

**2011**

**DIPLOME D'UNIVERSITE DE GEMMOLOGIE**

**Présenté  
Devant l'Université de Nantes  
U.F.R des sciences et des techniques**

**Par  
Melle. Marie Chabrol**

**ÉTUDE GEMMOLOGIQUE ET  
SPECTROSCOPIQUE DES CORAUX UTILISES  
EN JOAILLERIE ET BIJOUTERIE  
Contribution à l'amélioration des méthodes  
d'expertise, ainsi qu'aux critères de garantie de leur  
provenance et de leur nature biologique**

**Soutenu publiquement le  
Au département des sciences et de la terre  
Devant la commission d'examen composée de :**

<b>M. E. FRITSCH</b>	<b>Professeur</b>	<b>Président</b>
<b>M. B. RONDEAU</b>	<b>Maître de conférence</b>	<b>Vice-président</b>
<b>M. H. GARCIA-GUILLERMINET</b>	<b>Directeur du Laboratoire Gem-Paris</b>	<b>Examineur</b>
<b>M. F. NOTARI</b>	<b>Directeur du laboratoire GemTechLab</b>	<b>Examineur</b>
<b>M. C. EWELS</b>	<b>Chargé de Recherches</b>	<b>Examineur</b>
<b>M. C. MONNIER</b>	<b>Maître de Conférences</b>	<b>Examineur</b>
<b>M. B. LASNIER</b>		<b>Invité</b>

## REMERCIEMENTS

La gemmologie m'a redonné goût aux études... C'est un fait, il m'a fallu découvrir cette science pour faire remonter à la surface une passion pour les cailloux et développer une passion pour de plus beaux cailloux encore.

Mais avant de décider de présenter un diplôme d'université de gemmologie (DUG), il m'a été nécessaire durant trois années de mesurer l'étendue des connaissances que suppose la pratique de la gemmologie. Maudits soient les grenats et ces coquines de pierres, quand elles vous tiennent elles ne vous lâchent plus !

Aussi ces premiers remerciements vont-ils d'abord à Mme Blanca Mocquet et à Mr Christophe Lamiraud respectivement professeurs de gemmologie à Nantes et au CFA de Saumur.

Durant la préparation de ma Mention Complémentaire (MC) en gemmologie au Centre de Formation des Apprentis (CFA) de Saumur<sup>1</sup>, j'ai pu intégrer l'association CRG<sup>2</sup>, et ainsi participer à des stands de détermination de gemmes en compagnie de trois drôles de dames particulièrement motivantes et détentrices de « savoirs » capables de percer les secrets des pierres : Sylvie Kneppert, Blanca Mocquet et Chantal Moine. Merci à vous trois pour vos conseils et vos échantillons.

Puis est arrivé le temps du Brevet Professionnel (BP) et avec lui la réalisation d'un dossier « obligatoire » dont le thème, sur des conseils avisés, était (je vous le donne en mille) le corail. Et oui c'est comme cela que tout a commencé entre lui et moi. Durant les deux ans qu'a duré la préparation de ce deuxième diplôme, j'ai été confronté à des conditions d'exercice professionnel extrêmement difficiles. En effet, après avoir exercé à Paris, j'ai décidé de créer à Nancy ma propre entreprise<sup>3</sup>. Cela ne m'a pas facilité la tâche. La réussite au Brevet Professionnel m'a cependant donné envie d'explorer un peu plus ce sujet dont la complexité n'a fait que croître au fur et à mesure que je l'étudiais.

A ces premiers remerciements, j'ajoute, en espérant n'oublier personne, les noms des personnes suivantes :

-Tous les membres du Jury pour leurs patientes lectures et relectures ainsi que pour leurs conseils et aides.

-Emmanuel Fritsch, Benjamin Rondeau, Alain Barreau et Jean-Yves Mevellec pour leur aide constante. Aussi bien celle concernant l'utilisation des instruments de mesure que leurs explications, leurs cours et leurs conseils avisés chaque fois que j'ai eu besoin de leur présenter mes échantillons à l'IMN

-La famille Mocquet pour son indéfectible soutien, son hébergement très « gemological bed and breakfast », et sa constante motivation.

-Stefanos Karamelas pour sa patience et son aide durant les sessions de travail sur mes échantillons à Nantes.

---

<sup>1</sup> Institut de Bijouterie de Saumur, Saumur : chambre de commerce de Saumur, formation par apprentissage

<sup>2</sup> Centre de Recherche en Gemmologie, Nantes : association loi 1901 des anciens élèves et sympathisants des programmes en gemmologie de l'Université de Nantes

<sup>3</sup> Créations Marie Chabrol, Nancy : creations-mariechabrol.fr

- Les membres du CRG dans l'ensemble et en particulier Bernard Lasnier et Yves Lulzac pour leurs patiences et leurs réponses à mes trop nombreuses questions.
- M. Eric Bœuf et M. Hervé Loyer du service de lithoprèparation pour les explications et les heures passées à tailler et polir mes échantillons.
- Webmaster, Mogok, Asteriée, Gemitech et tous les membres du forum Geminterest<sup>4</sup> pour des pistes de recherche d'échantillons et autres dosages de produits pour la création de solutions explosives.
- M Eric Rannou de l'université de Brest pour son intérêt pour mon sujet. Et surtout la gentillesse et le temps consacré à m'écouter en parler !
- Le Laboratoire de l'Aquarium de Nancy et de La Rochelle pour m'avoir reçu, donné des explications et des échantillons pour la conduite de ce sujet.
- La Direction Générale des Douanes et Droits Indirects de La Rochelle
- Tous les donateurs d'échantillons qui m'ont permis d'avancer et d'enrichir mon sujet.

Enfin il me faut remercier ma famille pour les relectures, les questions et les remarques pertinentes pour la rédaction de mon mémoire.

Je ne pense avoir oublié personne, sinon qu'ils soient remerciés haut et fort pour le temps qu'ils ont accepté de consacrer à m'aider et à me conseiller.

Merci à vous toutes et tous !

---

<sup>4</sup> Site et forum de gemmologie francophone : [geminterest.com](http://geminterest.com) et [facebook.com/geminterest](https://facebook.com/geminterest)

# SOMMAIRE GÉNÉRAL

<b>REMERCIEMENTS</b>	2
<b>SOMMAIRE GÉNÉRAL</b>	4
<b>INTRODUCTION</b>	7
<b>CHAPITRE 1 : État de l'art</b>	8
<i>1-I- Rappels Historiques</i>	8
<i>1-II- Rappels biologiques et géologiques</i>	10
<i>1-III- Systématique des coraux</i>	12
1-III-1- Les Anthozoaires	13
1-III-1-1- L'ordre des Gorgonacea	13
1-III-1-1-1 Les Corallium : coraux rouges, roses et blancs	13
1-III-1-1-2 Les Gorgonia	20
1-III-1-1-3 Les coraux bambou : les genres Acanella, Isidella, Lepidisis, Keratoisis, Cincinsis et Stenisis	20
1-III-1-1-4 Les Melithaea	22
1-III-1-1-5 Les Eunicella ou Enicea	23
1-III-1-1-6 Les Plumarella	23
1-III-1-1-7 Les Siphonogorgia	23
1-III-1-1-8 Les coraux dorés : les genres Narella, Callogorgia, Calyptrophora	23
1-III-1-2 L'ordre des Stolonifera	24
1-III-1-2-1- Les Tubipora	24
1-III-1-3 L'ordre des Antipatharia	24
1-III-1-3-1 Les coraux noirs : les Antipathes	24
1-III-1-4 L'ordre des Scleractinia (Madreporaria)	26
1-III-1-4-1 Les acropora	26
1-III-1-4-2 Les Euphyllia	27
1-III-1-4-3 Les Diploastreae	27
1-III-1-4-4 Les Heliofungia	28
1-III-1-4-5 Les Fungia	28
1-III-1-4-6- Les Herpolitha	28
1-III-1-4-7 Les Cynarina	29
1-III-1-4-8 Les Madrepora	29
1-III-1-4-9 Les Cyathelia	30
1-III-1-4-10 Les pocillopora	31
1-III-1-4-11 Les Seriatopora	31
1-III-1-4-12 Les Stylophora	32
1-III-1-4-13 Les porites	32
1-III-1-4-14 Les Alveopora	33
1-III-1-4-15 Les Trachyphyllia	33
1-III-1-5 L'ordre des Zoanthidea	33
1-III-1-5-1 Les Gerardia	33
1-III-1-6 L'ordre des Coenothecalia- Heliopora	34
1-III-1-6-1 Le corail bleu : Heliopora Coerulea	34
1-III-2 Les Hydrozoaires	35
1-III-2-1 L'ordre des Anthoathecatae	35
1-III-2-1-1- Les Styllaster	35

1-III-2-1-2 Les Millepora	36
<b>1-IV- Différenciation des squelettes</b>	37
1-IV-1 Les coraux possédant un squelette calcitique	37
1-IV-2 Les coraux possédant un squelette aragonitique	38
1-IV-3 Les coraux possédant un squelette mixte, calcitique et aragonitique	39
1-IV-4 Les coraux alliant une phase minérale unique alliée à une phase organique visible	39
<b>1-V- La matière organique</b>	39
1-V-1 La gorgonine	39
1-V-2 L'antipathine	40
<b>1-VI- La pigmentation</b>	40
1-VI-1 Les polyènes	40
1-VI-2 Les caroténoïdes	40
1-VI-3 Les produits de dégradations des porphyrines	41
<b>1-VII- Traitements et imitations actuellement sur le marché</b>	42
1-VII-1 Teinture et stabilisation	42
1-VII-2 La décoloration	43
<b>CHAPITRE 2 Matériaux et Méthodes</b>	45
<b>2-I Les échantillons</b>	45
2-I-1 Tableau des échantillons	45
2-I-2 Provenance des échantillons	51
<b>2-II Méthodes</b>	51
2-II-1 Les méthodes de gemmologie classique	51
2-II-1-1 La loupe 10x et la binoculaire	51
2-II-1-2 Le réfractomètre	52
2-II-1-3 La densité	52
2-II-1-4 La luminescence UV	52
2-II-2 Les méthodes de laboratoire	53
2-II-2-1 La spectroscopie Raman	53
2-II-2-2 FTIR (Absorption infrarouge)	53
2-II-2-3 La microscopie électronique à balayage (MEB)	53
<b>CHAPITRE 3 RÉSULTATS</b>	54
<b>3-I Mesures de gemmologie classique</b>	54
3-I-1 Mesure de l'indice de réfraction	54
3-I-2 Mesure de la densité	55
3-I-3 Binoculaires et structures	56
3-I-3-1 Les lignes de vascularisation de la colonie	56
3-I-3-2 La porosité	60
3-I-3-3 Les surcroissances calcaires	64
3-I-3-4 Les structures des zones organiques	66
3-I-3-5 La couleur	69
3-I-3-6 Les spicules du corail noir	73
3-I-3-7 Identification visuelle des traitements appliqués au corail	74
3-I-3-7-1 La teinture	74
3-I-3-7-2 L'imprégnation par des résines	75
3-I-3-7-3 Le blanchiment du corail noir	76
3-I-3-7-4 Colmatage d'imperfection avec des amalgames	78
3-I-3-7-5 Les pièces reconstituées à la résine	79
3-I-3-7-5-1 Échantillon Rec2	79

3-I-3-7-5-2 Échantillons Rec4 et Rec7	80
3-I-3-7-5-3 Échantillons Rec5 et Rec6	80
3-I-3-7-5-4 Échantillon Rec1	81
3-I-7-6 Pose de vernis	81
<b>3-II gemmologie de laboratoire</b>	81
3-II-1 Imagerie MEB	81
3-II-1-1 Les structures microgrummeleuses	82
3-II-1-2 Les structures en plaquettes	83
3-II-1-3 Les structures lamellaires	84
3-II-1-4 Les structures fibreuses	86
3-II-1-5 Les structures prismatiques	88
3-II-1-6 Échantillon ne présentant pas de structure définie	89
3-II-2 Spectroscopie Raman	89
3-II-2-1 Différenciation des coraux calcaires :	
Aragonite / Calcite	89
3-II-2-2 La matière organique	93
3-II-2-2-1 Différenciation pigment caroténoïdes / Pigments polyéniques	94
3-II-2-2-2 Mise en évidence des pigments biliaires dans le corail bleu	95
3-II-2-2-3 Différenciation Gorgonine / Antipathine	96
3-II-3 Spectroscopie FTIR	99
3-II-3-1 Différenciation phase calcitique et aragonitique	100
3-II-3-2 Mise en évidence et comparaison de la matière organique	100
3-II-3-3 Le cas du corail doré	102
3-II-4 Essais d'application de traitement :	
le cas du peroxyde d'hydrogène	106
3-II-5 Comparaison des structures entre Melithaea et Tiger Coral	107
<b>CHAPITRE 4 DISCUSSION</b>	111
<b>CHAPITRE 5 CONCLUSION GÉNÉRALE</b>	114
<b>CHAPITRE 6 GLOSSAIRE</b>	118
<b>CHAPITRE 7 BIBLIOGRAPHIE</b>	121

# **INTRODUCTION**

Le corail appartient dans la gemmologie à la catégorie des matériaux organiques et fait partie de l'histoire de la parure depuis longtemps. Si on note des allusions écrites à son utilisation dans la Grèce antique (Théophraste), celui-ci était très certainement déjà montés depuis bien longtemps en bijoux au même titre que l'os, le bois, etc. Le corail est commun à de nombreux peuples, civilisations et religions. Cette étude s'inscrit à la fois dans une démarche scientifique, mais aussi artistique, économique et environnementale.

Si de nombreux articles ou livres existent sur le corail, peu s'adressent aux gemmologues. La plupart des écrits qui nous sont destinés ciblent le corail rouge (*Corallium rubrum* / *Paracorallium japonicum*) alors que de nombreuses autres espèces sont actuellement utilisées dans la bijouterie sous leur forme première de branches ou encore comme perles et objet divers percés pour l'enfilage de colliers. À ce titre, il est normal que la littérature gemmologique nous renseigne sur certaines de ses propriétés comme la densité, la dureté, la fluorescence UV.

Mais pour autant, on trouve finalement peu de choses concernant la composition chimique et les traitements. Aussi la détermination se pratique-t-elle communément à l'œil et/ou avec la loupe 10 fois.

Après avoir travaillé durant deux ans de formation sur ce thème lors de la préparation de mon BP Gemmologue au CFA de l'Espace du Saumurois, il m'a paru naturel de continuer l'étude de ce matériau commun tant à la haute joaillerie, joaillerie, bijouterie et bijouterie fantaisie. Lors de mon BP, je n'avais pu m'intéresser qu'aux éléments de biologie, de gemmologie classique, de législation et de protection, et d'histoire de l'art.

Ce Diplôme d'Université a pour but, en explorant le corail sous l'angle de sa gemmologie classique mais aussi d'un point de vue plus scientifique, de mieux connaître la composition chimique des différents coraux utilisés en joaillerie, de comprendre aussi comment cette composition interfère dans la coloration et enfin d'identifier les traitements et leurs effets (résine, décoloration, teinture) afin de pouvoir les reconnaître avec certitude.

L'apparence que revêt le squelette du corail joue un rôle extrêmement important dans sa détermination. Son apparence est caractéristique, ses courbes de croissance, sa porosité et, bien entendu, ses couleurs restent des données essentielles durant les étapes de reconnaissance. La microscopie optique est donc fondamentale pour déterminer le genre du corail.

Ce travail, modestement, entend participer à l'amélioration de cette situation. Aussi bien dans le souci d'aider les créateurs qui utilisent le corail que les acheteurs qui entendent payer un prix correspondant, certes au travail de création, mais aussi à l'authenticité et à l'intégrité du corail utilisé.

Enfin aux regards de l'intérêt croissant que le public, mais aussi les scientifiques, portent au corail, à la fois comme marqueurs des changements majeurs que subit notre planète mais aussi pour ses nombreuses applications futures notamment dans le domaine médical, ce sujet complètement contemporain mérite encore plus d'attention.

# CHAPITRE 1 : ETAT DES CONNAISSANCES ACTUELLES

## 1-I-RAPPELS HISTORIQUES

L'identification du corail et son classement systématique ne purent se réaliser que quand les hommes furent d'une part, capables d'aller voir ce qui se passait sous l'eau et d'autre part d'étudier et d'identifier avec certitude ce qu'ils voyaient. Les premiers travaux d'identification et de classement biologique sur le corail sont finalement assez récents. Ils datent du début du 18<sup>ème</sup> siècle. Le corail rouge a longtemps servi de base à l'identification des autres coraux

Longtemps, les anciens Grecs se sont posés la question de savoir ce qu'était réellement le corail. Était-il minéral, animal ou bien végétal ? « Lithodendron » tel était son nom (arbre de pierre). De nombreux récits datant de la Grèce antique font référence à cette matière. Les premiers écrits relatant le corail datent de Théophraste<sup>5</sup>. Celui-ci le considérait comme une plante pétrifiée. Ovide<sup>6</sup> dans Les Métamorphoses raconte la décapitation de Méduse par Percée. Celle-ci aurait donné lieu à la pétrification de son sang en corail rouge. Ce mythe de la pétrification perdurera jusqu'au 16<sup>ème</sup> siècle. Il est donc considéré comme « un curieux arbuste sous-marin » et cette vision des choses demeurera de Pline l'ancien<sup>7</sup> jusqu'au XVIII<sup>ème</sup> siècle.

Mais la différenciation entre nature minérale ou végétale se fera durant le 18<sup>ème</sup> siècle, puisque les botanistes le classaient jusque là comme lithophyte<sup>8</sup>.

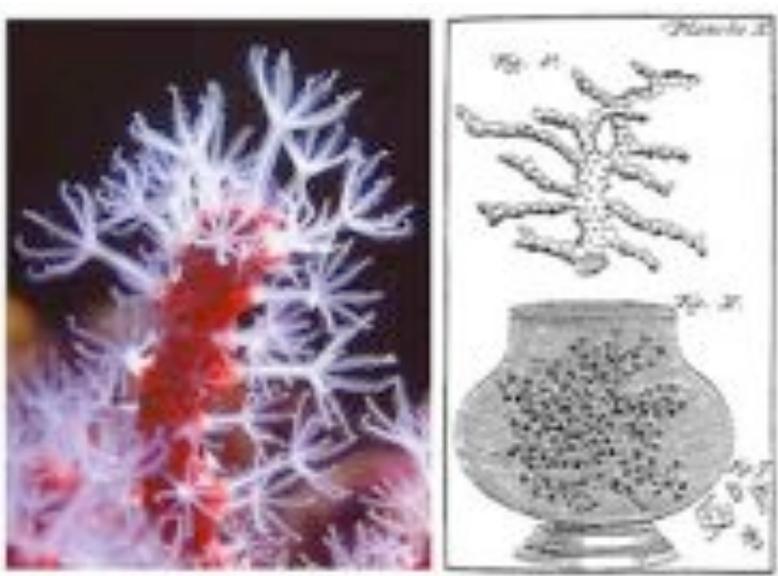


Figure 1 Extrémité d'une branche de corail rouge avec les polypes très épanouis, photographié en plongée - Marseille, et figure de L.F. Marsigli (1707) illustrant l'expérience qui lui permit de voir fleurir le corail récolté par des corailleurs marseillais.

<sup>5</sup> Théophraste : philosophe grec (Eresos, Lesbos v.372 av. JC – Athènes v.287 av. JC). Il suivit les leçons de Platon et d'Aristote. Il a composé de nombreux ouvrages sur les plantes, les roches et les minéraux dont « des pierres ».

<sup>6</sup> Ovide : (Publius Ovidius Naso) avocat et poète grec (Sulmone 20 mars 43 av.JC- Roumanie 17 ap.JC). Connus surtout pour « Les Métamorphoses ».

<sup>7</sup> Pline l'ancien : naturaliste et écrivain latin (Côme 23 ap. JC- Stabius 79 ap. JC). Parmi ses nombreux ouvrages, n'a été conservé que son Histoire Naturelle en 37 livres : « de historiae naturalis ».

<sup>8</sup>Lithophyte : Plante qui pousse sur les rochers telle que le lichen.

En 1706, Luigi-Fernandino Marsigli, naturaliste Italien vient à Marseille afin d'étudier le corail en accompagnant en mer les pêcheurs. Il en résultera le premier livre sur l'océanographie moderne « L'histoire physique de la mer » qui sera publié à Amsterdam en 1725 (figure 1). Marsigli est alors persuadé que le corail rouge est minéral puisque ces observations en plongée lui ont permis d'observer du corail qui se développe sous des substrats rocheux à la manière des stalactites. Seulement les rameaux de corail qu'il a ramené et ensuite conservé dans de l'eau présentent désormais des « fleurs » à huit tentacules.

L'abbé Bignon<sup>9</sup>, de l'Académie Royale des Sciences de Paris approuve les observations de Marsigli et il est donc reconnu comme végétal : une plante pierreuse. Jean André Peyssonnel<sup>10</sup>, a pu lui-même observer ses étranges fleurs et il va plusieurs fois renouveler les expériences qu'a menées Marsigli. Il va alors être convaincu de la nature animale de ces fleurs. Il estime que celles-ci font partie intégrante de l'écorce friable du corail. Il fut enfin reconnu comme « une sorte d'animal voisin du poulpe » dans son mémoire publié entre 1723 et 1725 .

De nombreuses personnes s'opposèrent à cette thèse, parmi lesquelles Réaumur<sup>11</sup> et Jussieu<sup>12</sup>. Peyssonnel publiera tout de même son travail en Angleterre puis plus tard en 1742, la justesse de ce travail sera approuvée par la communauté scientifique (J-G.Harmelin, 2006)

Cette opinion fut entièrement démontrée par les travaux de Lacaze-Duthiers<sup>13</sup> en 1864. Celui-ci effectuera un long séjour en Algérie à La Calle (Marsa al-Kharaz) et établira par ses travaux et surtout dans ses planches l'essentiel des connaissances morphologiques actuelles du corail rouge.

Désormais la définition qui fait consensus est la suivante : « **le corail une sécrétion calcaire constituant le support d'une colonie de polypiers<sup>14</sup> marin de la famille des coralliums** ».

Cette définition s'applique aux coraux dit durs, donc sécrétant des dépôts calcaires, mais il est important de préciser qu'il existe aussi des coraux dit mous qui sécrètent des protéines en guise d'exosquelettes. De plus, certains coraux sont dits mixtes puisqu'ils mélangent des structures calcaires et des protéiniques.

---

<sup>9</sup> Jean-Paul Bignon : Jean-Paul Bignon, né à Paris le 19 septembre 1662 et mort à l'Île Belle le 14 mars 1743, est un homme d'Église français, grand commis de l'État, prédicateur de Louis XIV et bibliothécaire du roi.

<sup>10</sup> Jean-André de Peyssonnel est né à Marseille le 19 juin 1694 et décédé le 24 décembre 1759 à Saint-Bertrand de l'Isle-Grande Terre en Guadeloupe. Il était médecin et naturaliste.

<sup>11</sup> Réaumur : (René Antoine Ferchault de) Physicien et naturaliste français. (La Rochelle 1683-Saint-Julien-du-Terroux 1757).

<sup>12</sup> Jussieu : (Joseph) Botaniste français, descendant d'une grande famille de botaniste. (Lyon 1704 – Paris 1779)

<sup>13</sup> Lacaze-Duthier : (Henry de) Zoologiste français (Montpezat 1820- Lasfonds 1901)

<sup>14</sup> Polypier : Squelette calcaire sécrété par les polypes, solitaires ou coloniaux chez les cnidaires participant à la construction des récifs.

## 1-II- RAPPELS BIOLOGIQUES ET GEOLOGIQUES.

Les coraux en général font partie des Cnidaires<sup>15</sup>. Ceux-ci constituent un embranchement majeur du monde marin qui est extrêmement diversifié par le nombre d'organismes qui y trouvent leur place. On y trouve donc les Méduses, les anémones de mer, les hydraires<sup>16</sup>, et, bien entendu les coraux et les gorgones<sup>17</sup>.

Tous abritent dans leur ectoderme<sup>18</sup> des cellules spécialisées, les cnidocytes<sup>19</sup>, qui renferment une arme redoutable, le nématocyste: une vésicule pleine de venin dans laquelle est invaginé un harpon muni d'un filament urticant, qui serait projeté à l'extérieur si une papille sensible, le cnidocil, est touchée.

Un polype de corail mesure quelques millimètres. Cela ressemble à une sorte de sac tubulaire à huit loges intérieures comportant une « bouche » avec elle-même un certain nombre de tentacules finement dentelées dont le nombre varie selon les espèces ainsi que le montre la figure 2.

Ce « sac » est inséré dans un coenosarc (tissu conjonctif) qui lui permet, à la manière des anémones de mer, de se rétracter en présence d'un élément étranger ou potentiellement d'un danger.

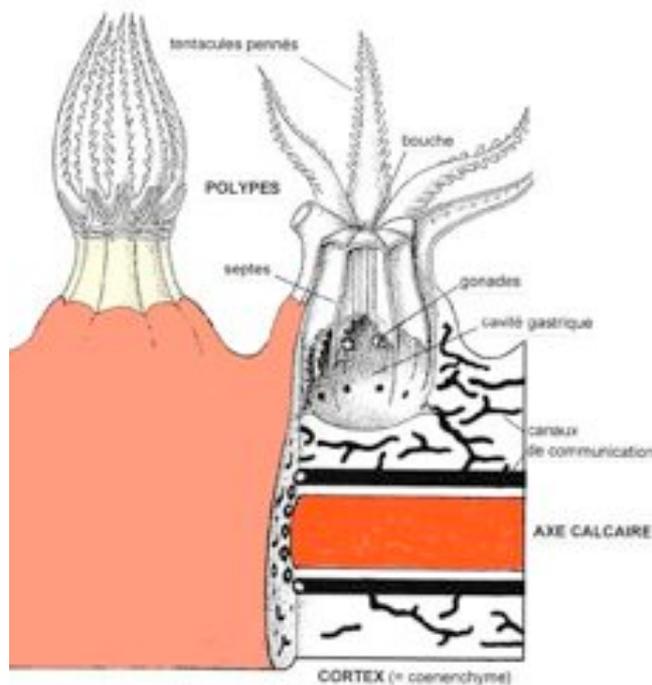


Figure 2 :  
Organisation morphologique  
d'une colonie de corail rouge.  
D'après R.C. Moore

Jean-George Harmelin<sup>20</sup> donne une définition importante qui résume bien l'ensemble du corail en terme de morphologie : « une branche de corail rouge avec son tronc fixé au substrat et ses ramifications est une colonie constituée de multiples unités fonctionnelles, les polypes ». Cette morphologie se retrouve sur tous les types de coraux avec quelques différences toutefois propres à chaque genre.

Ils sont insérés dans un cortex qui entoure le squelette dit axial commun.

<sup>15</sup> Cnidaire : élément d'un embranchement animal comprenant les méduses, les anthozoaires et les hydrozoaires

<sup>16</sup> Hydraire : animal dont le cycle de reproduction comporte toujours une forme fixe, le polype, qui peut engendrer une forme libre, par exemple une méduse.

<sup>17</sup> Gorgone : Animal de l'embranchement des cnidaires, formant des colonies de polypes.

<sup>18</sup> Ectoderme : feuillet externe de l'embryon qui fournit l'épiderme et le système nerveux.

<sup>19</sup> Cnidocyte : cellule caractéristique des cnidaires

<sup>20</sup> Jean-George Harmelin : Biologiste marin, Français, membre du CNRS de 1966 à 2002.

On trouve, de plus, une couche gélatineuse dure à sa surface externe que l'on nomme communément le mésoglée<sup>21</sup>.

Les polypes communiquent entre eux par des canaux, cela explique donc l'aspect naturellement cannelé des coralliums. Chez ces espèces, le polype est doté de huit tentacules qui sont armés de nématocystes qui entourent une bouche. Cette bouche a trois fonctions : gastrique, reproductrice et respiratoire. Elle sert, de plus, aux polypes à se rétracter en présence d'un danger.

Le pied des polypes (base des coenosarcs<sup>22</sup>) secrète des dépôts qui constituent au fur et à mesure un exosquelette, lequel ressemble à un petit arbuste dépourvu de feuilles. Ce squelette est recouvert d'une sorte d'écorce gélatineuse, le plus souvent urticante.

On trouve donc les éléments les plus anciens au centre du point de fixation. Cela assure le développement de l'animal, soit, par développement des branches existantes, soit, par bifurcation et création de nouvelles branches. Celles-ci étant plus minces que les précédentes, cela engendre parfois des lacunes dans le développement telle qu'une fragilité de la structure (défauts de résistance).

La plupart des coraux construisent des récifs et des atolls. C'est d'ailleurs cela qui a créé une confusion puisque seule la variété des hexacoralliaires (Zoantharia) calcaires réalise de telle construction comme les atolls du Pacifique ou bien ceux qui participent à la grande barrière de corail en Australie. Ces coraux sont dit constructeurs, ce sont les Acropora, les Porites ...etc. Ils sont aussi associés la plupart du temps à des algues microscopiques, les Zooxanthelles, des coraux dits profonds comme les Madrepora, les Lophelia. Ces coraux cités ci-dessus sont des Scleractiniaires.

Par ailleurs, ces coraux ont formé des assises calcaires lors de l'ère secondaire (Lorraine, Jura, Maine et Loire), mais il ne faut pas les confondre avec les coraux « dit » précieux utilisés en joaillerie. Par contre ceux-ci ont parfois été taillés et teintés pour être utilisés en bijouterie fantaisie.

Seuls les tronc calcaires et kératineux de certains coraux actuels sont employés en bijouterie joaillerie.

La formation et la vascularisation importante de la colonie donnent un aspect cannelé aux branches brutes, mais aussi de nombreuses lignes de croissance à la surface des objets polis. Ces lignes de croissance sont parfois peu visibles à la surface.

---

<sup>21</sup> Mesoglée : substance gélatineuse extracellulaire des cnidaires

<sup>22</sup> Coenosarcs : tissu mou du polype des scleractiniaires (hexacoralliaires) qui recouvre l'extérieur du calice.

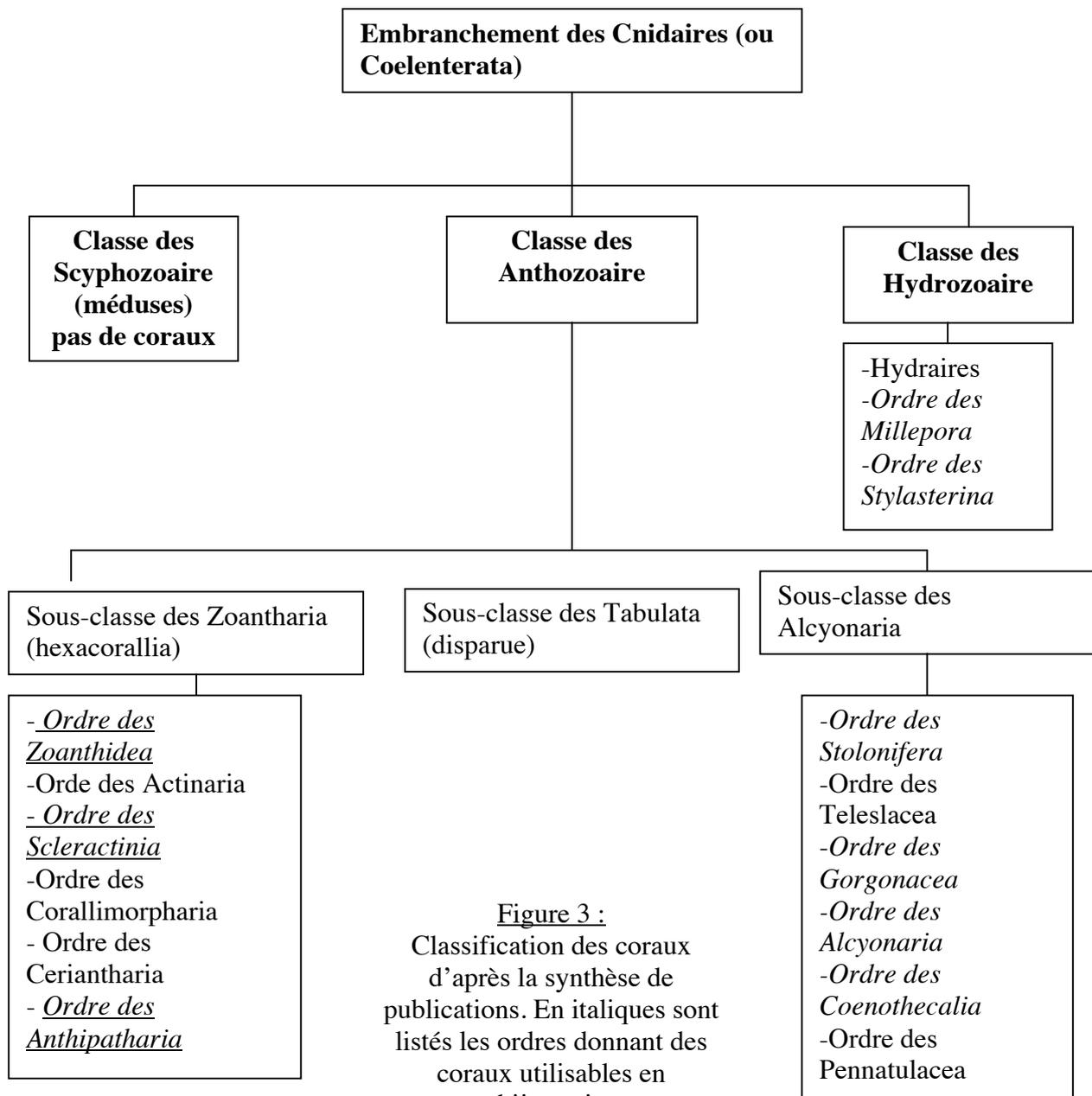
### 1-III SYSTEMATIQUE DES CORAUX

La classification suivante (figure 3) des coraux s'arrête au niveau des ordres et ne détaille pas les familles, genres et espèces. En effet, cela reste bien suffisant au regard de la complexité de cette classification et aller plus loin ajouterait des détails inutiles au gemmologue.

Il faut juste préciser un terme de cette classification :

- Les Coenothecalia (terme ancien encore usité) sont les Helioporacea au sein desquels se trouve l'Heliopora Coerulea.

#### CLASSIFICATION DES CORAUX ET DES INVERTEBRES APPARENTES



## 1-III-1 - LES ANTHOZOAIRES

### 1-III-1-1 - L'ORDRE DES GORGONACEA

#### 1-III-1-1-1- LES CORALLIUM: CORAUX ROUGES, ROSES, ET BLANCS

En gemmologie et en fabrication joaillière, les coraux rouges, roses et blancs ont été regroupés sous l'appellation de coraux « dit » précieux ou coraux nobles.

À cela deux raisons essentielles :

- La dangerosité du métier de corailleur, qui consiste à plonger pour aller récupérer le corail au fond de la mer. C'est en particulier vrai pour le corail rouge de Méditerranée qui se récolte le long de parois rocheuses faiblement éclairées, ainsi que dans des cavités et substrats rocheux naturels.
- La rareté du beau corail, qui en fait un matériau recherché qui peut se négocier fort cher.

