même à des températures plus froides que leur consœur. En effet ces espèces vont alors se retrouver à une plus grande profondeur là où l'eau est donc plus froide. Pour donner quelques exemples, on peut notamment citer *Oliva fulgurator* ou encore *Oliva nitidula*, qui sont deux espèces régulièrement retrouvées à parfois plus de 200 mètres de profondeur.

En plus de ces deux caractéristiques, les Olives sont également sténos typiques. Dans ce cas si, il s'agit de substrats qui sont à faible granulométrie, sableux voir boueux. L'essentiel étant que les individus puissent s'y enfouir.

En effet ces animaux passent la majorité de leur temps enfouis dans le sable avec uniquement leur siphon qui reste à la surface. Ils n'émergent que lors des périodes de reproduction ou lorsqu'ils chassent.

Les Olives sont tous des carnivores qui préfèrent les proies vivantes. Lors de la chasse, leur siphon permet de détecter une proie qui approche. Une fois la proie détectée, ils sont capables de rapidement émerger avant de recouvrir la proie de leur manteau pour ensuite l'entourer complètement dans une poche qui est constituée par le repliement de leur pied. La proie ainsi prisonnière de la poche est recouverte de mucus et asphyxiée. Une fois morte elle est libérée de la poche avant d'être consommée par l'individu prédateur ainsi que d'autres individus appartenant au même groupe ou à la même communauté (Sterba, 2004).

En plus de se nourrir d'êtres vivants comme des bivalves, des oursins ou des crevettes, il s'agit également d'animaux charognards qui peuvent se nourrir sur le cadavre d'anciennes proies comme des cadavres de poissons, de crabes ou autres. Leur régime principal reste tout de même les bivalves de petite taille.

Il est également intéressant de noter que les Olives se nourrissent quand la nourriture se présente et sont ainsi totalement indifférents au moment de la journée où la proie se présente (Zeigler & Porreca, 1969).

Comme cité précédemment, les Olives peuvent se nourrir en groupe, on peut ainsi observer plusieurs individus se nourrir sur le même cadavre. En effet quand on observe la vie des Olives, il est rare de voir un individu seul. En général ceux-ci forment des groupes ou des communautés qui peuvent être spécifiques ou multi spécifiques avec des espèces différentes. Toutefois à ce stade on ne peut pas parler d'animaux coloniaux étant donné que ceux-ci ne se divisent pas les tâches entre eux et qu'il n'y a pas de véritables interactions sociales entre les individus d'un même groupe.

I.4. La coquille :

I.4.a. Forme

Taille : la plupart sont moyennement longues mais l'échelle des tailles peut aller de 1 mm à plus de 128 mm pour certains spécimens géants.

Fond de la coquille : extrêmement variable allant du blanc au noir en passant par des couleurs plus originales comme l'orange, le vert ou le bleu. (*Figures 1-2-3 pages 6-7*)

Pattern sur la coquille : variable selon les individus. On peut observer des points, des lignes zigzagantes, des bandes larges ou fines ou même une absence de patterns pour certaines espèces. (*Figures 1-2-3 pages 6-7*)

Forme : extrêmement variable et souvent un bon indicateur du genre. La taille et l'épaisseur sont constantes faisant varier la forme de cylindrique à fusiforme. La partie intérieure comprenant la columelle peut être robuste dû aux callosités, fragile ou même complètement réduite. Certains genres présentent également un sillon en position inférieure ou sur tout le dernier tour de la coquille.

La spire : désigne la partie de la coquille située derrière le corps de la coquille. Sa hauteur est mesurée par la distance perpendiculaire entre le bord de la coquille au-dessus de l'encoche postérieure et le sommet du nucleus. On peut observer plusieurs formes de spire allant de haute et conique à une spire recouverte par une sorte de capuche calleuse qui recouvre également le nucleus. D'autres variantes sont observables comme des spires coniques avec un profil concave ou des spires aplaties. Chez certaines espèces on peut observer un calus postérieur à la spire. Celui-ci peut être situé au-dessus du canal comme chez *O. miniacea*, au même niveau que celui-ci ou en dessous. (*Figure 4*)

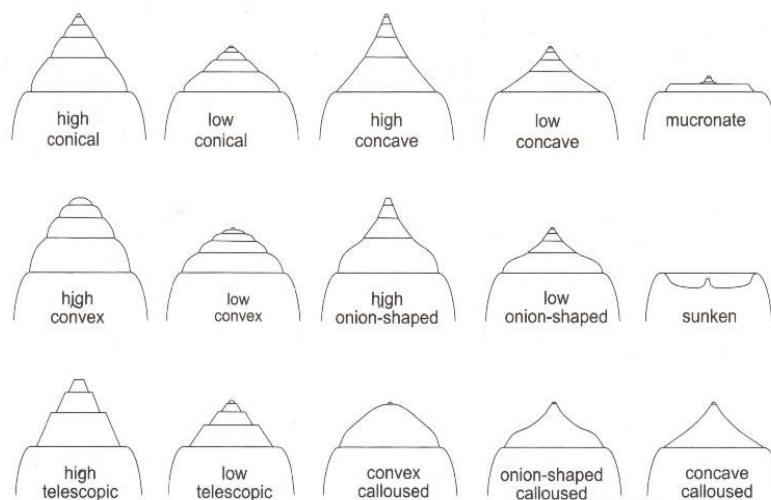


Figure 4 : exemples de formes de spire que l'on peut retrouver sur les coquilles d'*Oliva*. (Tursch and Greifeneder, 2001)

Le nucleus : point situé au sommet de la spire. En vue apicale, le nucleus présente de manière générale un contour en spirale « idéale » cependant certains peuvent présenter des variantes de cette forme idéale. De même que pour la forme et hauteur de la spire, il existe des variantes au niveau de la hauteur du nucleus qui peut être en position haute ou creusée. (Figure 4 page 10)

Bande antérieure : située postérieurement à la « plication plate ». Désigne une bande lisse en spirale. Délimité du corps supérieur de la coquille par une discontinuité nette. Marqué par « une marche » et une différence dans la texture. (Figure 5, référé comme « anterior band »)

« **Plication plate** » : Région localisée au niveau de la lèvre intérieure et sur la partie antérieure de la coquille. Généralement recouverte par une épaisse callosité et de fins plis. (Figure 5)

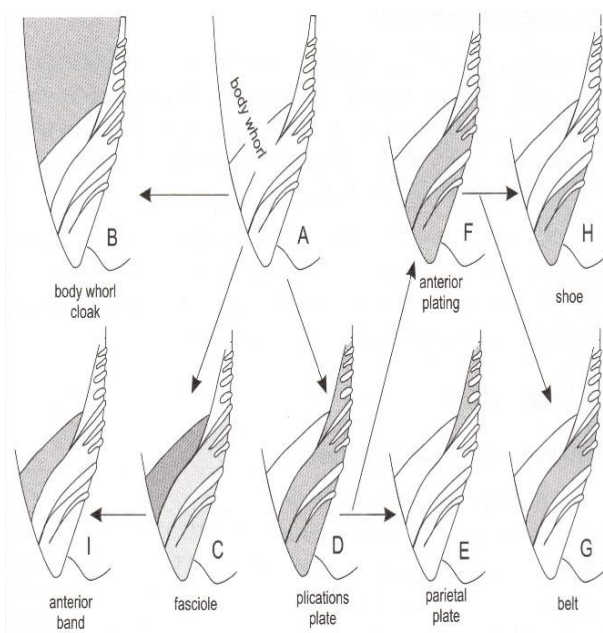


Figure 5 : dessins descriptifs de la partie inférieure de la coquille chez les *Oliva*. (Tursch and Greifeneder, 2001)

→ **Base** : partie antérieure de la callosité columellaire. Présente un seul pli qui est la partie la plus épaisse de la columelle. Partie présentant généralement de nombreux ornements de type plis. La présence d'un sillon, entre la base de la callosité columellaire et la ceinture, est une généralité à la famille des *Olividae*. (Figure 5, référé comme « shoe »)

→ **Ceinture** : partie qui constitue le milieu de la callosité columellaire. Peut présenter un ou deux plis en plus du sillon précédemment cité qui la borde dans sa partie postérieure. (Figure 5, référé comme « belt »)

→ **Côté pariétal** : peut présenter une largeur plus ou moins épaisse qui peut recouvrir partiellement ou complètement la fasciole. Certains plis peuvent être visibles mais ce caractère est variable selon les genres. (Figure 5, référé comme « parietal plate »)

Ouverture : présente une forme d'ogive avec les extrémités étroites et le centre plus large. La partie visible de l'aperture peut être colorée mais là aussi des variations aussi nombreuses que pour la couleur de la coquille peuvent être observées.

Opercule : toutes les espèces d'*Olividae* ne présentent pas d'opercule toutefois pour celles qui en possèdent, il est généralement fin et transparent. Il peut également présenter des structures concentriques autour d'un point central qui peut être centré en lui-même ou situé en périphérie de lui-même. De même il peut être petit ou alors fermer complètement l'ouverture de l'aperture. Les individus faisant spécifiquement partie du genre *Oliva* ne présentent cependant aucun opercule.

1.4.a. Les différentes couches

Les *Olividae* possèdent entre 3 à 5 couches qui sont superposées les unes sur les autres. Plus ou moins communes aux couches composant la coquille d'autres mollusques, les *Olividae* possèdent toutefois deux couches supplémentaires, caractéristique de leur ordre. Ces deux couches font référence à la zone de transition et à l'épiostracum (aussi appelée pellicule externe). (Tursch & Machbaete, 1995)

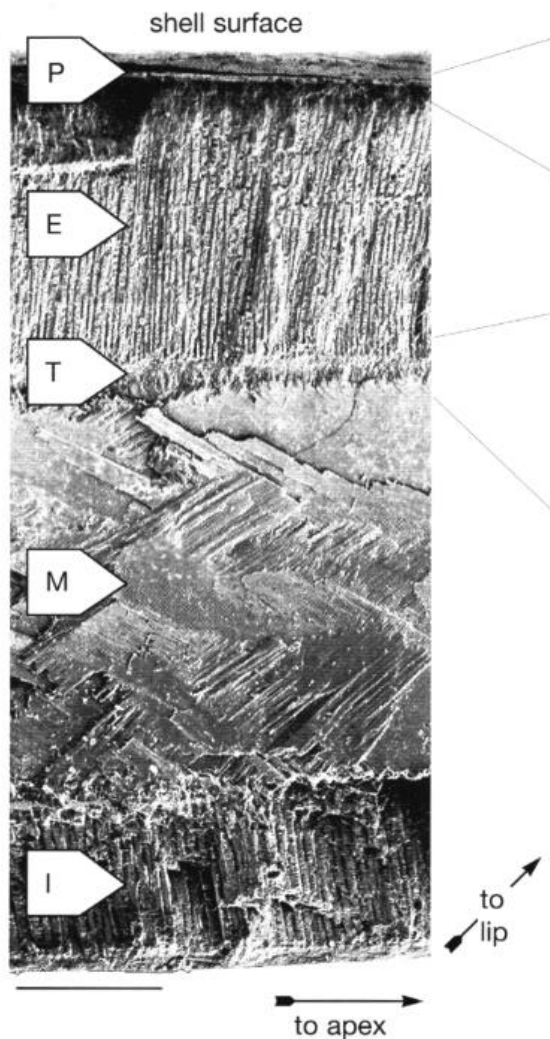


Figure 6 : coupe longitudinale d'une coquille d'*Oliva reticulata*. Obtenue par microscopie électronique à balayage (SEM).

P= pellicule externe (épiostracum), E= couche externe, T= zone de transition, M= couche intermédiaire, I= couche interne (Tursch and Machbete,1995)

Au sein du genre *Oliva*, on observe seulement 3 « vraies » couches : la couche externe (E), la couche intermédiaire (M) et la couche interne (I). En plus de ces trois couches, on va en observer une quatrième qui se situe entre la couche externe et la couche intermédiaire. Celle-ci a été nommée « zone de transition » (T). Elle est généralement assez fine et se distingue des autres couches par le fait que les cristaux qui la composent sont particulièrement mal définis, c'est à dire que ceux-ci présentent de nombreuses torsions en plus de n'avoir aucune orientation particulière contrairement aux autres couches qui présentent une orientation parallèle ou perpendiculaire. Il est également à noter que si l'on observe une zone de transition entre la couche externe et la couche intermédiaire, on ne l'observe en revanche pas entre la couche intermédiaire et la couche interne.

Comme cité précédemment les *Olividae* présentent une couche supplémentaire par rapport aux autres familles de Néogastropodes, hormis chez les Porcelaines qui la possèdent aussi, qui se nomme l'épiostracum (P). Cette couche est la couche la plus externe de la coquille. Elle est généralement fine, brillante et transparente bien que chez certaines espèces telles que *O. amethystina* elle soit beaucoup plus épaisse que la normale.

Différentes études ont permis de mettre en évidence l'arrangement lamellaire des différentes couches de la coquille (Tursch & Machbaete, 1995) ; (Tursch & Greifeneder, 2001). Ainsi on peut voir que les couches intermédiaires et internes sont généralement les mêmes au sein des différentes espèces du genre *Oliva*. En revanche des différences apparaissent lorsque l'on s'intéresse à la direction lamellaire de la couche externe qui est, là, différente selon les espèces. Les différences d'orientation observées dans cette dernière couche sont majoritairement dues à la forme de la coquille, sa longueur ainsi que sa largeur. C'est cette direction lamellaire qui va principalement être utilisée pour regrouper des espèces entre elles.

La direction lamellaire de la dernière couche est alors devenue un caractère taxonomique plus que prometteur dans l'avenir des méthodes d'indentification non destructives. D'autres paramètres tels que la mesure de l'épaisseur des couches ou encore la forme ou longueur des lamelles ont aussi été testées mais les résultats étant extrêmement variables pour l'épaisseur ou des difficultés de retranscription pour la forme et la longueur des lamelles au sein d'une même espèce ont rendu ces caractères non concluants taxonomiquement parlant (B. Tursch & Machbaete, 1995).

Avec l'évolution des techniques de contrefaçon, certains vendeurs ont tendance à vouloir faire passer une espèce commune pour une autre qui est plus rare et donc plus chère à la revente. Ainsi malgré une modification de la coquille au niveau de la couleur par exemple, un examen microscopique de la couche externe permettrait de mettre en évidence la contrefaçon et d'identifier l'espèce « réelle » de la coquille en présence.

1.4.b. Formation

La formation de la coquille chez les mollusques est complexe et pas toujours connue dans les détails. Elle va chez les gastéropodes et donc chez les Olives, se développer sous la forme d'un hélicocône soit une surface conique enroulée autour d'un axe hypothétique qui est nommé la columelle. C'est dans le pas de l'hélice, l'axe d'enroulement ou même le nombre de plans d'enroulement que l'on va trouver toute la diversité qui distingue les différents clades (Meinhardt, 2009).

Chez les *Olividae* la croissance de la coquille se déroule au niveau de la lèvre extérieure. Celle-ci est en général épaisse et arrondie avec un bord plus ou moins émoussé. Ce n'est en revanche pas le cas pour les *Olividae* avec seulement deux couches lamellaires, les petites espèces ou alors les coquilles appartenant au genre *Oliva*. En effet pour ces cas, la coquille va présenter un bord plus tranchant.

Il est intéressant de noter que pour le cas des *Oliva* et même des *Olividae* en général, la croissance de la coquille est constante, c'est-à-dire qu'elle va continuer de grandir et grossir jusqu'à la mort de l'animal. Contrairement aux Porcelaines auxquelles on les compare souvent et qui, elles, ont une croissance finie.

Comme vu dans la sous partie précédente (*chapitre 1, I.4.a. Les différentes couches*), la coquille possède différentes couches. Celle-ci présente différentes caractéristiques et va donc avoir une formation plus ou moins variable entre elles.

Par exemple la zone de transition, la couche externe et la ou les couches intermédiaires si celles-ci sont présentes se développent à partir de la lèvre extérieure. En revanche les autres couches de la coquille telles que la couche la plus interne et la couche de cal interne, elles se développent de façon indépendante de la croissance de la lèvre extérieure (Sterba, 2004).

Afin de croître, la coquille a besoin de différentes substances qui vont être délivrées par les cellules épithéliales qui sont présentes dans les ailes du manteau de l'animal. Grâce à ces cellules, l'animal va pouvoir produire différentes protéines de type conchyoline qui sont à ce stade de leur production nécessaires à la fois pour la croissance des cristaux formant la partie minérale de la coquille et les pigments formant une partie de la partie organique de la coquille. Cette substance est alors secrétée entre les cellules épithéliales du manteau et la coquille.