Cette différenciation typique dans la classification de coraux se retrouve dans le cas des opales. L'opale noble avec ces jeux de couleurs reste plus prisée que l'opale commune sans feux colorés.

Ces coraux sont les plus usités en matière de bijouterie joaillerie. Il est donc normal que les données purement gemmologiques soient plus faciles à trouver que pour les autres types de coraux qui sont aussi utilisés.

Voilà les données que l'on trouve sur les coralliums dans trois usuels de gemmologie (figure 4).

	Lulzac, 2003	Schumann (11 <sup>e</sup> édition) 1999	Bariand et Poirot 1985
Indice de réfraction	± 1,50	1,486 à 1,658	nc
Densité	2,6 à 2,7	2,6 à 2,7	2,6 à 2,7
Réactions aux UV	Peu ou pas fluorescent	Faible, violette	Faible
Réactions aux acides	Effervescent aux acides		Effervescent aux acides.
dureté		3-4	3,5
Cassure	nc	Esquilleuse, Inégale, cassante	nc
Biréfringence	nc	0,160 à 0,172	nc
Transparence	nc	Opaque, translucide	nc

Figure 4: tableau comparatif des données sur les Coralliums publiées dans 3 usuels classiques. L'abréviation nc signifie non communiqué.

### Aspect typique des Corallium permettant une identification à la loupe 10x ou à l'œil

Comme cela a été dit précédemment, la vascularisation importante de la colonie se traduit par une présence de canaux (figure 5 et 6) dans la structure même du corail. Cela donne un aspect typiquement cannelé à l'ensemble des branches. Cet aspect est particulièrement remarquable sur des échantillons de corallium de couleur rouge, rose ou encore orangé. De plus on peut trouver à leur surface la présence de pores de petites tailles (souvent moins d'1 mm sur ces espèces). Ces figures sont capitales pour identifier ce corail.

Lors de l'identification, il reste à faire attention à la présence éventuelle de teinture et d'imprégnation. L'uniformité de la couleur ainsi que l'aspect de la matière sont donc des éléments importants à prendre en compte pour confirmer ou infirmer cette présence.



Figure 5 :  
Corail rouge, origine  
inconnue  
(japon ?),  
Ligne de vascularisation  
typique (bino 15x)



Figure 6:  
Corail rose, corallium  
secundum, Hawaï,  
courbes de croissance,  
bino 15x

### Composition chimique et coloration

Les espèces du genre Corallium sont des coraux calcaires composés en majorité de carbonate de calcium :  $\text{CaCO}_3$  (Bariand et al.1985). La phase minérale de ces coraux est calcitique.

Dans le cas d'une étude plus poussée des Coralliums, l'utilisation de la spectroscopie infrarouge (FTIR : Fourier Transform InfraRed Spectroscopy) et du Raman est complémentaire dans la recherche d'information sur la nature chimique et sur les propriétés physiques et chimiques de ces matériaux.

La FTIR permet de définir que les coralliums sont des coraux calcitiques (B.Kaczorowska & al., 2003). Ces mêmes pics sont repris dans l'étude de Rolandi et al (2005).

La figure 7 présente un spectre Raman de corail rose clair qui est quasi-identique à celui d'une calcite pure (Urmos et al, 1991), à part que les pics Raman de la calcite sont plus larges et que l'on note la présence de pics liés aux pigments.

L'étude menée par V.Rolandi & al, 2005 reprend les positions des pics déjà donnés par Urmos et al (1991) pour caractériser la phase minérale des coralliums au Raman :

- D'une part les squelettes calcitiques des coralliums étudiés montrent un nombre d'ondes  $\nu_4$  élevé à **717  $\text{cm}^{-1}$  pour les *C.rubrum* et *C.eliatus* ; 716  $\text{cm}^{-1}$  pour *C.japonicum*. C'est ce pic au alentour de 715  $\text{cm}^{-1}$  qui définit avec certitude la phase calcitique des Corallium.**

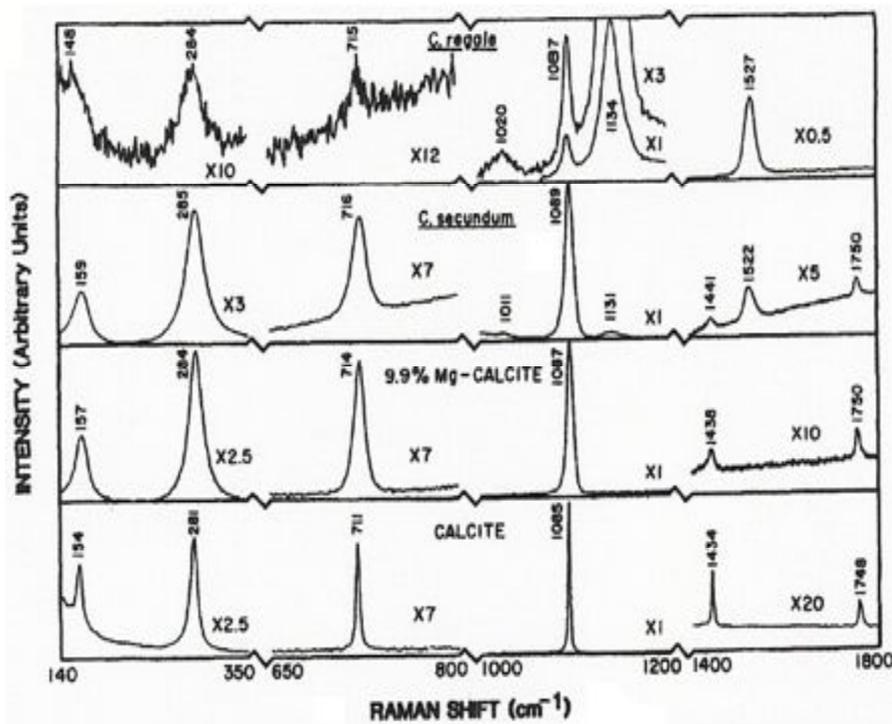


Figure 7 :  
Portion d'un spectre Raman pour *Corallium secundum* et *Corallium regale*. Les facteurs d'échelle pour les divers intervalles dépendent du mode  $\nu_1$  de chaque échantillon :  $\pm 1085$  (J.Urmos & al, 1991)

Dans l'étude menée par Urmos et al, 1991, on voit bien que l'élargissement de la bande est en rapport avec l'augmentation de Mg dans la structure.

Ces nombres d'ondes élevés sont la preuve que le squelette calcitique de ces coralliums est riche en  $\text{Mg}^{2+}$  puisque celui-ci est une impureté courante dans la calcite. Y.Dauphin (1997) rapporte les propos de Huang & Kerr (1960) : « Il y a une relation bien définie entre la hauteur de la bande et le diamètre atomique ou la masse des cations contenus dans ces groupes isomorphes ». La hauteur des bandes des nombres d'ondes  $\nu_4$  et  $\nu_2$  prouve que la calcite de ces squelettes contient un grand pourcentage de magnésium (Dauphin,1999).

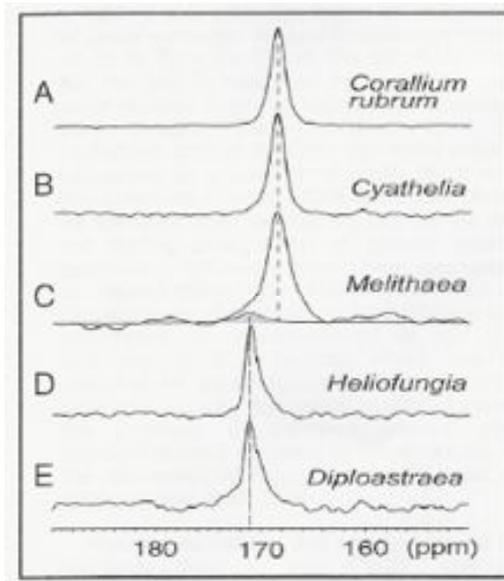
Dans l'article écrit par Bocchio & al. (2006), l'équipe a utilisé des méthodes de caractérisation pour leurs échantillons qui ont permis des analyses extrêmement poussées. Ici l'utilisation du  $^{13}\text{C}$  MAS NMR (figure 8) a permis, outre le fait d'identifier avec certitude la phase minérale calcitique pour des Coralliums, de mener une étude structurale et dynamique des composants des Coralliums. Ainsi grâce aux mesures pratiquées sur de la calcite naturelle par Effenger & al (1981), la comparaison des volumes de la maille élémentaire de la calcite des Coralliums a pu être effectuée. Il en résulte que les volumes de ces mailles sont plus petits

que ceux de la calcite naturelle : 358,84 Å pour du *Corallium japonicum*, 359,07 Å pour du *Corallium rubrum* et 360,92 Å pour du *Corallium eliatum* alors que le volume pour de la calcite est de 367,85 Å.

Ces résultats donnent donc corps à l'idée que le corail et les *Coralliums* en général ne sont pas uniquement composés de calcite pure  $\text{CaCO}_3$ , mais que d'autres ions de volumes moins importants entrent dans la composition des exosquelettes. Ainsi, la plus petite dimension des mailles dans les coraux calcitiques et dans les *Corallium* confirme la substitution du Ca par des ions de plus petit diamètre atomique comme le Mg.

**Figure 8 :**  $^{13}\text{C}$  MAS NMR des différents coraux sélectionnés pour l'étude. Les résonances sont typiques pour la calcite à 168,6 ppm et pour l'aragonite à 171,0 ppm.

(R.Bocchio & al, 2006)



Outre l'utilisation de ce type d'appareillage qui en plus d'être compliqué, pose le problème de la destruction des échantillons, d'autres méthodes restent possibles. Souvent l'utilisation de la spectroscopie Raman reste un bon moyen d'obtenir de nombreuses informations.

Ce type d'appareil permet, tout d'abord déterminer la phase minérale calcitique des *Corallium* avec certitude : comme cela a été dit plus haut le pic à  $711\text{cm}^{-1}$  est caractéristique de la calcite pure (S.Karampelas, communication personnelle, 2007). Cependant, un domaine de valeurs plus large est donné pour la calcite des coraux entre  $710\text{-}716\text{ cm}^{-1}$  par Rolandi (& al, 2005). C'est ce que présente la figure 9.

Pics de la phase calcitiques référencés	Échantillons de mesure
<p>717 <math>\text{cm}^{-1}</math> (V.Rolandi et al, 2005)</p> <p>733-750 <math>\text{cm}^{-1}</math> (B.Kaczorowska et al, 2003)</p> <p>848 <math>\text{cm}^{-1}</math> (Y.Dauphin , 1999)</p> <p>849-877 <math>\text{cm}^{-1}</math></p> <p>881-913 <math>\text{cm}^{-1}</math></p> <p>1450-1475 <math>\text{cm}^{-1}</math></p> <p>1700-1804 <math>\text{cm}^{-1}</math></p>	Corallium rubrum
<p>712-740 <math>\text{cm}^{-1}</math></p> <p>881-893 <math>\text{cm}^{-1}</math></p> <p>1445-1475 <math>\text{cm}^{-1}</math></p> <p>1800-1804 <math>\text{cm}^{-1}</math></p>	Corallium secundum

**Figure 9 :** Tableau récapitulatif de la littérature des pics de carbonates sur des spectres FTIR de corallium. En bleu figurent les positions des pics dans l'étude de Rolandi (et al,2005), en rouge celles de l'étude de Kaczorowska (et al,2003), enfin en vert celle de l'étude de Dauphin en 1999)

Lors de cette étude (B.Kaczorowska & al, 2003), la déminéralisation d'échantillon de

Corallium rubrum a montré des nouveaux pics: en effet les fortes vibrations de la phase minérale cachait celles des composés organiques qui peuvent être attribué à :

- Des amines<sup>23</sup> ( $1609\text{cm}^{-1}$ )
- Des amides<sup>24</sup> ( $1534\text{ cm}^{-1}$ )
- Des alcanes<sup>25</sup> ( $\pm 1418\text{ cm}^{-1}$ )
- Des alcènes<sup>26</sup> ( $\pm 1047\text{ cm}^{-1}$ )

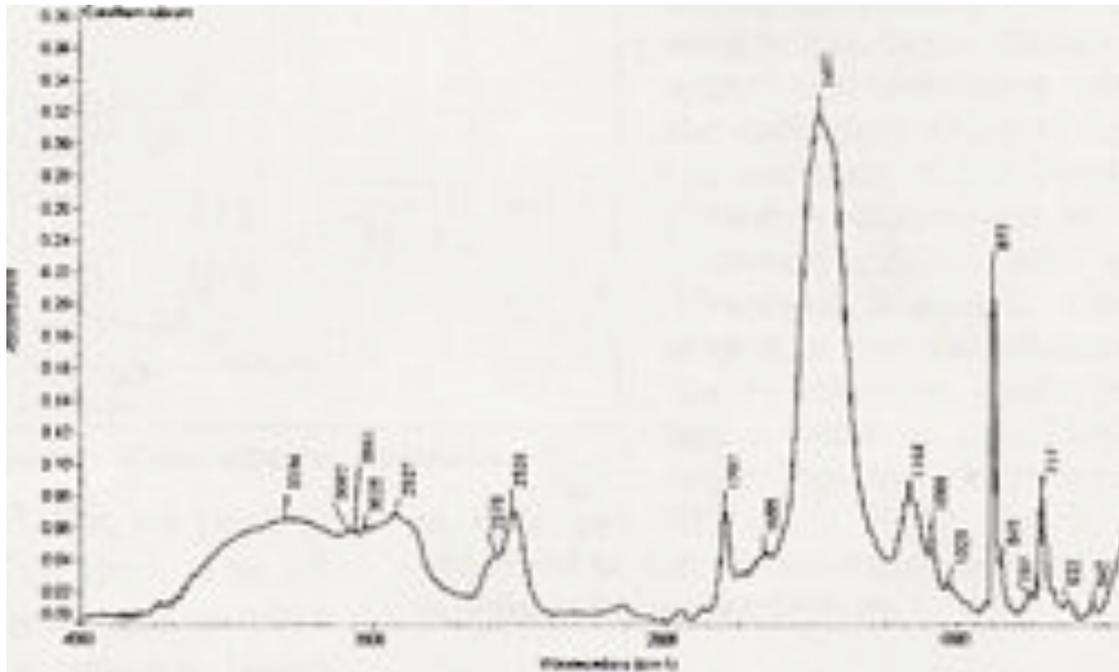


Figure 10 : Spectre FTIR en transmission d'un Corallium rubrum (V.Rolandi & al, 2005)

L'étude menée par Rolandi & al (2005), complète ces observations : ainsi dans tous les coraux de types calcitiques, on observe une large bande d'absorption entre  $3100$  et  $3600\text{ cm}^{-1}$ . Ces pics FTIR sur la figure 9 peuvent être attribués soit aux vibrations N-H des amides, aux vibrations OH ou bien à l'eau.

De plus d'autres pics FTIR ont été référencés dans cette étude à propos des coralliums, en particulier corallium rubrum, mais ne sont pas encore totalement identifiés. Ils sont donc à prendre avec beaucoup de prudence.

- Vibration symétrique C-H dans les groupes organiques aliphatiques  $\text{CH}_3$  ( $2927\text{ cm}^{-1}$ )
- Vibration des sulfures S-H ( $2520\text{-}2550\text{ cm}^{-1}$ ) ?

<sup>23</sup> Amine : c'est une molécule dérivée de l'ammoniaque dont certains hydrogènes ont été remplacés par un groupement carboné.

<sup>24</sup> Amide : c'est un composé organique dérivé d'un acide carboxylique. Un amide possède un atome d'N lié sur son groupement carbonyle.

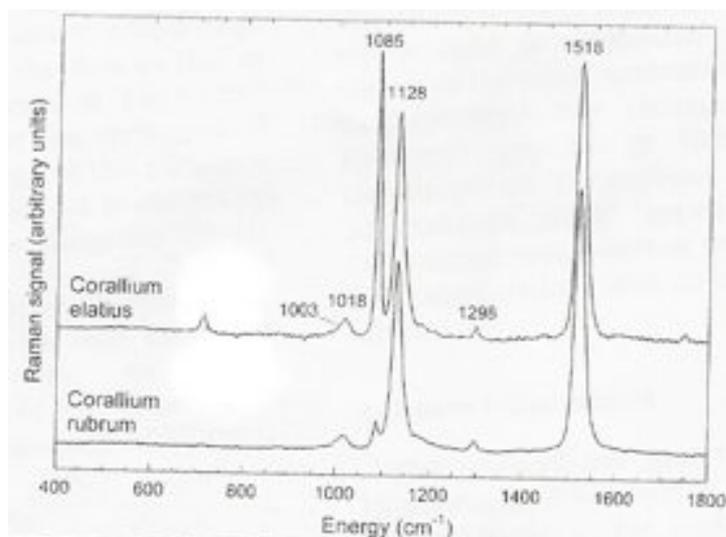
<sup>25</sup> Alcane : ce sont des hydrocarbures saturés qui ne contiennent donc que des atomes C et H.

<sup>26</sup> Alcène : (anciennement appelé oléfine) ce sont des hydrocarbures saturés, caractérisés par une double liaison covalente entre deux atomes de C.

- Vibration de la double liaison C=C ( $\nu_1$ ) de la chaîne polyène (1400-1600  $\text{cm}^{-1}$ )
- Vibration de la liaison simple C-C ( $\nu_3$ ) de la chaîne polyène (1160  $\text{cm}^{-1}$ )
- Absorption C-H des alcynes<sup>27</sup> (610-700  $\text{cm}^{-1}$ ) ?
- 542  $\text{cm}^{-1}$  dus à la conformité dans la structure de la liaison C-S-S-C de la cystéine<sup>28</sup> ?
- Une série de pics entre 3025 et 3082  $\text{cm}^{-1}$  que l'on peut attribuer à la vibration de la première harmonique de la liaison C-N-H, élongation C-H d'un cycle aromatique, vibration typique de la liaison aromatique C=C des protéines. ?

Au-delà de la phase minérale, le spectre Raman (figure 11) est riche en informations sur la matière organique et sur la pigmentation des coralliums, bien que ces chiffres restent comme les précédents, à prendre avec prudence:

- Présence d'amines à 3400 et 2650  $\text{cm}^{-1}$  ?
- Présence d'alcènes à 2980, 2950,  $\text{cm}^{-1}$  ?
- Présence d'alcynes à 2240  $\text{cm}^{-1}$  ?
- Présence d'amide III à 1280  $\text{cm}^{-1}$  ?
- Présence de composés à base de silicium à 2530, 2145  $\text{cm}^{-1}$  ?
- 1130  $\text{cm}^{-1}$ , pigment polyénique (S.Karampelas, 2007 ; agta-gtc.org, 2005)



**Figure 11 :** Spectre Raman d'un *Corallium rubrum* et d'un *Corallium elabius*. (V.Rolandi & al, 2005)

<sup>27</sup> **Alcyne** : ce sont des hydrocarbures possédant une insaturation caractérisée par la présence d'une triple liaison entre deux atomes de C.

<sup>28</sup> **Cystéine** : c'est un acide- $\alpha$ -aminé naturel qui possède un groupement sulfhydryle ou thiol et qui est présent dans la plupart des protéines, bien que seulement en petites quantités. Sa présence dans des protéines est très importante, notamment parce qu'elle forme des ponts disulfures. Le groupement thiol est très fragile : il s'oxyde très facilement. Son oxydation conduit à la cystine, qui consiste en deux molécules de cystéine unies par un pont disulfure. Une molécule d'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ) est le produit secondaire de la création de chaque molécule de cystine. Un oxydant plus énergique peut oxyder la cystéine sur son soufre en donnant l'acide cystéique, à l'origine de la taurine (produit de décarboxylation, présent dans la bile sous forme de taurocholate).

Type corail	Résultats spectre (cm <sup>-1</sup> )	Liaison caractérisée par spectre	Groupe
Corallium en general	1029 cm <sup>-1</sup> 3100-3600 cm <sup>-1</sup>	- N-H ? - OH ? - H ?	CO <sub>3</sub> (S.Karampelas, 2007) Amides ? H <sub>2</sub> O ? H <sub>2</sub> O ?
Corallium rubrum	534 cm <sup>-1</sup> 542 cm <sup>-1</sup> 610-700 cm <sup>-1</sup> ±1047 cm <sup>-1</sup> 1160 cm <sup>-1</sup> ± 1418 cm <sup>-1</sup> 1400-1600 cm <sup>-1</sup> 1609 cm <sup>-1</sup> 2520-2550 cm <sup>-1</sup> 2873-2887cm <sup>-1</sup> 2900-2914 cm <sup>-1</sup> 2927 cm <sup>-1</sup> 3025-3082 cm <sup>-1</sup>  3430-3450 cm <sup>-1</sup>	C-S-S-C ? C-H ?  C-C?  C=C?  S-H  CH ? ? C-H - C-N-H ? - C-H ? - C=C ?  OH	Amides ? Cysteine ? Alcyne ? Alcenes ?  Alcane ?  Amines ? Sulfures CH <sub>3</sub> ? CH <sub>2</sub> ? CH <sub>3</sub> ?  Anneaux aromatiques ? Liaison aromatique ? protéines ? -OH
Corallium secundum	2873-2890 cm <sup>-1</sup> 2914-2940 cm <sup>-1</sup> 3400-3444 cm <sup>-1</sup>	CH OH	CH <sub>2</sub> ? CH <sub>3</sub> ? -OH?

**Figure 12 :** Tableau récapitulatif des résultats des spectres FTIR pour différentes espèces de Coralliums , tous ne sont pas identifiés avec certitudes.

- en bleu : V.Rolandi & al, 2005
- en rouge : B.Kaczorowska & al, 2003

Si de nombreux pics Raman ne sont pas identifiés avec certitude, deux pics reviennent régulièrement dans les études, ils sont le plus souvent attribués avec erreur aux caroténoïdes (V.Rolandi et al, 2005, B.Kaczorowska et al, 2003) alors que ce sont en réalité les pics signalant les pigments polyèniques : 1130 cm<sup>-1</sup> et 1520 cm<sup>-1</sup> environ. (agta-gtc.org ; S.Karampelas, 2006, 2009).

En matière de coloration, beaucoup de publications évoquent la présence de pigments entrant dans leur coloration : carotène (Bariand et al. 1985), pigments caroténoïdes thermolabiles (J.G Harmelin, 2006), désormais des données de plus en plus précises sur l'origine de la couleur dans les coraux paraissent (Karampelas, 2009) et permettent de mieux cerner l'origine exacte de ces couleurs rouge à orangé, rose. Néanmoins il est désormais acquis que les caroténoïdes ne sont pas responsable des différentes colorations que l'on trouve chez les corallium comme le disent la plupart des publications (S.Karampelas & al, 2006 ; Merlin, J.C. & al. 1985). Les

pigments qui causent la couleur chez ces espèces sont des pigments polyacetyleniques ou polyéniques non substitués.

### **1-III-1-1-2- LES GORGONIA**

On ne trouve pas de description de ces coraux dans les livres de gemmologie. La seule description gemmologique est parue en 1981 dans la revue de l'AFG (Rolandi, 1981). Nous citons :

« L'axe central est simplement corné et sa corde centrale cellulaire est petite mais distincte, moins dense et dure, si bien que ce matériel est parfois creux. La surface montre une certaine subtransparence. Dans la direction centrale, de nombreuses petites lignes sombres visibles sur la figure 13 (environ 0,2mm) sont disposées en rangs longitudinaux sur un fond jaunâtre. Le fond à une structure en partie clepsydre et en partie fibrilleuse. Le squelette est généralement utilisé pour confectionner anneaux et bracelets. »



Figure 13 :Sculptures en Gorgonia.  
(Koral Art Gallery, exclusive caribbean jewelry)

Les quelques données de gemmologie classique proviennent du même article et donne une densité de 1,33 et une plage d'indice entre 1,54 et 1,56. De plus il est fait mention d'une faible lueur verte aux UV longs. (V.Rolandi, 1981).

### **1-III-1-1-3- LES CORAUX BAMBOU : LES GENRES ACANELLA, ISIDELLA, LEPIDISIS, KERATOISIS, CIRCINSIS ET STENISIS**

Il existe peu de données sur ces coraux dans la littérature gemmologique. Les articles sont assez confidentiels et peu cités.

Cette description ne concerne que le genre Keratoisis : le squelette est formé de nodules entièrement cornés dans une masse calcaire non spiculaire, cannelé de rainures dans lesquelles courent des canaux nutritifs. Les nodules cornés sont cassants lorsqu'ils sont secs. Ces deux facteurs en font une matière assez peu résistante, dénommée « corail bambou » (Rolandi,1981).

C'est en 1988 (Brown) que paraît une deuxième description dans The Australian Gemmologist. Elle ne concerne que le genre Lepidisis olapa. La description visuelle recoupe celle effectuée par V. Rolandi en 1981 dans la revue de l'AFG. Néanmoins les propriétés gemmologiques différent assez et sont comparées ci-dessous dans un tableau.

	<u>The Australian Gemmologist</u>		<u>AFG</u>
<u>Espèces</u>	Lepidisis olapa Partie blanche    Partie noire		Keratoisis
<u>Composition chimique</u>	Calcite	Kératine	/
<u>Couleur</u>	Blanche	Noire	/
<u>Dureté</u>	3-4	2-3	/
<u>Fracture</u>	Inégale	Esquilleuse	/
<u>Lustre</u>	Vitreux	Résineux	/
<u>Transparence</u>	Opaque	Translucide	/
<u>Densité</u>	2,70	1,38	2,19
<u>Indice de réfraction</u>	1,63 à 1,65	1,56	1,50 à 1,64
<u>Fluorescence UV</u>	Bleuté	Inerte	Jaune faible

Il fait mention que la partie calcaire est soluble dans l'acide chlorhydrique. (Brown, 1988)

On commence à trouver quelques données sur ces coraux dans la littérature gemmologique, mais c'est surtout dans des revues de biologie animale et même de médecine que sont le plus souvent cités ces coraux. Ainsi, pour déterminer l'espèce ou le genre d'un corail bambou, de nombreux spécialistes s'orientent vers une détermination génétique. Sans compter que ces analyses servent aussi en médecine, puisque ces coraux apparaissent désormais comme une solution envisageable dans les greffes osseuses (NOAA<sup>29</sup>, Ehrlich et al, 2006 ; Smith et al, 2004). Si ces données sont intéressantes, elles restent confinées à des études de laboratoires. Mais depuis quelques années, des études de laboratoire de gemmologie (Rolandi et al, 2005 ; Bocchio et al, 2006) ont été réalisées : les chiffres et les explications sont encore discutés, mais cela apporte quelques éléments de réflexion.

En 2006, l'équipe de R.Bocchio a travaillé sur un échantillon de Keratoisis. Le seul problème de cette étude est l'utilisation de méthodes destructives sur les échantillons.

Ainsi l'utilisation de la diffraction X et de la résonance magnétique nucléaires ont permis d'identifier avec certitude la calcite comme composante principale des nodules calcaires, mais aussi d'identifier une substitution dans la matrice calcaire du carbonate de calcium par du magnésium et des composés organiques (Y.Dauphin, 1999, 2002). De plus l'utilisation de l'ICPMS\* a permis de doser de nombreux éléments traces, mais cela n'est pas d'une grande aide pour l'identification des espèces et l'étude se serait révélée peut-être plus concluante s'il avait été effectué une comparaison entre les différents genres des coraux bambou.

L'étude menée par V.Rolandi menée en 2005 sur des Keratoisis et des Lepidisis avait permis l'identification de la phase calcitique de ces coraux par FTIR : 719 cm<sup>-1</sup> attribué à  $\nu_4$  de la calcite, ainsi qu'une bande que l'on retrouve chez tous les coraux dit calcitiques à 849cm<sup>-1</sup> ( $\nu_2$ ).

En plus de nombreux pics sont attribués à des matières organiques et plus précisément une bande entre 1652-1658 cm<sup>-1</sup> qui pourrait être attribuée à des amides I et pouvant indiquer une structure particulière adoptée par les protéines :  $\alpha$ -hélicoïdal (Dauphin, 2001).

<sup>29</sup> NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration, www.noaa.gov

#### 1-III-1-1-4- LES MELITHAEA

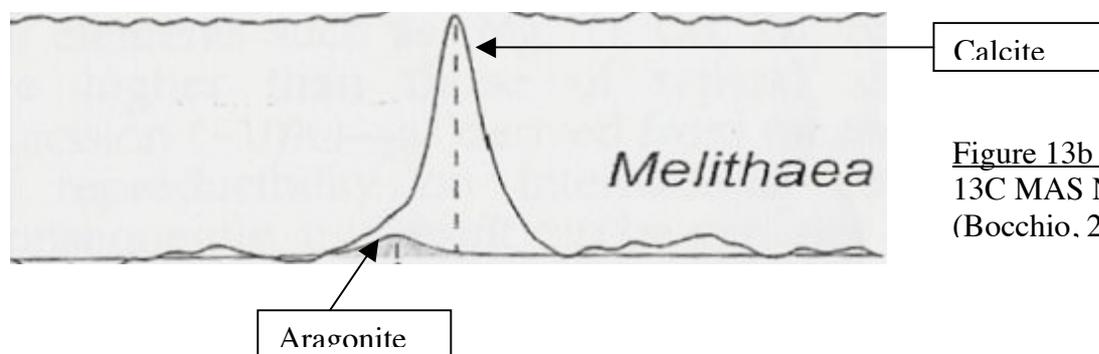
Ce corail, pourtant commercialisé par de nombreux négociants, reste peu décrit dans la littérature gemmologique. Ce corail est connu comme « corail rouge royal ». La surface, en partie lisse, en partie poreuse, est formée de nodules tendres de matériel corné spiculifère, spongieux à nuances jaunâtre, noyé dans une masse inter nodulaire dure, rouge, constituée de spicules calcaires intimement fusionnés. Nodules et espaces inter-nodulaires sont tous deux traversés par des canaux parfois situés autour d'une zone rouge sombre à nombreuses ponctuations jaunâtres et passant au centre de la branche (Rolandi, 1981). Il est originaire des Philippines et de l'océan Indien.

Il est aussi commercialisé sous le terme de « racine de corail » ou encore « corail semi-précieux » (Echange privé avec des négociants allemands chez Ruppenthal KG).

Les trop rares données trouvées dans les ouvrages font mention d'une densité de 2,02. On ne trouve pour ce corail aucune mesure d'indice de réfraction mais la présence d'une réaction pourpre avec présence de zones bleutées et jaunes oranges aux UV (Rolandi, 1981).

Il faut savoir aussi que sa nature poreuse, le rendant fragile, conduit à ce qu'il soit souvent imprégné à cœur de résine époxy, parfois avec un ajout de teinture, permettant de diminuer le contraste jaune rouge des deux parties en présence (Henn, 2006, observation personnelle).

Ce sont des coraux calcitiques : 719 et 849  $\text{cm}^{-1}$  en FTIR (Rolandi et al, 2005), 168,9 ppm en  $^{13}\text{C}$  MAS NMR (Bocchio et al, 2006). Néanmoins, un petit pourcentage d'aragonite fut détecté sous la phase calcitique. C'est ce que présente la figure 13b.



L'étude (Bocchio et al, 2006) a permis en outre de quantifier de nombreux éléments présents par ICPMS dans la structure des coraux comme Li, B, Mg, Ti, V, Cr, Co, Ni, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Cs, Ba, Pb, U, mais ces résultats ne sont que peu utiles pour l'identification de ce corail.

L'étude FTIR de ce corail a permis de visualiser de nombreux pics de matière organique, mais ceux-ci ne sont pas identifiés avec certitude, néanmoins la bande 1652-1658  $\text{cm}^{-1}$  est attribuée à la présence d'amide I (?).

L'étude Raman complète les observations FTIR notamment en ce qui concerne la matière organique et la couleur de ce corail est attribuée à la présence de pigments caroténoïdes (Rolandi, 2005 ; Smith et al, 2007), mais celle-ci est désormais attribuée à la présence de pigments polyéniques (Karempelas, 2009).

#### **1-III-1-1-5- LES EUNICELLA ou EUNICEA**

Ce corail reste très peu décrit dans la littérature gemmologique. Il appartient à la famille des Plexauridae et le squelette corné contient parfois des granules calcaires ; le pied rétractable est fréquemment imprégné de sels calcaires. La surface montre une certaine subtransparence et un éclat gras. Le matériel est très dense. La corde centrale, dure et compacte, n'a pas de cavité centrale. À la périphérie, une série de couches ondulées, plus claires, avec un ton brun jaune, sont disposées en structure concentrique autour de la corde centrale noire. Il est utilisé en bracelets et anneaux, mais moins fréquemment que Gorgonia. La densité va de 1,33 à 1,35 et la plage d'indice de 1,54 à 1,55. Il est aussi fait mention d'une lueur verte voire jaunâtre aux UV (Rolandi, 1981)

Aucune donnée de gemmologie de laboratoire n'a été trouvée. Par contre des analyses Raman et FTIR ont été menées sur des Eunicea mais dans le cadre de recherches médicales (Carballeira et al, 1996, 1997 ; Iguchi et al, 2001)

Il semblerait qu'il existe un problème de taxonomie sur ces genres : en effet dans la famille des Plexauridae, il n'existe que des Eunicea et pas d'Eunicella. Les Eunicella sont parfois cités comme appartenant à la famille des Gorgoniidae. Or dans de nombreuses banques de données taxonomiques, il n'existe pas toujours d'Eunicella dans cette famille. Par contre dans la littérature gemmologique on parle d'Eunicella appartenant à la famille des Plexauridae (Rolandi, 2005). Nous avons donc choisi de parler des Eunicea sachant que dans tous les cas Eunicea ou Eunicella sont des gorgones.

#### **1-III-1-1-6- LES PLUMARELLA**

Il n'existe quasiment aucune donnée sur ce corail mais il est fait mention d'une densité de 1,37 et d'une plage d'indice de 1,53 à 1,55. Néanmoins aucune description n'est disponible (Rolandi, 1981).

Aucun article ne fait mention de mesure effectuée en laboratoire et aucune donnée n'est donc disponible

#### **1-III-1-1-7- LES SIPHONOGORGIA**

Nous n'avons pu trouver aucune donnée gemmologique valable sur ce corail. Les seules explications viennent d'un article de 2006 mais en fait de Siphonogorgia, la description gemmologique est celle d'un Melithaea.

« Ce corail se trouve en Bijouterie sous le terme de « APFELKORALL E », il proviendrait en outre des Philippines. Il est décrit comme extrêmement poreux, avec une couleur rouge brunâtre. Sa porosité lui permet d'être couramment teinté et il est toujours résiné » (Henn, 2006). Ces données sont fausses, il se réfère en fait à un Melithaea Ochracea.

#### **1-III-1-1-8- LES CORAUX DORES (FAMILLE DES PRIMNOIDAE) : LES GENRES NARELLA, CALLOGORGIA, CALYPTROPHORA**

Très peu d'information est disponible, il est toutefois fait mention d'un corail d'or corné pêché en Polynésie française (Bariand et al, 2004). Aucune autre donnée n'a pu être trouvée.

## **1-III-1-2- L'ORDRE DES STOLONIFERA**

### **1-III-1-2-1- LES TUBIPORA**

#### **CE CORAIL EST ACTUELLEMENT SOUMIS AUX DISPOSITIONS DE LA CITES QUI INTERDISENT SON COMMERCE.**

Ce corail est connu comme « corail en tuyau d'orgue » (organ-pire coral ; Orgelkorall). Il est formé de nombreux petits tubes cylindriques parallèles les uns aux autres, assemblés par une série de plaques transversales. La substance corallienne solide ou corail comporte de nombreux petits trous ou pores, résultant de la fusion incomplète des spicules. C'est pourquoi il est cassant. Il fut utilisé dans les temps très anciens en Egypte pour faire de petites perles ornementales et fut dénommé « Batu Swangi » ou « pierre des magiciens » par les Malais (Rolandi, 1981), a une densité de 2,75 et une lueur violette-pourpre aux UV. C'est un corail calcitique.

Ce corail est le plus souvent résiné (F.Notari, communication personnelle, 2007).

Un échantillon de Tubipora, a été analysé dans une étude de 2005 (Rolandi et al, 2005) mais aucun résultat spécifique à ce genre de corail n'a été donné. La couleur rouge est elle attribuée aux pigments caroténoïdes. Il est désormais acquis que celle-ci est due à des pigments polyéniques (Karampelas, communication personnelle).

## **1-III-1-3- L'ORDRE DES ANTIPATHARIA**

### **1-III-1-3-1- LES CORAUX NOIRS : LES ANTIPATHES**

#### **CE CORAIL EST ACTUELLEMENT SOUMIS AUX DISPOSITIONS DE LA CITES QUI INTERDISENT SON COMMERCE.**

Ces coraux figurent dans les livres de gemmologie sous le terme de corail noir. Ils font partie des coraux qui ont eu une utilisation joaillière assez intense car ils sont aisés à travailler et le rendu qui en résulte est satisfaisant. Ils figurent parmi les gemmes organiques qui continuent d'être vendues et utilisées bien que la convention de Washington<sup>30</sup> s'y oppose. On trouve assez peu d'informations sur ces coraux dans les livres destinés aux gemmologues et assez peu d'études concernent ces espèces. Voici ce que donnent trois ouvrages de gemmologie au sujet de ces coraux (figure 14).

---

<sup>30</sup> Convention de Washington : La Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction, connue par son sigle CITES ou encore comme la Convention de Washington, est un accord international entre Etats. Elle a pour but de veiller à ce que le commerce international des spécimens d'animaux et de plantes sauvages ne menace pas la survie des espèces auxquelles ils appartiennent. [www.cites.org](http://www.cites.org)

	Bariand et al, 1985	Lulzac, 2003	Shumann, 1999
Description	Corail a l'exosquelette organique principalement kératinisé	Matière organique apparaît de couleur rouge acajou en minces esquilles avec une structure radiée ou en stries parallèles n : voisin de 1,56	Provient du squelette corné externe d'une espèce particulière
Densité	d : 1,35	d : 1,35	/
Dureté	Dureté : 2,5	Dureté : 2,5	/
Divers	Interdit de pêche	Variété de coralliaire à exosquelette corné kératineux, non-carbonaté	Interdit de pêche, sans signification commerciale

Figure 14 : tableau comparatif des données sur le corail noir.

Si certains aspects de ces coraux permettent de les identifier assez clairement, il faut se méfier des traitements et des confusions avec d'autres matières comme le jais ou encore d'autre matière organique teintée comme l'os...

#### Etude, composition

Au regard de l'intérêt croissant pour ces matériaux, des études paraissent et permettent de compléter le peu d'informations que l'on trouve dans les ouvrages de gemmologie. Comme cela a été dit plus haut, ces coraux sont décrits comme étant des coraux kératineux, autrement dit constitués de protéines sans matrice calcaire.

Leur squelette est formé d'une protéine à base de soufre appelée Antipathine (Brown, 1977). La plupart des informations sur ces coraux proviennent de revues médicales, car ces coraux se révèlent riches en informations pour la création de nouveaux médicaments.

L'étude menée par B. Kaczorowska et al. en 2003, même si elle est à prendre avec prudence en ce qui concerne l'attribution de certains pics, permet déjà de revoir certaines informations données par d'anciens ouvrages de gemmologie.

On savait ce corail, différent en composition par rapport aux coraux utilisés traditionnellement en bijouterie et cette étude confirme déjà cela. Si pendant longtemps on pouvait lire que ces coraux étaient entièrement protéiniques et sans matière calcaire, il n'en est rien : l'étude révèle la présence, certes minime, mais bien réelle, d'aragonite avec de faibles pics à 700, 877 et 1487  $\text{cm}^{-1}$  visibles en FTIR. L'étude attribue d'autres pics à la présence de :

- Amide ou double liaison carbone C=C à 1678, 1680, 3070, 3323  $\text{cm}^{-1}$  ?
- Liaison d'un cycle aromatique C=C entre 1470 et 1625  $\text{cm}^{-1}$  et à 3070  $\text{cm}^{-1}$  ?

L'analyse Raman semble donner de nombreuses autres informations, d'une part elle confirme la présence en grande quantité de matière organique, et d'autre part les auteurs de l'étude attribuent ces nombreux nouveaux pics aux composants suivants :

- Amines à 3400 et 2650  $\text{cm}^{-1}$  ?
- Alcènes à 2950  $\text{cm}^{-1}$  ?
- Alcyne à 2250  $\text{cm}^{-1}$  ?
- Amides à 1530  $\text{cm}^{-1}$  ?
- Des composés riches en silicium (polymères organiques) à 1125, 2550, 2150  $\text{cm}^{-1}$  ?

Cette analyse semble plutôt intéressante car elle permet de visualiser la présence de matière organique non visible en FTIR. Les auteurs suggèrent qu'il existe du  $\beta$ -carotène présent dans la matière organique. Or il est définitivement admis que l'on ne trouve pas de carotène dans les coraux. Cela permet en outre de différencier et de confirmer la présence d'aragonite en faible quantité dans ces coraux (Raman : 1130 et 1519  $\text{cm}^{-1}$ )

Les auteurs de l'étude ont testé les échantillons analyse chimique (EDAX<sup>31</sup>) et cela leur a permis de détecter la présence de carbone, oxygène, sodium et silicium. Le corail noir contient lui en plus et en grande quantité, d'azote et un fort taux de carbone.

#### **1-III-1-4 L'ORDRE DES SCLERACTINIA (MADREPORARIA)**

##### **1-III-1-4-1- LES ACROPORA**

#### **CE CORAIL EST ACTUELLEMENT SOUMIS AUX DISPOSITIONS DE LA CITES QUI INTERDISENT SON COMMERCE.**

Il existe peu de description sur les Acropora dans la littérature gemmologique. C'est une matière difficile à polir et par suite non utilisable comme gemme. Le corallite axial des branches est plus grand que les nombreux corallites l'entourant radialement, ce qui apparaît en section transversale (Rolandi, 1981). Sa densité est de 2,62 et il présente une lueur blanc-violet aux UV longs.

Défini dans l'étude de 1981 comme non utilisable comme gemmes, celui-ci est toutefois réétudié lors de deux études appelées « Gem corals », paru dans « the Australian Gemmologist » (Rolandi et al ,2005 ; Bocchio et al, 2006)

Un complément d'information est donné en 2006 par Henn, où il indique que ce corail appelé aussi « steinkoralle » est souvent teinté en bleu et en rouge pour imiter d'autres coraux et le plus souvent imprégné à cœur de résine, car poreux (Henn, 2006).

Les Acropora sont des coraux aragonitiques : les analyses FTIR montrent toute une série de pics : 844  $\text{cm}^{-1}$  et de 856 à 860  $\text{cm}^{-1}$ . Le doublet de l'aragonite est visible à 700 et 713  $\text{cm}^{-1}$ . De plus l'équipe a attribué deux séries de pics à la présence de dolomite (Calcite avec Mg) : 2918-2921  $\text{cm}^{-1}$  et 2850-2854  $\text{cm}^{-1}$  (Jones et Jackson, 1993 repris par Rolandi et al, 2005). Enfin de nombreux pics sont attribués à la matière organique, mais ceux-ci ne sont pas renseignés typiquement pour les Acropora : l'équipe attribue ces nombreux pics à la présence de différents composants de la matière organique (amide, amine, liaison N-H, liaison OH, sucres, alcyne ; Rolandi et al, 2005). Quant à l'étude Raman, elle confirme la présence de matière organique et confirme la structure aragonitique : le doublet est visible à 699 et 705  $\text{cm}^{-1}$ . Des pics sont visibles en dessous de 500  $\text{cm}^{-1}$  et sont attribués à d'autres formes de carbonate (Rolandi, 2005).

---

<sup>31</sup> EDAX : analyse par dispersion d'énergie de rayons X secondaires

### 1-III-1-4-2- LES EUPHYLIA

#### CE CORAIL EST ACTUELLEMENT SOUMIS AUX DISPOSITIONS DE LA CITES QUI INTERDISENT SON COMMERCE DEPUIS LA 1/08/1985.

Il n'existe pas de description de ces coraux dans la littérature gemmologique. Les seules trouvées remontent à 2005 et à 2006, dans la série d'articles « Gem Corals » (Rolandi et al, 2005 ; Bocchio et al, 2006).

Le squelette est blanc et ce sont des coraux aragonitiques. Il semble que de nombreux pics FTIR et Raman de matières organiques apparaissent mais ceux-ci ne sont pas renseignés dans les études pour ce genre (Rolandi et al, 2005).

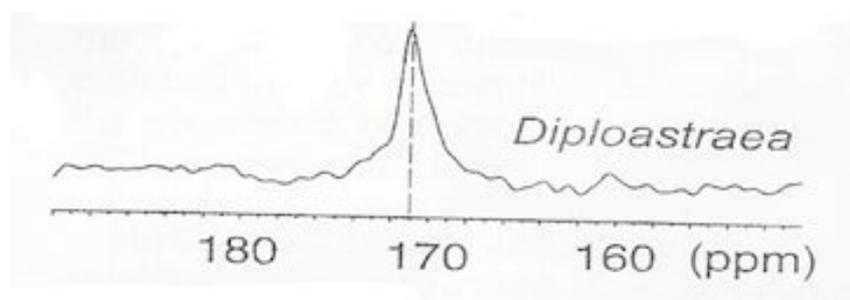
### 1-III-1-4-3- LES DIPLOASTREA

#### CE CORAIL EST ACTUELLEMENT SOUMIS AUX DISPOSITIONS DE LA CITES QUI INTERDISENT SON COMMERCE DEPUIS LE 18/01/1990.

Ce corail présente un grand nombre de calices, le plus souvent de forme circulaire, parfois un peu déformés, comportant des dentelures relativement larges qui constituent la surface qui se travaille et se polit bien. Une section transversale montre le passage des calices à un long canal qui ressemble à ceux du genre *Heliopora*. De structure en cocarde près des calices, la périthèque<sup>32</sup> se transforme plus loin en une série de couches plus ou moins fines. Sa densité est de 2,64 et il présente une légère lueur violette aux UV longs (Rolandi, 1981).

C'est un corail aragonitique (FTIR, Raman). Certains pics sont attribués à de la dolomite<sup>33</sup> (Jackson et Jones, 1993 repris par Rolandi et al, 2005). Enfin de nombreux pics de matières organiques sont visibles, mais ne sont pas clairement renseignés pour ce genre (FTIR, Raman).

Les analyses complémentaires effectuées par l'équipe Bocchio et al en 2006, ont complété les précédents résultats, mais les analyses ont été destructives (analyse NMR, figure 15). Elles ont permis de doser de nombreux éléments trace. Elles sont toutefois peu utiles aux gemmologues pour l'identification.



**Figure 15 :** Spectre d'un *Diploastrea* <sup>13</sup>C MAS NMR, identifiant la phase aragonitique à 170 ppm. (Bocchio et al, 2006)

<sup>32</sup> Périthèque : forme particulière d'exothèque, partie extérieure de la thèque.

<sup>33</sup> Dolomite : (Ca, Mg) CO<sub>3</sub>

#### **1-III-1-4-4- LES HELIOFUNGIA**

##### **CE CORAIL EST ACTUELLEMENT SOUMIS AUX DISPOSITIONS DE LA CITES QUI INTERDISENT SON COMMERCE DEPUIS LE 18/01/1990.**

Son squelette est décrit comme blanc avec des zones translucides et une grande porosité. C'est un corail aragonitique et de nombreux pics de matières organiques sont référencés. Néanmoins les résultats donnés ne sont pas spécifiques pour ce genre de corail. Les analyses Raman, FTIR et NMR (Bocchio et al, 2006) confirment la phase aragonitique et la matière organique.

Néanmoins, il semble y avoir des confusions entre deux genre de la famille des Fungiidae : le genre Heliofungia et le genre Fungia.

#### **1-III-1-4-5- LES FUNGIA**

##### **CE CORAIL EST ACTUELLEMENT SOUMIS AUX DISPOSITIONS DE LA CITES QUI INTERDISENT SON COMMERCE DEPUIS LE 08/01/1985.**

Il existe deux descriptions dans la littérature gemmologique. On différencie trois zones visibles en surface : la zone supérieure brune et opaque, la zone centrale gris blanc, très poreuse et la zone inférieure blanche et subtransparente, formée d'une substance corallienne compacte constituant la « thèque<sup>34</sup> » de la cupule corallienne<sup>35</sup>. À la limite entre les zones supérieure et centrale, lobée, se trouve une petite couche brune discontinue (Rolandi, 1981 ; Rolandi et al, 2005).

Sa densité est de 2,78, sa plage d'indice de 1,520 à 1,650 et il présente une lueur blanc bleuâtre aux UV longs (Rolandi et al, 1981).

C'est un corail aragonitique ; de nombreux pics de matières organiques sont distincts, mais ceux-ci ne sont pas clairement renseignés pour ce genre (Rolandi et al, 2005).

#### **1-III-1-4-6- LES HERPOLITHA**

##### **CE CORAIL EST ACTUELLEMENT SOUMIS AUX DISPOSITIONS DE LA CITES QUI INTERDISENT SON COMMERCE DEPUIS LE 18/01/1990.**

Il existe peu de description de ces coraux dans la littérature gemmologique, néanmoins il est décrit comme un corail possédant une forme typiquement allongée. Au milieu de la surface supérieure, les cloisons semblent rayonner d'un grand nombre de centres différents, disposés dans une rainure marquée. Il se polit bien. La surface est légèrement subtransparente et montre une série de raies légèrement parallèles ayant la disposition des cloisons. Sa densité est de 2,40, sa plage d'indice de 1,520 à 1,650 et il présente une lueur blanc-violet aux UV longs (Rolandi, 1981).

---

<sup>34</sup> Thèque : enveloppes de compositions variables, présentes chez de nombreux organismes.

On parle de thèques en médecine, botanique, mycologie et zoologie.

<sup>35</sup> Cupule : sorte de coupe qui entoure la fleur ou le fruit de certains végétaux. Peut-être utilisé en zoologie.

C'est un corail aragonitique. Lors d'une étude en 2005, les analyses Raman et FTIR ont permis de définir la phase aragonitique ainsi que de nombreux pics de matières organiques, mais ceux-ci ne sont pas renseignés spécifiquement pour ce genre (Rolandi et al, 2005).

#### **1-III-1-4-7- LES CYNARINA**

**CE CORAIL EST ACTUELLEMENT SOUMIS AUX DISPOSITIONS DE LA CITES QUI INTERDISENT SON COMMERCE DEPUIS LE 18/01/1990. (Quotas de 7250 spécimens vivants mais avis scientifique défavorable)**

Aucune description précise n'a pu être trouvée sur ces coraux, mais ils font partie des échantillons étudiés par Rolandi et Bocchio (Rolandi et al, 2005 ; Bocchio et al, 2006).

Ce sont des coraux aragonitiques (Rolandi et al, 2005). De nombreux pics de matières organiques (FTIR, Raman) ont été observés, mais ceux-ci ne sont pas forcément renseignés pour ce genre.

Bocchio et ses collègues (2006) ont permis de quantifier un certain nombre d'éléments traces présents dans la structure des coraux (lithium, bore, magnésium, titane, chrome, cobalt, zinc, strontium...) mais les analyses ont été destructives pour les coraux.

#### **1-III-1-4-8- LES MADREPORA**

**CE CORAIL EST ACTUELLEMENT SOUMIS AUX DISPOSITIONS DE LA CITES QUI INTERDISENT SON COMMERCE DEPUIS LE 18/01/1990.**



Figure 16 : Madrepora oculata (NOAA)



Figure 17 :  
Madrepora oculata,  
800m  
(divediscover.whoie  
du)

Dans la littérature gemmologique, l'espèce oculata, est la plus citée.

Ce corail est connu sous la dénomination « corail blanc méditerranéen », il est subtransparent, et se polit bien. Une section transversale montre de nombreuses bandes rayonnantes issues d'un noyau central. Une structure secondaire, plus ténue, est constituée de lignes circulaires concentriques. Quelques fines rayures (d'une longueur de 0,1mm) sont disposées parallèlement aux branches. Sa densité est de 2,71, sa plage d'indice de 1,500 à 1,650. De plus il montre une lueur blanc-bleuâtre aux UV longs (Rolandi, 1981).

C'est un corail calcitique : Les analyses FTIR (figure 18) donnent les résultats :

- Doublet  $\nu_2$  à 878-876  $\text{cm}^{-1}$  puis 848-849  $\text{cm}^{-1}$
- $\nu_3$  à 1468  $\text{cm}^{-1}$
- $\nu_4$  à 718  $\text{cm}^{-1}$

De nombreux pics de matières organiques sont visibles. Certains sont renseignés pour ce genre, mais les attributions sont encore soumises à discussion :

- 930  $\text{cm}^{-1}$  attribué à OH (?)
- 1734  $\text{cm}^{-1}$  attribué à COOH combiné soit à l'acide aspartique ou aux modes vibrationnels de la calcite (?)
- 2520  $\text{cm}^{-1}$  attribué au soufre dans la liaison S-H (?) (Rolandi et al, 2005)
- 2982 et 2872  $\text{cm}^{-1}$  attribués aux composés organiques aliphatiques (?)
- 3045 et 3073  $\text{cm}^{-1}$  attribués à la liaison C-H des cycles aromatiques (?)
- De plus l'étude mentionne un pic vers 2980  $\text{cm}^{-1}$  attribué à la liaison OH ainsi qu'une bande très large vers 3400  $\text{cm}^{-1}$  attribuée soit à la liaison NH des amide dans la molécule  $\text{H}_2\text{O}$ .

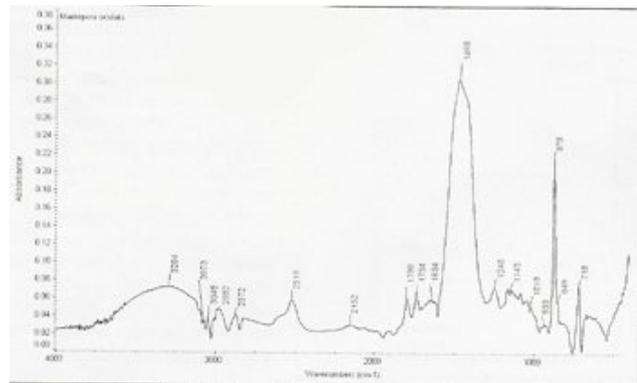


Figure 18 : spectre FTIR d'un Madrepora oculata (Rolandi et al, 2005)

Les analyses Raman semblent confirmer les analyses FTIR, du moins pour la phase calcitique et pour la présence de matière organique.

Comme tous les coraux calcitiques, les analyses en diffraction X montrent une substitution dans le squelette en  $\text{CaCO}_3$  par des ions d'un volume plus petit comme du magnésium :  $\text{Mg}^{2+}$  (Bocchio et al, 2006).

### **1-III-1-4-9- LES CYATHELIA**

#### **CE CORAIL EST ACTUELLEMENT SOUMIS AUX DISPOSITIONS DE LA CITES QUI INTERDISENT SON COMMERCE DEPUIS LE 18/01/1990.**

Ce corail est connu sous la dénomination de « corail blanc japonais ». C'est une matière opaque, à l'aspect de céramique. De fines rayures longitudinales sont nettement perceptibles. Une très fine structure concentrique, formée de couches alternativement blanches et roses, très pales, peut s'observer en section transversale. Quelques petites ponctuations rose-orangé sont clairsemées en surface. Sa densité est de 2,65 et sa plage d'indice de 1,500 à 1,640. De plus une lueur blanc bleuâtre est détectée aux UV longs (Rolandi, 1981).

C'est un corail calcitique, de nombreux pics FTIR de matières organiques sont visibles et certains sont renseignés pour ce genre, mais ces attributions sont encore soumises à discussion (Rolandi et al, 2005) :

- 2918-2921 et 2850-2854  $\text{cm}^{-1}$  attribués à de la dolomite (Jones et Jackson, 1993) (?)
- 2959  $\text{cm}^{-1}$  attribué à la vibration symétrique de C-H dans la molécule  $\text{CH}_3$  des composés organiques aliphatiques (?)
- 2520-2588  $\text{cm}^{-1}$  attribués aux vibrations du Soufre dans la liaison S-H
- 552  $\text{cm}^{-1}$  attribué à la liaison C-S-S-C (?)

Les analyses Raman complètent ces résultats et confirment la présence de matières organiques diverses. Des analyses complémentaires (figure 19) ont été effectuées par Bocchio et al en 2006, elles confirment les analyses de Rolandi et al, 2005.

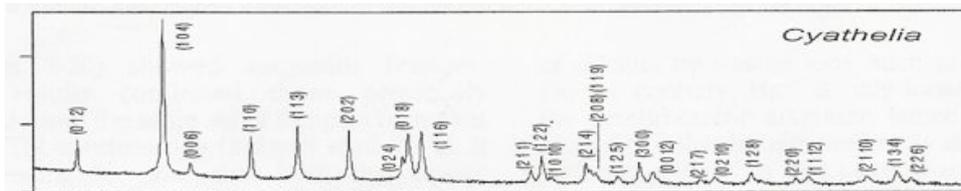


Figure 19 : Spectre représentatif d'une diffraction X de corail calcitique : le genre *Cyathelia* (Bocchio et al, 2006)

#### **1-III-1-4-10- LES POCILLOPORA**

**CE CORAIL EST ACTUELLEMENT SOUMIS AUX DISPOSITIONS DE LA CITES QUI LIMITENT SON COMMERCE DEPUIS LE 01/08/1985. (Avis scientifique favorable)**

La surface présente une légère subtransparence. Les calices (de l'ordre du mm), très nombreux, très proches les uns des autres, dentelés, n'ont que des cloisons rudimentaires : entre quatre grandes cloisons associées aux deux cloisons primitives, alternent six petites autres. Quelques zones ont une couleur brune due à la présence d'oxydes. Il est fait mention d'une densité de 2,55, d'une plage d'indice de 1,52 à 1,65 et d'une faible lueur blanc violacé aux UV longs (Rolandi, 1981).

Ce sont des coraux aragonitiques (FTIR+ Raman), ils montrent de nombreux pics de matière organique, dont certains (FTIR) sont renseignés pour ce genre : -2918-2921 et 2850-2854  $\text{cm}^{-1}$  attribués à la présence de Dolomite (?) (Jones et Jackson, 1993 repris par Rolandi et al, 2005).

Les analyses Raman confirment la présence de matière organique, mais les attributions restent soumises à discussion et aucun pic n'est renseigné pour ce genre.

#### **1-III-1-4-11- LES SERIATOPORA**

**CE CORAIL EST ACTUELLEMENT SOUMIS AUX DISPOSITIONS DE LA CITES QUI LIMITENT SON COMMERCE DEPUIS LE 08/01/1985**

La seule description gemmologique trouvée date de 1981 : la surface se polit bien, mais elle est opaque. Les calices, très petits, sont disposés en séries longitudinales le long des branches. La section transversale montre une structure radiée due à de nombreux tubes divisés en chambre, dont l'extrémité atteint la surface pour former un calice. Ce corail est solide car aucune communication n'existe entre les chambres d'une série à une autre (Rolandi, 1981). L'auteur reprendra cette description dans un article de 2005 (Rolandi et al, 2005).

Sa plage d'indice de réfraction va de 1,52 à 1,650, sa densité est de 2,73 et il présente une légère lueur violette aux UVL (Rolandi, 1981).

C'est un corail aragonitique (Rolandi et al, 2005). De nombreux pics FTIR et Raman sont renseignés dans l'étude de Rolandi et al, 2005 mais aucun n'est précisément renseigné pour ce genre.

#### **1-III-1-4-12- LES STYLOPHORA**

**CE CORAIL EST ACTUELLEMENT SOUMIS AUX DISPOSITIONS DE LA CITES QUI LIMITENT SON COMMERCE DEPUIS LE 08/01/1985**

C'est un corail aragonitique, mais aucune description gemmologique n'a été trouvée (Rolandi et al, 2005)

#### **1-III-1-4-13- LES PORITES**

**CE CORAIL EST ACTUELLEMENT SOUMIS AUX DISPOSITIONS DE LA CITES QUI LIMITENT SON COMMERCE DEPUIS LE 18/01/1990**

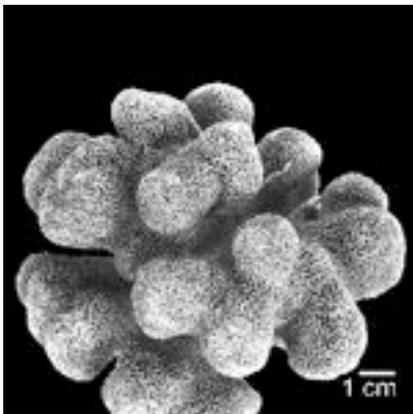


Figure 20 : détail d'une colonie de Porites Porites, St-Thomas, Antilles (eusmillia.geology.uiowa.edu)

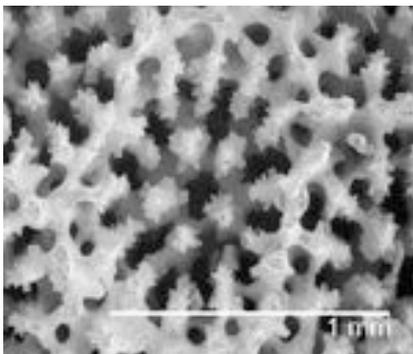


Figure 21 : Détail structure Porites (eusmillia.geology.uiowa.edu)

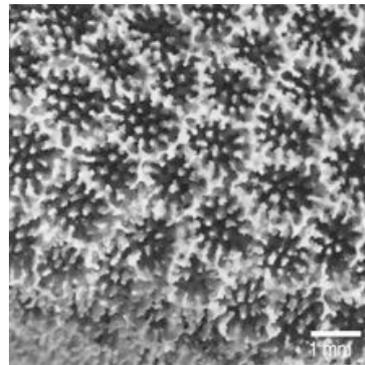


Figure 22 : Détail structure Porites, Caraïbes. (eusmillia.geology.uiowa.edu)

On visualise en surface un nombre considérable de petits calices pentagonaux limités par des cloisons thèques, sans présence de coenosteam<sup>36</sup>. La substance est poreuse. Elle n'est utilisée que pour fabriquer de petits cylindres artificiellement colorés, destinés à constituer des bracelets (Rolandi,1981). Cette description est reprise en 2005 (Rolandi et al, 2005).

<sup>36</sup> Coenostreum : synonyme de exothèque, désigne la matrice du squelette.

Néanmoins les photos de structures trouvées semblent plutôt montrer un agencement hexagonal (figure 22)

Il est fait mention d'une densité de 2,37 et d'une lueur violette aux UVL.

Ce sont des coraux aragonitiques, mais aucune donnée précise n'est renseignée sur ce genre (Rolandi et al, 2005).

Ce corail est cité dans un article de U.Henn en 2006, où il est précisé que ce sont des coraux extrêmement poreux, qui sont très souvent imprégnés de résine et qui sont vendus sous le terme de « Tiger Coral ». Cette attribution est incorrecte et sera expliquée dans le chapitre III.

#### **1-III-1-4-14- LES ALVEOPORA**

#### **CE CORAIL EST ACTUELLEMENT SOUMIS AUX DISPOSITIONS DE LA CITES QUI LIMITENT SON COMMERCE DEPUIS LE 18/01/1990**

La seule description trouvée est celle donnée par Bocchio et al en 2006. Elle correspond à la description générale de tous les échantillons de l'étude à savoir qu'ils possèdent tous un squelette entièrement calcaire sans matière organique, pouvant être coupé, taillé et poli (Bocchio et al, 2006).

Ce sont des coraux aragonitiques (Bocchio et al, 2006).

#### **1-III-1-4-15- LES TRACHYPHYLLIA**

#### **CE CORAIL EST ACTUELLEMENT SOUMIS AUX DISPOSITIONS DE LA CITES QUI LIMITENT SON COMMERCE DEPUIS LE 18/01/1990**

C'est un corail aragonitique. Aucune description n'a pu être trouvée dans la littérature gemmologique sauf qu'il possède un squelette complètement calcaire qui se coupe, se taille et se polit bien (Bocchio et al, 2006).

#### **1-III-1-5- L'ORDRE DES ZOANTHIDEA (ZOANTHINARIA)**

#### **1-III-1-5-1 LES GERARDIA (CORAIL DORE)**

#### **INSCRIPTION DE CE GENRE EN ANNEXE II DE LA CONVENTION DE BERNE « ANIMAUX STRICTEMENT PROTÉGÉS ».**

**Soumis à autorisation dans le cadre de la EEZ et du WESTPAC à Hawaï.**



Figure 23 : Exemple d'une bague avec une incrustation de corail doré (Gerardia sp.) (Maudivers.com)

Au plan purement gemmologique, il faut savoir que ce corail est complètement confidentiel sur le marché. Entre autres parce que, au-delà de sa protection par la Convention de Berne, ce

corail qui est aussi pêché à Hawaii, est soumis à un contrôle strict par le Ministère de La Pêche des Etats-Unis. Actuellement, seulement 3% des plans de Gerardia découverts peuvent être pêché annuellement.

Il possède une couleur assez typique brun jaune comme le montre la figure 23, avec un effet chatoyant à sa surface que l'on ne retrouve pas dans le corail noir ou dans le corail noir blanchi pour l'imiter (Maudivers.com).

Une description date de 1981 : il est connu sous le nom incorrect de corail noir Méditerranéen. Une section transversale montre une série de lamelles concentriques cornées et noires, fermement cimentées ensemble (plus que dans Antipatharia). Au centre des branches se trouve un noyau fibreux jaunâtre qui est une tige de Gorgonarian (Paramuricea) recouverte par Gerardia au début de sa croissance. La surface du squelette se lisse bien, mais reste granuleuse par suite de la présence de nombreuses petites protubérances percées. Sa densité est de 1,42, sa plage d'indice de 1,56 à 1,57 et il présente une lueur jaune violette verdâtre aux UVL (Rolandi, 1981). C'est aussi un corail invasif qui peut se greffer naturellement sur le corail noir (noaa.org).

### **1-III-1-6-L'ORDRE DES COENOTHECALIA-HELIOPORA**

#### **1-III-1-6-1- LE CORAIL BLEU : HELIOPORA COERULEA.**

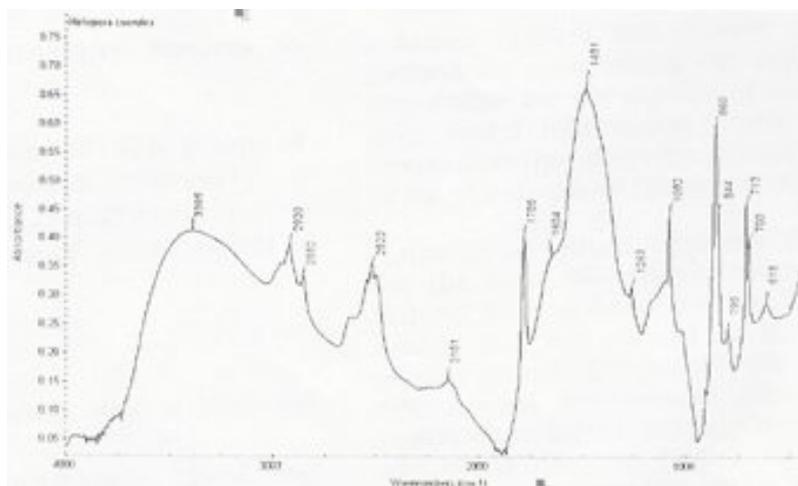
**CE CORAIL EST ACTUELLEMENT SOUMIS AUX DISPOSITIONS DE LA CITES QUI INTERDISENT SON COMMERCE.**

Une première description en français de ce corail se trouve dans un article de Vanda Rolandi, en 1981 dans la revue de l'AFG où celle-ci donne une description succincte de cette espèce ainsi qu'une estimation de sa densité (2,46) et une réaction bleue au UV.

Il est signalé que ce corail est désormais protégé et ne doit plus être pêché (Bariand et Poirot, 1985).

Désormais, l'engouement pour le corail a permis le développement d'études de façon à essayer de mieux comprendre et de mieux connaître ces différentes espèces. On trouve donc quelques renseignements dans des articles récents bien que la plupart des explications restent discutées.

C'est un corail aragonitique (Rolandi et al. 2005), et certains pics FTIR (figure 24) semblent pouvoir être attribués à la présence de dolomite : 2852 et 2920  $\text{cm}^{-1}$  ? (Jones et Jackson, 1993)



**Figure 24 :**  
Spectre FTIR  
d'un Heliopora  
Coerulea.  
(V.Rolandi et al,  
2005)

Dans cet article, il est fait mention de la présence de composés aliphatiques (2850cm<sup>-1</sup>), de sulfures (2520 cm<sup>-1</sup>), d'amides I (1650 cm<sup>-1</sup>). L'attribution de ces pics reste encore débattue à l'heure actuelle.

Contrairement à ce qui est souvent écrit, la coloration de ce corail n'est pas due à la présence de caroténoïdes mais à la présence d'un pigment biliaire, l'hélioporobiline (Fox, 1979, Fritsch, E. and Rossman, G, 1988)

## **1-III-2- LES HYDROZOAIRE**

### **1-III-2-1 -L'ORDRE DES ANTHOATHECATAE**

#### **1-III-2-1-1- LES STYLASTER (ALLOPORE)**

#### **CE CORAIL EST ACTUELLEMENT SOUMIS AUX DISPOSITIONS DE LA CITES QUI LIMITENT SON COMMERCE DEPUIS LE 18/01/1990**

C'est un genre de corail qui fut beaucoup utilisé en bijouterie. De nombreuses descriptions dans les ouvrages de gemmologie sont donc disponibles. Il est fait mention dans le Larousse des Pierres Précieuses, de l'Allopoire du Cap de Bonne-Espérance ; toutefois ce corail appelé aussi « corail étoilé » semble très poreux et donc doit être résiné à cœur. Il est parfois coloré artificiellement (Bariand et al, 1998).

La plus grande description d'échantillons est donnée par Rolandi (1981), malgré une différenciation malheureuse en Stylaster et Allopoire. Il s'agit en fait du même genre.