Ce mécanisme de sécrétion servant à la partie minérale et à la partie organique de la coquille se nomme la bio minéralisation. Dans le cas des *Olividae* ce phénomène est continu. Ceci n'est pas le cas par exemple chez les Porcelaines qui, elles, sont à croissance finie.

Ce phénomène peut être observé plus en détail dans la figure 7 ci-dessous :

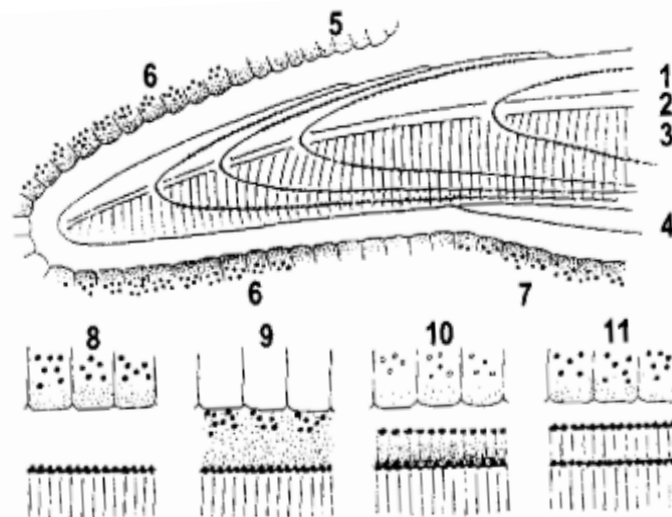


Figure 7 : représentation schématique du phénomène de bio minéralisation chez les *Olividae*. Partie supérieure : coupe transversale à travers la lèvre extérieure de la coquille entourée du manteau. Partie inférieure : étapes de la bio minéralisation. (1) couche externe, (2) zone de transition, (3) couche intermédiaire, (4) couche interne, (5) cellule épithéliale du manteau, (6) zone de production des protéines structurale (gros points) et préliminaire (petits points) pour la croissance des cristaux de la coquille, (7) zone de production des substances à destination de la croissance de la couche intermédiaire, (8) cellule épithéliale du manteau au stade initial des protéines structurales et croissance des cristaux, (9) sécrétion des premières substances dans la zone située entre les cellules épithéliales et la coquille, (10) groupement des protéines structurales et début de la croissance des cristaux, (11) nouvelle couche lamellaire de cristaux. (Günther. H.W. Sterba, 2004)

I.5. Pigmentation et Patterns :

La couleur, soit la pigmentation que l'on retrouve au niveau de la coquille, et les patterns, soit les dessins qu'on peut observer également sur la coquille, sont deux paramètres différents. Ils sont tous les deux variables mais pas nécessairement de la même façon et aucune étude n'a encore prouvé que ces deux caractères variaient l'un par rapport à l'autre. On peut donc considérer pour le moment qu'il s'agit de deux mécanismes bien distincts, et nous les traiterons comme tels dans cette sous partie (Bernard Tursch & Greifeneder, 2001).

I.5.a. Couleur/ Pigmentation

Contrairement à la pigmentation des coquilles de mollusques, où les pigments n'apparaissent que dans une couche de la coquille, chez les *Oliva* les pigments se situent dans différentes couches (Williams, 2017). Ainsi la couleur observée ou même les patterns peuvent être le résultat de la superposition de plusieurs couches de couleur qui apparaissent dans les différentes lamelles de la coquille. De même le pigment n'est pas forcément présent à chaque couche. Par exemple s'il apparaît dans une couche mais que celle-ci est recouverte par une autre couche plus épaisse et sans pigment, alors la couleur de la coquille ne sera pas celle du pigment apparu dans la première couche. En effet la couleur finale de la coquille pourra être floutée si la couche recouvrant n'est pas trop épaisse ou alors être incolore. Le même exemple peut être appliqué pour les patterns qui peuvent être présents sur une couche puis recouverts par une autre rendant le produit final de la coquille uni et sans pattern.

Ce phénomène est grandement expliqué par l'apparition des pigments lors de la croissance de la coquille. Comme il a été présenté dans la *section I.4.b. Formation*, la pigmentation est issue des pré-protéines secrétées par les cellules épithéliales du manteau de l'animal. De par le développement de la coquille et le phénomène de bio minéralisation, les pigments sont d'abord uniquement concentrés entre les fines couches de protéines. Cependant avec les processus de cristallisation, les pigments peuvent migrer. C'est ce phénomène de migration qui explique que les pigments apparaissent dans plusieurs couches de la coquille et pas dans toutes (Sterba, 2004).

En plus de jouer sur la netteté du pigment, l'épaisseur des couches qui le recouvre peut également avoir un impact sur la couleur même du pigment. Par exemple il a été observé qu'un pigment recouvert par une épaisse couche ressortirait plus bleuté ou grisé qu'un pigment recouvert par une fine épaisseur. Cette observation pourrait alors expliquer le phénomène OBS (Orange-Blue-séparation) qui avait par avant été décrit par Greifeneder en 1981 (Greifeneder, 1981) comme un pigment spécial pour l'observation d'orange sur la coquille ou bien même un pigment plus foncé qui aurait été dilué. La même conclusion avait alors été tirée pour la présence de bleu sur la coquille qui serait alors attribué à un pigment plus foncé qui serait perçu bleu en étant recouvert par des épaisseurs translucides de la coquille.

L'étude plus précise des pigments pourrait être envisagée en utilisant une microsonde Raman Laser. Cette technique se base sur l'analyse de données issues de la spectrométrie de vibration. Elles permettent de déterminer la nature des composés chimiques et parfois dans certains cas leur mode de cristallisation ou encore comme ils sont distribués dans l'échantillon. L'utilisation de cette technique nous permettrait ainsi d'identifier les pigments en présence au sein des *Oliva oliva*. Une fois ces pigments répertoriés, ils pourraient alors être utilisés comme un moyen d'identification non destructif des coquilles.

L'avantage de cette technique est comme cité précédemment qu'elle est non destructive en plus de ne nécessiter aucune préparation particulière de l'échantillon. On peut donc imaginer utiliser cette méthode d'identification pour des coquilles de collection ou destinées à la vente.

La méthode n'a malheureusement pas que des avantages et bien que dans l'idée elle soit non destructive, la concentration du faisceau d'électrons de la micro sonde pourrait entraîner des micro dommages sur la coquille, il s'agit donc de la tester sur différentes coquilles de différentes familles pour être sûr que les coquilles soient suffisamment résistantes pour utiliser cette technique. De plus il a été observé que dans le cas particulier de pigments organiques, qui sont ceux observés chez les mollusques, un bruit de fond assez important peut être observé sur le spectre résultant. Un traitement statistique du signal sera donc éventuellement à envisager (Guineau, 1989), (Guineau, 1984).

1.5.b. Patterns

L'apparition des patterns et leur formation sont deux mécanismes très complexes qui ont notamment pu être décrits par des modèles mathématiques proposés par Hans Meinhardt dans son ouvrage « The Algorithmic Beauty Of Sea Shells ». Traitant de la production des patterns, il y met en évidence des mécanismes de réaction-diffusion des cellules sur le principe d'inhibiteur et d'activateur. Ainsi une substance à courte portée nommé activateur produirait le pigment tandis qu'une seconde substance à plus longue portée nommé inhibiteur contrôlerait cette production. Ces deux substances étant contrôlées par des boucles de rétroaction positives ou négatives. Ainsi selon le taux de production du pigment, le taux de disparition de celui-ci ainsi que son taux de diffusion, on pourrait prédire la concentration en pigments et comment vont se former les patterns (Meinhardt, 2009).

Dépendant de ces facteurs, on verra apparaître des patterns simples de type « ligne ». Dans ce cas il s'agit d'une cellule possédant une forte concentration en activateur qui va « infecter » la cellule à proximité et ainsi de suite jusqu'à produire une ligne. Ce type de scénario est souvent à l'origine des patterns à pigmentation parallèle avec lignes obliques sur la partie en croissance de la coquille.

D'autres patterns plus complexes peuvent aussi être formés dans le cas où deux cellules voisines sont infectées en même temps, à ce moment-là, deux vagues sont initiées dans le sens opposé l'une à l'autre et vont alors former ce que l'on appelle des patterns en V. On a également pu remarquer que quand deux vagues se rejoignent, soit elles s'annulent et alors le V est intact soit l'une va prendre le pas sur l'autre et continuer sa ligne et à ce moment-là on ne parlerait plus de pattern en V mais de pattern en Y.

Malheureusement dans le cas des *Oliva*, il est dur d'appliquer ces théorèmes mathématiques et de les utiliser comme moyen taxonomique d'identification étant donné que les patterns sont extrêmement variables au sein même d'une espèce, on n'observe donc pas un pattern pour une espèce mais plutôt une espèce pour des dizaines de patterns différents. De plus la surface des coquilles des *Oliva* est assez complexe si l'on considère la couche supplémentaire de vernis qui les recouvre, ce qui rend l'analyse d'autant plus compliquée. On observe aussi chez les *Oliva* des événements de patterns isolés selon la portion de la coquille. Ce qui signifie que si nous voulons baser notre étude taxonomique sur les patterns, nous devons bien choisir la partie de la coquille et les analyser par partie (Bernard Tursch & Greifeneder, 2001).

A l'heure actuelle la coloration ou les patterns ne sont pas des caractères extrêmement fiables dans le sens où ils ont été peu traités et analysés et donc toute la diversité qu'ils peuvent offrir n'a pas encore été découverte ni mise en lien avec chaque espèce de sorte à former une clé de détermination. Toutefois cela reste des critères prometteurs pour l'avenir. D'autant plus que leur analyse ne nécessiterait pas d'abîmer l'échantillon ce qui est un avantage non négligeable que ce soit pour une identification pour un particulier, pour une vente ou pour la formation d'une collection de musée (Bernard Tursch & Greifeneder, 2001).

I.6. Espèce d'intérêt : *Oliva oliva*, décrite par Tursch et Greifeneder en 2001

Taille : généralement pas plus de 46 mm

Forme : relativement variable, allant de fusiforme à cylindrique. Une grande partie du bord labial est souvent parallèle à l'axe columellaire avant de prendre une ligne plus cylindrique.

Spire : de forme conique avec une taille variable. Généralement avec une cal opaque et de la couleur de base de la coquille. Ne présente cependant pas les patterns qui peuvent être présents sur le corps de la coquille.

Canal du filament : étroit, toujours ouvert sauf chez certaines espèces présentes à Bali.

Pattern : dessin variable qui le plus souvent forme des lignes zigzagantes verticales de couleur brune et en plus ou moins grand nombre. Chez certaines espèces c'est la présence de points étoilés ou de marques brunes spiralées d'épaisseur variable qui constitue le pattern de la coquille.

Couleur de fond : variable allant de blanchâtre aux bruns noirs en passant par de l'orange ou du vert.

Fasciole : généralement unicolore ou très légèrement marquée par la couleur de fond de la coquille dans sa partie antérieure.

Columelle : chez les spécimens adultes on observe de manière constante une épaisse callosité columellaire qui dissimule des plis très fins. De couleur blanchâtre.

Ouverture : de couleur brunâtre ou grisâtre.

II. COQUILLES ALTEREES : LES FAKES

Pour cette partie, l'opportunité m'a été donnée d'interviewer monsieur Guido Poppe. Il s'agit du fondateur et dirigeant, avec son fils, de la société Conchology Inc (Poppe & Poppe, 2020). Cette société a pour but de vendre des coquillages authentiques mais aussi des faux, c'est-à-dire qui ont été modifiés d'une quelconque façon par l'Homme. Elle peut également fournir des certificats d'identification et d'authentification en plus de proposer ses services pour la réalisation de collection pour des particuliers ou des musées.

Etant un expert dans la vente de coquillages ainsi que dans leur identification, pouvoir échanger avec cette personne a permis de mettre en lumière plusieurs points concernant les Fakes qui vont être décrits par la suite sous la forme de questions/ réponses.

II.1. Définition :

Il s'agit d'une coquille à base naturelle qui a ensuite été modifiée artificiellement par l'homme pour prendre une forme, une taille, ou une couleur qui n'est pas commune à l'espèce et ainsi la transformer en une coquille rare.

On peut identifier quatre catégories de coquillages qui ont chacune une utilité différente. En effet on peut trouver les coquilles ornementales qui sont donc exploitées pour leur valeur décorative, généralement peu onéreuses et assez communes. On peut ensuite trouver les coquilles rares qui sont beaucoup plus chères ainsi que les coquilles commerciales qui regroupent les mollusques qui sont prélevés pour leur nacre, leur production de perles ou pour être utilisés comme nourriture. Et enfin nous avons la catégorie qui regroupe tous les produits fabriqués à partir de coquilles et d'autres matériaux (Floren, 2003). Pour notre part ce sont surtout les catégories regroupant les coquilles ornementales et les coquilles rares qui vont être sujet à la contrefaçon. Les autres catégories peuvent également être sujet à la contrefaçon, mais ce ne sont pas les coquilles qui seront majoritairement retrouvées dans les marchés de collection.

II.2. Fabrication :

Pour ce qui est de leur fabrication, l'altération qui revient le plus souvent est une altération de la coquille qui est réalisée par chauffage à différentes températures de celle-ci. En effet, les personnes réalisant ces contrefaçons, chauffent généralement les coquilles au feu de bois puis les exposent au soleil pendant plusieurs jours. Un tel chauffage va alors avoir un effet sur la couleur de la coquille, la faisant soit changer de couleur pour une couleur plus claire soit en la rendant complètement blanche.

L'intérêt de la rendre blanche est de la faire passer pour une forme rare chez n'importe quelle coquille qui est la forme « albinos ». De même rendre une coquille complètement noire est dans le but de la faire passer pour la forme rare « nigiris ». D'autres méthodes peuvent être utilisées comme casser la coquille à certains endroits pour reconstruire sa forme à partir de matériaux minéraux ou encore récemment on a pu voir l'apparition de coquilles complètement artificielles construites à partir d'imprimante 3D.

Question : Savez-vous comment sont réalisés les faux ?

Guido Poppe : « Les faux sont réalisés par des experts du nettoyage de coquillage qui ont mal tourné. D'abord pour le « fun », puis pour avoir un peu d'argent supplémentaire pour le ménage. Puis certains ont tourné en de vrais petits gangsters.

Le coquillage de collection aux Philippines a été une branche mineure de la grande industrie du coquillage commercial distribué par containers entiers dans tous les magasins du monde qui bordent la mer. Cette industrie a prospéré entre 1970 et 2010 mais depuis environ 95 % des entreprises ont fermé et il n'en reste que deux ou trois qui continuent tant que cela va. Ces entreprises dont il en existait 50 à Cebu jusqu'en 2000, employaient entre 30 et 300 personnes avec une moyenne de 60 personnes. La plupart des espèces vendues étaient le rejet de la cuisine locale : Murex, Volutes, Cassis, et la centaine d'espèces que sont les « moules » de l'Asie et qui sont mangées par tonne.

Les coquillages de collection étaient sortis des grandes quantités de coquillages communs, triés, nettoyés et ainsi de suite. Puis il se développait ce petit marché à côté et en 1974 un Philippin a inventé une méthode de pêche en eau profonde. Là ils ont découvert un vrai jack pot avec une multitude d'espèces nouvelles pour la science et beaucoup de pièces chères.

Mais même les pièces chères remontaient dans les filets en mauvaise qualité plutôt que tout beau et parfait. Donc, le métier de « restaurateur » a été inventé : des mecs qui emploient des résines, des peintures etc. spéciales pour réparer les défauts de coquillages trouvés la plupart du temps avec des bernard-l'hermite à l'intérieur. Ce sont les mêmes qui se sont spécialisés parfois en faussaire. »

II.3. Discrimination :

A l'heure actuelle pour discriminer des coquilles fausses de coquilles vraies, les experts se basent principalement sur l'utilisation de paramètres métriques de la coquille. C'est-à-dire des parties de la coquille qui sont mesurées et qui sont généralement les mêmes au sein d'une même espèce. Par exemple la taille du protoconch ne change pas d'un individu à l'autre pour une même espèce. Il s'agit ainsi d'une bonne indication pour définir l'espèce dans un premier temps ainsi qu'une bonne indication de s'il y a eu des modifications apportées à la coquille. De même certaines caractéristiques de forme peuvent être attendues pour chaque espèce. Ainsi si des altérations ont été apportées à la coquille l'utilisation de ces critères d'identification peut être un bon indice.