Le Stylaster possède un squelette, de couleur rose orangé avec une certaine quasi-transparence et se polit bien. Quelques pores disposés circulairement (cyclo-système) se manifestent en surface. Ils y forment un léger relief et comportent de nombreuses cloisons disposées radialement qui évoquent les « septa » des Madrépores<sup>37</sup>. Lorsqu'ils sont proéminents, ils sont de même dénommés calices, bien qu'il n'y ait aucune analogie avec les calices des Madrépores. Dans chacun de ces calices, un gastropore se trouve en position centrale et dix dactylopores ou plus l'entourent circulairement. Chaque pore comporte un style tuberculé auquel le genre doit son nom (les dactylopores ont une forme étoilée). Sa densité est de 2,60, sa plage d'indice est de 1,50 à 1,65 et il présente une lueur rose violacée avec les cyclo-systèmes blanchâtres aux UVL (Rolandi, 1981).

Pour les Allopora, la description concerne un corail étoilé du Cap de Bonne-Espérance : le matériel est orange, rouge et violet avec une passée<sup>38</sup> blanche irrégulière centrale. Comme dans le genre Stylaster, quelques pores sont assemblés en surface selon des systèmes cycliques montrant un gastropore central entouré d'un nombre variable de dactylopores. Ces systèmes cycliques, quoique nommés « calices », ne sont pas aussi en relief que dans le genre Stylaster. Il est fait mention d'une densité de 2,48, d'une plage d'indice allant de 1,52 à 1,649, et de la présence d'une réaction jaune dans les zones blanches et pas dans les zones colorées (Rolandi, 1981).

Ces coraux sont décrits plus précisément par Rolandi et al (2005). Entre autres, des résultats FTIR (figure 25) indiquent que les Stylaster sont calcitiques mais un spectre d'Allopoire confirme la phase aragonitique, ainsi que la présence de matière organique (l'attribution des pics reste soumise à discussion):

---

<sup>37</sup> Madrepore : animal coelété bâtitteur de récifs coralliens, qui appartient à la sous-classe d'une famille de cnidaires hexacoralliaires.

<sup>38</sup> Passée : ici, désigne un petit canal de vascularisation

- Des composés organiques aliphatiques à 2850 et 2985  $\text{cm}^{-1}$  ?
  - La vibration des sulfures S-H à 2520 et 2625  $\text{cm}^{-1}$  ?
  - Le pic des Amides I, avec probablement l'indication d'un forme cristalline  $\alpha$ -hélicoïdale à 1650  $\text{cm}^{-1}$  ?
  - La vibrations de la liaison C-H des Alcynes à 624  $\text{cm}^{-1}$  ?
- Les analyses Raman (figure 26) confirment la présence de matière organique. Au-delà l'équipe attribue la coloration des échantillons à la présence de pigment caroténoïdes. Cette attribution est confirmée par Kareampelas (2008).

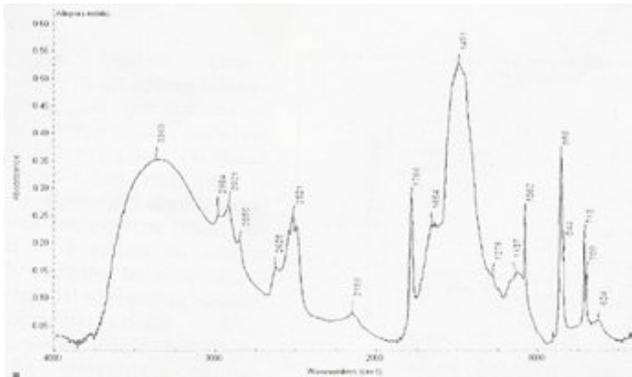


Figure 25 : Spectre FTIR d'un Allopora nobilis (Stylaster). (Rolandi et al, 2005)

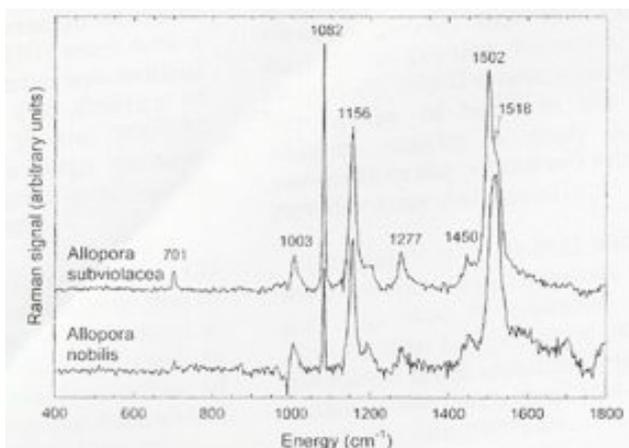


Figure 30 : spectre Raman d'échantillons d'Allopora (Stylaster) (Rolandi et al, 2005)

L'étude menée par Bocchio et al en 2006 confirme une partie des résultats de l'étude menée par Rolandi et al en 2005, du moins en ce qui concerne la phase aragonitique des Stylaster (Allopora).

### 1-III-2-1-2- LES MILLEPORA

#### CE CORAIL EST ACTUELLEMENT SOUMIS AUX DISPOSITIONS DE LA CITES QUI LIMITENT SON COMMERCE DEPUIS LE 18/01/1990

Le squelette est une masse pierreuse, entièrement perforée de deux sortes de pores, les uns petits et circulaires, les autres plus grands, traversés par un système complexe de canaux ramifiés ; sa texture, par conséquent poreuse, l'a fait nommer « corail sucre blanc » et le rends impropre à la taille (Rolandi, 1981).

Néanmoins, sur des sites de ventes de perles, on peut trouver des perles en Millepora résinés (beadshop.com).

## **1-IV- DIFFERENCIATION DES SQUELETTES**

Habituellement, lorsque l'on parle de squelette chez les coraux, il est très souvent fait mention d'une composition quasi exclusive de carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>). Parfois il est évoqué la présence en très grande quantité de matière organique. Enfin certains coraux semblent n'être constitués que de protéines ou se mêlent parfois un très léger taux de carbonate de calcium. Confiner le corail à ce type de différenciation est très simpliste tant la composition peut être variée. Tout d'abord le carbonate de calcium peut se trouver sous deux formes bien distinctes : la calcite et l'aragonite.

Cette phase minérale se détermine aisément, entre autres par une analyse Raman (Urmos et al, 1991) ou bien grâce à une analyse FTIR (Rolandi et al, 2005 ; figure 31 et 32 ). Dans des cas plus rares, on peut utiliser le <sup>13</sup>C MAS NMR (R.Bocchio & al, 2006). Quand à la matière organique présente, soit elle est présente en grande quantité et est donc identifiable, soit elle est assez mineure dans la matrice et nécessite une déminéralisation du squelette pour être visible (Kaczorowska et al, 2003).

On peut plus largement définir quatre grandes catégories :

### **1-IV-1-LES CORAUX POSSEDANT UN SQUELETTE CALCITIQUE**

PICS TYPIQUES DE LA CALCITE	DESCRIPTION
713 – 720 cm <sup>-1</sup>	Doubly degenerate planar bending (ν <sub>4</sub> )
877 et 848 cm <sup>-1</sup>	Out-of-plane bending (ν <sub>2</sub> )
1084-1087 cm <sup>-1</sup>	Symetric stretching vibration (ν <sub>1</sub> )
1429 – 1468 cm <sup>-1</sup>	Doubly degenerate C=O asymmetric stretching (ν <sub>3</sub> )

**Figure 31** : Pics caractéristiques des spectres infrarouges de la calcite (V.Rolandi & Al, 2005)

En spectrométrie Raman, le pic typique pour voir les coraux dits calcitiques est celui qui est à 711 cm<sup>-1</sup>.(rruff.info)

Néanmoins de nombreux pics Raman attribuable aux carbonates restent visibles sur le spectre Raman. Reste le pic à 711 cm<sup>-1</sup> qui est lui caractéristique. On peut donc lister comme suit ces différents pics : 154, 281, 711-716, 1085-1088, 1434-1438, 1750 cm<sup>-1</sup>. (Urmos et al, 1991)  
Les autres pics seront donc des pics de matière organique.

Les coraux présentant ce type de squelette semblent présenter une légère différence d'indice de réfraction par rapport aux coraux présentant un squelette aragonitique. Ce point est plus compliqué à mettre en évidence tant les indices de la calcite et de l'aragonite sont proches et parfois quasi identiques. On définit les coraux calcitiques comme ayant des indices plus bas. Les indices habituellement donnés sont les suivants :

np : 1,495-1,500 et ng : 1,640-1,650. Néanmoins la teneur en Mg des squelettes calcitiques semble jouer un rôle dans ces indices. Du coup, les indices ne sont plus si fiables et se situent entre ceux de la calcite et de l'aragonite, ce qui occasionne des confusions. Cette méthode n'est donc pas celle à utiliser pour discerner les deux phases.

Parmi les coraux cités pour l'utilisation de leur squelette en fabrication joaillière, on peut citer les suivants comme ayant un squelette calcitique :

- les coralliums
- les coraux bambou
- les tubipora
- Les madrepora
- Les cyathelia

#### **1-IV-2-LES CORAUX POSSEDANT UN SQUELETTE ARAGONITIQUE**

PICS TYPIQUES DE L'ARAGONITE	DESCRIPTION
713 et 700 cm-1	Doubly degenerate planar bending ( $\nu_4$ )
858 et 844 cm-1	Out-of-plane bending ( $\nu_2$ )
1082 cm-1	Symetric stretching vibration ( $\nu_1$ )
1471 – 1499 cm-1	Doubly degenerate C=O asymmetric stretching ( $\nu_3$ )

**Figure 32 :** Pics caractéristiques des spectres infrarouges de l'aragonite (V.Rolandi & Al, 2005)

L'analyse Raman reste un moyen simple de différencier la phase minérale, ainsi le pic à 703 cm-1 est caractéristique de cette phase. De nombreux pics attribuables aux carbonates peuvent être listés comme suit : 153, 180, 206, 251, 703, 1083, 1463 et 1574 cm-1 (Mikhail Ostrooumov database).

Les autres pics sont donc des pics de matière organique.

Bien entendu, ces coraux présentent d'autres différences avec les coraux calcitiques, entre autres au niveau de l'indice de réfraction. Même si cette méthode n'est pas exactement fiable, pour déterminer la phase minérale, des différences ont été observées. On parle donc habituellement d'un  $n_p$  de 1,520 et d'un  $n_g$  de 1,650. Néanmoins la teneur en Sr des ces coraux fait varier l'indice et cause des confusions. En effet cette teneur provoque une baisse des indices de réfraction chez les aragonites dite biogénique.

Parmi les coraux cités pour l'utilisation de leur squelette en fabrication joaillière, on peut citer les suivants comme ayant un squelette aragonitique :

- Les heliopora
- Les trachyphilia
- Les alveopora
- Les acropora
- Les euphylia
- Les diploastrea
- Les heliofungia
- Les porites
- Les herpolitha
- Les cynarina
- Les seriatopora
- Les stylophora
- Les stylaster

Ces coraux sont tous soumis à une législation stricte, concernant leur commerce. Si bien que si on est présence d'un corail présentant ce type de squelette : méfiance ! On est probablement en présence d'un squelette d'un corail interdit de commerce sans permis CITES...

### **1-IV-3-LES CORAUX POSSEDANT UN SQUELETTE MIXTE, CALCITIQUE ET ARAGONITIQUE**

Un seul corail s'est vu défini comme cela, le *Melithaea ochracea*, qui amalgame dans sa structure de la calcite en grande quantité, une petite phase aragonitique et surtout de la matière organique en grande quantité.

On parle ici, d'un corail isolé, mais cette caractéristique doit être très certainement retrouvée dans d'autres coraux. Seulement l'étude s'est concentrée sur les coraux qui trouvent une application dans le monde du bijou.

### **1-IV-4-LES CORAUX ALLIANT UNE PHASE MINERALE UNIQUE ALLIEE A UNE PHASE ORGANIQUE VISIBLE**

On parle ici de coraux alliant une phase minérale calcitique ou aragonitique couplée à une phase organique ou protéinique visible et intervenant dans la reconnaissance des genres. Dans notre étude, de nombreux coraux ont montré cette caractéristique : les coraux bambous et le corail noir.

Ici ces coraux présentent deux phases amalgamées, mais qui peuvent être bien distinctes comme c'est le cas chez les coraux bambous. Cette phase protéinique est très intéressante du fait de sa structure complexe. En effet l'analyse de cette matière permet de conclure qu'elle est constituée de protéines et d'acides aminés. Très souvent elle est définie comme kératineuse mais on parle aussi d'Antipathin ou de Gorgonine.

Dans l'étude, les coraux présentant cette caractéristique sont les suivants :

- Les coraux bambou
- Les Anthipathes

### **1-V-LA MATIERE ORGANIQUE : GORGONINE OU ANTIPATHINE**

Le corail contient de la matière organique, bien visible à l'œil sous forme de nodule ou de zones molles sur le squelette. Mais il contient aussi de la matière organique amalgamée au niveau atomique et donc de ce fait, seulement visible lors d'analyses chimiques. Cette matière organique est clairement complexe.

Si de nombreuses analyses sont possibles, le Raman et le FTIR sont deux moyens simples pour attester de sa présence, mais pas toujours pour l'identifier précisément.

Néanmoins, il est tout de même possible de trouver un certain nombre d'informations sur la nature de celle-ci. Dans le cas présent, deux types de matières nous intéressent en ce qui concerne le corail : la Gorgonine et l'Antipathine.

#### **1-V-1-LA GORGONINE**

La Gorgonine est le nom donné à une matière organique brune, molle et flexible, et qui constitue la partie cornée du squelette des coraux de l'ordre des Gorgonacea (Wainwright et al, 1982 ; Coris, 2006; Hyman, 1940). Les analyses aux rayons X ont permis de définir cette matière comme un collagène assez pauvre constitué d'une proportion de 40 à 60 imino-acides par 1000 fragments (Marks et al, 1949 ; Roche et al, 1963 ; Goldberg, 1973). Ce collagène

contient un fort taux de iodo- et diiodotyrosine que l'on ne trouve que dans la gorgonine et pas dans les autres collagènes (Goldberg, 1973) (Wainwright et al, 1982).

### **1-V-2-L'ANTIPATHIN**

L'Antipathin est une matière qui ressemble à s'y méprendre à la Gorgonine. Elle est de couleur sombre, plutôt brune à noire et fibreuse (Wainwright et al, 1982). C'est le constituant principal du corail noir (Brown, 1979). A priori, cette matière ne se retrouve que chez certains hexacoralliaires et pourrait donc être la matière première des coraux dorés.

L'Antipathin contient une proportion de 10 imino-acides par 1000 unités mais contient en plus entre 254 et 277 acides aminés aromatiques par 1000 fragments (Goldberg, 1973). Elle est constituée de protéines et de chitine (Goldberg, 1976) (Wainwright et al, 1982).

### **1-VI-LA PIGMENTATION**

On connaît aujourd'hui trois causes de colorations des coraux : les pigments polyènes, les pigments caroténoïdes, et l'hélioporobiline.

#### **1-VI-1-LES POLYENES**

Les pigments polyéniques sont des molécules qui contiennent une chaîne polyénique. La chaîne polyénique est composée d'une succession de motifs formés par une liaison simple C-C suivie d'une liaison double C=C. La formule chimique générale des pigments polyéniques est  $R-(CH=CH-)_n-R'$ , où R et R' sont les groupes terminaux et  $n$  le nombre de doubles liaisons carbone-carbone (Karampelas, 2008).

La détection de ces pigments peut se faire en Raman. Bien entendu plus la résolution est haute et plus le spectre sera riche en informations sur l'agencement de ces pigments dans la matrice. Néanmoins dans le cas de ce travail, la résolution à  $4\text{cm}^{-1}$  est suffisante. Ces pigments présentent deux pics de fortes intensités à  $1130\text{ cm}^{-1}$  environ attribué aux vibrations d'élongation des liaisons C-C dans la chaîne polyénique et l'autre vers  $1520\text{ cm}^{-1}$ , provoqué par des vibrations d'élongation des doubles liaisons C=C dans la chaîne polyénique.

Cette cause de coloration est attestée chez les Corallium, les Melithaea et les Tubipora

#### **1-VI-2-LES CAROTENOÏDES**

Les caroténoïdes ont la même structure que les polyènes simples, mais quatre hydrogènes sont remplacés par un groupements méthyles (fig 33). La détection de ces pigments peut se faire en spectroscopie Raman.. Ces pigments présentent deux pics de fortes intensités. Le premier vers  $1157\text{ cm}^{-1}$  est dû aux vibrations d'élongation des simples liaisons C-C sur la chaîne polyénique ainsi qu'aux vibrations de déformation dans le plan (in-plane bending) des méthyles substitués. Le deuxième vers  $1512\text{ cm}^{-1}$ , dû aux vibrations d'élongation des doubles liaisons C=C, reste à la même position que pour les polyènes non substitués (Karampelas, 2008).

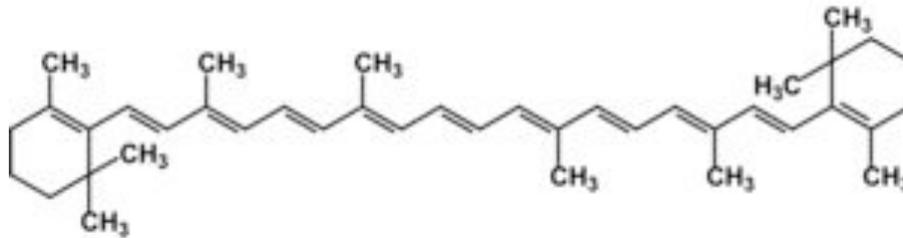


Figure 33 : schéma d'un  $\beta$ -carotène (Wikipédia.org, licence GNU)

Pour les caroténoïdes, on observe donc un décalage important de  $24\text{ cm}^{-1}$  vers  $1160\text{ cm}^{-1}$  à cause des groupements méthyles substitués à la chaîne polyénique.

Cette cause de coloration est attestée chez les Stylaster (Allopora).

### **1-VI-3-LES PRODUITS DE DEGRADATION DES PORPHYRINES**

Une porphyrine est un macrocycle (aromatique) hétérocyclique constitué de quatre sous unités de pyrroles joints par quatre ponts méthine, comme le présente la figure 34. Les porphyrines peuvent se combiner avec des ions métalliques (e.g. zinc, nickel, cobalt, cuivre, fer, etc.).

En l'occurrence, c'est ici un pigment biliaire qui nous intéresse, l'hélioporobiline. La biochimie des porphyrines et des pigments biliaires est étroitement liée. L'hème (Fig. 35) (cofacteur contenant un atome de fer, servant à accueillir un gaz diatomique (souvent le dioxygène O<sub>2</sub>) au centre d'un large anneau organique appelé porphyrine, est synthétisé à partir de porphyrine et de fer. Les produits de dégradation de l'hème sont les pigments biliaires et le fer (Murray et al, 2003). Ce pigment fait partie des Biliverdines et est caractérisé comme une billiverdine-IX Alpha (Rudiger et al, 1968).

Cette cause de coloration est attestée chez l'Heliopora coerulea (Fox, 1979).

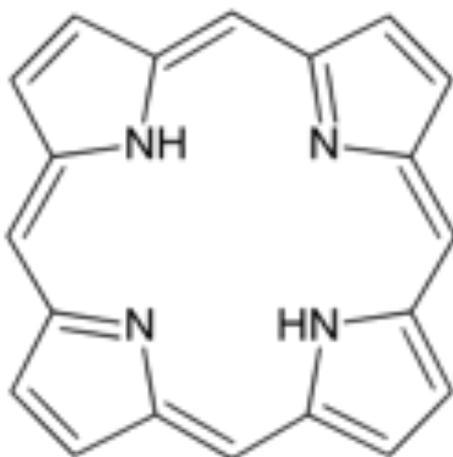


Figure 34 : schéma d'une porphyrine (Wikipédia.org, licence GNU)

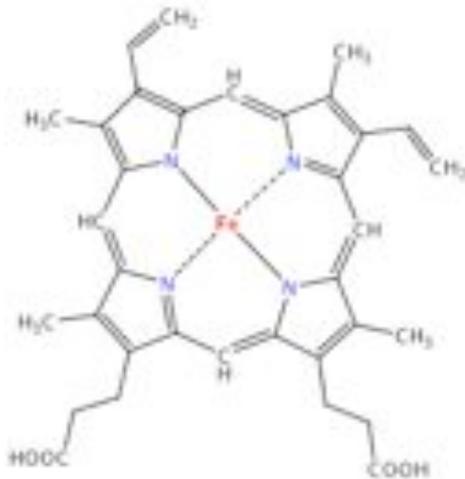


Figure 35 : schéma d'un hème de type b, le plus courant dans les métalloprotéines.  
(Wikipédia.org, licence GNU)

## **1-VII-TRAITEMENTS ET IMITATIONS ACTUELLEMENT SUR LE MARCHÉ.**

Plusieurs traitements existent sur le marché. Ce sont pour la plupart des traitements simples à identifier.

On trouve des objets teintés, stabilisés avec de la résine, de la cire, du plastique, des objets teintés et stabilisés. On trouve aussi des objets décolorés. Il existe aussi des objets reconstitués. Enfin se trouve la longue liste des matériaux d'imitations : plastique, verre, pierre de diverses couleurs, cire à cacheter, amalgame de poudres de corail et de résine (type corail Gilson), porcelaines, perles teintées, marbres teintés, os teintés, bois...

Les discerner n'est pas toujours très compliqué, la structure, la densité le permettent. Mais parfois distinguer une teinture bien appliquée peut s'avérer difficile.

### **1-VII-1-TEINTURE ET STABILISATION**

Ce type de traitement est le plus couramment utilisé. On peut le trouver sur n'importe quel type de corail, mais il est essentiellement appliqué à tous les coraux poreux (Heliopora, Melithaea, Tubipora, ordre des Scleractinia...), aux coraux bambous, et aussi parfois au Coralliums (de façon marginale).

La stabilisation est le plus souvent réalisée à partir de résine ou de plastique. On trouve plus rarement de la cire ou des vernis incolore.

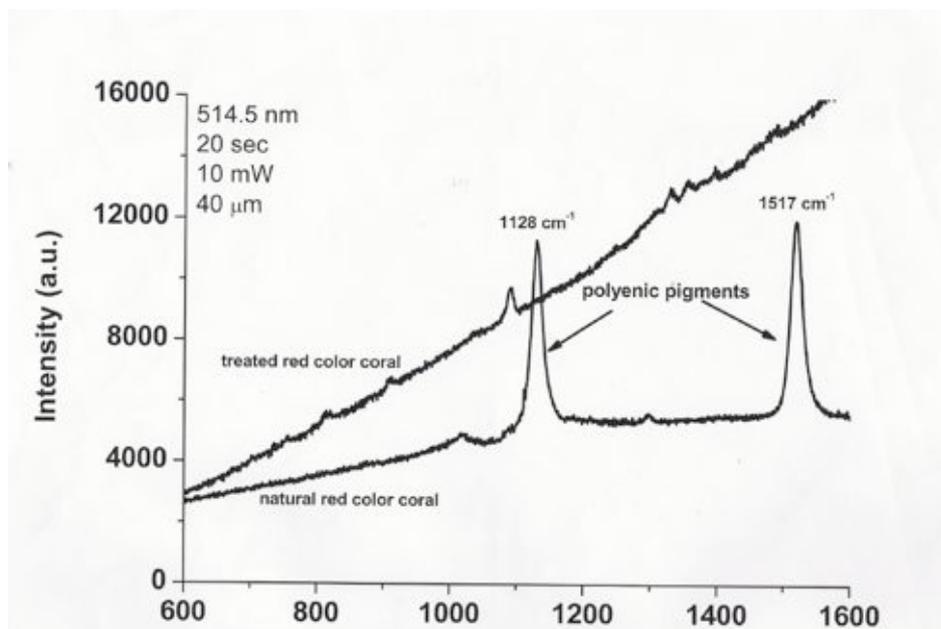
Les Corallium sont rarement traités. Ils font partie des coraux dit précieux et à forte valeur ajoutée. Cela les fait préférer aux coraux traités. On peut donc parfois détecter de la teinture et / ou de la résine mais assez rarement dans ce genre de coraux.

Le plus souvent ce sont des Corallium non homogènes en matière de couleurs qui sont teintés afin de l'uniformiser et ainsi augmenter leur valeur marchande. Certains Coralliums un peu trop poreux (le plus souvent issu de la « racine » ou bien de la branche mère, ou bien infestés par des éponges Clionnes) sont eux résinés pour durcir et rigidifier leur structure dans le but de mieux les travailler.

Sur les coraux poreux, la présence de résine se détecte très facilement par la différence d'aspect et parfois d'éclat entre le corail et la résine. De plus on peut trouver des bulles incluses dans la résine.

On remarque aussi que la plupart du temps si le corail, quand il est poli, à un très bel aspect brillant, le corail résiné ou enrobé est lui bien plus brillant et sa surface est plus nette. De plus l'enrobage a tendance à cacher les lignes et courbes de croissance en uniformisant l'aspect général des objets en corail. Enfin les coraux enrobés sont souvent précédemment teintés pour accentuer encore leur coloration. Sinon la teinture risquerait de déteindre au contact de la peau. C'est dans des cas d'enrobage et de teinture sur des coraux d'excellente qualité que l'identification du traitement devient difficile au-delà du fait de pouvoir déterminer si l'on est réellement en présence de corail.

C'est ce que présente la figure 36.



**Figure 36:** Spectre Raman d'un corail rouge naturel, comparé a un corail teinté en rouge. Les pics des pigments polyacétyleniques sont bien distincts. (agta-gtc.org)

Sur la figure, la courbe correspondant à du corail teinté est clairement différente de celle d'un corail naturellement coloré. Des études commencent désormais à réellement analyser les teintures et à trouver des éléments reconnaissables tant en gemmologie classique qu'en gemmologie de laboratoire (Lefèvre, P, 2005). Des pics Raman et FTIR permettent de voir clairement apparaître des composés des teintures que l'on ne pourrait pas trouver dans la matrice naturelle. De plus on peut aussi passer les gemmes teintées au MEB de façon à voir apparaître certains éléments anormalement présents.

### **1-VII-2-LA DECOLORATION**

Ce traitement est classiquement appliqué sur le corail noir. Lors de la réalisation de cette étude, il est apparu que ce traitement touche aussi les melithaea.

La décoloration à pour but chez le corail noir de lui donner une couleur dorée (figure 37) de façon à ressembler au corail doré naturel, bien plus rare. Pour obtenir cette couleur, on plonge

durant plusieurs heures le corail dans une solution de peroxyde d'hydrogène (Nassau K. 1984). Ce traitement est très stable et est actuellement extrêmement difficile à détecter même en laboratoire (Geminterest.com). Ce traitement semble attaquer la surface du corail et ne va pas jusqu'à coeur. Il peut souvent se voir sur une tranche où une petite partie de corail noir sera visible. Enfin, l'aspect du corail doré naturel est complètement différent, sa couleur est souvent plus profonde et il a un aspect chatoyant que n'a pas le corail noir blanchi. Il peut en plus être verni pour le protéger.



Figure 37 : Corail noir blanchi pour imiter le corail doré. (lapidorite.com)

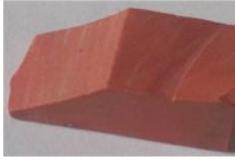
## CHAPITRE 2 MATERIEL ET METHODES

### 2-1-LES ECHANTILLONS

#### 2-1-1 TABLEAU DES ECHANTILLONS

Nom	Espèce	Couleurs	Poids	Dimensions	Code	Photos	Provenance
Corail rouge	Corallium Rubrum	Rouge	7,73 ct	De 5 à 25 mm	CRoug1		Issus de la collection « Roche et Minéraux » des éditions Atlas
Corail rouge	?	Tachetée rouge à orangé	17,89 ct	27 mm	CRoug2		Corse , donné par un ami
Corail rouge	Corallium rubrum	Rouge	1,98 ct	8 òmm 20 mm	CRoug3		Corse-sardaigne. Acheté à la bourse de Saint-Nazaire
Corail rouge	?	Rouge-orangé	1,31 ct	5x5 mm	CRoug4		Collection personnelle
Corail rouge	Corallium rubrum	Rouge	0,30 ct	3 mm	CRoug5		Collection personnelle, provient d'un vieux colliers de famille
Corail rouge	?	Rouge	1,45 ct	4 mm	CRoug6		Acheté lors de la bourse du Sofitel, à Paris
Corail blanc		Blanc + rose	2,28 ct	8 mm	Cbl1		Japon, acheté à la bourse de Saint-Nazaire
Corail blanc	Corail bambou	Blanc	0,47 ct	3 mm	Cbl2		Japon, acheté à des négociants chinois, à Paris, à la Bourse du Commerce

Nom	Espèce	Couleurs	Poids	Dimensions	Code	Photos	Provenance
Corail blanc		Blanc	12,30 ct	35 mm	Cbl3		Acheté chez Ruppenthal France
Corail blanc	<i>Coralium eliatum</i>	Blanc + rose	1,31 ct	10 et 15 mm	Cbl+Rose4		Mer des caraïbes, prêt de Blanca Mocquet
Corail rose		Rose	1,56 ct	12 mm	CRose1		Acheté chez Ruppenthal France
Corail rose		Rose veinée de blanc	0,82 ct	5 mm	CRose2		Commandé sur internet, sur un site de perles
Corail noir (laqué)	<i>Anthipataria</i> n sp.	Noir	1 branche = 7 ct ≈	1 branche = 4,5 cm	CNTr1		Hawaï, achat à Sainte-Marie-aux-Mines
Corail noir naturel	<i>Anthipataria</i> n sp.	Noir	1,17 ct	8 mm	CN2		Hawaï, prêt de M. Lulzac
Corail noir blanchi	<i>Anthipataria</i> n sp.	Doré + noir	1 branche = 8,80 ct ≈	40 mm	CNTr3		Hawaï, achat à Sainte-Marie-aux-Mines
Corail bleu	<i>Heliopora</i> sp.	Bleu	43,91 ct	18x25 mm	Cble1		achat à Sainte-Marie-aux-Mines
Corail bleu	<i>Heliopora coerulea</i>	Gris-bleu	25 ct	20 mm	Cble2		Don de l'Aquarium de Nancy

Nom	Espèce	Couleurs	Poids	Dimensions	Code	Photos	Provenance
Gorgone rouge	Melithaea ocracea	Rouge à orange	10,14 ct	30x15 mm	CGorg1		Acheté à Nancy, dans une boutique de minéraux
Gorgone teintée	Melithaea ocracea	Rouge	9 ct	30 mm	CGorgT2		Acheté sur internet, sur e-bay
Corail poreux orange-rouge résiné	Melithaea ocracea	Rouge et orange	13,05 ct	12x9 mm	Cep1		Provence internet, www.gemmes-plus.com
Gorgone blanche et rouge		Blanche et rouge	68,29 ct	50x30 mm ≈	CGorgbl+Roug3		Mer des caraïbes, Venezuela, prêt de Blanca Mocquet
Corail blanc poreux	Acropora ?	Blanc	3,52 gr	2,8 cm	CGorg4		prêt de Blanca Mocquet
Corail blanc poreux	Scleractinia ?	Blanc	1 perle hexagonale = 18,5 ct	15x10 mm	CGorg5		achat à Sainte-Marie-aux-Mines
Corail blanc poreux	Diploastrea	Blanc	22,64 ct	25 mm	CGorg6		Mer des Caraïbes, prêt de Blanca Mocquet
Corail reconstitué		Rouge	24,59 ct	24 mm	CRecRoug1		Echantillon donné par un professeur à Saumur
Corail « bambou » poreux résiné	Melithaea ocracea	Doré à noir	39,55 ct	58x24 mm	Ci+R1		Philippines, acheté chez Mercorne
Corail « bambou » poreux résiné	Melithaea ocracea	Doré à noir	Boule de 5 à 12 ct	Boules de 3 à 9 ct ≈	Ci+R2		achat à Sainte-Marie-aux-Mines

Nom	Espèce	Couleurs	Poids	Dimensions	Code	Photos	Provenance
Corail bambou teinté		Orange	68,51 ct	Ø 15 mm	CBT1		Mer de chine, achat à Sainte-Marie-aux-Mines
Corail bambou teinté		Rouge	79,66 ct	40 mm ≈	CBT2		Mer de chine ? achat à Sainte-Marie-aux-Mines
Corail bambou teinté		Jaune	51,67 ct	57 mm	CBT3		Mer de chine ? achat à Sainte-Marie-aux-Mines
Corail bambou teinté		Rouge	140 ct	35 mm	CBT4		Mer de chine, achat à Sainte-Marie-aux-Mines
Corail bambou naturel		Blanc et noir		40 mm	CB5		Australie, Prêt de Chantal Moine
Corail bambou naturel		Blanc et noir		70 mm	CB6		Australie Prêt de Chantal Moine
Corail bambou teinté		Collier perles rouges	1 boule = 9,5 ct ≈	11 mm	CBT7		Chine, donné par des amis à leur retour de Chine
Corail « tuyaux d'orgues »	Tubipora Musica	Rouge	130 gr	15 cm	TM1		Commandé sur internet, aux USA
Corail « tuyaux d'orgues »	Tubipora Musica	Rouge Rose			TM2		Aquarium de La Rochelle
Corail blanc	Euphyllia	Blanc	30 gr	50x35 mm	Sc1		Israël, par e-bay

Nom	Espèce	Couleurs	Poids	Dimensions	Code	Photos	Provenance
Corail fossile		Rose	34,03 ct	34x25 mm	CF1		achat à Sainte-Marie-aux-Mines
Corail fossile		Noir	38,94 ct	33 mm	CF2		achat à Sainte-Marie-aux-Mines

Nom	Espèce	Couleur	Poids	Dimensions	Code	Photo	Provenance
Corail blanc teinté	? Scléactinia	Blanc	44,80 ct	50 mm	Sc2		Achat sur e-bay
Corail beige-doré	Gerardia	Beige-doré	22,40 ct	De 5 à 8 mm	G1		Hawai, achat sur e-bay
Corail rose	Stylaster roseus	rose	6,91 ct	50 mm	St1		USA, achat sur e-bay
Corail pourpre	Stylaster	pourpre	3,76 ct	1x2 mm ≈	St2		USA, achat sur site américain de perles
Corail reconstitué	Melithaea+résine+ ?	Rouge	45,75 ct	23 mm	Rec2		USA, achat sur site américain de perles
Corail reconstitué	Melithaea+résine+ ciment	Rouge	39,25 ct	25 mm	Rec3		USA, achat sur site américain de perles
Corail poreux orange-rouge et blanc résiné	Melithaea+résine	Rouge à blanc	84,34 ct	45 mm	Rec4		USA, achat sur site américain de perles

Nom	Espèce	Couleur	Poids	Dimensions	Code	Photo	Provenance
Corail reconstitué	Scleractinia	Blanc et bleu	29,80 ct	14 mm	Rec5		USA, achat sur site américain de perles
Corail reconstitué	?	Multicolore	62,13 ct	18 mm 23 mm	Rec6		USA, achat sur site américain de perles
Corail bleu teinté	?	bleu	1 perle = 3ct ≈	1 perle = 10mm	Cble3		USA, achat sur e-bay

Corail blanc	Acropora	Blanc			Sc3		Aquarium de la Rochelle
Corail brun	Eunicella	Brun			Eu1		Aquarium de la Rochelle
Corail blanc	Euphyllia Glaberescens	Blanc			Sc4		Aquarium de la Rochelle
Corail blanc	Euphyllia	Blanc			Sc5		Aquarium de la Rochelle
Corail jaune	Millepora	Jaune clair			M1		Aquarium de la Rochelle
Corail blanc	Pocillopora	Blanc			Sc6		Aquarium de la Rochelle

Corail blanc	Seriatopora	Blanc			Sc7		Aquarium de la Rochelle
Corail blanc	Stylophora	Blanc			Sc8		Aquarium de la Rochelle

## **2-I-2-PROVENANCE DES ECHANTILLONS**

La plupart des échantillons ont été achetés ou bien prêtés. Certains ont une provenance sûre, confirmée par les négociants (Japon, Mer de Chine, Philippines, USA) ou bien par les personnes qui ont ramené ces coraux de voyages (Venezuela, Iles Maurice, Australie).