La comparaison à des objets de collection déjà existants ou à des collections de muséum peut également donner une assez bonne idée des formes qui existent déjà y compris de formes rares. Une comparaison avec ces collections peut ainsi donner une idée de ce qu'il est possible de trouver.

Des études plus récentes ont été réalisées pour déterminer de manière moléculaire si l'on pouvait associer la présence de certains gènes à la couleur. Ainsi en ayant le génome de l'individu il sera possible de déterminer quelle couleur il pourrait produire et ainsi définir si sa couleur est d'origine ou non. Cette méthode serait le moyen le plus sûr de déterminer si oui ou non il y a une altération, cependant elle nécessite de posséder le génome de l'individu ainsi que de pouvoir le séquencer et l'analyser.

Question : A l'heure actuelle, comment faites-vous la différence entre un vrai et un faux ?

Guido Poppe : « Pour distinguer les FAUX des vrais, on se base sur le déjà-vu. Tous les coquillages qui entrent dans notre compagnie sont expertisés par 4 personnes en même temps, puis ils passent par les mains des autres. Les 4 premiers, qui examinent l'état ont l'habitude de voir passer à peu près 2000 pièces entre leurs mains toutes les semaines, depuis 18 ans. Donc on a vu à peu près tout ce qui existe aux Philippines en quantité, même les grandes raretés on en a souvent vu une douzaine de spécimens.

Si quelque chose a été altéré dans un exemplaire, et qui ne paraît pas naturel, une sonnette résonne en général dans les 4 têtes à la fois...

Deuxième moyen : on sait qui vend les « faux ». Donc, avec ces dealers on est particulièrement prudent. Mais quelques fois ils nous abusent encore. Et ils ne cessent d'essayer.

Ensuite, ce ne sont pas seulement les faux qui sont dangereux à l'achat, mais aussi les pièces réparées, les pièces dont la couleur a été légèrement altérée, les pièces qui ont été mouillées et sont vendues en plastique : lorsqu'ils sèchent ils sont abominables et ainsi de suite.

Sans expertise, le collectionneur moyen qui visite et essaie de court-circuiter le système paie plus cher à la fin comparé aux prix des professionnels les plus chers. J'ai vu des gens dépenser des dizaines de milliers d'euros pour acheter des « faux ». Et lorsqu'ils reviennent pour réclamer leur argent et retourner la marchandise, ils se heurtent à un mur... »

II.4. Autres :

Question : Quelle est l'importance du marché pour la vente de coquillage actuellement ?

Guido Poppe : « C'est un petit marché qui brasse très peu d'argent en général. On parle de très peu d'euros si l'on compte même avec les ventes entre collectionneurs. Il n'y a que 4 entreprises (marchands) officielles, le reste se vend entre collectionneurs. Avec 5000 collectionneurs et 500 vendeurs, il est difficile de survivre dans un tel milieu. C'est donc un marché presque inexistant, un simple grand match de football en Belgique brasse plus d'argent en une après-midi que le monde du coquillage en 5 ans. »

Question : Où rencontre t'on les plus grands collectionneurs à l'heure actuelle ?

Guido Poppe : « Pour le moment tous les « grands » collectionneurs ont arrêté, il y en avait encore 3 il y a un an. Traditionnellement, les collections se font en Europe, aux Etats-Unis et au Japon. Depuis récemment une nouvelle génération est naissante en Chine : plein de jeunes sont intéressés, et cela promet d'être le marché de demain mais malheureusement très protégé comme toute chose en Chine. »

Question : Qu'est-ce qui définit le prix d'un coquillage lors d'une vente ?

Guido Poppe : « C'est une chose complexe sur laquelle j'ai écrit plein de pages. En bref : c'est l'offre et la demande. La rareté n'a rien à voir ou presque. Plein de facteurs : taille, couleur, histoire, beauté, rareté, et puis qui fait les affaires. L'époque joue un rôle aussi. En 1680 à Amsterdam, un *Epitonium scalare* a été vendu en or massif pour une valeur de 500 000 euros. La même coquille coûte 20 euros aujourd'hui aux Philippines et va coûter 1000 euros dans vingt ans puisque la seule localité où a été trouvé une grande quantité de ces coquillages a été détruite par un volcan il y a une douzaine d'années. »

Il est à noter qu'ici Monsieur Guido Poppe n'aborde que les coquillages à destination de collectionneurs privés. Toutefois une autre catégorie plus récente d'acheteurs a également vu le jour. On parle ici d'investisseurs plus que de collectionneurs. Il s'agit majoritairement de sociétés qui sont à la recherche de pièce unique afin de les exploiter par la suite. Un des exemples les plus concrets à citer serait sans doute les coquillages à destination des bijouteries. Pour ces pièces particulières, les ventes se font dans des salles aux enchères avec des pièces connues, répertoriées et identifiées.

III. LA COULEUR EN INFORMATIQUE

III.1. Qu'est-ce que la couleur en informatique ?

La notion de couleur est une notion subjective qui dépend de la perception de la lumière par l'œil humain. On a ainsi une distinction entre la couleur physique qui est caractérisée par le spectre de lumière qui arrive à l'œil et qui est traitée par les cônes et les bâtonnets présents dans celui-ci et la couleur perçue par la suite qui est, elle, une impression visuelle et qui est différente selon chaque individu.

Sachant ces différences de perception selon les individus, les systèmes de codage cherchent à définir chaque couleur par 3 mesures différentes réalisées sur le spectre de la couleur physique. Les systèmes de codage se basent également sur les 3 couleurs primaires qui selon le type de synthèse effectué permet d'obtenir toutes les combinaisons de couleur possibles. Les synthèses ici font référence à la synthèse additive qui est la construction de couleur par addition de sources lumineuses et à la synthèse soustractive qui est la construction de couleur à partir de pigments colorés.

D'un point de vue informatique, l'image en couleur, est représentée par un tableau de pixels qui contient les informations relatives au nombre de lignes, de colonnes, au format des pixels et à la compression éventuelle.

Les pixels qui constituent l'image, sont décrits par leurs coordonnées dans l'image et sa valeur qui va représenter sa couleur. Il peut être exprimé en niveau de gris selon un codage binaire ou 0 désigne le noir et 1 désigne le blanc ou selon un codage en 8 bits qui est généralement le type de codage utilisé dans le cas du niveau de gris et où 0 va représenter le plus foncé et 1 le plus clair. (Pillou, 2004)

On peut également réaliser des codages en couleur qui là vont dépendre des systèmes de codage utilisés. Par exemple pour le codage de l'espace RGB expliqué plus en détail par la suite, on va avoir un codage en 24 bits codant pour l'intensité lumineuse du rouge, du vert et du bleu. D'autres types de codage existent et où chaque code va correspondre au pourcentage d'une couleur. Ces pourcentages pourront ensuite traduire différents paramètres comme la teinte, la saturation ou la luminance d'une image.

La couleur est ainsi représentée en informatique comme un ensemble de coordonnées dans un espace couleur qui est à définir au préalable selon l'utilisation que l'on souhaite en faire.

III.2. Espace couleur et Format d'image

La couleur est codée par les ordinateurs selon différents paramètres qui sont plus ou moins mis en avant selon le type de codage utilisé. La couleur peut ainsi être représentée de nombreuses façons et il est alors important de bien choisir son système de codage si on ne veut pas perdre de l'information et donc déformer les couleurs.

On observe ainsi différents systèmes de codages comme les codages RGB, HSV, LAB et bien d'autres. Il est à noter qu'il est possible de passer d'un codage couleur à un autre par conversion mathématique. Cependant il est plus simple et plus efficace de choisir directement le type de codage utile à la situation au risque de devoir changer et de perdre de l'information lors de la conversion.

III.2.a. RGB

Le système de codage de la couleur le plus connu pour représenter les couleurs et le plus utilisé par le grand public, est le système dit RGB en anglais ou RVB en français. Celui-ci est la contraction de « Red, Green, Blue » ou de « Rouge, Vert, Bleu ».

Il existe divers espaces couleur qualifiés de RGB, dans le cas présent c'est à l'ISO RGB (Süsstrunk et al., 1999) que l'on va s'intéresser et qui va être utilisé. En effet ce type de RGB est celui utilisé dans les appareils photo et donc la retransmission des couleurs en image par la suite. Cet espace est défini en ISO 17321 par la GTP (technologie graphique et photographique).

Les données traduites par ce codage représentent une estimation de la scène vue à travers l'objectif ou de la colométrie d'origine de celle-ci. Les appareils photos actuels code l'ISO RGB en 10-16 bits ce qui permet d'avoir une gamme couleur illimitée et où un bit sera désigné pour coder les couleurs hors gamme d'où son illimitation. Le codage ISO présente en plus l'avantage de mieux convertir les points blancs si couplé au RGB plutôt qu'à un autre espace colorimétrique classique utilisé dans le multimédia comme le CIE ou le HSV. (Süsstrunk et al., 1999)

L'espace couleur ISO RGB retranscrit une estimation de la scène et des couleurs, toutefois ces mêmes couleurs peuvent être altérées par la luminosité artificielle de la scène par exemple ou l'utilisation d'un flash.

Il est important dans le cas d'analyse des pigments de réaliser un traitement de l'image de telle sorte que les coordonnées RGB traduisant la scène soit standardisées entre chaque photo afin de limiter au maximum les biais indépendants du codage.

Pour standardiser les images un traitement de la balance des blancs notamment est le plus indiqué. Bien qu'elle soit déjà réalisée lors de la prise de la photo avec l'appareil photo, il peut être intéressant de la réaliser aussi par un logiciel photo (ici capture one) afin de corriger les couleurs dominantes et d'obtenir des blancs et noirs purs qui ne sont pas retranscrits directement lors de la prise la photo et qui sont donc avant traitement dits « impurs ».

De plus ce genre de traitement permet d'éliminer les valeurs minimales et maximales des pixels qui correspondent généralement à des artefacts de poussière et ce, de sorte à ne pas altérer les moyennes des autres valeurs de pixels. Ce traitement est d'autant plus utile que l'enregistrement des photos se fait en format RAW qui enregistre la scène en nuance de gris avant de traiter ces métadonnées par le codage ISO RGB. Format qui permet de conserver au maximum la qualité du signal détecté par l'appareil photo mais qui n'est pas parfait d'où les traitements ultérieurs.

Il existe encore bien d'autres codages de la couleur informatique trop nombreux pour être détaillés comme par exemple le codage YIQ/ YUV qui représente un espace distinguant la luminance¹ de la chrominance² et qui va principalement être utilisé dans la transmission des signaux vidéo ou encore le codage Lab qui est un espace normalisé permettant de représenter toutes les couleurs, en plus de distinguer la luminance de la chrominance et de conserver les différences perceptuelles.

Il est donc important en termes de codage des couleurs, de savoir quel type de codage va être utile, sur quel support on travaille et ce que l'on veut en tirer comme information.

III.2.b. JPG

Le JPG est un format d'image qui utilise une méthode de compression à perte. C'est-à-dire qui va réduire la taille de stockage des images aux dépends de la qualité de celles-ci. L'avantage de ce genre de format est donc d'avoir des images qui prennent peu de place à stocker et qui sont donc de taille idéale pour circuler sur internet ou pour enregistrer des images de photographie ordinaire. L'inconvénient de ce genre de format est que, comme dit précédemment, il va, en diminuant sa taille de stockage, diminuer la qualité de l'image. Ainsi la résolution de l'image et la retranscription des couleurs vont en pâtir.

Ce format privilégie donc une taille de stockage réduite à une qualité d'image et est donc peu conseillé en cas de photographie professionnelle par exemple. De plus il s'agit d'un format de stockage où il est difficile de réaliser des retouches telles que la balance des blancs ou autre, l'image ayant déjà préalablement été altérée par sa compression.

¹ La luminance est une grandeur correspondant à la sensation visuelle de luminosité d'une surface. Cela permet de caractériser un objet comme vif ou terne.

² La chrominance va désigner la partie de l'image vidéo correspondant à l'information de couleur.

Ce type de format ne sera donc pas privilégié dans ce mémoire au vu des inconvénients qu'il possède ainsi que de son manque de précision dans la retranscription des couleurs. Retranscription primordiale pour les études de pigments et couleurs informatiques liées à ce mémoire.

III.2.c. RAW

Contrairement aux fichiers JPG qui sont déjà modifiés lors de l'enregistrement, les fichiers RAW (Maître, 2016) eux sont totalement bruts. C'est-à-dire que l'image sous forme Raw est l'image qui sort telle quelle de l'appareil photo et qui contient donc les données brutes qui sortent du capteur et des paramètres nécessaires à la transformation en un fichier visible sur un écran informatique d'ordinateur par exemple. Comme toutes les données brutes sont présentes au niveau de l'image, le fichier est souvent plus volumineux que celui sous format JPG.

L'avantage de travailler à partir d'un fichier RAW est que l'image formatée n'a pas subi de transformation irréversible comme pour une image en JPG, ce qui va permettre de retravailler l'image si nécessaire à l'aide de logiciel de photographie sans que cette image soit endommagée comme elle pourrait l'être si l'on travaille sous format JPG.

L'inconvénient de ce genre de format est que comme il n'est pas compressé, il va prendre beaucoup plus de place qu'un fichier JPG au niveau du stockage de celle-ci. Il peut donc être plus difficile d'utiliser ce genre de fichiers pour cela. De plus l'intérêt d'utiliser ce genre de fichiers est de pouvoir le modifier, cet avantage peut aussi se transformer en inconvénient si on est un novice et que les logiciels photo ne font pas partie de nos compétences.

Toutefois même pour des débutants il est souvent conseillé d'utiliser le format RAW pour avoir cette possibilité et flexibilité au niveau du traitement des images même les plus basiques comme le recadrage ou gérer la balance des blancs. Car même les réglages les plus simples peuvent endommager la qualité de la photo si le travail est effectué à partir d'une image directement formatée en JPG.

La meilleure solution est encore de sauvegarder les images directement sur la carte mémoire de l'appareil photo sous les deux formats et d'ensuite choisir le format qui correspond à l'utilisation future de ladite photo.

Pour ce mémoire c'est donc l'utilisation du format RAW qui sera favorisé de par ses avantages et la possibilité de traiter celui-ci avec tous les logiciels utilisés pour les analyses couleurs.

CHAPITRE II : CONTEXTE ET OBJECTIFS

Pour situer le contexte de ce mémoire, il faut commencer par comprendre l'intérêt particulier qu'ont exercé les coquillages sur les Hommes. Depuis l'antiquité, les Hommes ont utilisé les coquillages soit comme monnaie d'échange si l'on se réfère à l'utilisation de *Cypraea moneta* soit, et c'est sans doute l'exemple le plus connu du grand public, comme objet de parure et ce autant dans l'ancien temps avec les parures traditionnelles qu'actuellement avec des bijoux plus modernes (Floren, 2003). D'autres utilisations peuvent être citées comme la décoration des façades des maisons ou comme ressources alimentaires.

L'intérêt grandissant pour les coquillages a fait évoluer leur utilisation. Si avant ils avaient une utilité pratique, maintenant ils ont plutôt une utilité d'ordre esthétique en tant qu'objet de collection notamment. Etant particulièrement beaux, colorés et diversifiés, certaines personnes se sont mises à les collectionner comme l'on peut collectionner des timbres ou des pièces de monnaie. On parle dans le cas des collectionneurs de coquillages, de conchyophiles.

Evidemment trouver des coquillages est assez simple, des millions s'échouent tous les jours sur les plages, il suffit alors de les ramasser. Cependant ce n'est pas ce genre de coquillages qui va intéresser les collectionneurs mais plutôt les exemplaires qui sont dit rares et qui ne se trouvent pas si facilement. De plus les coquillages faisant partie des individus les plus diversifiés en termes de formes, de tailles et de couleurs, on trouve également beaucoup de formes rares différentes pour chaque espèce. Par exemple trouver une *Olividae* tachetée est plus rare que trouver une *Cypraeidae* tachetée.

C'est ainsi, de par la complexité de la diversité, que l'on a vu se mettre en place des marchés de collections destinés à mettre en relation collectionneurs et vendeurs. Ce type de marché où la valeur est directement associée à la demande génère beaucoup de profit.

Cet argent en circulation peut amener certaines personnes mal intentionnées à créer des coquillages qui auront été artificiellement modifiés et qui vont porter le nom de Fakes, dont nous avons précédemment parlé.

L'un des plus gros et plus anciens marchés de contrefaçon qui existe est sans nul doute celui basé aux Philippines pour ce qui est des coquillages. En effet les Philippines étant l'un des endroits où l'on retrouve les coquillages les plus recherchés par les collectionneurs ou même par les touristes comme les *Cypraea*, il est alors facile avec le matériel biologique déjà sur place de réaliser des faux à moindre coût (Floren, 2003). C'est pour cela que pour ce mémoire nous nous concentrons sur le marché philippin. De plus les échantillons biologiques à destination des expériences réalisées pour ce mémoire viennent tous des Philippines pour éviter les biais biologiques de type différences géographiques dans nos résultats.

Pour en revenir aux marchés, il est normal en tant que collectionneur ou investisseur et que l'on sait qu'il existe des faux, que l'on souhaite avant achat une preuve de leur authenticité, d'autant plus quand on sait que certaines pièces uniques peuvent aller jusque 4,5 millions de dollars. C'est dans cette dynamique de déterminer le vrai du faux que va s'inscrire mon mémoire. Les résultats qui seront mis en évidence auront ainsi un intérêt pour les experts en identification qui sont responsables d'assurer l'authenticité des pièces vendues mais aussi dans une vision plus générale de rassurer les collectionneurs sur l'authenticité de leur achat de manière scientifique.

On peut aussi trouver un axe socio-économique à ce mémoire. En effet la vente de faux va faire perdre la crédibilité des vendeurs, la confiance perdue peut mettre en danger le marché même de la collection de coquillages jusqu'à potentiellement causer son effondrement. Les Philippines basant une grande partie de leur développement économique et culturel sur ces ventes au sein du pays mais aussi en termes d'exportation, l'effondrement de ce marché serait catastrophique au niveau de l'économie de ce pays. Celui-ci pourrait causer des chômages notamment au niveau de pêcheurs, ce qui constituera l'axe social de ce mémoire. En plus de ce côté social lié au chômage, on observe une seconde partie sociale du côté des personnes qui achètent ces coquillages et qui font donc un investissement infructueux (Floren, 2003).

Les techniques utilisées dans la discrimination des coquillages, que ce soit pour discriminer du vrai du faux ou pour discriminer les espèces entre elles, sont pour la plupart complètement subjectives et à l'appréciation de l'observateur. Pour ce qui est des méthodes actuelles non subjectives, on peut voir le développement d'analyses génétiques. Toutefois même si celles-ci sont objectives et permettent la discrimination, elles restent longues à réaliser, à étudier et ont un certain coût. C'est pourquoi avec ce mémoire, nous cherchons à mettre au point une méthode de discrimination non subjective et qui pourrait être généralisable à la discrimination de n'importe quel coquillage. Cette méthode aurait ainsi l'avantage d'être rapide, simple d'utilisation et peu chère, en plus bien évidemment d'être complètement objective. En ressort de cette problématique deux objectifs principaux qui sont les suivants :

Le premier objectif serait de mettre au point une liste de critères d'identification non subjectifs permettant de différencier les coquilles naturelles des coquilles artificiellement modifiées. Pour cela nous utiliserions des techniques destructives et non destructives de type microscopie électronique, études de pigments, minéralogie et cristallographie.

Le deuxième objectif qui est en quelque sorte le but ultime de ce projet, serait de mettre au point une méthode d'identification non subjective et non destructive des coquilles et généralisable à différentes espèces. Pour cela des techniques de photométrie ainsi que l'utilisation d'un logiciel métrique nommé Shape est envisagé.

CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES

I. DESCRIPTION DU MATERIEL BIOLOGIQUE

Le matériel biologique utilisé au cours de cette étude, peut être divisé en deux parties. Une partie a été consacrée à l'étude théorique des coquilles des *Olividae*, tandis que l'autre a fait office de matériel dédié à l'expérimentation de différentes méthodes de chauffage liées à la fabrication de Fakes ainsi qu'à l'analyse photographique.

Pour ce qui est des coquilles dédiées à la partie théorique, celles-ci proviennent de la collection personnelle du professeur Mathieu Poulicek et comprenaient diverses espèces d'*Olividae* ainsi que quelques autres familles de Néogastropodes entre autres.

Pour la partie pratique, deux lots d'*Oliva oliva* de provenance différente ont été utilisés.

Le **premier lot** de coquilles provient d'une plage de sable volcanique du nord de l'île de Samar aux Philippines. Les coquilles ont été récupérées par le tamisage de sable intertidal lors de l'extraction de celui-ci réalisé dans le but de récupérer du matériel pour diverses constructions. Ainsi lors de cette extraction de sable, un moratoire a été établi de sorte à échantillonner et récupérer la faune qui allait être détruite par les procédures d'extraction.

Les coquilles ont été échantillonnées à deux endroits différents de la plage et deux phénotypes de coquilles ont pu être observés. Dans un premier temps, les coquilles d'*Oliva oliva* ont été échantillonnées au niveau de l'infralittoral sur un sable blanc coralien au Sud-Ouest de la Baie. C'est de là que proviennent les phénotypes les plus clairs.

Puis dans un second temps une deuxième zone a été échantillonnée et a mis en évidence un phénotype de coquille d'*Oliva Oliva* plus sombre. Cette seconde zone d'échantillonnage se situe au niveau de l'infralittoral Est qui est caractérisé par un sable volcanique noir, mêlé d'environ 15 à 25% de sable coralien blanc.

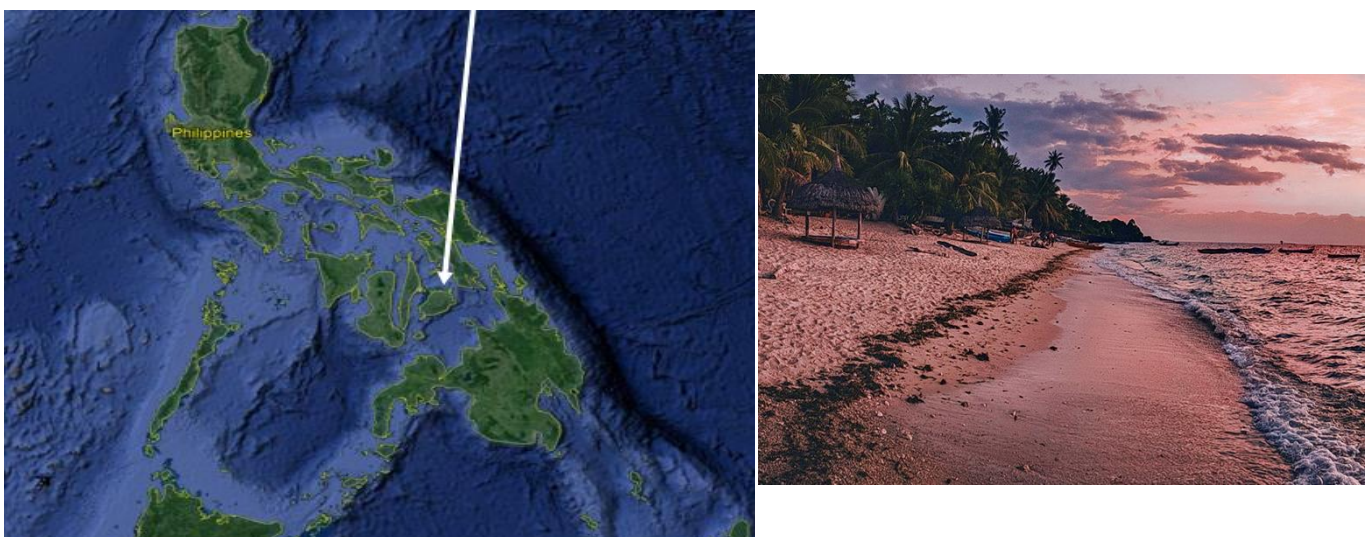


Figure 8 : Zone et points de prélèvement du premier lot de coquilles. La carte à gauche situe la position de l'île de Samar aux Philippines. La photo à droite représente la plage où ont été réalisés le tamisage et la récolte des coquilles d'*Oliva oliva*.

Le **second lot** de coquilles provient de la baie de Hansa à proximité du village d'Awar sur la côte nord de Papouasie Nouvelle Guinée.

Elles ont été récoltées en partie sur la plage au niveau intertidal (PNG1) où les coquilles ont été prélevées à pied et à marée basse mais aussi de l'infralittoral où là, elles ont été récoltées en plongée à des profondeurs variant entre 1.5 et 3 mètres (PNG2).



Figure 9 : Carte représentant la baie de Hansa sur la côte Nord de la Papouasie Nouvelle Guinée. Les point PNG1 et PNG2 représentent les deux points de prélèvement des coquilles d'*Oliva oliva*.



Figure 10 : Images représentant les plages des deux points de prélèvement PNG1 et PNG2 respectivement à gauche et à droite.

II. FABRICATION DES FAKES SELON DIFFERENTES METHODES

II.1. Chauffage au four à moufle :

La majorité des tests liés à la dépigmentation des coquilles par le biais du chauffage ont été réalisées à l'aide d'un four à moufle de marque NABERTHERM et de type Labotherm L9/S. Ce type de four permet grâce à ses 3 plaques chauffantes en céramique et sa ventilation active de chauffer de manière uniforme un objet et à haute température (1100°C au maximum). Il présente également de nombreuses options tels que le réglage de la montée en température, la durée des phases de chauffe et des paliers programmables en pas de 1minute et 1°C. Toutes ces fonctionnalités peuvent être réglées et prédéfinies dans des cycles automatiques de 3 paliers maximum.

Afin de mettre en place notre protocole final, plusieurs pré-protocoles ont été effectués selon les paramètres ci-dessous. Il est à noter que comme il s'agit de protocoles expérimentaux chacun de ces derniers sera repris et analysé dans les résultats. Tous les protocoles sauf le 4 ont été réalisés à partir de coquilles prélevées lors de l'extraction de sable. Le protocole 4 a nécessité l'utilisation d'une coquille prélevée lors de plongée et le protocole 5 a nécessité une coquille prélevée par chaque méthode.

Protocole expérimental 1 :

- Montée en température en 2 heures : passage de 30°C à 200°C
- Stabilisation pendant 1 heure à 200°C => **prélèvement de deux coquilles**
- Montée en température en 6 heures : passage de 200°C à 400°C
- Stabilisation pendant 1 heure à 400°C => **prélèvement de deux coquilles**

Protocole expérimental 2 :

- Montée en température en 2 heures : passage de 30°C à 200°C
- Stabilisation pendant 1 heure à 200°C => **prélèvement d'une coquille**
- Montée en température en 4 heures : passage de 200°C à 250°C
- Stabilisation pendant 1 heure à 250°C => **prélèvement d'une coquille**
- Montée en température en 6 heures : passage de 250°C à 300°C
- Stabilisation pendant 1h à 300°C
- Descente en température progressive durant la nuit de 300°C à 0°C => **prélèvement d'une coquille le matin**

Protocole expérimental 3 :

- Montée en température en 6 heures : passage de 30°C à 200°C
- Stabilisation pendant 1 heure à 200°C => **prélèvement d'une coquille**
- Montée en température en 12 heures : passage de 200°C à 250°C
- Stabilisation pendant 4 heures à 250°C => **prélèvement de deux coquilles**
- Montée en température en 8 heures : passage de 250°C à 300°C => **protocole stoppé**
- Stabilisation pendant 1 heure à 300°C

Protocole expérimental 4 :

- Montée en température en 6 heures : passage de 30°C à 200°C
- Stabilisation pendant 1 heure à 200°C
- Montée en température en 12 heures : passage de 200°C à 250°C
- Stabilisation pendant 4 heures à 250°C => **prélèvement d'une coquille**

Protocole expérimental 5 :

- Montée en température en 12 heures : passage de 30°C à 100°C
- Stabilisation pendant 1 heure à 100°C
- Montée en température en 12 heures : passage de 100°C à 150°C
- Stabilisation 39 heures à 150°C => **prélèvement de deux coquilles à la fin du cycle**

Protocole expérimental 6 :

- Montée en température en 12 heures : passage de 30°C à 100°C
- Stabilisation 30 minutes à 100°C
- Montée en température en 12 heures : passage de 100 à 150°C
- Stabilisation 30 minutes à 150°C
- Montée en température en 6 heures : passage de 150°C à 170°C
- Stabilisation à 170°C
- Montée en température en 14 h : passage de 170°C à 200°C
- Stabilisation 3heures à 200° C

Protocole expérimental 7 :

- Montée en température en 30 minutes : passage de 30°C à 100°C
- Stabilisation 30 minutes à 100°C
- Montée en température en 30 minutes : passage de 100°C à 150°C
- Stabilisation 30 minutes à 150°C
- Montée en température en 30 minutes : passage de 150°C à 200°C
- Stabilisation 30 minutes à 200°C
- Montée en température en 30 minutes : passage de 200°C à 250°C
- Stabilisation 30 minutes à 250°C

II.2. Chauffage au four à micro-ondes :

L'hypothèse d'une dépigmentation des coquilles par l'action d'un four à micro-ondes a été suggérée. Afin de tester cette hypothèse, plusieurs protocoles expérimentaux ont été mis en place. Pour ce faire un micro-ondes de 750 watts a été utilisé.

Protocole expérimental 1 :

- Puissance réglée à 750 Watts : durée 10 minutes => **observation de deux coquilles**
- Puissance réglée à 750 watts : durée 20 minutes => **observation des deux coquilles précédentes**
- Puissance réglée à 750 Watts : durée 20 minutes => **observation des deux coquilles précédentes**
-

Protocole expérimental 2 :

- Puissance réglée à 750 Watts : durée 1 heure 30 => **observation d'une coquille**

II.3. Chauffage aux lampes UV :

La réalisation de ce protocole expérimental a nécessité l'utilisation d'une machine à UV. Celle-ci est de la marque ANSELF, il s'agit d'une lampe de photothérapie composée de 4 tubes et 40 LED UV qui permet de développer une puissance totale de 120 Watts. Elle comprend également un refroidisseur intégré et permet d'émettre des longueurs d'ondes à 365nm et 405nm.

Pour ce qui est du test en lui-même, 2 coquilles ont été placées sous les lampes UV et ont été observées toutes les 30 minutes qui est la durée d'un cycle et ce, pendant 4heures.

II.4. Combinaison du chauffage au four à moufle et aux lampes UV :

Pour ce protocole, deux méthodes de chauffage ont été utilisées l'une à la suite de l'autre. Cela a donc nécessité l'utilisation du four à moufle décrit dans le chapitre 3, II.1 ainsi que l'utilisation de la lampe UV décrite dans le chapitre 3, II.3.

Protocole expérimental :

- Récupération de la coquille issue du protocole expérimental 7 réalisé au four à moufle (*chapitre 3, II.1. Protocole 7*)
- Exposition à la lampe UV : durée 1heure 30 : observation toutes les 30 minutes

III. ANALYSE INFORMATIQUE DES COULEURS

III.1 Prise de photo des coquilles non altérées et altérées :

Les photos ont été prises à l'aide d'un dispositif comprenant un appareil photo, une boîte à lumière, un trépied, une plaque en verre et une charte de couleur.

L'appareil photo présentait les réglages suivants :

- Iso³ : 100
- Vitesse⁴ : 1/250
- F⁵ : 6.3
- Balance des blancs personnalisée : 6022 K
- Objectif : EFS 10-200 mm
- Boitier : EOS 600D
- Marque : canon EOS DIGITAL

Pour ce qui est de la boîte à lumière, le modèle Foldio2+ de la marque Orange monkey a été utilisé. Celle-ci présente des leds fixées sur le sommet de la boîte ainsi que deux bandes de leds supplémentaires qui peuvent être déplacées. Une plaque en verre légèrement surélevée a été placée dans le fond de la boîte afin d'y déposer le coquillage et ainsi éviter les ombres. Les leds amovibles ont été recouvertes par un diffuseur pour limiter au maximum les reflets sur la coquille.

D'un point de vue pratique, chaque coquille a été positionnée au même endroit sur la plaque et sous un même éclairage. Celle-ci a ensuite été prise en photo sur sa face dorsale et sur son ouverture. Pour assurer le même positionnement de chaque coquille sur la plaque en verre, un point au marqueur avait été effectué. Elles étaient donc placées avec le point au centre de la coquille et dans la même orientation pour chaque coquille.