Certains échantillons n'ont pas de provenance exacte. Ils ont été achetés en se basant sur la description de certains coraux, ou tout simplement au départ par attrait pour la matière.

De plus certains proviennent d'aquariums spécialisés (La Rochelle, Nancy) et enfin certains ont été donnés par des négociants car impropres à la vente en l'état.

## **2-II-METHODES**

Tous les échantillons, quel que soit leur nature, ont subi en premier lieu les tests gemmologiques classiques : observation à l'œil nu, à la loupe et à la binoculaire, prise de l'indice de réfraction dans la mesure du possible, densité, et réaction aux UV (longs et courts / luminescence-phosphorescence) et tests chimiques dans certains cas (acide chlorhydrique).

Ensuite les échantillons, ont été examinés grâce à des méthodes de gemmologie de Laboratoire : Microscope électronique à Balayage (MEB), spectrométrie de diffusion Raman, FTIR (spectroscopie Infra-Rouge à Transformée de Fourier) et UV visible. Ceci afin de clarifier la structure minérale des échantillons, de les différencier, de comprendre certains mécanismes de pigmentation, et de comprendre certains effets des traitements.

Enfin certains échantillons ont été soumis à des traitements pour tester certaines « recettes » trouvées dans la littérature gemmologique : blanchiment du corail noir ou encore changement de couleur sur du corail blanc avec une solution de nitrate d'argent.

## **2-II-1-LES METHODES DE GEMMOLOGIE CLASSIQUES**

### **2-II-1-1-LA LOUPE 10X ET LA BINOCULAIRE**

L'utilisation d'une loupe avec un grossissement 10x est un automatisme en gemmologie lorsqu'il s'agit de regarder de façon attentive la structure de l'objet. Quand celle-ci n'est pas assez forte au point de vue du grossissement, on utilise une binoculaire.

Cet outil est particulièrement important pour l'analyse d'une pierre ou d'un matériau. Pour le corail en particulier où nombre de structures existent, il est primordial de les observer finement afin de pouvoir en discerner les différences. Plusieurs possibilités d'observation nous sont offertes : la lumière peut être transmise, réfléchi et l'observation peut se faire en plus entre polaroids croisés ou en immersion. Dans le cas présent, une observation en lumière réfléchi fut celle privilégiée pour ce travail. L'outil est un Leica MZ6 avec fibres optiques pour l'éclairage réfléchi.

### **2-II-1-2-LE REFRACTOMETRE**

Le but de cet appareil est de mesurer un indice de réfraction. Cette mesure permet de plus, quand les résultats le permettent, de calculer une biréfringence, de donner un signe optique. Dans le cas présent, les échantillons se présentent sous deux formes : des protéines dans le cas des coraux noirs et dorés et du carbonate de calcium pour les autres (calcite et aragonite). Cet outil a été intéressant car les deux constituants principaux des coraux se distinguent par une grande différence d'indice. Mais plusieurs problèmes existent :

- Le liquide de contact abîme souvent le corail (il faut donc utiliser du Iodure de méthylène pur dont l'indice de réfraction est plus faible : 1,74), et les mesures doivent être effectuées très rapidement sous peine de voir apparaître des taches sur le corail.
- La porosité des structures empêche la lecture de l'indice dans la plupart des cas.
- Enfin l'indice en lui-même est difficile à lire et la très grande biréfringence de la calcite et de l'aragonite ne facilite pas les choses.

#### **Protocole de mesure**

- L'indice de réfraction a été mesuré avec un réfractomètre russe possédant un éclairage à monochromatique
- Le liquide de contact faisant office de joint optique entre la plaque de verre et la surface de l'objet est de 1,74 (Iodure pur)
- L'objet possède une surface polie obligatoire pour la mesure de celui-ci

### **2-II-1-3-LA DENSITE**

Pour cette mesure, on utilise une balance de précision qui grâce à un outil spécifique permet de prendre une mesure dans l'air et une mesure dans l'eau. Cette mesure permet de mesurer la masse spécifique (dite MS) de l'objet.

### **2-II-1-4-LA LUMINESCENCE UV**

On observe la luminescence grâce à une lampe à ultraviolet (UV). C'est donc grâce à l'exposition des échantillons à des photons UV que celle-ci se manifeste.

Plusieurs cas sont possibles :

- Soit l'échantillon fluoresce (émission de photons dans la visible) soit il est inerte
- Il peut aussi après extinction des lampes UV continuer d'émettre de la lumière, c'est ce que l'on appelle le phénomène de phosphorescence

#### **Protocole de mesure**

La fluorescence et la phosphorescence se mesurent dans une chambre noire à l'aide d'une lampe qui émet des UV courts (254nm) et des UV longs (365nm).

## **2-II-2-LES METHODES DE LABORATOIRE**

### **2-II-2-1-LA SPECTROSCOPIE RAMAN**

Nous avons utilisé un Raman à transformée de Fourier (FT Raman) Bruker RFS 100 qui utilise un laser dans l'infrarouge à 1064nm (Nd : YAG). Les mesures ont été faites à une puissance de 300mW avec une accumulation jusqu'à 1000 scans si nécessaire et une résolution de 4cm<sup>-1</sup>.

### **2-II-2-2-FTIR (ABSORPTION INFRAROUGE PAR TRANSFORMEE DE FOURIER)**

Les mesures ont été faites dans l'IR Moyen entre 400 et 4000 cm<sup>-1</sup> avec une accumulation jusqu'à 1000 scans et une résolution de 4cm<sup>-1</sup>.

### **2-II-2-3-LA MICROSCOPIE ELECTRONIQUE A BALAYAGE (MEB)**

Nous avons utilisé la microscopie à balayage électronique permettant de faire de l'imagerie de haute résolution qui a été utilisée. À cela une raison essentielle : l'utilisation d'un MEB pour des analyses chimiques sur du corail n'est pas très probante. En effet à part caractériser le carbonate de calcium, cela ne sert pas à grand chose. Bien sûr de nombreux éléments traces sont visibles, mais ceci ne servent pas à identifier la nature du corail et de plus ils peuvent varier beaucoup. Car c'est la nature même du corail d'être un organisme filtreur et donc de garder en présence dans son squelette des éléments présents dans l'eau.

#### **L'imagerie de haute résolution**

Les images des structures des coraux ont été acquises sur le MEB Jeol 6400F du centre de Microcaractérisation de l'IMN. Ce MEB permet grâce à un canon à émission de champs d'acquérir des images de très haute résolution. Ici c'est grâce à une pointe monocristalline en tungstène à très faible rayon de courbure que l'on obtient un champ électrique intense. On peut ainsi extraire un très fin faisceau d'électrons. La tension d'accélération est de 7kV et le courant du faisceau d'électrons de 6x10<sup>-11</sup>A.

#### **Protocole de mesure**

Pour observer la structure des échantillons, il faut une cassure fraîche. Quand celle-ci n'existait pas, elle a été provoquée à la pince ou avec un petit marteau et un petit burin.

Une fois ces cassures réalisées, on fixe les échantillons sur de petits plots en laiton (1cm x1cm) avec de la laque d'argent qui va permettre un bon contact électrique. Puis pour que la surface soit conductrice, le montage plot-échantillon est métallisé avec une très fine couche d'or palladié de 5nm environ.

Il faut aussi prendre en compte que cette mesure ne permet pas de récupérer les échantillons puisque que la laque d'argent et la métallisation pénètre le corail en raison de sa porosité.

On peut avec cette technique bien mettre en évidence les structures des coraux. Les images sont réalisées à un grossissement allant jusqu'à 70000 x.

# CHAPITRE 3 : RESULTATS

## 3-I-MESURES DE GEMMOLOGIE CLASSIQUE

Les échantillons ont tous été attentivement testés avec les appareils de gemmologie classique : réfractomètre, mesure de la densité, réaction aux UV et enfin une observation très attentive à la binoculaire

### 3-I-1-MESURE DE L'INDICE DE REFRACTION

Parmi tous les échantillons, seul un certain nombre pouvait subir une mesure d'indice de réfraction en l'état ou être préparés pour. Pour d'autres cela était impossible, entre autres car les échantillons auraient été abîmés ou dévalorisés par une préparation. De plus, la mesure d'un indice de réfraction n'est pas un critère essentiel de reconnaissance.

Néanmoins, les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Pour comparaison, nous rappelons les indices théoriques des minéraux calcite et aragonite

\* **Calcite** : Ne : 1,486 à 1,550

No : 1,650 à 1,740

\* **Aragonite** : Np : 1,529 à 1,530

Nm : 1,681 à 1,682

Ng : 1,685 à 1,686

Code Échantillon	Indice de réfraction	Biréfringence ‰
Croug2	Lecture cabochon : 1,61-1,62	Pas mesurable
Croug3	1,66 Lecture cabochon : 1,49	270
Croug4	1,49-1,65	260
Croug5	1,52	Pas mesurable
Croug6	1,58	Pas mesurable
Cbl1	Lecture cabochon : 1,51-1,52	Pas mesurable
Cbl4	1,52-1,53	Pas mesurable
Cble1	1,54	Pas mesurable
Cgorg1	1,60-1,62	Pas mesurable
CgorgT2	1,60	Pas mesurable
CBT4	1,65	Pas mesurable
CN2	1,56-1,57	Pas mesurable
CNTr1	1,56-1,57	Pas mesurable
Cgorg4	1,57	Pas mesurable

On remarque à la lecture des indices obtenus que les coraux calcitiques semblent avoir un **np** plus bas que le **np** des coraux aragonitiques, mais cela n'est pas un élément fiable de détermination. Et cela pour plusieurs raisons :

-Les coraux utilisés en bijouterie ne présentent pas toujours des tailles se prêtant à une lecture fiable, ce sont très souvent des cabochons

-Le liquide de mesure de l'indice abîme souvent les échantillons en faisant des taches qui partent difficilement

-Enfin certaines lectures ne confirment pas ce critère, ainsi l'échantillon Croug6 as un indice de 1,58 mesurable.

- Les pièces imprégnées de polymères et de vernis présentent des indices difficilement lisibles. Quand l'indice est lisible, il se situe au alentour de 1,510 à 1,53.

Néanmoins, pour les pièces ayant donné un résultat suffisamment exploitable, l'indice permet au moins de conclure que nous sommes bien en présence de carbonate de type calcite ou aragonite.

### **3-I-2-MESURE DE LA DENSITE**

La mesure de la densité donne déjà un peu plus d'éléments. Tout d'abord, elle permet de séparer en cas de doute, les coraux dont le squelette est minéralisé et ceux qui sont quasi purement de la matière organique. Les mesures ont été pratiquées deux fois afin de vérifier la répétabilité les résultats. Pour rappel, nous communiquons les densités respectives de l'aragonite (2,93 à 2,96) et de la calcite (2,60 à 2,80).

Parmi les échantillons aucuns ne dépasse 2,70, le maximum étant 2,68. Les corallium présentent des densités comprises entre 2,65 et 2,69, sauf les corallium de couleur rose qui présentent une densité vers 2,55.

Les mesures sont plus intéressantes pour les coraux riches en matière organique. Leurs densités sont beaucoup plus basses. Les échantillons de ces coraux ont donc des densités au alentours de 1,50.

Néanmoins, la densité n'est pas du tout un critère applicable à la reconnaissance du corail. C'est un élément permettant de quantifier de manière très approximative la richesse en matière organique, mais absolument pas un critère distinctif.

La densité est un élément très variable sur la corail, qui n'apporte pas d'informations véritablement utilisables.

Les squelettes étudiés ici sont, je le rappelle des squelettes d'animaux trouvant une utilisation en bijouterie et de ce fait les éléments de différenciation n'intègrent pas des comparaisons avec d'autres coraux qui n'ont jamais été listé comme pouvant être utilisés dans la bijouterie.

Tous les coraux ont montré des structures différentes. On retrouve des points communs entre ces structures, mais elles restent assez bien définies pour chaque genre. Il arrive néanmoins que les genres ne soient pas identifiables exactement mais que les structures permettent au moins de déterminer l'ordre. C'est le cas, par exemple, pour les Scleractinia, ou les coraux bambous.

Par contre, certains échantillons présentent des structures qui n'ont pas permis de définir un genre, mais qui nous ont orientés vers un ordre.

Parmi les points communs aux différents échantillons du travail, on note que l'on retrouve les lignes de vascularisation des colonies visibles sur plusieurs échantillons, une architecture commune de la structure mais aussi la porosité naturelle de plusieurs coraux. La couleur joue aussi un rôle important dans la détermination. Il faut aussi tenir compte de la présence éventuelle de traitement sur la structure, mais qui habituellement n'empêche pas l'identification. Enfin l'architecture des structures est parfois un point commun à un ordre.

### **3-I-3-BINOCULAIRES ET STRUCTURE**

#### **3-I-3-1-LES LIGNES DE VASCULARISATION DE LA COLONIE**

Ce critère est très important pour commencer à différencier les coraux entrant dans la fabrication joaillière. Toutes les colonies présentent un système vasculaire qui permet à celle-ci de se maintenir en vie. Néanmoins, ce système est différent d'un genre à un autre. De plus certains genres ne présentent pas de système de vascularisation identifiable facilement. Il faudra alors mettre en œuvre d'autres systèmes de reconnaissance. Ce système se présente sur le squelette sous forme de lignes plus au moins rapprochées et fines. Ces lignes peuvent être très discrètes ou au contraire fort visibles. Elles peuvent aussi avoir l'air d'être en relief ou au contraire complètement intégrées dans la matrice calcaire. Enfin elles peuvent ne pas avoir la même couleur que le squelette, très souvent elles sont plus claires ou plus foncées.

De plus il faut bien différencier les lignes sur les matrices calcaires et celles sur les parties organiques.

Les coraux qui présentent les lignes de vascularisations les plus typiques et les plus reconnaissables sont les *Coralliums* et tous les coraux bambous. Mais d'autres présentent une vascularisation. Par contre elle n'est pas forcément un élément diagnostique pour définir le genre.



Figure 38 : Lignes de vascularisation sur un échantillon de *Corallium secundum* prêté lors du BP Gemmologue.  
Photo X10

Ces lignes sont le plus souvent bien marquées sur les *Coralliums*. Elles sont fines, très régulières, et bien visibles sur les échantillons rouges, roses foncés et orangés (fig. 38, 39, 41 et 42). Elles sont par contre beaucoup moins visibles sur les échantillons très pâles ou blanc (fig. 40). Et il faut être attentif pour les discerner et ne pas mal identifier un squelette blanc. Par ailleurs, les échantillons bruts se sont révélés très simples à identifier en raison certes des lignes de vascularisation, mais aussi de l'aspect général de la colonie et des branches.



Figure 39 : Lignes de vascularisation sur un échantillon de *Corallium rubrum* prêté lors du BP Gemmologue.  
Photo X10



**Figure 40 :** Échantillon de Corallium (espèce non déterminée) Cb11, les lignes sont très peu visibles. On les remarque à l'arrière du cabochon. Elles sont visibles sur le dessus du cabochon mais il est impossible d'obtenir une photo correcte tant elles se confondent avec le reste. La représentation dessinée les visualise mieux. Photo x12



**Figure 41 :** Lignes visibles, mais plus discrètes sur l'échantillon de Corallium rubrum Croug2  
Photo x12



**Figure 42 :** Lignes visibles sur un échantillon brut de Corallium rubrum. Échantillon Croug1  
Photo x5

Pour les coraux bambous, on remarque une vascularisation très importante des colonies (fig 43). Néanmoins, celle-ci s'avère différente en comparaison de celle des Corallium. Elle est plus marquée, le système de vascularisation présente des lignes plus larges mais aussi plus profondes (fig. 44). Sur l'échantillon CBT4, elles sont par contre très proches en aspect de celle d'un Corallium. Ce critère présente donc parfois des risques de confusions ainsi que le présente la figure 46, mais aussi la figure 45.



**Figure 43 :** Lignes de vascularisation sur du corail bambou. Échantillon CBT2  
Photo x12. Elles se présentent ici sous un aspect fin et très serré, mais très marqué.



**Figure 44 :** Lignes de vascularisation sur du corail bambou. Les lignes sont ici « enfoncées » par rapport à la matrice. Échantillon CBT2  
Photo x12



Figure 45 : Lignes de vascularisation ayant un aspect plus discret sur l'échantillon CBT1. Corail bambou très certainement du genre Keratoisis  
Photo x12



Figure 46 : Lignes de vascularisation présentant un aspect quasi identique à celles d'un Corallium sur un corail bambou. Échantillon CBT4  
Photo x12



Figure 47 : La vascularisation des Styaster n'est pas un critère de reconnaissance. Il est rare de la visualiser. Échantillon St1  
Photo x15

Dans le cas des Styaster, la vascularisation n'est pas un critère de reconnaissance. Elle est peu visible, et d'autres critères tels que les cyclo-systèmes sont eux caractéristiques. On peut noter que lorsqu'elle est visible, cette vascularisation présente une grande finesse, et un aspect très torturé tel que le montre la figure 47.

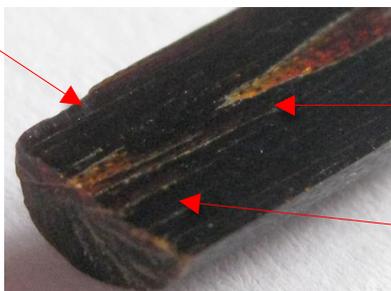


Figure 48 : Les lignes sont ici visibles dans une coupe de corail noir. Ce n'est pas un élément distinctif de ce genre. Échantillon CN2, photo x15

Certains coraux, comme le corail noir (genre Antiphatès), ont une structure qui ressemble à du bois. On trouve donc des lignes de vascularisation sur chaque épaisseur du squelette. Ici le squelette ne présente pas la densité d'un squelette calcaire classique et se développe en couche comme dans un tronc d'arbre. C'est d'ailleurs pour cela que dans le corail noir, elles ne sont visibles que dans une coupe (fig. 48). Alors que sur les parties organiques du corail bambou, elles sont visibles aussi bien à l'extérieur qu'à l'intérieur (fig. 49).

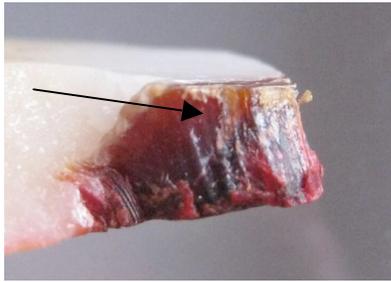


Figure 49 : Lignes visibles sur une zone organique de l'échantillon de corail bambou CBT1  
Photo x12



Figure 50 : Lignes visibles sur un échantillon d'Eunicella. L'aspect bois est bien visible. Échantillon Eu1. Photo x15

Dans le cas de l'échantillon d'Eunicella, la vascularisation présente un relief important et donne l'impression d'être en présence d'écorce d'arbre (fig. 50).



Figure 51 : Lignes visibles sur l'extérieur d'un scléactinia brut. Ici un Euphyllia. Échantillon Sc1, Photo x20



Figure 52 : Lignes visibles sur un échantillon de corail doré. Échantillon G1, photo x5

On voit que les lignes de vascularisation présentent de multiples faciès sur les échantillons. Dans le cas des Scléactinia, seul l'échantillon Sc1 présente une vraie vascularisation exploitable en terme d'identification, mais ce critère reste soumis à un échantillon brut, et il est clair qu'une taille et un polissage affecteront ce critère d'identification. On note tout de même cet aspect en relief et en pointillé (fig. 51) qui caractérise ce genre. L'échantillon G1 présente une vascularisation bien définie (fig. 52), plus foncés que sa matrice. Mais pour ce genre c'est avant tout sa couleur qui permet une identification visuelle.

Certaines ont un aspect bien caractéristique et d'autres moins. En fait leur forme et leur aspect dépendent principalement de l'état de la colonie mais surtout de la façon dont le squelette est ensuite taillé. Il est donc important de prendre le temps de bien les regarder, de façon à pouvoir commencer une identification du genre.

### 3-I-3-2-LA POROSITE

La porosité est un aspect courant pour la plupart des coraux. Néanmoins elle peut être structurelle ou bien le résultat d'une attaque de parasite. Parmi les parasites responsables de ce problème, on trouve bien souvent les éponges perforantes Cliones.

Cette porosité est naturellement la suite logique du système de vascularisation de la colonie, les polypes se logeant dans cette porosité. La porosité est intimement liée à la morphologie du polype. En effet les pores sont comme des loges dans lesquelles les polypes peuvent, chez la plupart de coraux, se rétracter. Ainsi plus les polypes ont une taille importante et plus les pores sont grands et inversement.

On va donc, en fonction des genres, avoir des porosités homogènes ou des pores de différentes tailles. Ils peuvent être répartis de manière régulière ou de façon anarchique. Ils peuvent être quasi invisibles ou bien distinctifs d'un genre comme dans le cas des Stylaster.

Il existe une porosité visible sur certains coraux non poreux. Elle résulte de l'accroche de la structure à la roche. On trouvera donc des perles en Corallium qui sont extrêmement poreuses car taillées dans le « pied » de la colonie ou présentant une porosité car taillées dans une surcroissance sur la branche originelle.

Enfin la porosité peut être le résultat d'une attaque chimique sur le corail dans le cas d'un traitement, comme chez les Antipathes. Par ailleurs, certains coraux présentent une telle porosité qu'ils sont le plus souvent résinés avant d'être commercialisés, c'est le cas du *Melithaea ochracea*



Figure 53 : Porosité naturelle dans un pied de *Corallium Rubrum*.  
Echantillon non référencé, issu de l'atelier. Photo x10.



Figure 54 : Porosité naturelle résultant d'une surcroissance dans un *Corallium*. Photo x10

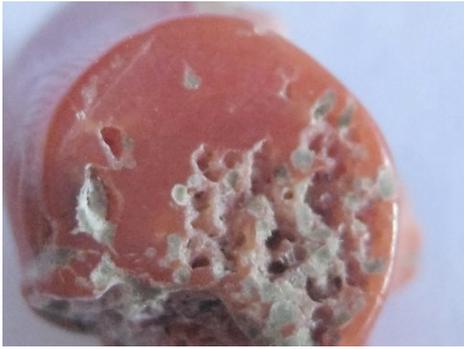


Figure 55 : Porosité résultant d'éponges Cliones dans l'échantillon de Corallium Rubrum Croug1.  
Photo x12



Figure 56 : Porosité sur une surcroissance calcaire sur un corail bambou. Échantillon CBT2,  
photo x10



Figure 57 : Porosité naturelle d'un Heliopora, celle-ci est caractéristique par la présence de deux tailles de pores différentes. Échantillon Cble1, photo x12



Figure 58 : Porosité typique d'un Melithaea. On remarque deux types de structures, une fine et l'autre moins. Échantillon Cgorg1, photo x10



Figure 59 : Porosité caractéristique d'un Stylander, en cyclosystème mais plus ou moins linéaire. Échantillon St1, photo x12



Figure 60 : Porosité linéaire, plus importante sur un Stylander pourpre. Les cyclosystèmes sont plus usés à cause du polissage des branches. Échantillon St2, photo x10



Figure 61 : Porosité d'un Stylander extrêmement usé par l'usage. Le collier date de 1850 environ. Photo x10



Figure 62 : Porosité sur un Melithaea. Ici, elle ne présente pas l'aspect classique. Peut-être le cabochon est-il taillé dans une zone de meilleure qualité ? Échantillon Cep1, photo x12



Figure 63 : Porosité typique d'un Euphyllia. Celle-ci s'agence autour des cloisons du squelette. Échantillon Sc1, photo x12



Figure 64 : Porosité typique d'un Diploastrea. On retrouve ce type de structure dans de nombreux coraux de l'ordre des Scleractinia. Échantillon Cgorg6, photo x15



Figure 65 : Porosité typique sur un Acropora. Les pores présentent une forme de fleur, avec des cloisons.  
Échantillon Sc3, photo x15



Figure 66 : Porosité typique sur un Seriatopora, avec des pores réguliers, larges et non cloisonés.  
Échantillon Cgorg4, photo x15



Figure 67 : Porosité sur un Stylophora. La différenciation avec un Seriatopora peut être difficile, surtout si le squelette est travaillé. Échantillon Sc8, photo x10



Figure 62 : La porosité peut être plus parsemée, comme sur cet échantillon de Pocillopora.  
Échantillon Sc6, photo x10



Figure 69 : Porosité sur un échantillon de nature inconnue. Cela semble être un corail constructeur type Scleractinia genre Porites.  
Échantillon Cble3, photo x15



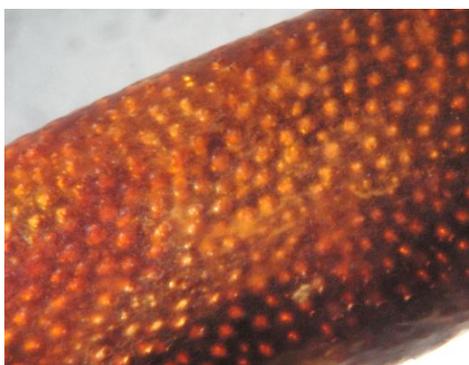
Figure 70 : Porosité en « grain de café », sur un échantillon de nature inconnue. A priori, au vue de la forme de l'échantillon et de la porosité, il s'agit d'un Scleractinia.  
Échantillon Cgorg5, photo x15



**Figure 71 :** Porosité très fine sur un Millepora. La structure des pores fait nommer ce corail « Corail pain de sucre ». Échantillon Mi1, photo x20



**Figure 72 :** Porosité d'un corail Tubipora. Ici la structure est caractéristique du genre. Échantillon TM2, photo x10



**Figure 73 :** Porosité due à l'attaque chimique sur la structure d'un Antipathes. Le but étant de le « blanchir » pour lui donner une couleur dorée. Les pores résultent de la dissolution des spicules du corail noir. Échantillon CNTr3, photo x20

### **3-I-3-3-LES SURCROISSANCES CALCAIRES**

Lors de l'analyse des structures, les surcroissances ont semblé n'être visibles, dans un premier temps, que sur les coraux bambou. Puis il a été possible d'étudier des échantillons ne présentant pas de surcroissance. Plus les échantillons ont été étudiés, plus des cas différents se sont présentés. Les surcroissances ont été observées chez plusieurs genres de coraux. De plus ce phénomène se présentait sous trois formes :

- 1- Une surcroissance due au renforcement de la colonie. Ce phénomène est visible sur la plupart des échantillons qui proviennent du « pied » de la colonie. En augmentant son volume, elle a besoin de branches plus épaisses et la croissance se fait de façon concentrique autour de la branche originelle et ainsi de suite. Plus on monte dans la colonie et plus les branches sont fines et non poreuses. C'est ce que présente chez différents genres les figures 54, 75, 76, 77, 81 et 82.
- 2- Une surcroissance parasitaire qui se greffe sur le squelette sans en empêcher la croissance. Celle-ci peut présenter une phase de cristallisation différente, par exemple aragonitique quand le squelette est lui calcitique. Ainsi ce cas se présente dans les figures 78 et 79
- 3- Une surcroissance parasitaire qui va recouvrir le squelette d'origine pour continuer sa croissance sur celui-ci en l'étouffant. C'est la plupart du temps un corail

d'un genre complètement différent. Elle n'est pas facile à voir et se retrouve assez couramment sur les Gerardia tel que le montre la figure 80.



Figure 74 : Sur l'échantillon de keratoisis CB5, il n'y a pas de surcroissance car il provient certainement de branches non porteuses.

Photo Chantal Moine



Figure 75 : Sur l'échantillon de corail bambou CBT4, la branche originelle est bien visible dans une coupe. On remarque alors autour la masse calcaire qui s'est développée.

Photo x15



Figure 76 : Sur l'échantillon de corail bambou CBT2, la surcroissance est poreuse. On remarque bien le développement circulaire. Photo x5



Figure 77 : Dans l'échantillon de corail bambou CBT1, la masse calcaire est si importante qu'elle a complètement recouvert deux branches à l'origine indépendantes, signalées ici par deux nodules noirs.

Photo x5



Figure 78 : Sur l'échantillon de corail bambou CBT2, une masse calcaire poreuse est accrochée au squelette.

Lors des analyses Raman, cette masse s'est révélée être aragonitique quand le squelette du corail est calcitique.

Photo x5



Figure 79: Surcroissance calcaire sur un Stylastrer roseus. Échantillon St1, photo x5



Figure 80: Ici, le squelette d'origine de couleur dorée est recouvert d'une substance noire de même structure. On retrouve ensuite de nouveau des lamelles dorées. Échantillon de Gerardia G1, photo x10



Figure 81: Sur l'échantillon d'Heliopora Cble1, la surcroissance correspond à l'accroissement de la colonie.



Figure 82: Sur cette perle en Corallium, la surcroissance est multiple. On remarque trois anneaux bien distincts en couleurs. Photo x12

### **3-I-3-4-LES STRUCTURES DES ZONES ORGANIQUES**

Certains coraux de l'étude présentent des zones très riches en matière organique et ne comportent quasiment pas de calcaire. Ces parties sont le plus souvent visibles sur le squelette :

- Elles ont l'aspect de nodules indépendant mais reliés à la colonie comme dans le cas des coraux bambou tel que le montre les figures 83 et 84
- Elles peuvent constituer plus de 90% le squelette de la colonie. C'est le cas par exemple du corail noir ou du corail doré (fig. 85, 86). Mais c'est aussi très certainement le cas des Plumarella et des Eunicella.
- La matière organique peut être intimement liée à la matrice calcaire et ainsi n'être visible que par des analyses (de type Raman ou FTIR) pratiquées après une déminéralisation de la structure. Des analyses de ce type n'ont pas été pratiquées dans le cadre de ce travail.
- Elles peuvent aussi se présenter comme parfaitement intégrée dans le squelette et présenter une autre couleur, on remarque ce cas chez les Melithaea (fig. 89 et 90).
- Elles peuvent présenter des couleurs particulières, voir même des jeux de couleurs typiques, c'est le cas du corail noir et des figures 87 et 88.

Dans cette partie, les structures sont un élément important du diagnostic. Les repérer sur des pièces permet de définir un genre pour les Melithaea, les antipathes ou un ensemble de genre dans le cas des coraux bambou.



Figure 83 : Sur l'échantillon CB3 et malgré une surcroissance, on visualise bien le mode de croissance du corail bambou : un nodule calcaire puis un nodule organique et ainsi de suite. Échantillon CB3, photo x1



Figure 84 : La structure du nodule, dans le corail bambou, présente une croissance en couches dentelées. Cette structure se retrouve sur le corail noir et doré. Échantillon CBT1, photo x12



Figure 85 : La structure dentelée est visible sur le côté du cabochon de l'échantillon G1. Ici c'est un corail doré qui présente une chatoyance typique de ce type de corail. Photo x12



Figure 86 : La structure des nodules organiques dans le corail bambou est similaire à celle du corail noir, ici en photo. Le corail noir est plus dense dans sa structure. Échantillon du MNHN, photo x10

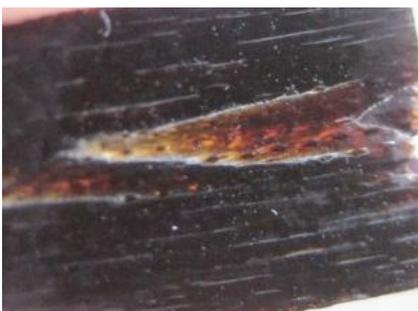


Figure 87 : La structure organique du corail, lequel a pour particularité de présenter des jeux de couleurs. Ils sont visibles dans des coupes, mais aussi en surface, une fois le corail débarrassé de ses épines et poli. Échantillon CN2, photo x10

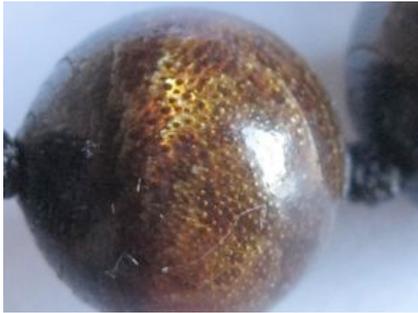


Figure 88 : Le corail noir est souvent décoloré de manière chimique pour lui donner l'aspect du corail doré. Les jeux de couleurs restent visibles quand la lumière traverse les lamelles. Échantillon , photo x12



Figure 89 et 90 : L'agencement des zones de matière organique dans le melithaea est différent. Néanmoins si l'aspect est proche, la couleur est différente. De plus on remarque que sur des échantillons polis, ces zones ne se polissent pas. Échantillon Cgorg1, photo x5 et x12

Un ensemble d'échantillons en provenance d'un fournisseur de perles des USA, nous a posé un certain nombre de questions. Ces échantillons sont vendus sous le terme de « Tiger Coral » en raison de la couleur et de l'aspect tigré des pièces. Néanmoins un certain nombre de pièces présentent des zones qui sont clairement du Melithaea, reconnaissable par sa couleur, sa porosité et sa structure bien caractéristique. Sur ces échantillons, la matière organique est brune à noire, ne présente pas de jeux de couleurs et à un aspect caramélisé.



Figure 91 : Sur l'échantillon, le passage du Melithaea au « Tiger Coral » se voit bien. Impossible d'y voir un raccord, c'est la même matière. Photo x1,5



Figure 92 : Le traitement attaque la matière organique et la matrice calcaire. Ici les zones organiques présentent une couleur brune et leur aspect, comme du caramel, est typique du traitement. Échantillon Ci+R2, photo x5

### **3-I-3-5-LA COULEUR**

Dans le processus de l'identification du genre, la couleur a son importance. Si celle-ci peut être modifiée par des traitements, il n'en reste pas moins que de nombreux coraux ne sont pas traités.

Il existe des coraux qui couvrent une grande palette de coloris, et si les échantillons peuvent couvrir une large palette de couleur et d'aspect, ce travail n'a pas la prétention de toutes les recenser.

Si la palette la plus connue va du blanc au rouge profond ou « moro<sup>39</sup> », il existe de nombreuses couleurs naturelles comme le bleu, le noir, le doré, le pourpre... La plupart des échantillons de moindre qualité sont le plus souvent teintés. C'est pour cette raison que cette partie n'est consacrée qu'aux couleurs naturelles afin de ne pas interférer avec la dernière partie sur l'identification visuelle des traitements.