Les coquillages non altérés ont été répartis en 8 lots de 9,5,4,5,3,4,15,5 individus selon leur ressemblance de façon à faciliter les mises au point. Pour ce qui est des coquilles altérées elles ont été réparties en 6 lots correspondant à leur protocole. Les photos ont été ensuite prises et enregistrées en RAW sur la carte SD de l'appareil photo puis sur un disque dur externe après chaque fin de lot.

³ Unité de mesure de la sensibilité à la lumière du capteur numérique. Plus les Iso sont bas moins le capteur est sensible à la lumière et donc plus la lumière doit être importante pour une photo réussie. Inversement plus les iso sont élevés plus le capteur est sensible moins la lumière est nécessaire. Toutefois on conseille d'essayer d'avoir les iso le plus bas possible pour éviter les bruits.

⁴ Temps pendant lequel l'obturateur s'ouvre au déclenchement soit le temps pendant lequel le capteur est exposé à la lumière. Exprimé généralement en fraction de seconde. Plus la vitesse est élevée moins la lumière rentre mais plus l'image sera nette en cas de mouvement.

⁵ Correspond à l'ouverture, soit le diamètre d'ouverture du diaphragme au déclenchement. Plus F est grand et plus l'ouverture sera petite et inversement.

Les photos téléchargées en Raw ont ensuite été recadrées sur un carré de 9.14*9.14 puis ont subi un traitement au niveau de la balance des blancs. Une fois les photos traitées, elles ont été étudiées grâce au logiciel informatique « Image Color Summarizer » selon la méthode décrite dans le paragraphe ci-dessous.

III.2. Logiciel informatique :

Pour l'analyse des photos, plusieurs logiciels ont été testés. Parmi ceux-ci on retrouve « imagecolorpicker », « 3D color inspector », « ColorAnalyze » ou encore « Image Color Summarizer ».

Imagecolorpicker n'a pas été retenu car bien qu'il donne des informations sur la couleur du pixel tels que le code HTML de la couleur, le RGB code ainsi que les pourcentages HSV, il n'effectue l'analyse que sur un pixel, or sur notre coquillage, chaque pixel est légèrement différent. Réaliser une analyse sur chaque pixel de l'image un par un serait beaucoup trop fastidieux d'où la non sélection de ce logiciel. ColorAnalyze lui n'a pas été retenu en raison de son manque de précision sur le traitement des couleurs de l'image.

Le logiciel choisi pour les analyses de couleur par photographie est le logiciel Image Color Summarizer. Il s'agit d'un logiciel très complet qui offre plusieurs résultats tels qu'une description de l'image avec des mots, des clusters créés selon les couleurs, la répartition de ceux-ci sur l'image ainsi que des histogrammes de répartition des couleurs selon les différents types de codage qui existent comme RGB, HSV ou encore Lab. Un tableau de statistique reprenant les espaces entre couleurs est aussi disponible où est indiqué pour chaque type de codage, la moyenne, la médiane, le minimum et le maximum atteint sur la photo. Il s'agit également d'un logiciel qui est disponible sur internet en libre accès et de manière totalement gratuite (Krzywinski, 2020)

Le tableau de statistique n'a pas été utilisé car les valeurs obtenues comprennent également les valeurs du fond et pas uniquement le coquillage ce qui va fausser les valeurs.

En revanche le tableau résumant les clusters obtenus lui a été utilisé. En effet il présente pour chaque cluster de couleurs, le pourcentage de pixels concerné dans l'image, le nom de la couleur, ses valeurs selon les différents types de codage ainsi qu'une description littéraire de celui-ci.

La répartition des clusters sur l'image a également été utilisé pour être sûr de sélectionner les clusters qui correspondent au coquillage et éliminer ceux qui correspondent au fond de l'image.

Pour obtenir ces résultats, une suite d'informations doit préalablement être rentrée dans le logiciel. Premièrement il faut cliquer sur analyse ce qui nous amène à la page où l'on va pouvoir rentrer les données. On peut voir ci-dessous pour la présentation de la page et les réglages qui ont été effectués pour l'analyse de chaque photographie. Il est important de garder les mêmes réglages d'une photo à l'autre afin d'avoir des données homogènes.

IMAGE COLOR SUMMARIZER
RGB, HSV, LCH & Lab image color statistics and clustering—simple and easy

HOME ANALYZE EXAMPLES API DOWNLOAD FAQ NEWS

SUBMIT IMAGE FOR PROCESSING

For pretty output and histograms, select [html](#).

Output options [histogram](#) and [pixel](#) apply only for [plain-text](#) and [xml](#) output options.

The [precision](#) controls the extent to which the image will be resized before sampling. The lower the precision, the faster the computation. Resized widths are [vlow](#) (50 px) [low](#) (75 px) [medium](#) (100 px) [high](#) (150 px) [vhigh](#) (200 px).

Color clusters are calculated using [k-means clustering](#).

FILE Aucun fichier choisi

IMAGE URL

OUTPUT FORMAT html text xml json jsonp

STATISTICS color clusters histogram pixel

NUMBER OF COLOR CLUSTERS

- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 8
- 10
- 12
- 14
- 16
- 20

DELIMITER space tab

PRECISION

- vlow (50 px)
- low (75 px)
- medium (100 px)
- high (150 px)
- vhigh (200 px)

Figure 11 : page d'accueil de la partie analyse du logiciel Image Color Summarizer ainsi que les paramètres utilisés pour l'étude

Pour ce qui du nombre de clusters, le nombre de 10 a été choisi. En effet des essais avec plus de clusters choisis ont été réalisés sur différentes images, mais c'est le nombre de clusters sur le fond qui augmentait et non ceux présents sur le coquillage. En revanche si on en utilisait moins cela pouvait sur certaines photos conduire à regrouper trop de clusters entre eux et faisait ainsi perdre de l'information. De même pour ce qui est de la précision, plus celle-ci est élevée plus l'image est traitée de façon intacte et plus on obtient des données fiables d'où le choix d'une précision en « Vhight ».

Les clusters sélectionnés pour les analyses sont donc les clusters qui sont visibles sur la coquille lorsqu'on regarde la répartition de ceux-ci. On remarque alors que certains clusters représentent le fond de l'image ou encore représentent des couleurs altérées par le reflet de la lumière sur la coquille. Ces deux types de clusters sont donc des clusters altérés et qui ne doivent pas être intégrés à l'analyse couleur. La sélection des clusters est donc importante pour ne pas fausser les résultats et nécessite une analyse de la répartition de ceux-ci.

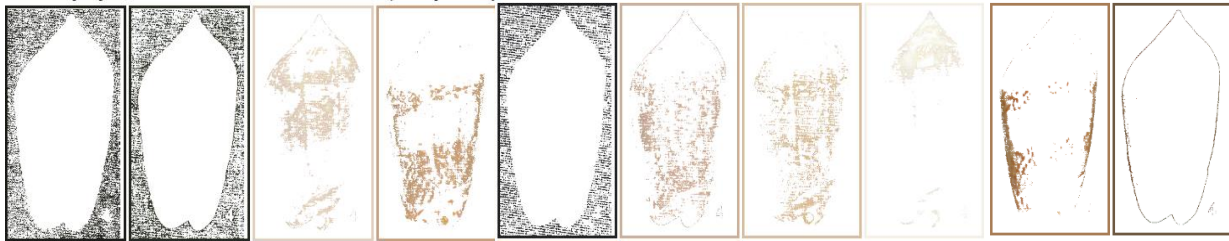


Figure 12 : représentation de 10 clusters sur une image témoin d'une coquille d'*Oliva spicata*. Les images 1,2,5 et 10 représentent les clusters de couleurs liés au fond de la photo. L'image 8 représente un cluster altéré par le reflet.

Un second logiciel a été utilisé mais cette fois ci plus dans un but visuel que de réelle précision des données. Il est donc ici utilisé comme un complément du premier logiciel. Il s'agit du logiciel Image J (Rasband, 2020) et sa fonctionnalité color inspector 3D. Cette fonctionnalité permet de créer un graphique 3D basé sur les données RGB (*Chapitre I, III.2.a. RGB*). A partir des données RGB analysées par Image J, Color Inspector 3D va permettre de visualiser ces données en un graphique dégradé et correspondant aux couleurs de la photo. L'avantage de cette fonctionnalité est son effet visuel de la présentation des pigments en présence. En revanche cette analyse est un peu moins précise que le premier logiciel étant donné qu'elle ne se fait que sur un rectangle de l'image et non sur la coquille entière. Cette imprécision laisse à penser que certaines teintes de pigment pourraient être oubliées. C'est pourquoi l'utilisation de ce logiciel est utilisé dans un but complémentaire et non principal.

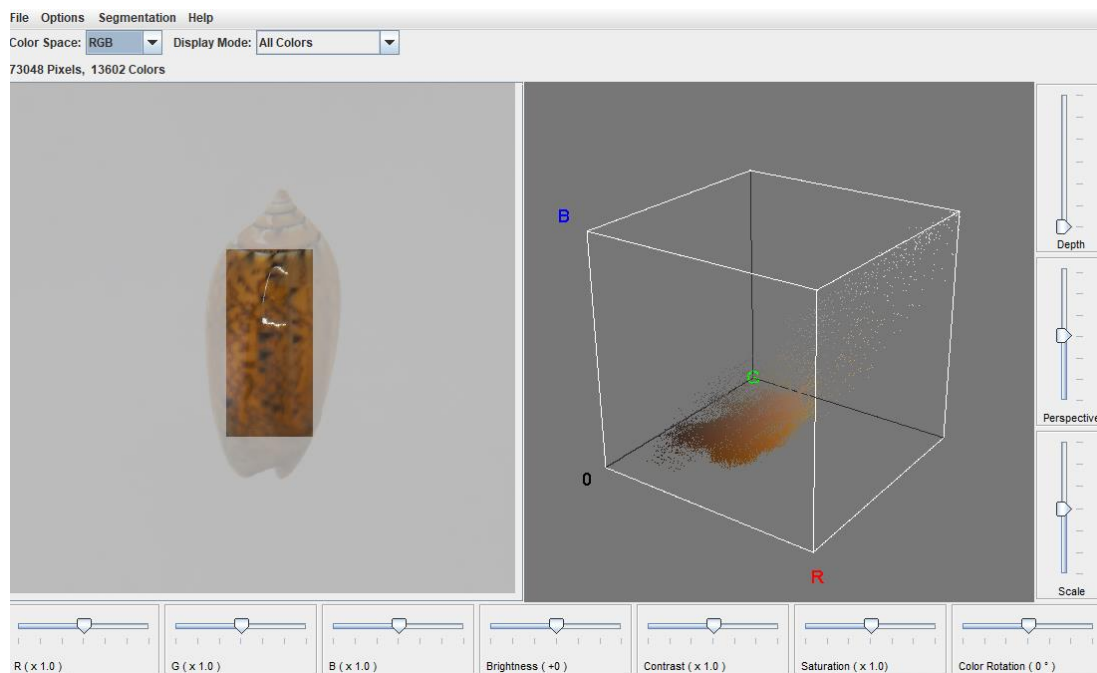


Figure 13 : représentation de la fonctionnalité Color inspector 3D du logiciel ImageJ. Exemple issu d'une coquille d'*Oliva oliva*

IV. ANALYSE MICROSCOPIQUE DE LA SURFACE DE LA COQUILLE

IV.1. Réalisation des Fakes

Pour réaliser l'analyse microscopique, 1 témoin, c'est-à-dire une coquille non modifiée, et 2 fakes ont été utilisées. Pour les Fakes, il s'agit de deux coquilles qui ont été artificiellement modifiées par chauffage au four à moufle. Le protocole suivant a ainsi été réalisé :

Protocole expérimental :

- Montée en température en 30 minutes : passage de 30°C à 100°C
- Stabilisation 30 minutes à 100°C => **prélèvement et observation d'une coquille**
- Montée en température en 30 minutes : passage de 100°C à 200°C
- Stabilisation 30 minutes à 200°C => **prélèvement et observation d'une coquille**

IV.2 Méthode d'observation

IV.2.a. choix de la méthode

Un des objectifs de ce mémoire est de mettre au point une méthode d'analyse non destructive qui permettrait de différencier des coquilles naturelles de coquilles qui ont été altérées par l'homme par le chauffage notamment.

À la vue de cet objectif, il était important de préserver l'intégrité de la coquille au maximum étant donné que la méthode est destinée à être utilisée sur des coquilles de collection ou destinées à la vente. Au vu de cela, seule l'étude de la surface de la coquille était envisageable.

Pour cela un microscope électronique à balayage (Faerber, 2004) au faisceau d'électrons qui balaye l'échantillon à sa surface sans le traverser et ne nécessite ainsi pas de découpe d'échantillon a donc été privilégié. Par l'utilisation de cette technique des données sur la structure tridimensionnelle ou de caractéristiques de surface de l'échantillon sont donc disponibles.

Le choix d'utiliser un MEB s'est aussi fait car celui permet d'observer la surface de la coquille sans traitement destructif de celle-ci. En effet par l'utilisation du mode Low Vacuum, l'étude d'un échantillon biologique est possible sans préparation de l'échantillon comme la métallisation, ou du séchage au point critique. La coquille étant suffisamment solide de par les matériaux qui la composent, elle devrait pouvoir résister au faisceau d'électrons et ainsi ne pas présenter d'altérations après l'observation.

IV.2.b. Préparation des échantillons et observations réalisées

Comme précisé précédemment, les échantillons n'ont subi aucun traitement de quel que type que ce soit. Il s'agit ici d'un facteur essentiel à respecter pour la conservation de la coquille dans son état d'origine et sa restitution à son propriétaire dans ce même état.

Les observations ont été réalisées par Monsieur Compère en raison des restrictions imposées par la crise sanitaire actuelle. Pour réaliser celles-ci, les échantillons ont été collés sur une lame de verre qui avait été préalablement recouverte par un autocollant en carbone double-face. Autocollant conducteur et nécessaire à l'observation microscopique l'échantillon ne l'étant pas lui-même.

Les échantillons ont ensuite été observés à l'aide d'un microscope électronique à balayage, l'ESEM XL-30, en mode Low-vac (LV) avec détection GSE ou BSE.

En plus de l'observation au SEM, des observations à la loupe binoculaire ont également été réalisées. Celles-ci n'ont nécessité là encore aucune préparation particulière.

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

I. ANALYSE DES DIFFERENTS PROTOCOLES

Avant de pouvoir réaliser des analyses comparatives entre des coquilles naturelles et des fakes, ces derniers (fakes) ont dû être réalisés. Pour cela différents protocoles expérimentaux (cf. matériels et méthodes) ont été mis au point et modifiés en fonction des résultats précédents.

L'objectif de ces protocoles étant d'obtenir une coquille blanchie entièrement, soit la forme la plus rare et la plus chère, et ne présentant aucune fissure. Les autres coquilles non entièrement blanchies sont également intéressantes car aussi présentes sur le marché de la contrefaçon.

I.1. Observation et ajustement des protocoles de chauffage au four à moufle

Le premier protocole a été réalisé sur quatre coquilles qui ont été chauffées au four à moufle. Deux coquilles ont été prélevées durant la partie stable à 200°C et deux autres coquilles à 400°C. On a pu observer que les coquilles prélevées à 200°C présentaient des couleurs orangées là où elles étaient auparavant noires ou marron foncé et crème voir blanches là où elles étaient d'origine brun clair. Les coquilles prélevées à 400°C quant à elles sont devenues gris-blanc mais se sont fracturées.

Au vu de ces premiers résultats un **second protocole** de test a été mis en place. Les coquilles ont été prélevées durant les phases de stabilisation à 200°C et 250°C puis le lendemain à 300°C à la fin du programme. Au vu de ce nouveau protocole, la coquille prélevée à 200°C qui était unie a été presque entièrement blanchie. Pour la coquille prélevée à 250°, qui présentait des patterns foncés, elle présente maintenant là où il y avait des bandes sombres, des bandes orangées. La présence de craquelures comme pour le premier test ont déjà été observées à 250°. Pour ce qui est de 300°, la coquille a été entièrement blanchie mais des craquelures beaucoup plus importantes que celles observées à 250° ont aussi été mises en évidence.

Au vu du premier test, la température maximum a été diminuée de 400° à 300°. Au vu du second test, c'est la durée des temps de chauffage que nous allons modifier pour le protocole suivant. En effet l'hypothèse serait que les craquelures apparaissent avec la chaleur que nous avons donc diminuée mais également si le temps de montée en température est trop court.

Pour le **troisième protocole**, il est à noter que nous supposons qu'à température stable, il n'y a pas de modification au niveau de la coquille. La durée des temps de stabilité n'est donc pas un facteur qui doit nécessairement être stable d'où des temps différents. Les prélèvements pour ce protocole ont là encore été effectués durant les périodes de stabilisation à 200°C et

250°C. Le protocole a été stoppé à 250°C vu que la coquille était déjà fissurée à cette température. En revanche nous avons constaté que ce temps plus long de montée en température laissait la coquille aussi blanchie que lors du précédent test à 300°C.

L'hypothèse que les coquilles ont été fragilisées lors de leur prélèvement a été mise en lumière. Pour éliminer ce biais, nous avons réalisé le même protocole que précédemment mais avec des coquilles provenant de plongée plutôt que celles précédemment utilisées qui provenaient du tamisage réalisé lors de l'extraction d'une partie du sable de la plage.

Pour ce **quatrième protocole**, une coquille provenant de la plongée a été placée dans le four à moufle selon le protocole 3 à 250°C. On observe les mêmes types de fractures à 250°C que pour les coquilles naturelles. Grâce à ce test nous pouvons confirmer que le problème ne vient pas d'une éventuelle fragilisation des coquilles lors de leur extraction mais bien soit de la température soit du temps de montée en température ou encore du temps de stabilisation.

Le **cinquième protocole** a nécessité deux coquilles, une prélevée lors de l'extraction de sable et l'autre lors d'une plongée. Celles-ci ont été laissées 39 heures à 150°C afin de pouvoir observer si l'on peut obtenir une dépigmentation totale à plus faible température mais avec un temps beaucoup plus long. Si la fracturation de la coquille est due uniquement à une trop forte température, alors ici nous ne devrions pas en observer. A la fin de ce cinquième protocole les deux coquilles étaient partiellement dépigmentées mais pas totalement. En revanche aucune fracture n'a été observée.

Au vu de ces résultats, un **sixième protocole** basé sur le précédent a été réalisé. Celui-ci présente en revanche des températures plus élevées notamment avec une montée à 170°C plutôt que 150°C. Les coquilles n'ayant pas totalement décoloré à 170°C, le programme a été étendu avec une montée en température jusque 200°C également en 14h suivi de 3h à température stable. A la fin du cycle, les coquilles avaient presque entièrement décoloré pour la plus unie et présentaient encore quelques couleurs au niveau des bandes pour celles à patterns. En revanche des fissures sont apparues à 200° ce qui n'était pas le cas avant. Ainsi laisser longtemps à même température pourrait tout de même avoir une influence sur la résistance de la coquille ce qui n'avait pas été envisagé au début de ces expériences.

De part cette observation un **septième protocole** a été mis en place avec une montée en température et une durée de stabilisation très rapides. Afin de voir si cela éviterait les craquements. Les observations ont montré qu'à 200°C on n'obtenait pas de fractures cependant la coquille n'était toujours pas décolorée complètement, il a donc été décidé de poursuivre le programme jusqu'à 250°C. Une fois sortie, on a pu observer des fractures sur la surface externe de la coquille. Une exposition à 250°C a donc été établie comme la température d'apparition de ces fractures.

La coquille a ensuite été placée sous les UV. Pour déterminer si nous pouvions observer une dépigmentation complète en combinant le chauffage et les UV étant donné que seules, ces deux techniques ne sont pas optimales (chapitre 4, I.4.).

I.2. Observation et ajustement des protocoles de chauffage au micro-onde

L'hypothèse d'une dépigmentation des coquilles par l'action d'un four à micro-ondes a été suggérée. Afin de tester cette hypothèse, différents protocoles expérimentaux ont été réalisés.

Suite au **premier protocole expérimental**, l'une des deux coquilles utilisée a pris une légère teinte orangée après 10 minutes d'exposition. Le protocole a ensuite été poursuivi pendant deux fois 20 minutes et aucun autre changement visuel n'a pu être observé à première vue. Toutefois la légère modification de couleur à 10 minutes laisse suggérer que le chauffage au micro-ondes pourrait lui aussi altérer les pigments.

Le **second protocole expérimental** réalisé avec la même puissance mais avec cette fois-ci une durée d'exposition constante plus longue, soit 1h30 n'a montré aucune différence de résultats comparée au premier protocole. De plus cette fois-ci aucune teinte orangée n'a pu être observée.

Pour confirmer ou non une modification au niveau de la coquille, d'autres protocoles expérimentaux devront être mis en place. Ceux-ci devront alors jouer sur le temps d'exposition mais aussi sur la puissance du micro-ondes. De plus pour obtenir des résultats objectifs et non subjectifs comme à présent, il serait intéressant d'utiliser le logiciel « Image color Summarizer » selon le protocole de traitement d'image décrit dans le *Chapitre 3, III.1 et III.2*. Cela permettra de vérifier si effectivement il y a apparition d'une teinte orangée ou s'il ne s'agit que de l'imagination de l'expérimentateur.

I.3. Observation pour le protocole réalisé par exposition aux UV

Aux Philippines, le blanchiment des coquilles se réalise au feu de bois puis en laissant les coquilles des jours sur le toit des maisons au soleil. L'hypothèse du rôle des UV dans la dépigmentation des coquilles a donc été testée.

Un premier test a été réalisé pour voir si cette hypothèse pouvait être concluante ou non. Au terme de ce protocole expérimental aucune différence visuelle de couleur n'a pu être observé sur les coquilles.

I.4. Observation pour le protocole réalisé par exposition successive au four à moufle et aux UV

Suite au dernier protocole réalisé au four à moufle et à la détermination de la température de fracture des coquilles qui se situe au-dessus de 200 degrés, il a été décidé de tester une combinaison de différentes méthodes. Dans le cas présent, une combinaison entre un chauffage au four à moufle et une exposition à la lampe à UV. En effet aux Philippines les contrefaçons (Fakes) sont réalisées par la combinaison entre un chauffage au feu de bois et une exposition aux UV solaires naturels pendant des mois.

Au terme de ce protocole combiné, il n'a été observé aucun changement au niveau de la dépigmentation de la coquille. Cependant ce résultat non concluant ne réfute pas encore l'hypothèse de l'action de ces deux méthodes combinées étant donné que la lampe UV n'était pas très puissante et ne se rapprochait que de très loin des conditions d'exposition aux UV observées aux Philippines. Il est également à noter que l'utilisation d'une coquille chauffée à 250 degrés et non à 200 degrés a été décidée uniquement pour tester l'effet des UV et voir si une dépigmentation totale était possible avant de réaliser un nouveau protocole dans des conditions plus réelles de contrefaçon.

Une seconde expérience avec cette fois-ci une lampe à UV beaucoup plus puissante est donc à envisager.

II. ANALYSE INFORMATIQUE DES COULEURS

II.1. Analyse des coquilles non altérées

L'analyse a été réalisée grâce au logiciel Image Color Summarizer. Une fois les 50 photos des 50 coquilles naturelles étudiées grâce au logiciel, tous les pigments présents dans les 50 coquilles ont été listés. Ils ont ensuite été regroupés de sorte à mettre en évidence le nombre d'apparitions d'un même pigment sur les 50 coquilles.

Au vu de cette première analyse, 102 pigments ont pu être mis en évidence. Ces pigments sont basés sur la liste des pigments du site Image Color Summarizer qui est elle-même basée sur les coordonnées RGB de chaque pixel présent sur l'image de la coquille. Les 3 coordonnées déterminées, elles ont ensuite été traitées et moyennées avant d'être attribuées à un des pigments de la liste pré-définie du site ou être attribuées aux pigments ayant les valeurs RGB les plus proches. Un tableau regroupant le nom associé à chaque coordonnée RGB est disponible en annexe.

Dans le tableau ci-dessous en figure 14, nous pouvons observer que les pigments les plus présents sont les pigments correspondant au brun sombre (Millbrook, Pickled bean) ou au brun clair/ gris (Brown sugar, Judge grey).

Nom de la couleur	Nombre d'apparition / 50	Nom de la couleur	Nombre d'apparition / 50	Nom de la couleur	Nombre d'apparition / 50	Nom de la couleur	Nombre d'apparition / 50
Millbrook	11	Bronze	6	Milk chocolate	3	Dirt	1
Pickled bean	9	Blackout	6	Cocoa brown	3	Burlywood	1
Deep bronze	9	Sooty	6	Tan	3	French bistre	1
Woodburn	8	Bullion	6	Iroko	3	Talisman	1
Palm sugar	8	Blast yellow	6	Gargoyle	3	Slugger	1
Triple nullarbor	7	Spark	6	Sambuca	3	Monkey	1
Brown sugar	6	Authentic	5	Cola	3	Triple pravada	1
Judge grey	6	Nutmeg	5	Wombat	3	Burnt umber	1
Shingle fawn	6	Triumph	4	Jambalaya	3	Cement	1
Raw umber	4	Oak	4	Mckenzie	3	Metallic brown	1
Dallas	4	Brown	4	Brown nose	2	Saddle brown	1
Groundbreaker	4	Bivouac green	4	Coffee	2	Axis	1
Cocoa	2	Carnaby tan	2	Bandit	2	Teak stain	1
Natural	2	Momentum	2	Jacko bean	2	Potters clay	1
Jungle green	2	Tobacco brown	2	Clinker	2	Cheers	1
Rusty nail	2	Lodestar	2	Dark taupe	2	Moscow mule	1
Dark buff	2	Brownish grey	2	Greish brown	2	Alcatraz	1
Dash brown	2	Metallic bronze	2	Double nullarbor	2	Double diesel	1
Catapult	2	Soya bean	2	Shadow	2	Toasted green	1
Bracken	2	Half talisman	1	Punga	1	Space shuttle	1
Marbaroda	1	Secret road	1	Arrow town	1	Triple nappa	1
Coyote brown	1	Sorrell brown	1	Milky way	1	Wood bark	1
Mocha	1	Dark rhum	1	Makara	1	Café noir	1
Double nappa	1	Bisque	1	Muesli	1	Korma	1
Dark tangelo	1	Filmpro burnt umber	1	Double diesel	1	Coffee bean	1
Double mondo	1	Eclipse	1	Nest egg	1	Matai	1
Dark brown	1	Irish coffe	1	Bark	1		

Figure 14 : Tableau des pigments observés suite à l'analyse des photos de coquilles naturelles effectuée par le logiciel Image Color Summarizer et leur nombre d'apparitions sur les 50 coquilles étudiées.

Lors de la prise des photos à destination de cette analyse, il a pu être mis en évidence des groupes de coquilles qui visuellement se ressemblaient fortement au niveau de leur pigmentation et de leurs patterns. Huit groupes ont ainsi pu être mis en évidence. Afin de visualiser d'une autre manière la distribution des pigments sur les coquilles, le logiciel Image J a été utilisé. Pour cela une coquille de chacun des 8 lots a été analysée avec ce logiciel afin d'en faire ressortir toujours selon une analyse des pixels par le codage RGB, un graphique 3D sur les axes R,G,B y placant les pigments, leur distribution ainsi que le gradient de ceux-ci.

Graphiques issus du lot 1 et 2 :

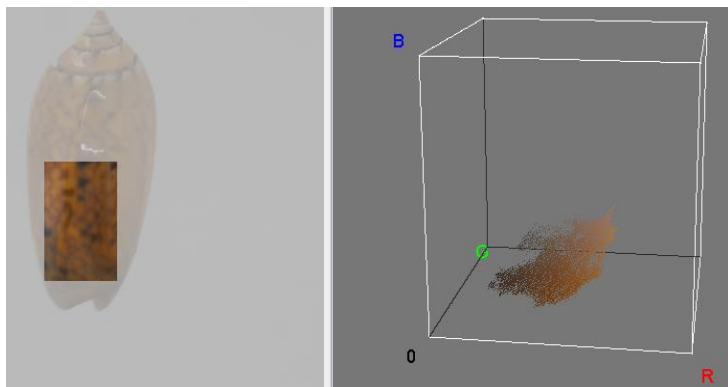


Figure 15 : image et graphique issus de l'analyse par le logiciel ImageJ et Color Inspector 3D, d'une coquille d'*Oliva oliva* provenant du lot 1

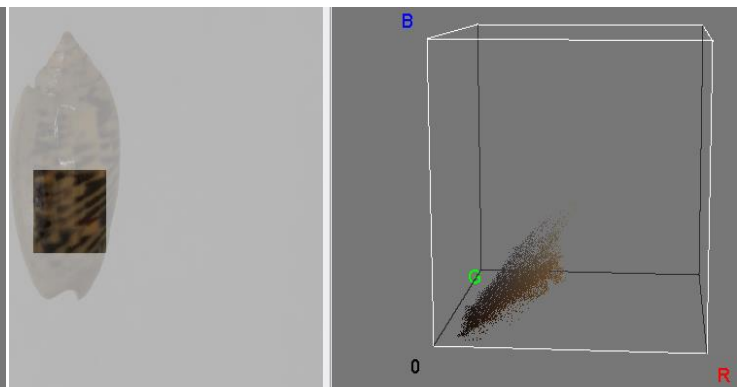


Figure 16 : image et graphique issus de l'analyse par le logiciel ImageJ et Color Inspector 3D, d'une coquille d'*Oliva oliva* provenant du lot 2

Graphiques issus du lot 3 et 4 :

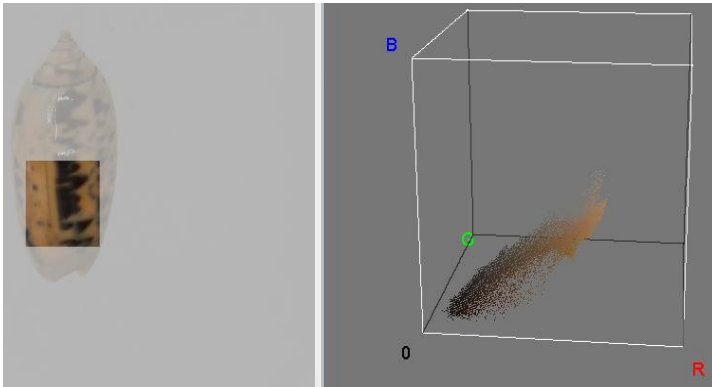


Figure 17 : image et graphique issus de l'analyse par le logiciel ImageJ et Color Inspector 3D, d'une coquille d'*Oliva oliva* provenant du lot 3

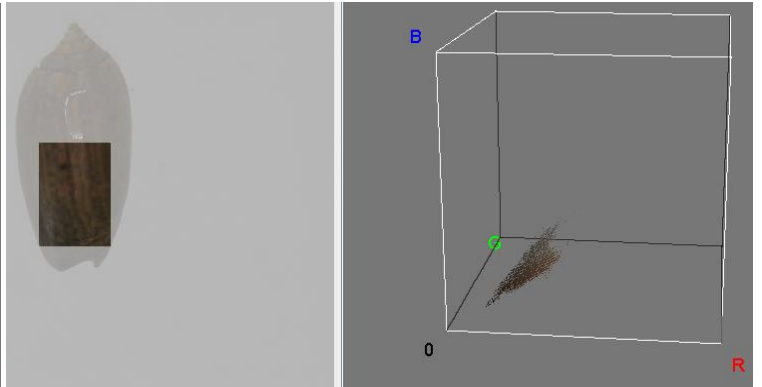


Figure 18 : image et graphique issus de l'analyse par le logiciel ImageJ et Color Inspector 3D, d'une coquille d'*Oliva oliva* provenant du lot 4

Graphiques issus du lot 5 et 6 :

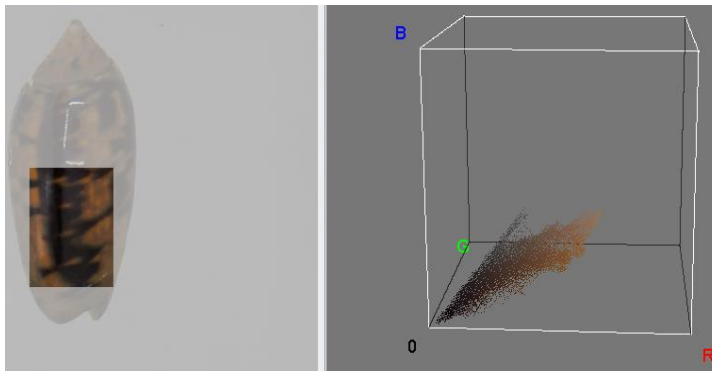


Figure 19 : image et graphique issus de l'analyse par le logiciel ImageJ et Color Inspector 3D, d'une coquille d'*Oliva oliva* provenant du lot 5