Les Corallium font partie des coraux les plus appréciés en bijouterie. En effet, il est beau, recherché et donc précieux. Ce genre présente une palette allant du blanc au rouge intense. Enfin, c'est un corail qui ne fait pas l'objet de beaucoup de traitements

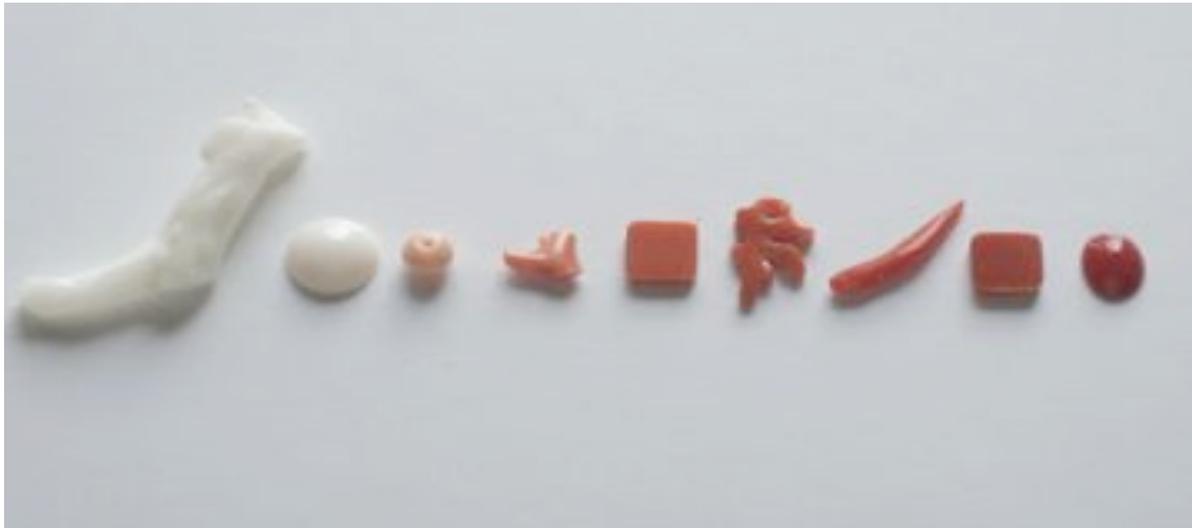


Figure 93 : Palette de couleurs des échantillons de Corallium. Échantillons Cbl1 et 3, Crose2 et 1, Croug4, 8, 3, 4 et 3. Photo x1.

<sup>39</sup> Moro : Corail japonais (paracorallium japonicum) d'un rouge saturé

Jusqu'à ce qu'une limitation soit instaurée à leur commercialisation, d'autres coraux, présentant une palette de coloris très proche des Corallium ont été utilisés. Longtemps appelés Allopore, ils appartiennent au genre des Stylaster. Ces coraux sont soumis à une législation stricte, il est donc très difficile de s'en procurer. Si les Stylasters présentent des coloris proches entre autres des roses, ils possèdent une teinte typique que ne possèdent pas les corallium : le pourpre (des jaunes dorés et bleus violacés ont été signalés chez les Stylaster : Allopore étoilé et Allopore Subviolacea)

Cette étude nous a permis d'étudier des Stylaster roses et pourpres (fig. 94, 95 et 96). Rares sur le marché, une fois taillés, ils ressemblent, de manière flagrante, aux Corallium. Seule l'observation des cyclo-systèmes et une analyse Raman permettent de les différencier. Néanmoins sur l'ensemble des données bibliographiques et des échantillons, seuls les Stylaster sont décrits comme pouvant avoir un squelette pourpre.



Figure 94, 95 et 96 : Palette de coloris des échantillons en Stylaster observés. Hormis le collier qui date de 1850 (restauré à l'atelier, figure 94), les autres échantillons sont listés dans le chapitre II. Échantillon St1 et St2, photo x0,5

Toujours dans cette palette de coloris, on trouve le Melithaea. Celui-ci est très reconnaissable grâce à sa structure.

Il présente trois couleurs : rouge, orange et jaune. Les couleurs sont réparties en zones bien distinctes que montre la figure 97. On note une zone rouge calcaire très dense, une zone orange poreuse et toujours calcaire, et une zone jaune, surtout organique.

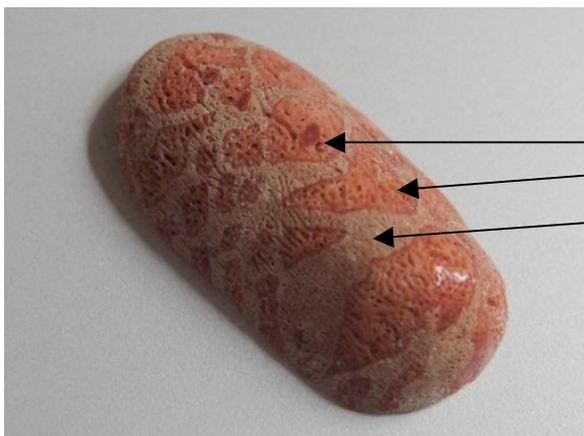


Figure 97 : Échantillon Cgorg1, photo x3.

- 1- Zone rouge dense
- 2- Zone orange poreuse
- 3- Zone jaune poreuse.

Ces couleurs sont les couleurs typiques du Melithaea.

Lorsqu'il est traité, il peut être jaune très pale et marron à noir.

Il existe des coraux de couleur bleu. Si des Stylaster ont été signalés, c'est avant tout le corail Heliopora que l'on trouve sur le marché de façon assez courante. Il présente souvent des zones claires et des zones plus intenses que présente la figure 98. Cette répartition n'est pas

forcément le signe d'un renforcement artificiel de la couleur. Si d'autres éléments rentrent en compte pour l'identifier, la couleur reste donc un élément important.



Figure 98 : Sur l'échantillon Cble2, la répartition des couleurs est visible. Il est clair sur les extérieurs de la colonie et foncé dans l'épaisseur du squelette. Photo x10

On trouve ensuite des coraux qui présentent une couleur noire (fig. 99), en fait très souvent brun à rouge très foncé quand on les observe par transparence. Seul les Antipathes présentent une couleur brune à noire uniforme sur l'ensemble du squelette. Néanmoins les coraux bambou présentent des zones noires (fig. 102) de structure quasi identique au corail noir. On peut tout de même les différencier par une observation attentive. En effet le corail noir présente des épines (fig. 100) sur la totalité de son squelette, et pas les zones noires du corail bambou. Enfin le corail noir se caractérise par des jeux de couleurs qu'il est le seul à posséder (fig. 101).



Figure 99 : La couleur noire est la couleur typique de ce corail du genre Antipathes. L'échantillon a été déverni et poli avant la photo. Échantillon CNT1, photo x2.



Figure 100 : Le corail noir est souvent rougeâtre par transparence. Les épines sont typiques. Échantillon MNHN, photo x10



Figure 101 : Les jeux de couleurs sont présents uniquement dans le corail noir. Échantillon CN2, photo x5



Figure 102 : Zone de couleur noire dans le corail bambou, elle présente les mêmes caractéristiques structurelles que le corail noir sans les jeux de couleur. Photo Chantal Moine, échantillon CB6

Il existe plusieurs genres qui présentent une couleur « dorée », qui est plutôt sable, en fait un jaune beige qui tire sur le marron clair. On trouve les Gerardia (fig. 103) qui se caractérisent particulièrement par cette couleur. Mais les Eunicella (fig. 104) ainsi que les Gorgonia (fig. 105) la présentent aussi. On pourrait, en fonction des teintes, y inclure le corail noir. Ce sont tous des coraux protéiniques. La couleur n'est donc pas le critère distinctif. Seule une observation de structures permet de les différencier, parfois avec difficulté.



Figure 103 : Boucle d'oreille en provenance des USA en Gerardia présentant une couleur typique. Échantillon G1, photo x1.



Figure 104 : Branche d'Eunicella. Échantillon Eu1 Photo x5

Figure 105 : Pendentif en Gorgonia, présente une vascularisation importante, ainsi qu'une couleur plus intense que le Gerardia. Il semble ne pas présenter de chatoyance. [www.koralart.com](http://www.koralart.com)



La dernière teinte, et qui reste une des plus courante, est le blanc. La plupart de squelettes présentent une teinte blanche, en réalité plus une couleur dite ivoire, un blanc cassé. Les Coralliums, les Scleractinia (fig. 106, 107 et 108), les coraux bambou présentent un squelette calcaire de cette couleur. La seule exception est pour le corail bambou qui peut présenter dans les surcroissances uniquement une couleur beige (fig. 109 et 110).



Figure 106, 107 et 108 : Sélection parmi les échantillons de Scleractinia fourni par l'Aquarium de la Rochelle : Euphyllia (Sc5), Acropora (Sc3), Pocillopora (Sc6). Photos x 0,5.

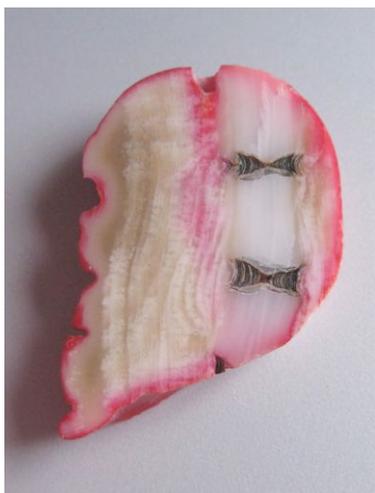


Figure 109 : Coupe dans une amulette teintée en corail bambou, la surcroissance est beige tandis que la branche d'origine est blanche. Échantillon CBT5, photo x4



Figure 110 : Statuette en corail bambou, cette couleur naturelle est plus inattendue et différente de la couleur blanche habituelle.  
Photo Chantal Moine

### **3-I-3-6-LES SPICULES DU CORAIL NOIR**

Au-delà de tous les critères d'identification exposés ci-dessus, il reste, concernant le corail noir un critère à prendre en compte. C'est le seul à présenter, comme cela a été dit plus haut, une multitude de pointes (spicules) à la surface de son squelette (fig. 112). C'est pointes sont vascularisées.

Néanmoins, s'il est rare de pouvoir se procurer du corail noir non travaillé. Il est, par contre, possible de trouver tout de même des perles ou des pampilles<sup>40</sup> taillées dans cette matière.

Les spicules sont visibles de l'extérieur vers l'intérieur (fig. 111). C'est-à-dire que dans une coupe, on remarque la base de ces pointes qui partent du centre de la branche. De ce fait, même sur des échantillons polis, il est impossible de ne pas les voir. Enfin, ces épines sont aussi visibles sur les échantillons qui auraient été traités (fig. 113). C'est d'ailleurs un élément de différenciation avec le corail doré « Gerardia » de la même provenance, Hawaii.



Figure 111 : vascularisation visible depuis l'intérieur des « branches », photo x2



Figure 112 : les spicules sont très usées par le polissage mais reste visibles



Figure 113 : les spicules restent visibles sur un corail noir traité.

<sup>40</sup> Pampille : taille particulière, le plus souvent en forme de goutte pouvant être facettée.

### **3-I-3-7-IDENTIFICATION VISUELLE DES TRAITEMENTS APPLIQUES AU CORAIL**

Parmi tous les échantillons, nous avons visualisé six catégories de traitements qui ne sont pas les seuls possibles : la teinture, l'imprégnation par résine, le blanchiment, le bouchage d'imperfection, les pièces reconstituées avec des morceaux de coraux et enfin les pièces vernies

#### **3-I-3-7-1-LA TEINTURE**

Ce traitement est courant. On le repère sur plusieurs genres de coraux parmi les échantillons : les pièces en corail bambou, en *Melithaea*, en *Scleractinia* et dans un corail qui n'a pas été identifié exactement. Lors des recherches d'échantillons, il a pu être identifié sur des *Heliopora* et des *Corallium*.

On trouve sur le marché des pièces teintées de toutes les couleurs. Les couleurs courantes sont le rouge, orange, jaune, bleu et noir. Mais des couleurs les plus atypiques se rencontrent aussi : vert fluo, violet et rose fuschia. Le plus souvent cette teinture est stabilisée par de la résine, mais ce n'est toujours le cas. Dans ces cas-là, elle n'est pas toujours très stable et de l'acétone (fig. 118), de l'alcool, voire le seul contact de la peau permettent de l'ôter. Parfois elle ne s'en va pas et est particulièrement résistante. À ce moment-là, il faut bien observer et repérer des zones plus ou moins foncées, des résidus des bains de teintures (fig. 116), ou carrément des superpositions de colorations (fig. 115). Nous avons même trouvé un échantillon avec des paillettes vertes...



**Figure 114 :** Sélection parmi les échantillons teintés : 1-*Melithaea* CgorgT2 ; 2/6-Corail non identifié (*Scleractinia*, *Porites* ?) Cble3 ; 3-*Scleractinia* ; 4/5/7-Corail bambou (certainement *Keratoisis*) CBT1,3,7

Photo x0,5



Figure 115 : Sur l'échantillon non identifié (porites ?) Cble3, on remarque deux colorations, vert et bleu issus du processus de coloration  
Photo x5



Figure 116 : Amalgame de teintures différentes sur une surcroissance de corail bambou.  
Échantillon CBT3, photo x5



Figure 117 : Malgré la porosité sur l'échantillon Cble3, la couleur ne pénètre pas à cœur.  
Photo x5



Figure 118 : Essais de décoloration à l'acétone sur l'échantillon de corail bambou CBT2. Photo x1

### **3-I-3-7-2-L'IMPREGNATION PAR DES RESINES**

Ce traitement est assez courant sur les pièces poreuses. Ce peut-être aussi fait en complément d'une teinture pour la stabiliser. Si le traitement n'est pas toujours facile à identifier, il faut tout de même chercher d'éventuelles bulles dans la résine, vérifier si les pores sont bouchés (fig. 120) ou non, et se méfier des pièces à la couleur très homogène et très brillante (fig. 122). La résine sert aussi à donner un lustre sans avoir à les polir. Parmi les coraux échantillonnés, les melithaea et les coraux bambou sont couramment imprégnés. Un corail non identifié l'est aussi.

Néanmoins, ce sont souvent les coraux poreux qui le sont, le but étant de donner un maximum de solidité aux pièces taillées dans ces matériaux.

Lors des analyses, l'occasion s'est présentée de pouvoir scier certains échantillons, ce qui a permis de bien visualiser les épaisseurs de résine sur des échantillons. En l'occurrence l'épaisseur peut aller jusqu'à 1,5mm.

Mais le travail d'imprégnation peut être très bien fait. Ainsi lors du repolissage de l'échantillon, il arrive que les excédents de résine soient retirés, et que seule la révèle l'observation de la surface à la binoculaire.

Enfin, les perles en *Melithaea blanchi* sont toujours imprégnées à cœur de résine. Le traitement semble donc le fragiliser durablement.



Figure 119 : La présence de bulles et de poussière est visible dans l'épaisseur de résine qui protège une perle reconstituée de plaquettes de corail.  
Échantillon Rec, Photo x12



Figure 120 : La porosité est brillante car bouchée à la résine sur un *Melithaea* dit « Tiger Coral »  
Échantillon Cinc+R1, photo x12



Figure 121 : Perle en *Melithaea* recouverte de résine et imprégnée quasiment jusqu'à cœur  
Ici l'épaisseur de résine atteint 0,8mm.  
Échantillon, photo x5



Figure 122 : Collier en corail bambou teinté et résiné, d'où la brillance excessive des perles.  
Échantillon CBT7, photo x0,5

### **3-I-3-7-3-LE BLANCHIMENT DU CORAIL**

Sur deux types d'échantillons, nous avons identifié un traitement qui vise à modifier durablement la couleur. Ce traitement était cité dans la littérature concernant le corail noir. Grâce à l'action de peroxyde d'hydrogène, on arrive à lui donner une couleur dorée foncée (fig. 123 et 124), mais qui permet d'imiter le corail doré, *Gerardia*. Mais rien ne signalait de traitement concernant le *Melithaea*.

Si dans le cas du corail noir, c'est un traitement chimique, il ne semble pas en être de même concernant le *Melithaea*.

Dans les deux cas, le résultat est une perte de la pigmentation naturelle pour donner une couleur beige doré. Dans le cas du corail noir, la couleur dorée peut-être vraiment soutenue. Repérer le traitement sur le corail noir n'est pas très difficile. Bien souvent le corail noir est vendu sous forme de branche ou perles taillées dans la branche et on remarque au centre que la matière est encore noire comme le montre la figure 126. De plus, il est aisé de visualiser les spicules ou les restes de celles-ci (fig. 125). Enfin les jeux de couleurs sont parfois visibles. Un vernis doré peut venir camoufler en plus les zones mal décolorées, c'est ce que montre la figure 128.

Dans le cas du Melithaea, c'est déjà plus compliqué. Soit les pièces présentent des zones décolorées et on voit bien que le corail a subi une modification, soit on ne trouve que des pièces modifiées et il faut être capable de reconnaître la matière. Comme cela a déjà été expliqué, ces pièces sont vendues sous le terme de Tiger Coral (fig. 127). Néanmoins, les essais de décoloration chimique durant ce travail n'ont pas donné de résultats probants. De ce fait, au jour de cette rédaction, nous n'avons aucune certitude quant à la réalisation et à l'application de ce traitement.



Figure 123 : Collier en corail noir blanchi. La matière est esquilleuse\* suite au traitement. Échantillon, photo x1



Figure 124 : Collier en corail noir blanchi. Le traitement a mieux réussi sur ce collier. Échantillon CNTr3, photo x1



Figure 125 : Sur les branches du collier, les épines sont visibles bien qu'usées par le polissage. Échantillon d'Antipathes CNTr3, photo x12



Figure 126 : Le traitement attaque les couches superficielles des branches qui restent noires au centre. Échantillon d'Antipathes CNTr3, photo x10



Figure 127 : Sur cette perle reconstituée en Melithaea, les parties noires et blanches sont traitées. On remarque bien que c'est la même matière  
Échantillon REC4, photo x10



Figure 128 : Quand le traitement laisse des traces brunes, elles peuvent être camouflées sous un vernis pailleté doré.  
Échantillon CNTr3, photo x12

### **3-I-3-7-4-COLMATAGE DES IMPERFECTIONS A L'AIDE D' AMALGAMES**

Une seule des perles analysées présente ce type de traitement. L'échantillon est une perle de Melithaea qui présente une imprégnation avec une résine incolore et un colmatage grossier avec un amalgame de colle et de pigment orange clair que présente la figure 129. Ici, il n'a aucune vocation décorative comme cela peut se voir sur certains ouvrages en corail creusé et rebouché. Le but n'est dans ce cas précis, que de combler les trous pour améliorer l'imprégnation. Le type de matériau de comblement est utilisé en restauration d'objet d'art. Nous fabriquons à l'atelier des enduits réversibles que l'on applique avant certaines restaurations. Ici on retrouve le même type de texture à base de colle, pigment et craie, en fait un gesso\*.



Figure 129 : Détail du rebouchage sur l'échantillon Rec3.  
Photo x10

Lors de l'analyse de l'échantillon, nous nous sommes permis de retirer du matériau de rebouchage afin de pouvoir en identifier les composants. En restauration, on a coutume de gratter les rajouts (fig. 130) et autres modifications postérieures pour les identifier et, cela sans forcément les soumettre à des analyses coûteuses et longues, mais seulement en soumettant les matériaux aux tests de réversibilité classique : eau, alcool, acétone, produit dérivé du benzène...

Dans le cas présent, l'amalgame se dégrade à l'acétone (fig. 131), et aussi à l'alcool mais plus lentement.



Figure 130 : Détail du matériau de bouchage une fois retiré du corail.  
Échantillon Rec3, photo x1,5



Figure 131 : Réaction de l'amalgame à l'acétone. Échantillon Rec3, photo x1,5. Le matériel de bouchage est constitué de colle, de pigment rose et de craie (type blanc de Meudon).

### **3-I-3-7-5-LES PIÈCES RECONSTITUÉES A LA RESINE**

On trouve sur le marché, de façon peu courante, des pièces reconstituées. Ce sont habituellement des assemblages de morceaux de coraux plus ou moins petits et liés grâce à une résine. Ensuite cela est taillé et poli afin d'être monté en incrustation. Néanmoins, un lot de perles trouvées aux USA présentait beaucoup d'originalité, mais aussi pour une perle, beaucoup de finesse dans le travail de montage et de taille.

Si tous les coraux en petits morceaux peuvent être amalgamés dans une résine, les échantillons sont à base de *Mélithaea* naturel et blanchi mais aussi de *Scléractinia* et de corail inconnu (peut-être des *Porites* ou des *Scléractinia*). Dans les cas présents, un échantillon se compose de petits morceaux répartis dans de la résine aux hasard (fig. 132), deux échantillons sont travaillés selon une technique d'assemblage bien définie du type marqueterie (fig. 133 et 134) et l'une des perles présente des incrustations de laiton (fig. 134), deux perles sont fabriquées avec des plaquettes empilées les unes sur les autres, certaines teintées (fig. 135 et 136). Enfin un échantillon est plus particulier car il s'agit de corail reconstitué de fabrication Gilson.

#### **3-I-3-7-5-1-ECHANTILLON REC2**

Cet échantillon à été taillé dans un bloc de résine coulée sur un empilement de petits morceaux de *Melithaea* (morceaux compris entre 2 et 6 mm, pour la plus grande dimension que présente la figure 132). On remarque aussi la présence de poussière et de matériaux organiques de couleur noires. La résine est jaune et l'on remarque la présence de bulles.



Figure 132 : Détail des morceaux de corail du genre *Melithaea* assemblés dans la résine, une bulle est visible.  
Échantillon Rec3, photo x12

### 3-I-3-7-5-2-ECHANTILLONS REC4 ET REC7

Ces deux échantillons sont particuliers car ils sont réalisés avec soin selon la technique de la marquetterie. Les morceaux sont choisis pour que le montage soit harmonieux. On remarque la présence d'incrustations de laiton sur l'échantillon Rec7. Les deux échantillons sont constitués de Melithaea naturel et blanchi. Ils sont tous les deux protégés par une épaisseur non négligeable de résine (de l'ordre de 0,5 à 1mm). On note la présence de bulles dans la résine et d'un gesso<sup>41</sup> pour maintenir les incrustations de laiton (fig. 134).



Figure 133 : 1-Détail du Melithaea Échantillon Rec7, x1  
Figure 134 : 2-Détail des incrustations de laiton dans le gesso. Échantillon Rec7, x12

### 3-I-3-7-5-3-ECHANTILLONS REC5 ET REC6

Les deux échantillons suivants sont plus particuliers. Tout d'abord, ils ne sont pas composés de Melithaea mais, à priori, soit, de Scleractinia, soit, de Porites. Toutefois nous n'avons aucune certitude réelle quant au genre ou l'ordre de ces coraux, mais en observant leur structure, leur porosité et l'aspect général du squelette, nous pensons être en présence de corail constructeur de l'ordre des Scleractinia. Ce sont des coraux de couleur blanche, mais qui ont été teints pour monter ces perles (fig. 135). Elles sont composées de plaquettes de corail teintées, collées entre elles et résinées (fig. 136). Ensuite, le tout est taillé en forme de perle.

On identifie le corail grâce d'abord à la structure du matériau, et entre autres, à une porosité importante qui correspond à ce type de matériaux. On remarque que celle-ci est parfaitement ordonnée et correspond à une vascularisation importante du squelette.

Néanmoins, si ces deux types de coraux n'ont pas été défini avec exactitude, il est à noter que l'échantillon Rec5 possède la même structure que Cgorg5, et l'échantillon Rec6, la même structure que Cble3. Ce sont donc des coraux utilisés de façon courante dans la bijouterie.

Enfin, l'épaisseur de résine est très importante et dépasse le millimètre sur les échantillons de l'ensemble Rec5.



Figure 135 et 136 : L'une des perles de l'ensemble Rec5 a été sciée afin de mieux voir l'épaisseur de résine et l'assemblage de la perle. Photo x1.

<sup>41</sup> Gesso : Mélange de colle animale (type colle de peau de lapin) et blanc de Meudon (craie).

### **3-I-3-7-5-4-ECHANTILLON REC1**

Le dernier échantillon reconstitué est un matériau connu depuis de nombreuses années mais qui aujourd'hui ne se fabrique plus. C'est un mélange de poudre calcaire et de pigment rouge amalgamé dans une résine. Cela donne donc un ensemble très dense, de couleur homogène et qui se polit très bien. Néanmoins, la structure est suffisamment différente pour ne pas confondre ce matériau avec un corail rouge naturel ou même un corail teinté en rouge. Il n'existe à priori aucune autre couleur sur le marché.

Quand on regarde cette matière à la binoculaire, on remarque une structure granuleuse très fine et serrée. De plus, cet amalgame ne présente ni ligne de vascularisation, ni porosité.

### **3-I-3-7-6-POSE DE VERNIS**

Le dernier type de traitement recensé sur nos échantillons est le vernissage. Deux types d'échantillons le présentent : Les colliers de branches de corail noir qui sont recouverts d'un vernis-peinture noire avec une nuance de prune et les pièces en corail noir blanchi dont les manquements du traitement sur la surface de la branche sont recouvert d'un vernis doré. On note, en plus, que l'épaisseur est entièrement recouverte de façon à cacher le fait que le traitement n'attaque que les couches superficielles. Ce traitement n'est pas stable, le vernis s'use et s'en va avec le temps. De plus, il se retire très bien à l'acétone. Le but est surtout de donner un aspect poli aux pièces, surtout celles en corail noir non traité. On peut aussi suggérer comme motif la volonté de diminuer la couleur brune visible en transparence et de donner une fausse opacité à la matière.



**Figure 137 :** Essai positif de retrait de vernis à l'acétone.

On remarque la couleur prune du vernis.

Échantillon d'Antipathes  
CNTr1, photo x1



**Figure 138 :** Vernis doré sur l'épaisseur d'une branche de corail noir blanchi.

Échantillon d'Antipathes  
CNTr3, photo x12

## **3-II-GEMMOLOGIE DE LABORATOIRE**

### **3-II-1-IMAGERIE MEB**

Lors des observations à la binoculaire, un certain nombre de critères de différenciation ont été identifiés. Nous avons donc voulu pousser les grossissements des structures pour préciser ces critères. Il fallait donc en passer par le MEB. Les analyses se sont révélées très concluantes. La binoculaire ne permet pas de séparer les structures avec autant de détail. Et certaines structures communes se sont révélées plus différentes dans leur morphologie au MEB.

Le MEB a permis de mettre en évidence des structures micro grumeleuses, lamellaires, fibreuses, prismatiques. Parfois un mélange de structures est visible (Melithaea...). Les structures peuvent présenter des organisations bien définies ou non.

Les échantillons contiennent tous des carbonates, même si ceux-ci sont en très faible proportion dans la masse. Il était intéressant de voir si le MEB permettait de visualiser une différence entre aragonite et calcite. En réalité cela est assez difficile à voir. Enfin les structures organiques présentent des structures identifiables.

Les deux cristallisations carbonatées présentent parfois des structures en plaquettes (fig. 139 et 140). Il est donc difficile de différencier les cristallisations sur ce type d'aspect.

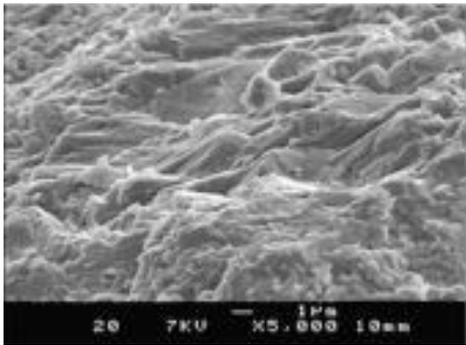


Figure 139 : Structure en plaquette sur l'échantillon d'Héliopora Cbl4, corail calcitique

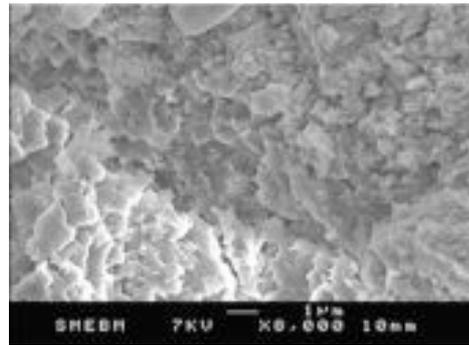


Figure 140 : Structure en plaquette sur un échantillon de Pocillopora (Sc6), corail aragonitique

### **3-II-1-1-LES STRUCTURES MICROGRUMMELEUSES**

Ce sont des structures qui se caractérisent par une très grande proportion de grains dans la structure. Ici ce sont des grains de carbonate de calcium.

Ce type de structure est visible dans l'échantillon d'Acropora Cgorg4 (fig. 141 et 142) et dans l'échantillon non identifié mais attribué à un Scleractinia Cble3 (fig. 143). Dans les deux cas, on est en présence d'aragonite.

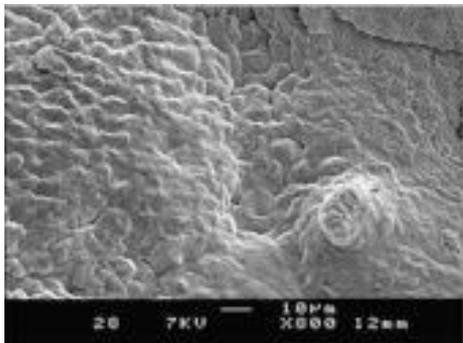


Figure 141 : Premier grossissement de la structure de l'échantillon Cgorg4. La structure est massive et compacte.

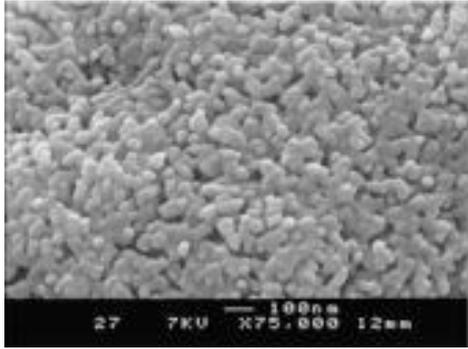


Figure 142 : Le grossissement le plus important possible est 75000x sur cet échantillon (Cgorg4). Il permet de révéler une structure de petits grains très serrés de l'ordre de 40nm.

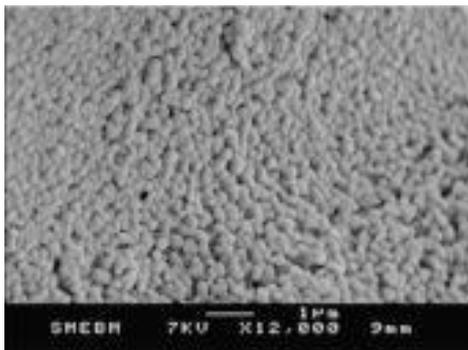


Figure 143 : L'échantillon Cble3 montre deux type de structure. Mais il montre entre autres une structure faite de petits grains de l'ordre de 20nm. Cela ajoute un élément d'identification en faveur d'un Scleractinia type Acropora

### 3-II-1-2-LES STRUCTURES EN PLAQUETTES

On est ici en présence de structure constituée d'amas de plaquettes superposées. Les structures sont plutôt ordonnées (fig. 144, 145 et 149), mais peuvent se présenter de façon très désordonnée (fig. 146, 147 et 148). On différenciera ici les structures en plaquettes des structures en lamelles, même si elles comportent, en apparence, des éléments communs. Ce type de structure se retrouve sur des coraux calcitiques et aragonitiques.

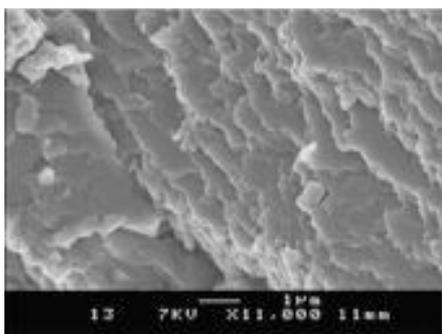


Figure 144 : Structure en plaquettes sur un corail bambou CBT3, de type calcitique. Les plaquettes qui ici ont des mesures de l'ordre de 50 nm et une épaisseur de l'ordre de 5nm, ont un aspect déchiqueté qui rappelle bien l'aspect de ce corail à la binoculaire.

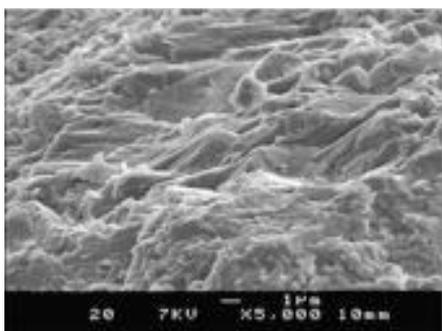


Figure 145 : Structure en plaquettes sur un corail calcitique de type Corallium. Ici les plaquettes ont des mesurent de l'ordre de plusieurs centaines de nanomètres. Echantillon Cbl4.

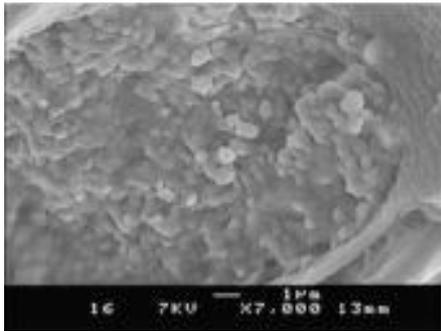


Figure 146 : Structure en plaquette dans un méliothaëa, de type calcitique et aragonitique. Échantillon Cgorg1. Ici les plaquettes ont une largeur de l'ordre de 30 à 40 nm pour une épaisseur de l'ordre de 5 nm. Ces plaquettes sont caractéristiques de l'agencement intérieur des fibres de la figure 164.

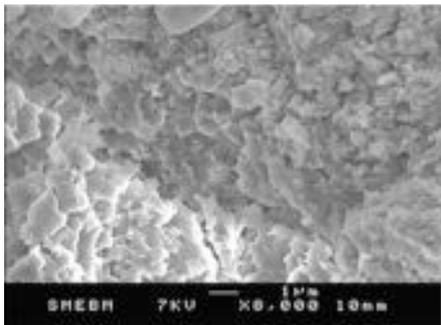


Figure 147 : Structure en plaquettes dans un corail de type aragonitique. Echantillon de Pocillopora Sc6. Ici les plaquettes ont une largeur de l'ordre de 40 nm mais une épaisseur bien plus importante que dans la figure 144. Ici cette épaisseur de l'ordre de 10 nm.

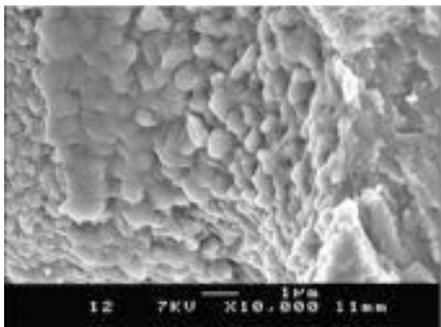


Figure 148 : Structure en plaquettes dans un échantillon de corail bambou. Échantillon CBT2. Les plaquettes mesurent environ 50nm pour une épaisseur de l'ordre de 10nm. Cette structure reflète bien celle observée à la binoculaire sur ce genre de corail.

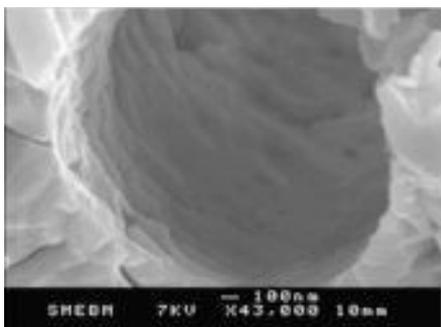


Figure 149 : Structure en plaquette autour d'un pore sur un Pocillopora. Ici les plaquettes ont une taille importante de l'ordre de 200nm de largeur pour une épaisseur de l'ordre de 10 nm. Échantillon Sc6. La porosité est un critère important de caractérisation chez de genre de corail.

### **3-II-1-3-LES STRUCTURES LAMELLAIRES**

Elles sont très proches des structures en plaquettes, entre autres quand elles se présentent de façon superposée. Elles sont surtout visibles dans des structures aragonitiques. Parfois elles sont proches de structures prismatiques, néanmoins leur aspect aplati et allongé permet de définir des plaquettes.

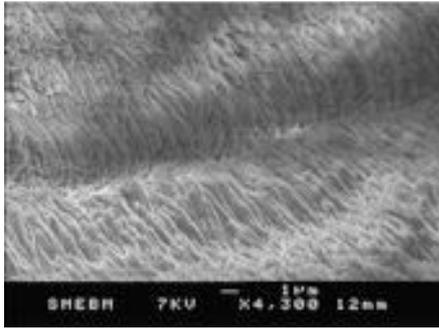


Figure 150 : Structure sur un Euphyllia. Corail aragonitique. Échantillon Sc4. Ces lamelles mesurent environ 20 x 200 nm avec une épaisseur de l'ordre de 10 nm. Cet aspect est caractéristique de la structure que l'on observe à la binoculaire sur ce genre de corail.

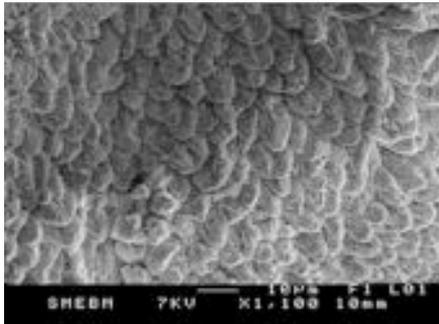


Figure 151 : Structure présentant de nodules mesurant environ 500 nm et constitués de lamelles. Échantillons de seriatopora Sc7. Corail aragonitique

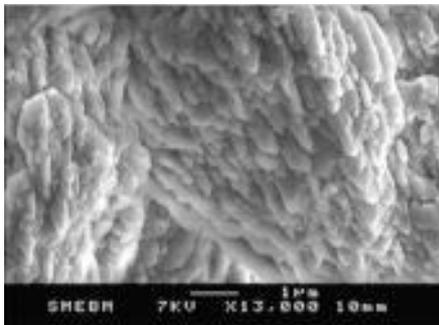


Figure 152 : Grossissement d'un nodule à structure pyramidale dans la structure d'un sériatopora. Échantillon Sc7. On visualise bien les lamelles (environ 20nm de largeur pour moins de 10 nm d'épaisseur) dans une structure aragonitique. Ces structures sont impossibles à voir à la binoculaire, mais sont caractéristiques d'un sériatopora.

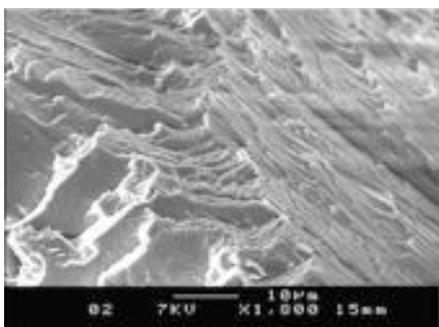


Figure 153 : Structure sur un corail organique contenant de la calcite. Échantillon d'antiphates CNTr1. Ici les lamelles sont de taille importantes (plusieurs centaines de nm), mais sont constituées de plus petites lamelles difficilement mesurables et présentent une structure fibreuse dans le sens de la longueur

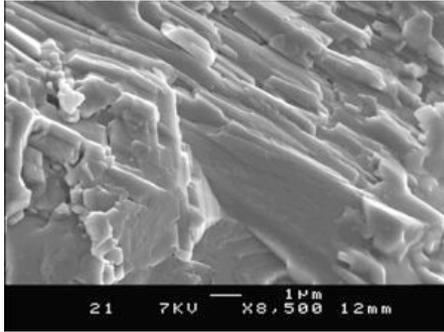


Figure 154 : Structure lamellaire proche de celle visible sur la figure 153 chez un Antipathes, dans un corail aragonitique du genre Heliopora. Ici les lamelles mesurent plusieurs centaines de nm. Echantillon d'Heliopora Cble1

### 3-II-1-4-LES STRUCTURES FIBREUSES

Ces structures sont très reconnaissables et sont visibles dans les échantillons très riches en matériaux organiques. Les structures ont un aspect filandreux, parfois entortillé. Néanmoins elles sont aussi bien visibles dans des coraux de nature aragonitique et présentent un agencement très régulier avec parfois une croissance aciculaire

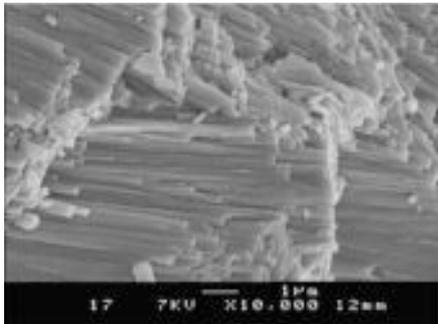


Figure 155 : structure fibreuse chez un melithaea de nature aragonitique. Ces fibres mesurent plusieurs centaines de nm pour environ 10 nm de largeur et environ 5 nm d'épaisseur. Echantillon de type mixte, Cgorg1.

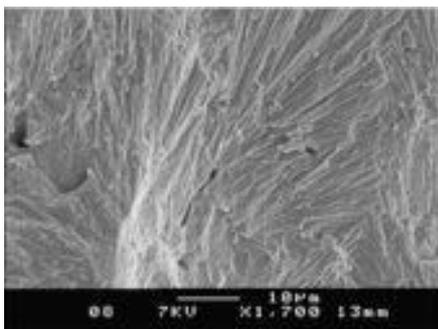


Figure 156 : Structure fibreuse sur un échantillon de corail non identifié de type aragonitique, attribué à un scleractinia. Échantillon Cgorg3. Les fibres ont une mesure équivalentes à celle de la figure 155.

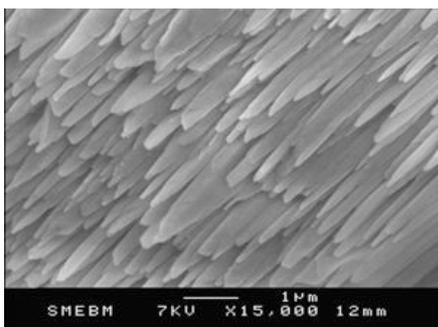


Figure 157 : Structure fibreuses de nature aciculaire dans un corail aragonitique. Échantillon de Diploastrea Cgorg6. Ici les fibres mesurent environ 10 nm de largeur pour une longueur de plusieurs centaines de nm.

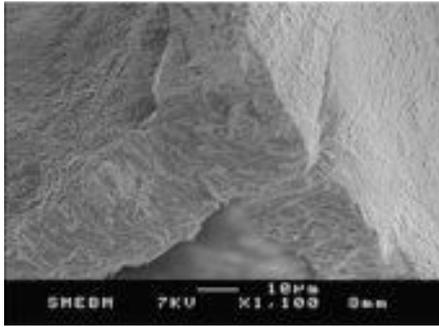


Figure 158 : Structure fibreuse proche de celle de la figure 156 en terme de taille et de croissance sur un corail non identifié attribué à un scleractinia de type acropora ou porites. Échantillon Cble3

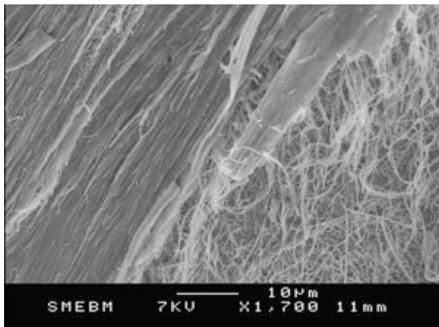


Figure 159 : Détail de la structure fibreuse dans l'échantillon d'Eunicella. Les fibres sont particulièrement visibles dans les zones présentant un arrachage de matière. Échantillon Eu1.

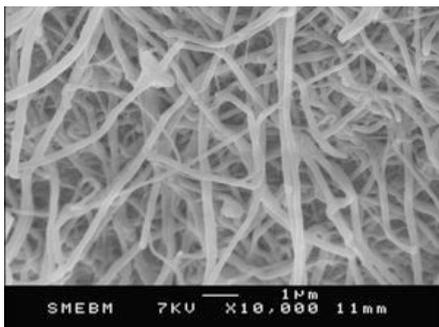


Figure 160 : Détail de la structure fibreuse. Ici les fibres présentent une largeur de l'ordre de 10 nm et une longueur de plusieurs centaines de nm. Échantillon Eu1.

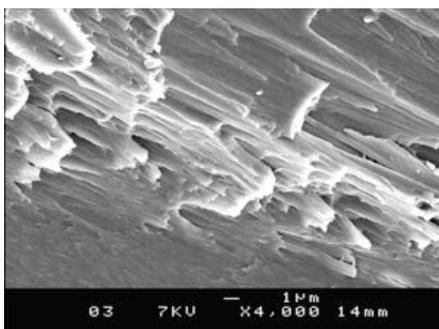


Figure 161 : Structure fibreuse sur un échantillon de corail noir du genre Antipathes CNTr1. Cet aspect est très caractéristique de la structure de ce corail que l'on observe à la binoculaire. Ici les fibres sont difficiles à mesurer et s'apparente à une structure lamellaire.

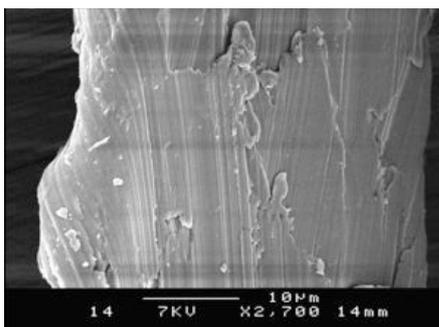


Figure 162 : Structure de lamelles fibreuses dans un échantillon d'antipathes traité au permanganate pour le décolorer. Échantillon CNTr1

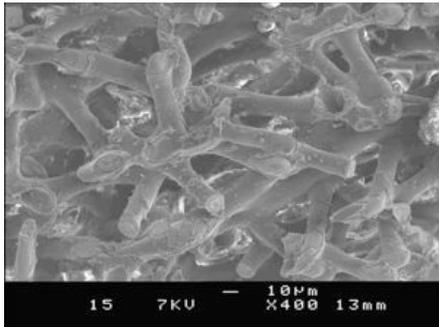


Figure 163 : Certains coraux présentent un mélange de structures. C'est le cas du melithaea, fibreux d'apparence, puis dans le détail, présentant des structures en plaquettes (fig 146) et aciculaire (fig 155).  
Échantillon Cgorg1

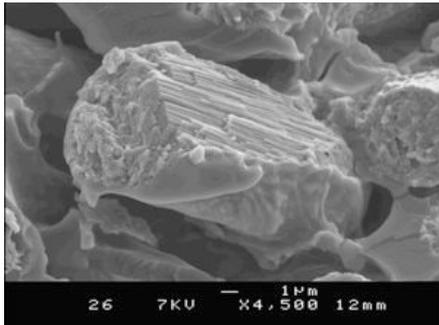


Figure 164 : Structure fibreuses dans un échantillon aragonitique attribué au genre des Porites ou acropora. Ici les fibres ont la structure et la taille de celles de la figure 155  
Échantillon Cble3

### **3-II-1-5-LES STRUCTURES PRISMATIQUES**

Ces structures se reconnaissent par la présence d'agrégat présentant des arêtes nettement anguleuses, elles peuvent aussi être colonnaires et présentent des arêtes arrondies.

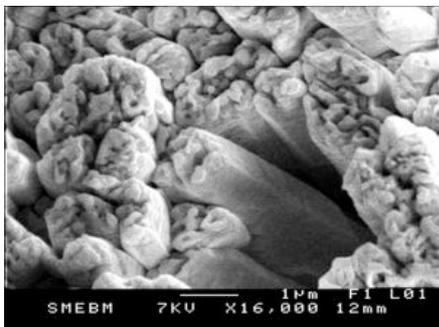


Figure 165 : Structure d'un Diploastrea de nature aragonitique présentant une structure pseudo hexagonale. Les prismes ici ont une largeur de l'ordre de 100 nm.  
Échantillon Cgorg6.

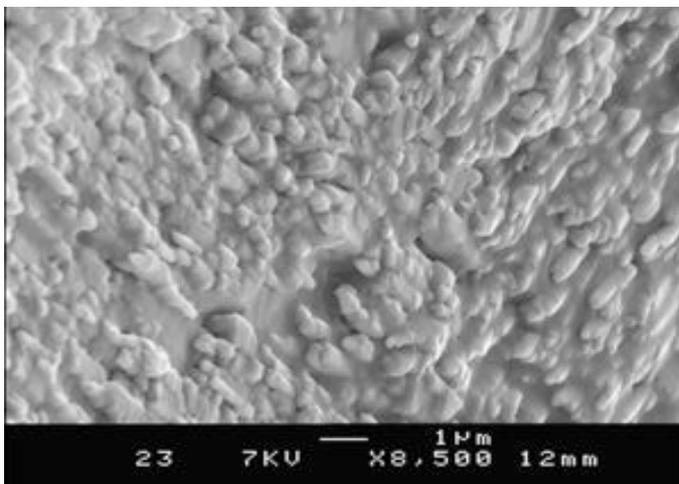


Figure 166 : Présence d'une structure prismatique (de l'ordre de 50 nm) massive, dans un Heliopora de nature aragonitique.  
Échantillon Cble1

### **3-II-1-6-ECHANTILLON NE PRESENTANT PAS DE STRUCTURE DEFINIE**

Un seul échantillon ne présente pas de réelle structure. En effet, cet échantillon présente un mélange anarchique de petites particules.

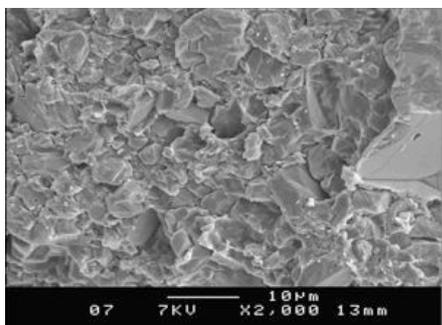


Figure 167 : Absence de structure définie dans l'échantillon de corail reconstitué. Échantillon CrecRoug1. Ici les particules présentent des tailles très diverses mais autour d'une moyenne de 300 nm.

### **3-II-2- SPECTROSCOPIE RAMAN**

L'utilisation du FT Raman a permis de mettre en évidence un certain nombre d'éléments de distinction parmi les échantillons. Il est d'abord possible de différencier avec certitude les coraux aragonitiques des coraux calcitiques. De plus il est possible de mettre en évidence les causes de coloration des squelettes et des les différencier avec certitudes.

Néanmoins, l'utilisation de la diffusion Raman permet de mettre en évidence de très nombreux pics qu'il n'a toujours pas été possible d'attribuer, en particulier en ce qui concerne la structure de la matière organique dont les spectres sont différents d'un genre à un autre, mais présentent néanmoins des similitudes. Ainsi, l'utilisation de cette méthode n'a pas forcément été la meilleure solution pour différencier les coraux constitués principalement de matière organique. En effet il semble difficile de différencier Gorgonine et Antipathine avec seulement l'aide du Raman. De plus les échantillons de coraux organiques sont difficilement analysables en raison d'une forte luminescence.

#### **3-II-2-1-DIFFERENCIATION DES CORAUX CALCAIRES : ARAGONITE/CALCITE**

La différenciation s'articule autour de deux pics. Celui qui se situe de 700 à 705  $\text{cm}^{-1}$  environ identifie l'aragonite, tandis que celui qui se situe autour de 715  $\text{cm}^{-1}$  environ identifie la calcite. Ce critère de différenciation est bien visible sur les spectres Raman de la calcite et de l'aragonite issus de la base de donnée de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie que présentent les figures 168 et 169.

De nombreuses autres bandes sont attribuables aux carbonates de calcium, constituants essentiels des coraux : 160, 285, 1085, 1440 et 1750  $\text{cm}^{-1}$ .

Les analyses ont mis en évidence des structures mixtes, contenant les deux polymorphes comme le présente les figures 170 et 172, mais aussi des pollutions calcaires d'un autre type que le squelette sur lequel elle est greffée (fig. 171).

U1000	INT.TIME :	0.500 Sec	laser power	: 514nm 300mW
BENY	INCREMENT :	-0.50 Cm-1	slits	: 500 microns
02/22/91	NB.SCANS :	1	objective	: macro 1430V
b:CaCO3P 900	calcite CaCO3		operator	: C.Beny
	poudre 80-40 microns		sample	: carbonates.ref
	crystal horizontal			

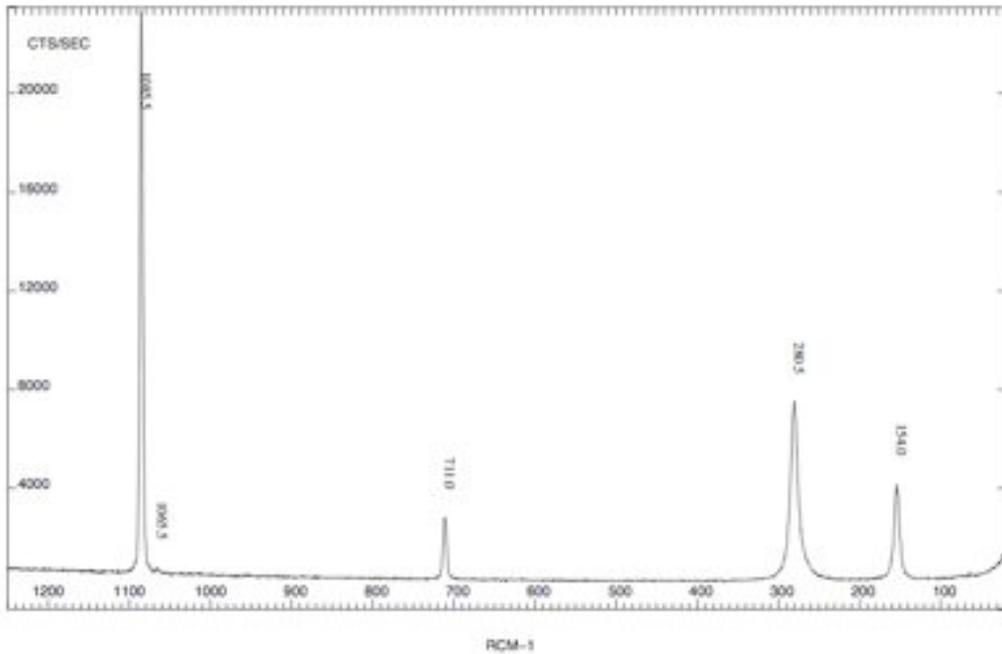


Figure 168 : Spectre Raman de référence pour la calcite. Le pic à 711  $\text{cm}^{-1}$  est caractéristique lors de l'identification (base de données SFMC)

U1000	INT.TIME :	0.500 Sec	laser power	: 488nm 500mW
BENY	INCREMENT :	-0.50 Cm-1	slits	: 500microns
04/12/91	NB.SCANS :	1	objective PM	: x50g! 1430V
b:ARAGC.500	section polie avec mineraux Yves Moelo		operator	: section Y Moelo
	aragonite CaCO3 cristal		sample	: carbonates.ref

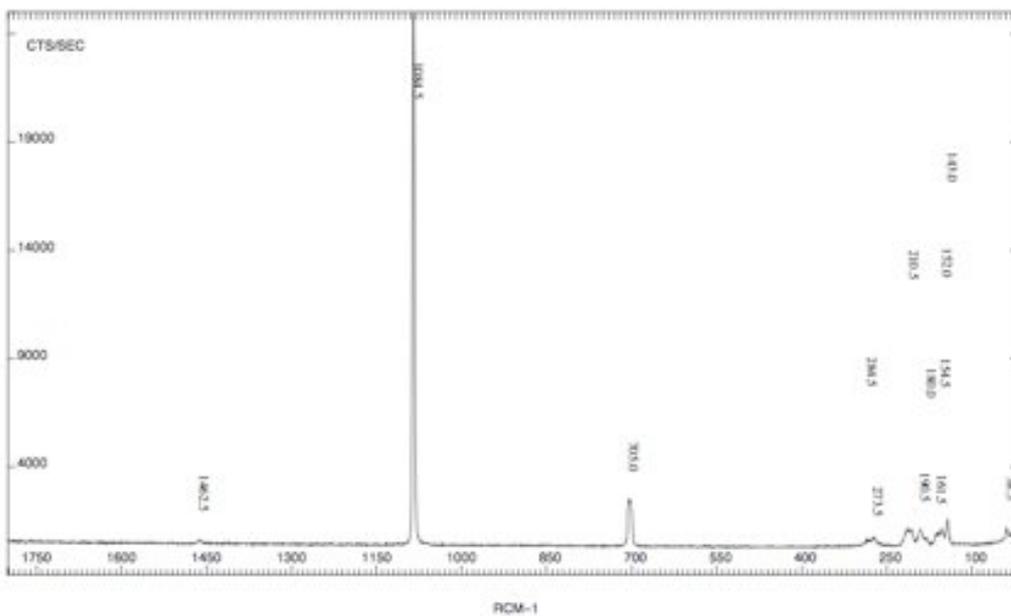


Figure 169 : Spectre Raman de référence pour l'aragonite, le pic à 705  $\text{cm}^{-1}$  est caractéristique pour l'identification (base de données SFMC)

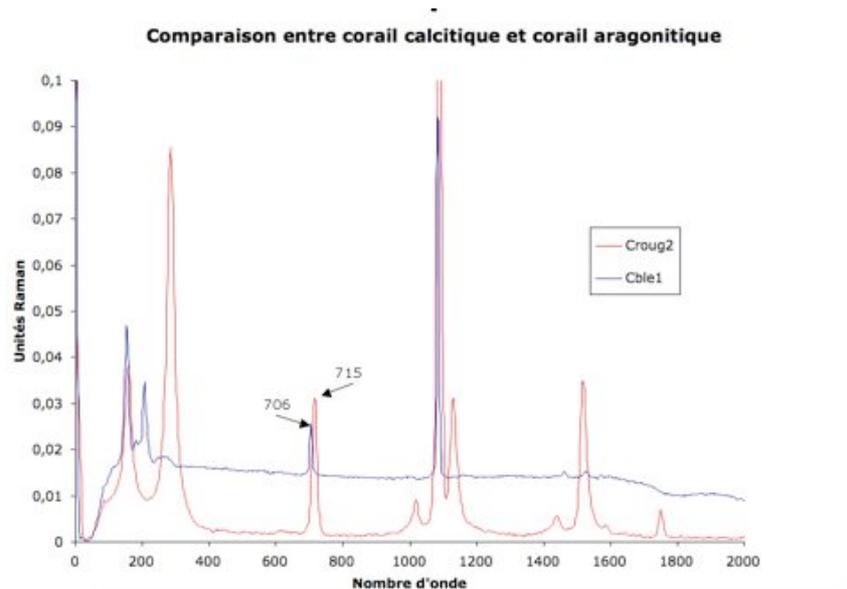


Figure 170 : Comparaison entre un spectre de Corallium et un spectre d'Heliopora. Ce qui nous intéresse ici, c'est la bande permettant de différencier calcite ( $715\text{ cm}^{-1}$ ) et aragonite ( $706\text{ cm}^{-1}$ ). Echantillon Croug2 et Cble1

La figure 170 montre la différence lors d'une analyse Raman entre une structure calcitique et structure aragonitique. Les autres pics ne sont pas renseignés car ils sont, soit, communs aux carbonates de calcium, soit concernent les causes de la coloration expliquée plus loin. L'analyse Raman reste donc l'outil idéal pour ce type de différenciation. Ainsi sur des échantillons de corail bambou, il a été possible de déterminer la structure d'une surcroissance calcaire aragonitique que présente la figure 171.

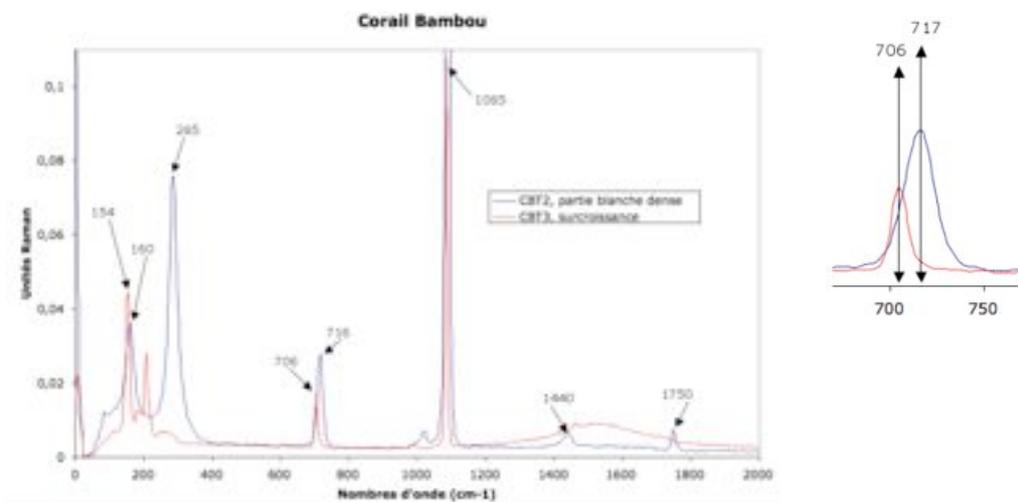


Figure 171 : Mise en évidence d'une structure différente sur une surcroissance aragonitique. Échantillon de corail bambou CBT3

Un ensemble d'échantillons d'un même genre a montré une caractéristique jusque-là non citée dans la littérature gemmologique, avec des méthodes non destructives: la présence d'une double structure calcitique et aragonitique sur le genre Melithaea (fig. 172).

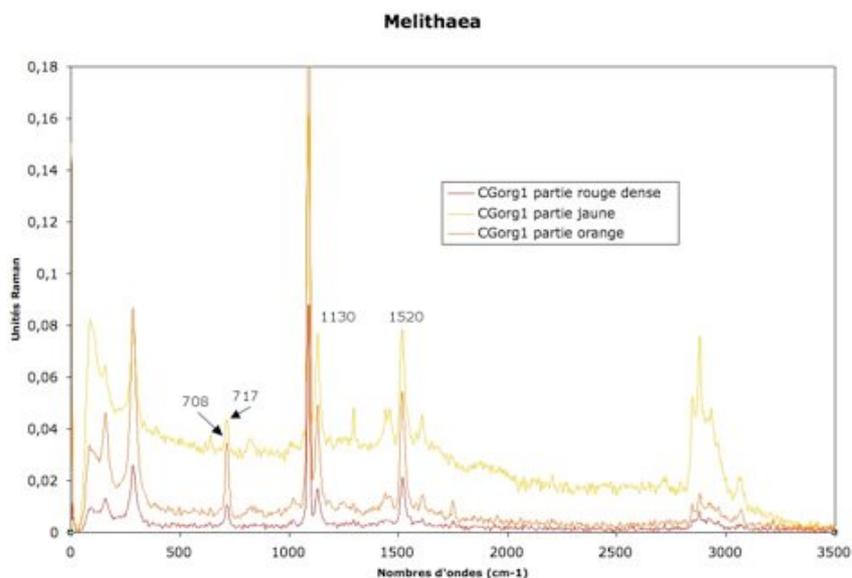


Figure 172 : Spectres Raman de Melithaea. Échantillon CGorg1

L'ensemble des zones du Melithaea présente des pics communs, mais le spectre de la zone jaune présente une grande quantité de matière organique. De plus c'est dans cette zone, ainsi que dans la zone rouge dense, que l'on note la faible présence d'aragonite.

Enfin les analyses Raman ont permis de mettre en évidence la présence de matière calcaire calcitique dans les antiphates, avec la présence d'un faible pic autour de 710 cm-1.

L'ensemble des échantillons ont été analysés au Raman, les résultats sont donnés dans le tableau suivant :

	Structure calcitique	Structure aragonitique	Structure mixte (calcitique et aragonitique)	Matière organique
CRoug1	X			X
CRoug2	X			X
CRoug3	X			X
CRoug5	X			X
CRoug6	X			X
Cbl1	X			
Cbl2	X			
Cbl3	X			
Cbl+Rose4	X			X
CRose1	X			X
Crose2	X			X
CNTr1	X			X
CN2	X			X
CNTr3	X			X

Cble1		X		X
Cble2		X		X
CGorg1			X	X
CGorgT2			X	X
Cep1			X	X
CGorgbl+Roug3		X		
CGorg4		X		
CGorg5		X		
CGorg6		X		
CRecRoug1				
Ci+R1	X			X
Ci+R2	X			X
CBT1	X			X
CBT2	X			X
CBT3	X			X
CBT4	X			X
CB5	X			X
CB6	X			X
CBT7	X			X
TM1		X		X
TM1		X		X
Sc1		X		
CF1				
CF2				
Sc2		X		
G1		X		X
St1	X			X
St2	X			X
Rec2			X	X
Rec3			X	X
Rec4			X	X
Rec5		X		X
Rec6		X		X
Cble3		X		
Cgorg7				X
Eu1				X
Sc4		X		
Sc5		X		
M1		X		X
Sc6		X		
Sc7		X		
Sc8		X		

### **3-II-2-2 LA MATIERE ORGANIQUE**

La matière organique que l'on trouve dans les échantillons de corail est complexe et difficile à analyser. C'est en effet un ensemble complexe de protéines ainsi que de différents éléments tels que des acides aminés. Cette matière organique donne les clés de compréhension de la

coloration, mais elle apporte aussi des éléments de différenciation entre les ordres et les genres.

### **3-II-2-2-1 DIFFERENCIATION PIGMENTS CAROTENOÏDES / PIGMENTS POLYENIQUE**

La coloration la plus courante est causée par les pigments polyéniques (fig. 173). Ces pigments présentent deux pics de forte intensité, l'un à  $1130\text{ cm}^{-1}$  environ attribué aux vibrations d'élongation des liaisons C-C dans la chaîne polyénique, et l'autre vers  $1520\text{ cm}^{-1}$ , provoqué par des vibrations d'élongation des doubles liaisons C=C dans la chaîne polyénique.

En comparaison, les pigments caroténoïdes présentent aussi deux pics de forte intensité. Le premier vers  $1157\text{ cm}^{-1}$  (et non  $1130\text{ cm}^{-1}$ ) est dû aux vibrations d'élongation des simples liaisons C-C sur la chaîne polyénique ainsi qu'aux vibrations de déformation dans le plan (in-plane bending) des méthyles substitués. Le deuxième vers  $1512\text{ cm}^{-1}$  (et non  $1520\text{ cm}^{-1}$ ), dû aux vibrations d'élongation des doubles liaisons C=C, reste à la même position que pour les polyènes non substitués (Karempelas, 2008).

Pour les caroténoïdes (fig. 174), on observe un décalage important de  $24\text{ cm}^{-1}$  vers  $1160\text{ cm}^{-1}$  à cause des groupements méthyles substitués sur la chaîne polyénique.

Pour illustrer ces explications, les détails de spectres Raman sur certains échantillons sont assez parlant. Ces mesures permettent de faire une différence très importante entre les coraux, mais en plus apportent des éléments caractéristiques liés à la caractérisation de la minéralisation du squelette. Enfin la caractérisation de ces pigments permet de faire la différence entre pigmentation naturelle et une pigmentation artificielle.

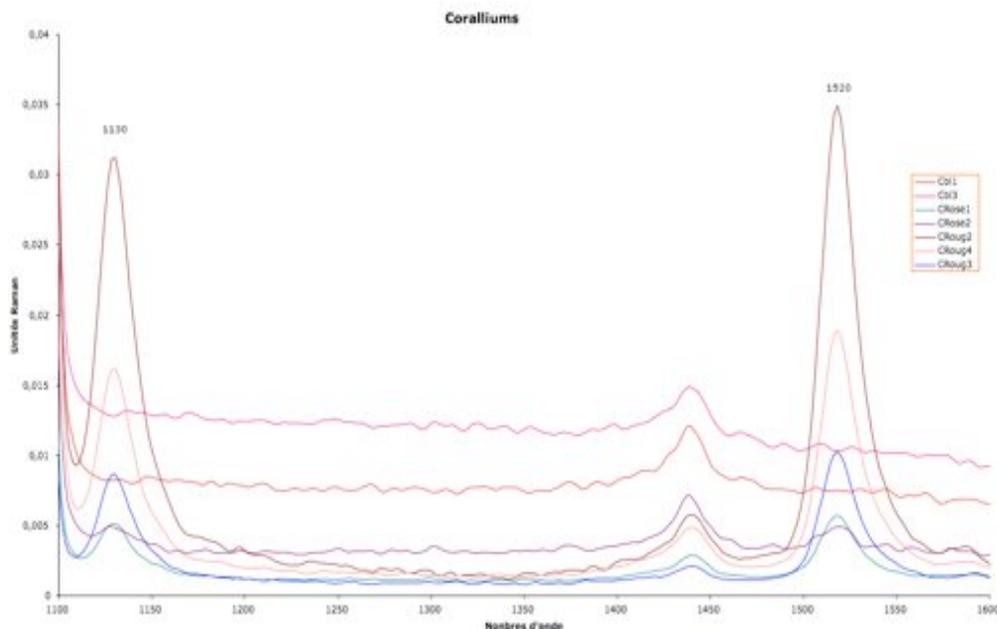


Figure 173 : Spectre de diffusion Raman de sept échantillons de Corallium avec indication des pics de pigments polyènes simple. L'augmentation de la quantité de pigment est liée à l'augmentation de l'intensité en couleur des échantillons de Corallium que présente la figure

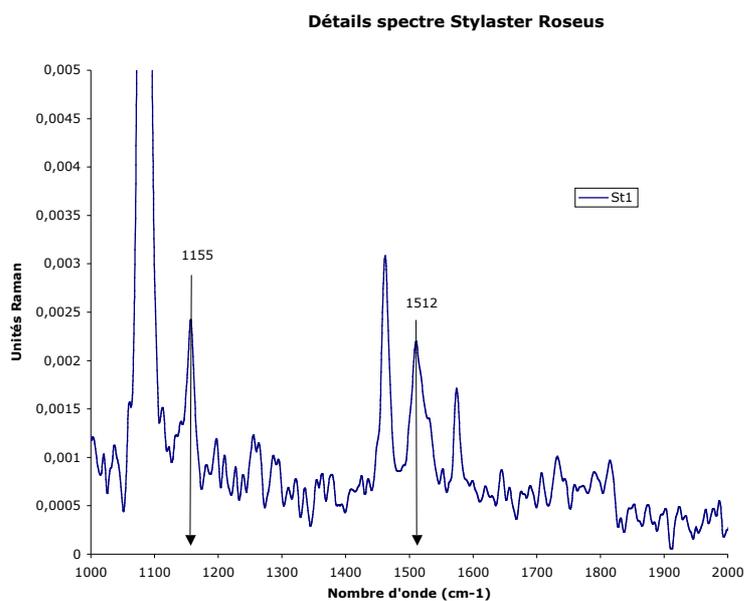
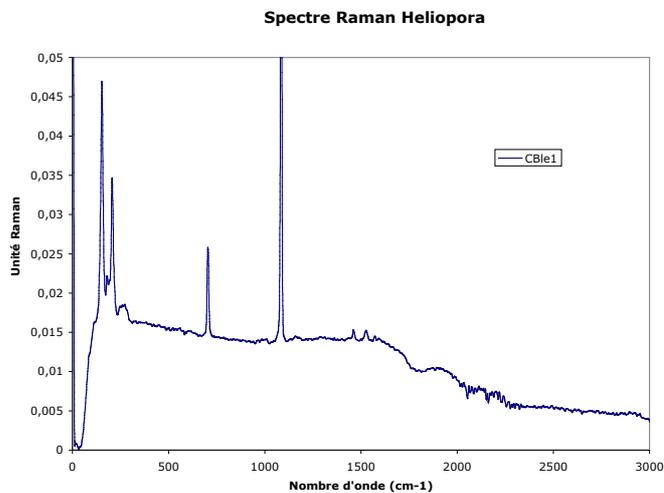


Figure 174 : Spectre Raman présentant une coloration due aux pigments caroténoïdes sur l'échantillon St1. Le rapport signal / bruit est mauvais, cela est en parti dû à la nature brut de l'échantillon et à la présence de nombreux résidus organiques à la surface de la branche de Stylaster St1.