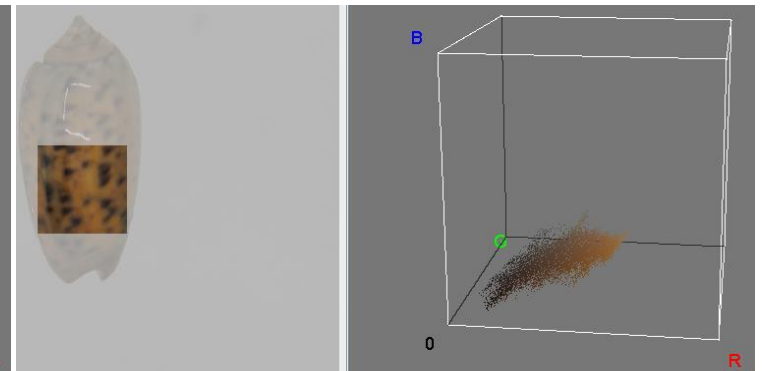


Figure 20 : image et graphique issus de l'analyse par le logiciel ImageJ et Color Inspector 3D, d'une coquille d'*Oliva oliva* provenant du lot 6

Graphiques issus du lot 7 et 8 :

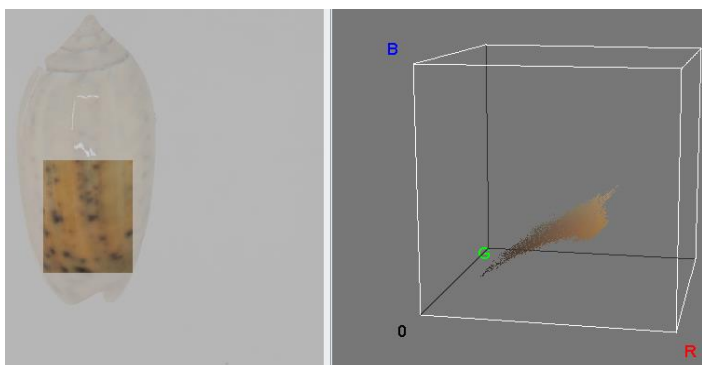


Figure 21 : image et graphique issus de l'analyse par le logiciel ImageJ et Color Inspector 3D, d'une coquille d'*Oliva oliva* provenant du lot 7

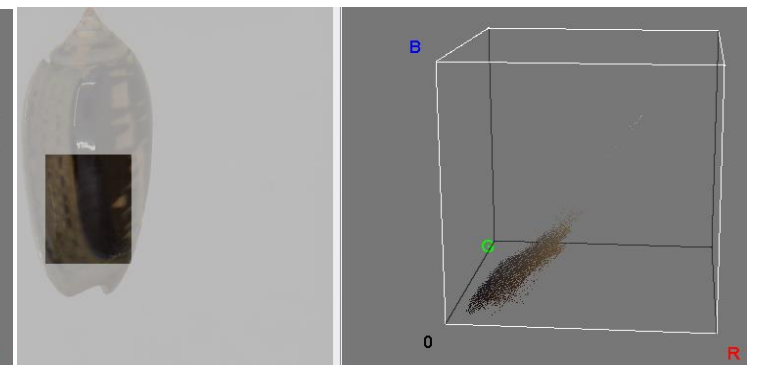


Figure 22 : image et graphique issus de l'analyse par le logiciel ImageJ et Color Inspector 3D, d'une coquille d'*Oliva oliva* provenant du lot 8

Au vu des données présentées préalablement dans le tableau en figure 11 ainsi que les 8 graphiques ci dessus, on peut observer pour les coquilles naturelles une dominance des couleurs brunes allant du brun-noir au brun-orangé ou à des couleurs plus crèmes pour certaines coquilles. On peut donc imaginer grâce à cette méthode identifier les coquilles en comparant leur graphique à une base de données qui aurait été préalablement réalisée sur des coquilles authentiques. L'intérêt de cette méthode est que celle-ci est non destructive et non coûteuse en plus d'être relativement rapide. Elle permet ainsi de réaliser un premier écrémage entre des coquilles naturelles et des coquilles altérées.

II.2. Analyse des coquilles altérées

L'analyse des coquilles altérées a été quelque peu compromise en raison de la situation sanitaire actuelle. En effet les photos n'ont pas pu être réalisées dans les mêmes conditions que pour les coquilles naturelles étant donné que le laboratoire était à ce moment-là fermé. De ce fait les conditions d'éclairage ne sont pas exactement les mêmes. Les réglages effectués sont également différents car comme nous allons l'exposer par la suite les coquilles sont beaucoup plus claires que les naturelles, la réflexion du flash ainsi que le traitement de la balance des blancs sont donc différents de ceux précédemment utilisés pour les coquilles naturelles. Toutefois, les photos ont toutes été standardisées au niveau de leur traitement, cela ne devrait donc pas poser de problème pour mettre en évidence les différences entre coquilles naturelles et artificielles. Cela reste un biais à prendre en compte et l'expérience devrait être réalisée une seconde fois de sorte à avoir des résultats sans biais ou faible et statistiquement corrects.

On remarque également avec cette analyse les limites du logiciel Image Color Summarizer. En effet celui-ci ne prend pas en compte les couleurs très claires proches du blanc. C'est-à-dire que les couleurs crème, orange ou jaune très pâle sont considérées comme blanc et donc inexistantes pour le logiciel. Ces couleurs sont cependant visibles à l'œil nu.

C'est pourquoi afin d'obtenir des données les plus complètes possible au niveau de l'analyse des pigments, le tableau ci-dessous a été complété avec des pigments nommés « blanc ». Ceux-ci n'apparaissent pas dans l'analyse du logiciel et ont donc été rajoutés arbitrairement pour signifier la présence d'une teinte proche du blanc sur la coquille. Le logiciel ne différencie également que très peu les teintes de gris, on peut alors se retrouver avec différentes teintes de gris qui sont sous le même nom de pigment. La précision du logiciel est donc limitée dans ces deux cas.

Ci-dessous on peut observer le tableau regroupant les pigments qui ont pu être analysés par le logiciel Image Color Summarizer pour les coquilles altérées. Contrairement aux coquilles naturelles qui avaient une coloration brun foncé ou crème, les coquilles modifiées ont, elles, des teintes orangées et/ou « blanches » voir grises.

Test 1	Coordonnées RGB	Test 2	Coordonnées RGB	Test 3	Coordonnées RGB
200°C	zest	200°C	settlement	200°C	solitaire
	bowman		blanc		blanc
200°C	tan	250°C	aths special	250°C	anthique white
	quarter haystack		blanc		blanc
400°C	grey	300°C	grey	250°C	eight canterbury
	porcelain				blanc
	tarmac				
400°C	grey				
	porcelain				
	tarmac				
Test 4	Coordonnées RGB	Test 5	Coordonnées RGB	Test 6	Coordonnées RGB
250°C	half white rock	150°C plage	coral	200°C	double tea
	blanc		blanc		blanc
		150°C plongé	caméo	200°C	eight castle rock
			plate light greyish		blanc

Figure 23 : tableau répertoriant les pigments, analysés par le logiciel Image Color Summarizer, selon leur protocole de chauffage et la température d'exposition.

On observe également que les coquilles naturelles à patterns une fois chauffées vont devenir blanches et oranges. La coloration orange se situant au niveau des patterns, tandis que là où il n'y avait pas de patterns la coquille est presque blanchie.

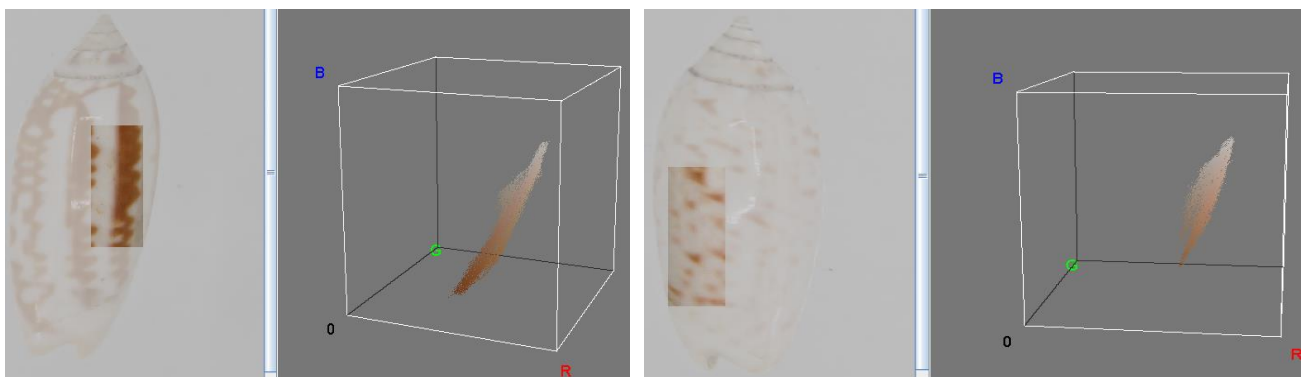


Figure 24 : coquilles altérées d'*Oliva oliva*. L'image de droite est obtenue à partir d'une coquille à fort pattern et chauffée à 200°C. L'image de gauche est obtenue à partir d'une coquille à faible pattern chauffée à 200°C. Les coquilles proviennent respectivement du lot 3 et 6.

De même les coquilles naturelles sans pattern blanchissent presque complètement et, ce, pour une même température pour les coquilles avec ou sans patterns.

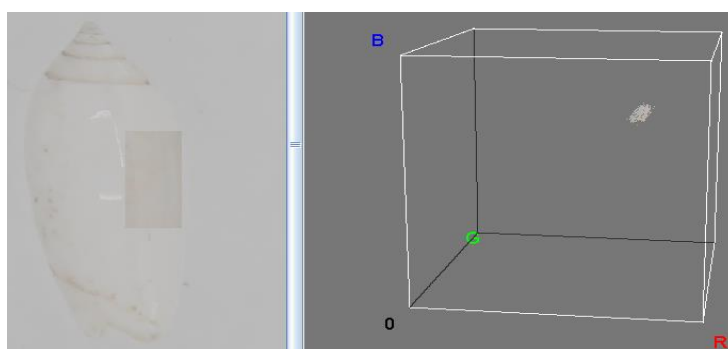


Figure 25 : coquille altérée d'*Oliva oliva*. L'image est obtenue à partir d'une coquille sans pattern ayant subi un chauffage à 200°C. Cette coquille provient du lot 7.

Une explication possible serait que la concentration en pigments est plus importante au niveau des patterns que sur le reste de la coquille. Comme vu dans la partie *1.4.b et 1.5.a du chapitre I*, les pigments peuvent être présents sur certaines couches et pas d'autres ou peuvent être déplacées lors de croissance des cristaux de la coquille. On peut donc supposer que la concentration au niveau des patterns est plus importante éventuellement en raison de plusieurs couches de pigments superposées. Pour valider cette hypothèse on pourrait envisager une analyse au Raman de sorte à déterminer les pigments en présence ainsi que leur concentration.

III. ANALYSE MICROSCOPIQUE DE LA SURFACE DE LA COQUILLE

L'analyse microscopique avait pour but de mettre en évidence une quelconque différence au niveau de la surface entre une coquille dite « normale/naturelle » et une coquille ayant été chauffée et donc dite « altérée ».

Pour cela trois échantillons ont été utilisés. Le premier servant de référence et étant donc « naturel », le second chauffé à 100°C et le troisième chauffé à 200°C. Les températures de chauffage n'ont pas été sélectionnées au hasard. En effet 100°C est la température autour de laquelle les couleurs de la coquille commencent à changer et 200°C correspond à la température maximum que l'on peut atteindre avant l'apparition des fissures visibles à l'œil sur la coquille. Il s'agit donc ici des deux extrêmes intéressants à exploiter lors de l'altération d'une coquille par la technique de chauffage.

Suite à l'analyse réalisée au SEM en mode Low-vac, différentes observations ont pu être recensées. Pour commencer on n'observe aucune différence microscopique entre la coquille témoin et la coquille chauffée à 100°C. C'est-à-dire aucun signe d'altération de type microfissure ou autre pour la coquille altérée à 100°C

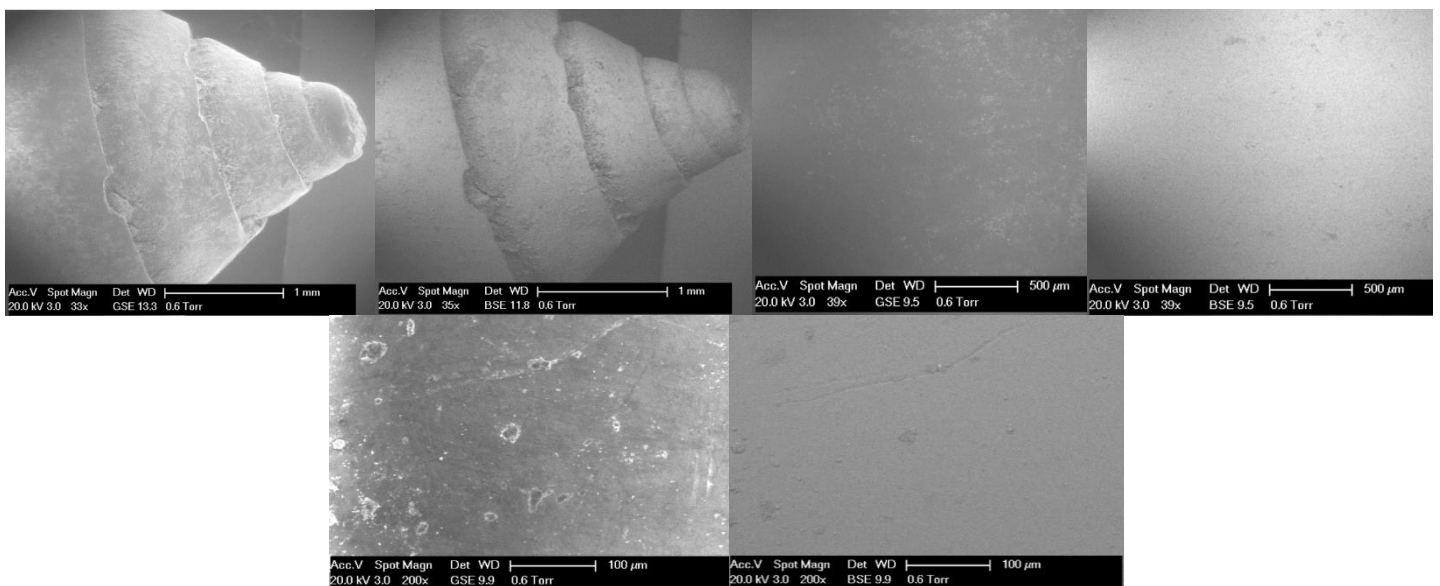


Figure 26 : Images Microscopiques obtenues au SEM en Low-vac. La première ligne correspond à la coquille témoin avec en A : la spire en GSE, B : la spire en BSE, C : le corps en GSE, D : le corps en BSE. La deuxième ligne correspond à la coquille chauffée à 100°C avec en E : le corps en GSE et en F : le corps en BSE.

En revanche pour la coquille chauffée à 200°C on peut voir des microfissures ainsi qu'une substance brunâtre à certains endroits de celle-ci. Après analyse de la coquille sur son entièreté, plusieurs observations peuvent être faites.

Dans un premier temps les microfissures apparaissent parallèles aux spires et donc perpendiculaires au sens de croissance de la coquille, ce qui est étonnant car l'on pourrait penser que les micro fractures apparaîtraient plutôt dans le sens de croissance de la coquille.

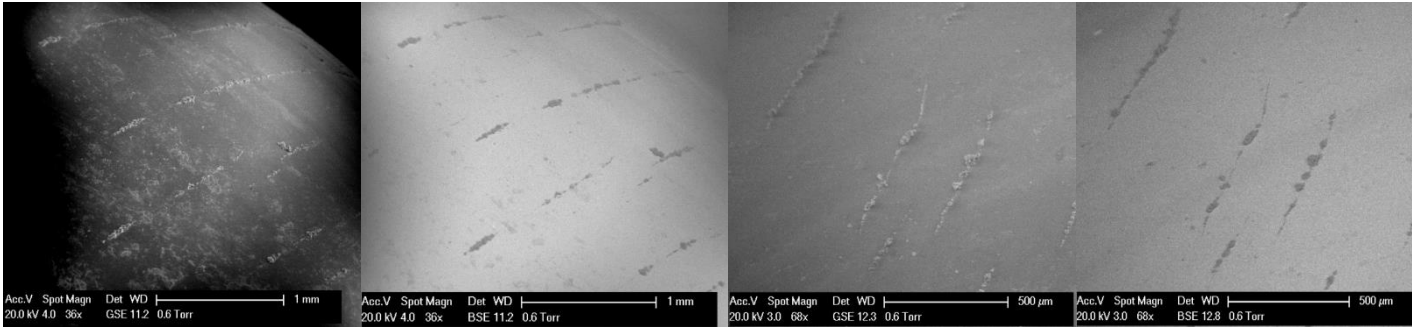


Figure 27 : Images microscopiques obtenues au SEM en Low-vac. Les 4 images représentent la surface du corps de la coquille selon deux points de vue et deux modes différents. A = angle 1 mode GSE, B = angle 1 mode BSE, C = angle 2 mode GSE, D = angle 2 mode BSE.

On remarque également qu'elles ne sont pas visibles sur toute la surface de la coquille. Par exemple, elles n'apparaissent pas au niveau de la spire (Figure 4, chapitre I) ni au niveau de la partie inférieure (Figure 5, chapitre I) de la coquille.

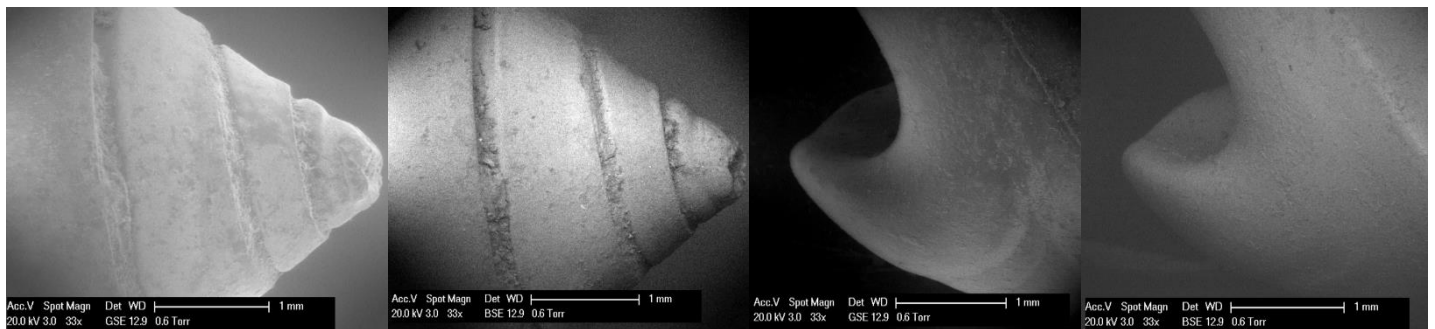


Figure 28 : Images microscopiques obtenues au SEM en Low-vac. Les deux premières images représentent la spire de la coquille en GSE puis en BSE. Les deux dernières images représentent la base de la coquille en GSE puis en BSE.

Elles n'apparaissent donc pas aux endroits les plus solides de la coquille mais bien sur le corps et le dernier tour de la coquille et donc à l'endroit le plus fragile. Cette même observation avait été réalisée sur les coquilles chauffées aux températures supérieures à 200°C et où les dégradations étaient également visibles à l'œil nu sur le dernier tour de la coquille mais pas autre part.

Dans un second temps, on a pu observer qu'au niveau de ces fissures, une sorte de substance d'origine inconnue en ressortait. Celle-ci est présente le long de certaines fissures et sur quelques portions de celle-ci.

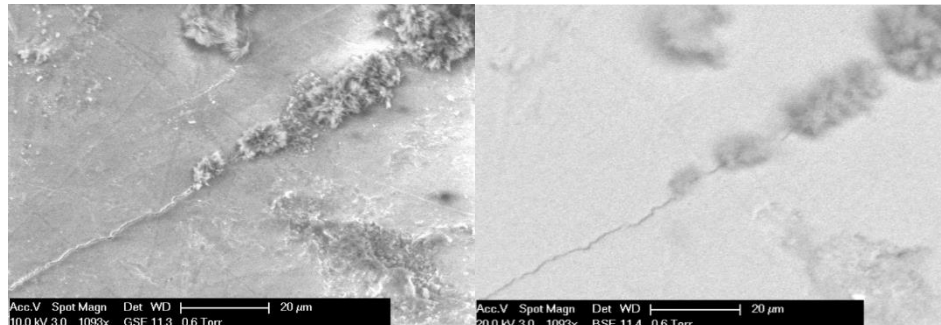


Figure 29 : Images microscopiques obtenues au SEM en Low-vac. Les deux photos représentent la répartition de la substance sur une microfissure en GSE puis en BSE.

Grâce aux images en GSE Low-vac, il a pu être mis en évidence le relief de celle-ci qui se présente sous la forme d'un relief en gouttelettes de tailles et de formes différentes et suivant les fissures sur certaines portions.

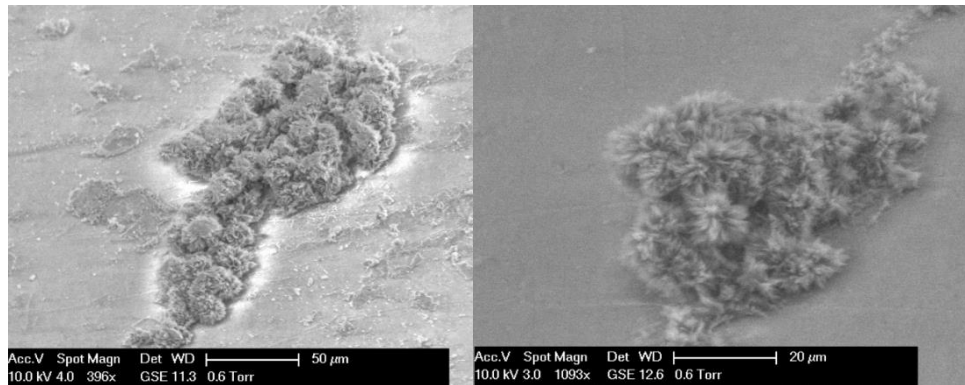


Figure 30 : Images microscopiques obtenues au SEM en Low-vac. Les deux images représentent selon deux angles le relief et la taille de la substance observée le long des microfissures en mode GSE.

Cette fois grâce aux images obtenues en BSE Low-vac, il a pu être déterminé que cette substance bien que d'origine inconnue soit au moins de matière organique. Cette conclusion a pu être réalisée par l'étude du contraste entre la substance et la coquille. En effet la substance est moins contrastée que la surface de la coquille qui est composée en grande partie de Calcite de calcium qui est une matière minérale, la ressemblance ne se faisant ainsi pas entre substance et matière minérale, il a pu en être déduit qu'il s'agissait d'une matière organique. Des études plus poussées de cette matière devront être réalisées afin de pouvoir déterminer son origine et sa composition.

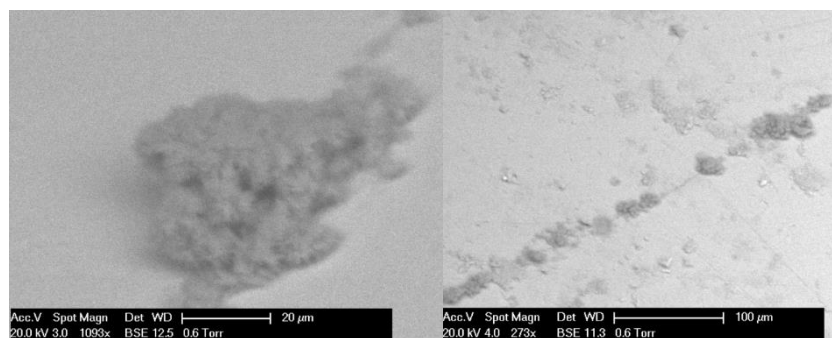


Figure 31 : Images microscopiques obtenues au SEM en Low-vac. Les deux images représentent selon deux angles le contraste de la substance par rapport à la surface de la coquille et ceux en mode BSE.

Il est à noter que la substance est aussi visible à la loupe binoculaire. De par les observations réalisées avec la loupe par Monsieur Compère, il a été déterminé que la substance est de couleur brunâtre, que bien que d'aspect solide, elle est facilement enlevable par frottement. Pour ce qui est des microfissures quant à elles, elles sont peu ou pas visibles à la loupe binoculaire.

IV. CONCLUSIONS

D'après les analyses photométriques et microscopiques qui ont été réalisées, plusieurs conclusions peuvent être tirées. En effet le blanchiment illégal de coquilles peut en effet être réalisé par le chauffage de celles-ci. Comme nous avons pu le voir après avoir été chauffée un changement de couleur apparait, on passe donc de couleur brune et/ou crème à des couleurs orange/blanche. Les pigments présents dans les coquilles sont donc thermolabiles. En plus de cette observation, il a pu être déterminé la température approximative de ce changement de couleur qui serait autour de 100°C. La température maximale de chauffage des coquilles avant que des fissures visibles à l'œil nu apparaissent a aussi été déterminée et serait alors supérieure à 200°C, cette température étant le maximum que nous avons pu atteindre sans fracture.

Le fait d'avoir découvert une température maximum avant fracture permet également de conclure sur les méthodes utilisées pour créer des Fakes. En effet au début de ce mémoire il était supposé que le chauffage seul ne soit pas suffisant pour obtenir des coquilles entièrement blanches. Cela a pu donc être confirmé étant donné que les coquilles présentaient toujours une pigmentation orange au niveau des patterns et une coloration crème pour les coquilles sans patterns. Ainsi par ces observations on a pu conclure que le chauffage de la coquille doit être couplé à une seconde méthode afin d'obtenir un blanc pur. L'hypothèse de l'implication des UV n'a cependant pas pu être confirmée, l'expérience réalisée n'ayant pas été concluante et la seconde expérience prévue n'ayant pu être réalisée en raison des conditions sanitaires.

Les différentes expériences menées aussi bien photométriques que microscopiques ont ainsi pu montrer certaines pistes quant à la différenciation des fakes des coquilles naturelles et ce, avec deux méthodes objectives et non destructives qui travaillent l'une sur les pigments et la seconde sur la structure de la coquille.

V. PERSPECTIVES

Au vu des découvertes et de l'avancement de ce mémoire, l'identification type d'un fake pourrait être réalisée selon les étapes suivantes :

- Observation des couleurs de la coquille comparées à une base de données répertoriant les pigments classiquement présents chez l'espèce.
- Validation réalisée par une méthode photométrique afin d'obtenir des conclusions objectives et non biaisées par l'œil de l'examineur.
- Si les couleurs semblent s'éloigner de celles normalement observées pour l'espèce, l'observation à la loupe binoculaire est alors conseillée. Celle-ci pourra éventuellement permettre de voir des microfissures ou alors la substance brunâtre mise en avant précédemment. Toutefois cette étape peut s'avérer non concluante si la coquille a été bien nettoyée et frottée avant observation, la substance pouvant s'enlever par frottement. Il est donc conseillé de poursuivre l'analyse avec une technique de microscopie.
- Etudes microscopiques de la surface de la coquille à la recherche éventuelle de fractures.
- Si toutes les conditions sont réunies à savoir un changement de couleur ainsi que la présence de microfissures parallèles aux spires alors l'identification d'un fake pourra être conclue.

Cette méthode demande encore de nombreux ajustements ainsi que l'approfondissement et l'ajout de certaines analyses. En effet nous avons vu que les changements de couleurs apparaissaient dès 100°C or aucune microfissure n'est visible à cette température, il serait donc intéressant de développer une technique pour les coquilles qui présentent un changement de couleurs mais sans la présence de microfissures. Pour cela ce n'est pas une approche structurale qui sera utilisée mais plutôt une approche chimique avec l'étude de pigments et de leur dégradation par la chaleur. Pour cela on pourra imaginer réaliser diverses expériences à l'aide d'une sonde RAMAN qui pourrait alors indiquer la composition, la teneur et d'autres informations sur les pigments.

Pour aller plus loin dans les analyses, on pourrait également imaginer se pencher sur la question de la substance brune, afin de déterminer son origine et sa composition. Il pourrait également être envisagé de réaliser les mêmes expériences mais sur des coquilles d'autres familles et notamment sur des coquilles qui ne possèdent pas d'epiostracum mais un periostracum afin de voir si celles-ci réagissent de la même façon que les coquilles d'*Oliva* et ainsi voir si la méthode structurale (microscopique) est généralisable.

BIBLIOGRAPHIE

- Bouchet, P ; Rocroi, J.-P. (2005). Classification and Nomenclator og Gastropod Families. *Malacologia*, 47, 85--397.
- Cuvier, G. (1795). *Second mémoire sur l'organisation et les rapports des animaux à sang blanc, dans lequel on traite de la struture des Mollusques et de leur division en ordre, lu à la société d'Histoire Naturelle de Paris, le 11 prairial au troisième*. Magazin Encyclopédique, ou Journal des Sciences, des Lettres et des Arts.
- Faerber, J. (2004). *Microscopie électronique à balayage Microanalyse X par sonde électronique*. 1–53.
- Floren, A. (2003). the Philippine Shell Industry With Special Focus on Mactan , Cebu. In *Project Paper*.
- Greifeneder, D. (1981). What do we know about Olividae. Contributions to the study of Olividae. *Acta Conchylorum*, 1, 1–90.
- Guineau, B. (1984). Analyse non destructive des pigments par microsonde raman laser: Exemples de l'azurite et de la malachite. *Studies in Conservation*, 29(1), 35–41. <https://doi.org/10.1179/sic.1984.29.1.35>
- Guineau, B. (1989). Non-destructive analysis of organic pigments and dyes using raman microprobe, microfluorometer or absorption microspectrophotometer. *Studies in Conservation*, 34(1), 38–44. <https://doi.org/10.1179/sic.1989.34.1.38>
- Hunon, C., Hoarau, A., & Robin, A. (2009). *Olividae (Mollusca, Gastropoda)*. *Revue exhaustive des espèces récentes du genre Oliva* (ConchBooks (ed.)).
- Krzywinski, M. (2020). *Image Color Summarizer*. <http://www.mkweb.bcgsc.ca/color-summarizer/?analyze>
- Lecointre, G., & Le Guyader, H. (2001). *Classification phylogénétique du vivant* (Belin (ed.); Belin).
- Maître, H. (2016). *Du photon au pixel L ' appareil photographique numérique seconde édition*.
- Meinhardt, H. (2009). *The Algorithmic Beauty Of Sea Shells* (Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH and Co.K (ed.); 4th editio).
- Petuch, E. J., & Sargent, D. M. (1986). *Atlas of the Living Olive Shells of the World* (Coastal Eductaion and Resaerch Foundation (ed.)).
- Pillou, J.-F. (2004). *le codage des images et de la couleur*. <http://www.obligement.free.fr/articles/cadagedesimages.php>
- Poppe, G. T., & Poppe, P. (2020). *Conchology, Inc*. <http://www.conchology.be>
- Rasband, W. (2020). *ImageJ*. National Institutes of Health, Domaine Public. <http://rsb.info.nih.gov/ij/>
- Sterba, G. H. W. (2004). *Olividae, A Collectors Guide*. ConchBooks.

- Süsstrunk, S., Buckley, R., & Swen, S. (1999). Standard RGB color spaces. *Final Program and Proceedings - IS and T/SID Color Imaging Conference*, 127–134.
- Tursch, B., & Machbaete, Y. (1995). The microstructure of the shell in the genus *Oliva* (Studies on Olividae. 24). *Apex*, 10, 61–78.
- Tursch, B. (1992). *Le Désordre des Oliva , Elégie suivie dun éloge de la méthode*. 21–28.
- Tursch, B., & Greifeneder, D. (2001). *<i>Oliva<i> Shells, The genus <i>Oliva<i> and the Species problem* (L. Piceno (ed.)).
- Van Osselaer, C., Bouillon, J., Ouin, J. ., & Tursch, B. (1994). Studies on Olividae.XVIII. The distribution of *Oliva* species and their variation of their colour patterns in Hansa Bay -Papua New Guinea). *Apex*, 9, 29--46.
- Williams, S. T. (2017). Molluscan shell colour. *Biological Reviews*, 92(2), 1039–1058.
<https://doi.org/10.1111/brv.12268>
- WoRMS. (2019). *World Register of Marine Species*.
<http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=search>
- Zeigler, R. F., & Porreca, H. C. (1969). *Olive Shells of the World* (1st Editio). Zeigler and Porreca.