Lorsque l'on ne visualise pas l'une ou l'autre de ces causes de coloration, cela peut être dû à une coloration non naturelle. Aujourd'hui les pigments artificiels sont pour la plupart des pigments organiques qui ne donnent pas de signaux fort en Raman, car. Contrairement aux pigments à base de polyacétyle, il n'y a pas de résonance Raman. De plus ils ne réagissent pas aux tests de détection classique tel que la décoloration grâce à des solvants comme l'acétone ou l'alcool. Il convient cependant d'être prudent car certains coraux n'ont pas les mêmes mécanismes de coloration tels les coraux noirs ou le corail bleu.

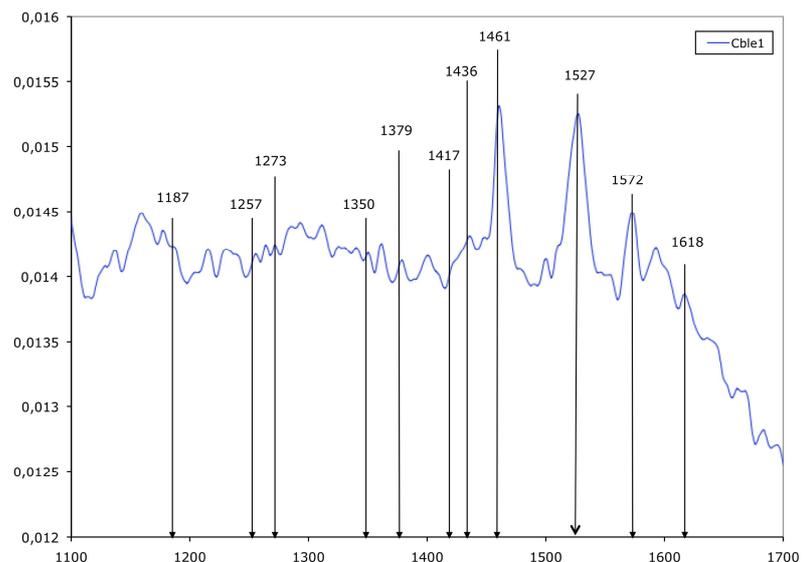
### **3-II-2-2 MISE EN EVIDENCE DES PIGMENTS BILIAIRES DANS LE CORAIL BLEU**

L'analyse du corail bleu est difficile. Tout d'abord car c'est un corail riche en matière organique. De plus on observe à chaque analyse une forte fluorescence (fig. 175), mais aussi un « bruit » très important sur les spectres. Et cela pour toutes les analyses effectuées avec le FT Raman, quelles que soient les conditions d'analyses et le temps passé pour collecter le spectre. Néanmoins, il était intéressant de vérifier si il était possible de détecter la présence de biliverdine IX alpha, ainsi que cela est défini dans la littérature non gemmologique. Il semble impossible d'identifier la biliverdine-9 alpha sur un simple spectre Raman. En effet pour obtenir un spectre intéressant, il faudrait déminéraliser l'échantillon afin de concentrer la matière organique et plus particulièrement le pigment biliaire. Cela n'est pas compatible avec une analyse non destructive. Néanmoins en agrandissant les spectres Raman de corail bleu Heliopora, on arrive à mettre en évidence des pics qui peuvent être attribués à des protéines et éventuellement à des phytochromes type Biliverdine (Rüdiger et al, 1973 ; Schneider et al, 1988, Murgida et al, 2007). La zone d'étude qui nous intéresse se situe entre 1100cm<sup>-1</sup> et 1700cm<sup>-1</sup>. C'est donc une espèce de porphyrine de type biliverdine-9, mais celle-ci est impossible à déterminer sans destruction de l'échantillon que présente la figure 176.



**Figure 175 :** Spectre Raman de l'échantillon Cble1. La matrice calcaire présente des pics très intenses qui « étouffent » la matière organique. Il faut dilater le spectre pour visualiser la matière organique et le pigment responsable de la coloration de l'Heliopora coerulea (fig. 176)

**Figure 176 :**  
Agrandissement de la zone située entre 1100 et 1700  $\text{cm}^{-1}$ .  
L'ensemble des positions de pics correspond au signal d'une biliprotéine de type biliverdine-9. Celle-ci n'est pas très bien visible car l'échantillon n'est pas déminéralisé.



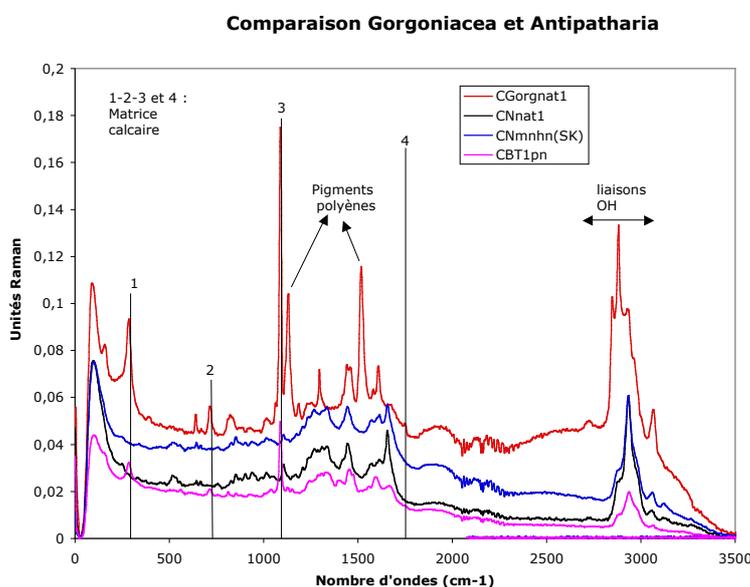
### **3-II-2-2-3 DIFFERENCIATION ENTRE GORGONINE ET ANTIPATHINE**

Dans ce cas encore, la différenciation entre ces deux types de protéines est difficile avec l'analyse Raman. Les échantillons les plus riches en information se sont révélés être ceux de Melithaea, Antipatharia et Keratoisis. Les échantillons, riches en matière organique, d'Eunicella et de Gerardia se sont révélés impossibles à analyser en raison d'une trop forte fluorescence.

La première analyse est purement visuelle (fig. 177), on remarque combien les spectres de ces quatre échantillons (CGorg1, Cnnat1, CN(SK) et CBT1) sont semblables. Il faut en priorité se concentrer sur les pics de matière organique mais ne pas tenir compte des pics de matières calcaires intenses sur les échantillons de Melithaea et de Keratoisis. De plus il faut aussi

exclure de l'analyse de ces spectres les pics de pigments polyènes visibles sur le spectre de Melithaea.

Une fois extraits, les pics ne concernant à proprement parler que la matière organique, il est tout de même possible de noter quelques différences entre les spectres de Gorgonacea (melithaea et keratoisis) et Antipatharia (Antipathidae)



**Figure 177 :**  
 Comparaison entre  
 Gorgonacea et  
 Antipatharia.  
 Echantillon  
 CGorg1, Cnnat1,  
 CN(SK) et CBT1.

Il nous a semblé utile de fractionner les spectres pour analyser les différences notables, de façon à se concentrer sur les pics qui semblaient pouvoir permettre de dissocier Gorgonine et Antipathine. Il est de plus possible de noter des différences entre la matière organique du Melithaea et du Keratoisis par le biais de pics qui ne sont pas visibles chez les coraux bambou analysés durant l'étude. De plus la matière organique des Kératoisis (coraux bambou dans l'ensemble) présente des similitudes de structures avec le squelette des Antipatharia mais des spectres assez différents.

La zone d'étude qui nous intéresse se situe entre 450 et 1850  $\text{cm}^{-1}$  (figures 179 et 180). C'est la partie la plus riche en information. C'est aussi en notant bien les différences que l'on peut faire la distinction entre la partie organique du corail bambou et du corail noir bien que celles-ci présentent la même couleur et la même structure.

Les différences dans les spectres sont reportées dans le tableau suivant que présente la figure 178 :

Spectre d'Antipatharia (Antipathidae)	Spectre de Gorgonacea (Melithaea et Keratoisis)
<b>523</b>	<b>526</b>
<b>540-542</b>	<b>536-540</b>
<b>563</b>	<b>561-563</b>
<b>646-650</b>	<b>642</b>
<b>671</b>	<b>677</b>
	690 (melithaea)
<b>762-764</b>	<b>762</b>
	820
<b>835</b>	<b>830</b>

<b>858</b>	<b>858</b>
908	
<b>943</b>	<b>943</b>
<b>1020</b>	<b>1020</b>
1109	
1215	
<b>1236</b>	<b>1238</b>
1275	
<b>1340</b>	<b>1340</b>
<b>1450</b>	<b>1450</b>
	1462-1464
	1477
1575	
	1610 (melithaea)
<b>1620</b>	<b>1618</b>
1658	
	1675
	1750

Figure 178 : Tableau listant les différents pics relevés sur les spectres de Melithaea, Keratoisis et Antipatharia. Les chiffres en gras indiquent les pics communs aux quatre spectres.

En comparant encore plus de spectres de Keratoisis et de Antipatharia, on note vraiment la forte ressemblance des spectres mais avec toutefois de légères différences qui permettent de les différencier.

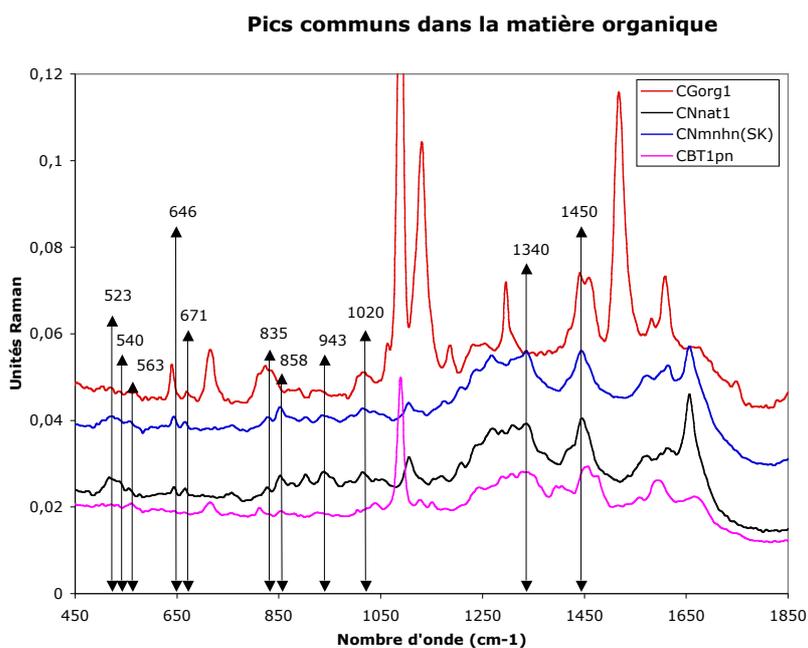
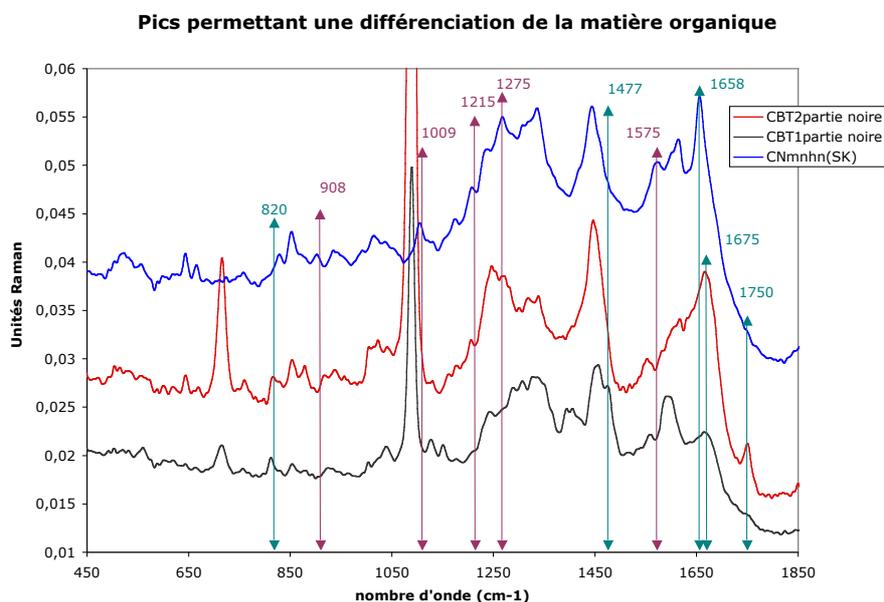


Figure 179 : Mise en évidence des pics communs dans la matière organique dans la zone allant de 450 à 1850cm<sup>-1</sup>.



**Figure 180 :** Les pics sur cette figure permettent de distinguer la matière organique d'un Keratoisis (rouge) et celle d'un Antipatharia (vert).

Différencier et identifier la matière organique est difficile, mais au-delà, cette étape n'est pas d'une importance cruciale pour la détermination des genres. L'utilité de cette méthode et de l'analyse des spectres reste importante pour différencier la matière organique d'un Keratoisis de celle d'un Antipatharia. En effet, les Antipatharia sont interdits sur le marché. Pouvoir déterminer de quel ordre provient un nodule de matière organique est donc important, ne serait-ce qu'au niveau légal. Certains pics tel le groupement allant de 523 à 540cm<sup>-1</sup> à une plus forte intensité dans la matière organique des Antipathes que dans celle des Gorgonacea, mais des pics comme ceux à 1009 ou 1750 cm<sup>-1</sup> paraissent caractéristiques lors des analyses.

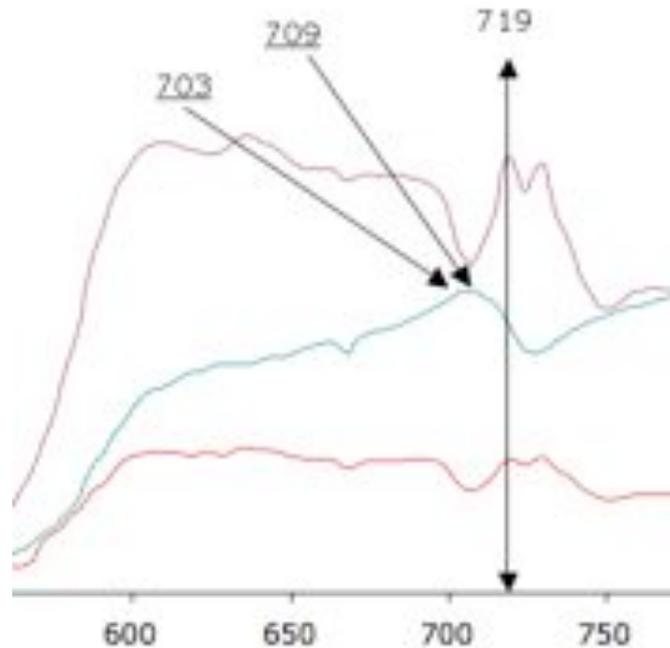
### **3-II-3 SPECTROSCOPIE FTIR**

Une partie des échantillons ont été analysés en spectroscopie FTIR. Ce mode d'analyse s'est avéré pratique pour certains échantillons difficilement analysables au Raman. C'est le cas entre autres des échantillons de Gerardia (G1). Les analyses ont permis de mieux visualiser la matière organique sur certains échantillons et éventuellement de mener des comparaisons. L'utilisation de FTIR a permis de confirmer la présence d'aragonite dans le genre Melithaea. Cette présence visible au Raman n'était pas très concluante, l'analyse FTIR a permis de lever les doutes.

### **3-II-3-1 DIFFERENCIATION ENTRE PHASE CALCITIQUE ET ARAGONITIQUE**

Cette différenciation est assez simple à effectuer. Le pic au alentour de 715cm<sup>-1</sup> est caractéristique de la calcite tandis que le doublet entre 700 et 710 cm<sup>-1</sup> caractérise l'aragonite comme le présente la figure 181 qui met en évidence la présence de deux polymorphes de carbonate de calcium dans le squelette du *Melithaea ochracea*.

Figure 181 : L'agrandissement des spectres permet de bien mettre en évidence la présence d'un infime doublet dans la région de l'aragonite, ce qui confirme l'analyse Raman de l'échantillon CGorg1.



### **3-II-3-2-MISE EN EVIDENCE ET COMPARAISON DE LA MATIERE ORGANIQUE**

Les analyses des structures mixtes (carbonates+matière organique) n'ont pas été concluantes pour quantifier et comparer les compositions. À cela une raison, le signal du carbonate de calcium est toujours très important et la matière organique n'est pas présente dans des quantités suffisamment importantes pour pouvoir être correctement analysée.

Par contre, dans le cas des coraux présentant des zones de matières organiques bien définies (type *melithaea*, corail bambou), l'analyse fonctionne bien. La première chose importante à noter est comme au FT Raman une similitude générale des spectres, mais avec des différences plus notables. En particulier le corail noir présente des pics spécifiques.

Afin de comparer ces différents spectres, nous avons ajouté comme éléments comparatifs, le spectre d'un morceau de *Melithaea* couvert de résine (CGorg2). En effet nous souhaitions être sûre que lors de l'analyse, nous avons bien le spectre de la résine et non un mélange avec la matière organique du corail. C'est bien le cas. Si la résine qui recouvre le corail est très riche en composé organique, elle présente des pics caractéristiques de sa composition qui permettent de la différencier de la matière organique naturellement présente dans le *Melithaea*. De plus sa composition permet d'obtenir un spectre très net de bien meilleure qualité que ceux de la matière organique du corail.

Comparaison matière organique de différents coraux

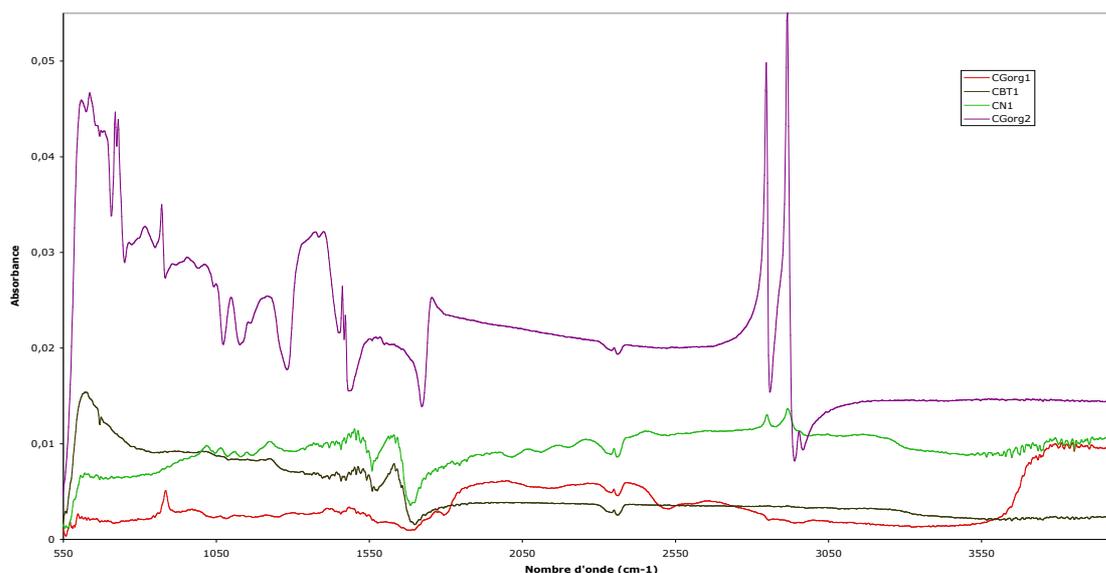


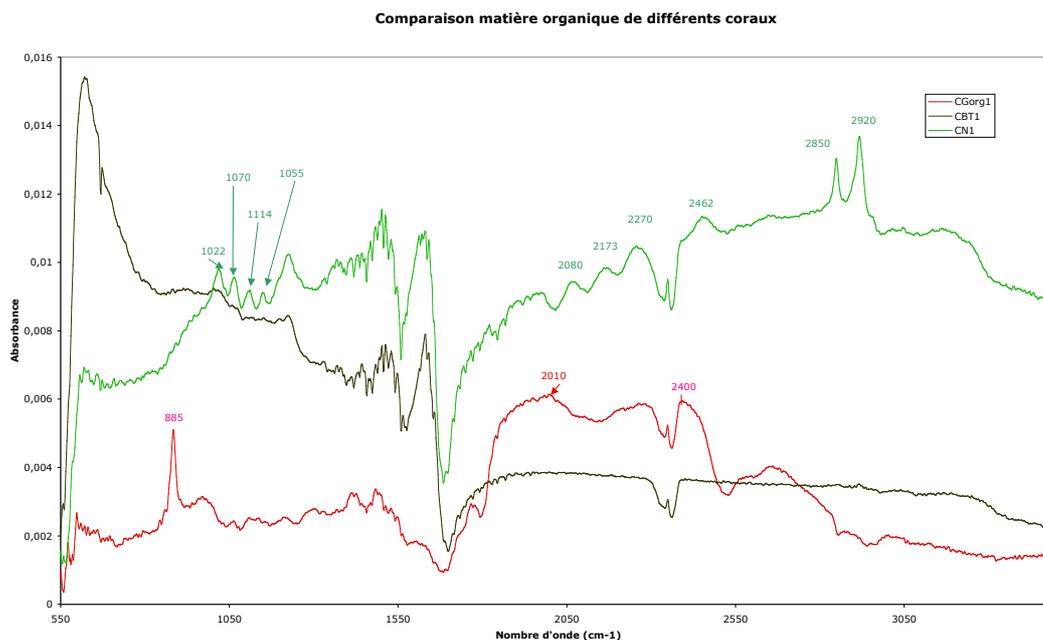
Figure 182 : Comparaison par spectroscopie FTIR de corail noir (Antipathes), Melithaea, et corail bambou ainsi qu'un échantillon fortement résiné de Melithaea servant de référence pour une spectre FTIR de résine polymère.

L'ensemble de ces spectres permet de définir plusieurs points importants :

- Les deux spectres de corail noir (Antipathes) naturel et d'un nodule de matière organique sur un corail bambou du genre keratois présentent des similitudes mais aussi des différences importantes permettant de les caractériser (figures 182 et 183)
- Le spectre de la matière organique du Melithaea est caractéristique et permet d'envisager une différenciation entre Gorgonine (Melithaea) et Antipathine (corail noir), bien que cette analyse soit superflue pour différencier les deux genres.
- L'échantillon de résine réagit très bien à l'analyse FTIR, et permet de créer une référence de comparaison entre matière organique naturel du Melithaea et celle constitutive de la résine.

La zone d'étude la plus intéressante va de 550 à 3500cm-1 (fig. 183).

La comparaison entre les trois matières organiques laisse apparaître de nombreux points communs. Cette matière est quasi uniquement composée de protéines et les analyses laissent penser que les compositions sont proches sans être identiques. Mais les points qui semblent surtout les différencier, c'est leur arrangement dans la matrice du squelette. Si pour le melithaea, une analyse FTIR n'apporte pas d'informations susceptibles d'aider à son identification, ce n'est pas le cas de la comparaison entre la matière organique du corail bambou et celle d'un Antipathes. On remarque alors de nombreux pics à documenter qui n'apparaissent pas dans les analyses du corail bambou : 1022, 1070, 1114, 1055, 1710 à 1805, 1872 à 1984, 2080, 2173, 2270, 2462, 2850 et 2920 cm<sup>-1</sup>. Il semblerait donc possible de faire la différence entre Gorgonine et Antipathine en combinant analyse en FT Raman et analyse en FTIR.



**Figure 183 :** Comparaison entre les matières organiques. Les pics en vert signalent des émissions spécifiques au corail noir, tandis que ceux en rouge signalent celles pour le *Melithaea*.

Le spectre de corail bambou ne donne pas un spectre très riche en informations en FTIR, mais présente en comparaison du corail noir de très nombreux pics absents. En outre corail noir et *Melithaea* partagent des pics communs. Néanmoins différencier ces deux matières ne nécessite pas l'utilisation de techniques poussées de laboratoire.

Une explication peut être avancée : dans le cas du corail bambou, la matière organique est très souvent incorporée et enrobée dans la matrice calcaire. Il faut donc la dégager pour pouvoir l'analyser. Malgré cela on remarque de fines couches de carbonate de calcium entre les couches de cette matière riche en protéines. Il est donc possible que le signal soit plus faible que dans le cas du corail noir où la présence de carbonate de calcium est anecdotique.

### **3-II-3-3 LE CAS DU CORAIL DORE**

L'échantillon G1, est en fait une parure constituée de boucles d'oreilles, d'une bague et d'un pendentif. La structure est assez proche d'un corail noir et de nombreux articles font état de la possibilité de greffe naturelle de corail doré sur du corail noir. Il était donc important de savoir si on pouvait différencier ces deux genres par le biais d'analyses. Néanmoins il a déjà été montré plus haut qu'une bonne observation des pièces permet de les différencier. Même si le corail doré naturel a une présence anecdotique sur le marché, il était intéressant d'essayer de trouver un critère les différenciant en laboratoire.

Nous avons donc analysé les cabochons sur les boucles d'oreilles ainsi que le cabochon du pendentif et obtenu deux spectres présentant de nombreuses similitudes. Nous avons comparé ces deux spectres à celui de l'échantillon de corail noir CN2. Il était en effet admis que cet

ensemble d'échantillons à la même provenance, à savoir Hawaï. C'est ce que présente la figure 184.

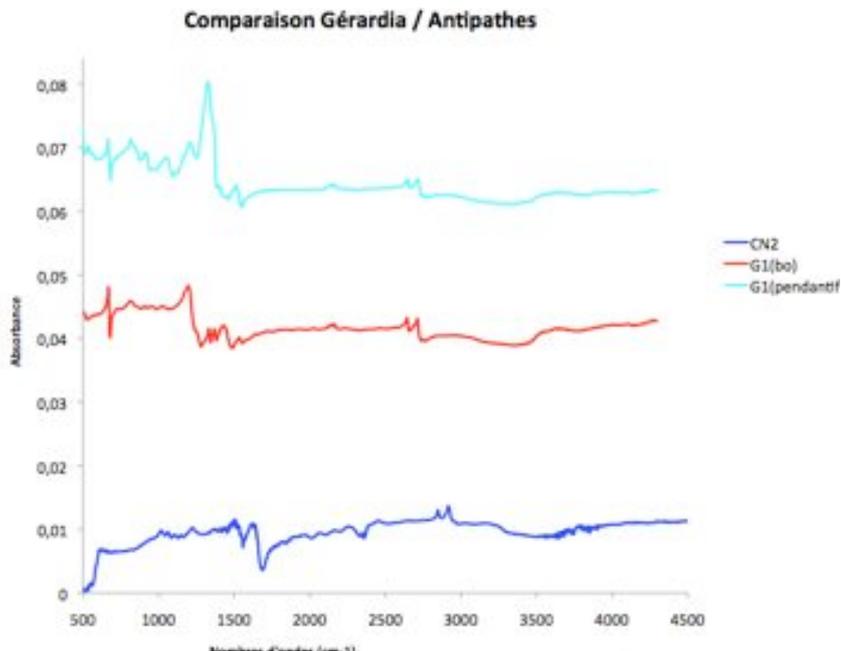


Figure 184 : Spectres FTIR de Gerardia et d'Antipathes. Echantillons G1 et CN2

Nous avons déjà essayé de déterminer si le corail doré du genre Gerardia possédait une phase minérale. La première constatation est que la FTIR n'est pas l'appareil d'analyse le plus adapté pour quantifier la présence infime de matière minérale au contraire du FT Raman même avec une résolution classique de  $4\text{cm}^{-1}$ .

En augmentant la résolution du spectre, on localise un pic aux alentours de  $709\text{cm}^{-1}$  qui indique la présence infime de  $\text{CaCO}_3$  dans les deux spectres de Gerardia. De plus, un très léger épaulement pourrait indiquer la présence d'un pic vers  $703\text{cm}^{-1}$ . La présence de ces deux pics semblerait pouvoir indiquer la présence d'une phase minérale sous forme aragonitique (fig.185).

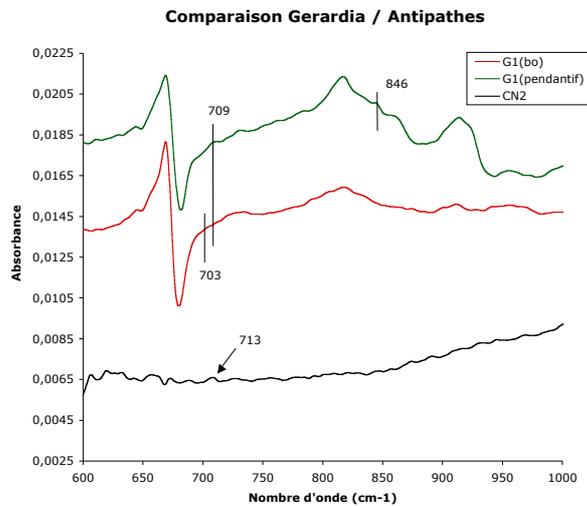


Figure 185 : Mise en évidence de la zone du spectre où se situent les informations permettant de mettre en évidence la cristallisation de la phase minérale.

Ce critère pourrait donc déjà être un signe de différenciation puisque les Antipathes présentent dans leurs spectres la présence d'une phase minérale calcitique.

La première chose importante c'est que ce léger pic à  $709\text{cm}^{-1}$  ne peut indiquer la présence de calcite car les pics de calcite se situent plus au-delà des  $710\text{cm}^{-1}$ .

Si l'analyse en FTIR n'est pas la plus performante pour caractériser la phase minérale, les spectres présentent des différences très importantes en ce qui concerne la matière organique. Ces deux types de coraux sont constitués quasi uniquement de protéines. Mais cette matière organique diffère complètement d'un genre à l'autre. De très nombreux pics permettent de les différencier ; ceux-ci sont listés dans le tableau de la figure 186.

<u>G1(bo)</u>	<u>G1(pendantif)</u>	<u>CN2</u>
670	670	
821	821	
920	920	
		1020
	1056	
		1070
	1115	1115
		1155
1135	1135	
1170		
1430		
	1520	1460-1550
		1600-1650
2160	2160	
2170	2170	
		2175
		2350
		2470
2650	2650	
2720	2720	
2760	2760	
		2850
		2920

Figure 186 : Tableaux listant les pics principaux des trois spectres.

Afin de bien visualiser les différences sur les trois spectres, nous avons procédé à des agrandissements qui permettent de bien visualiser en quoi les deux matières organiques sont différentes (fig. 187, 188 et 189).

On voit ainsi des similitudes dans les spectres surtout dans la zone allant de 1200 à 2000cm<sup>-1</sup>.

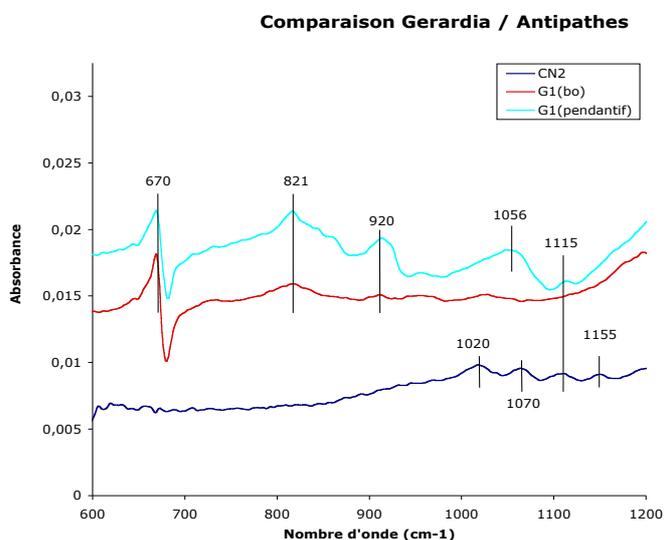


Figure 187 : Zone d'étude du spectre FTIR de 600 à 1200 cm<sup>-1</sup>

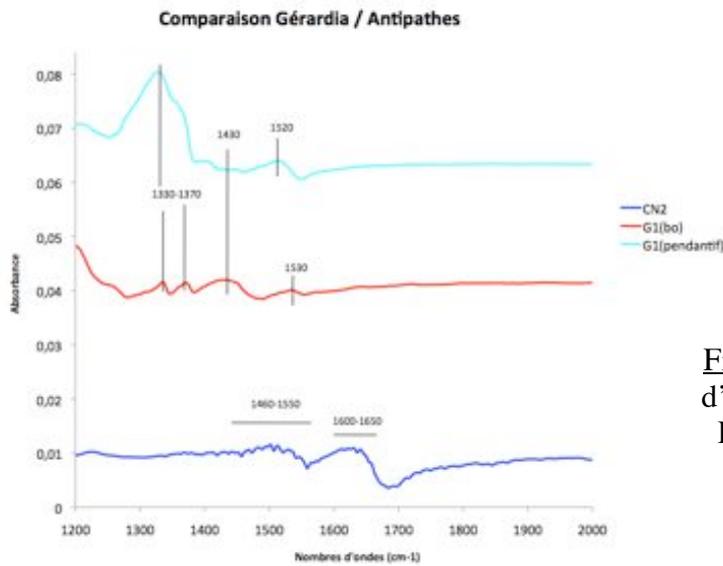


Figure 188 : Zone d'étude du spectre FTIR de 1200 à 2000  $\text{cm}^{-1}$

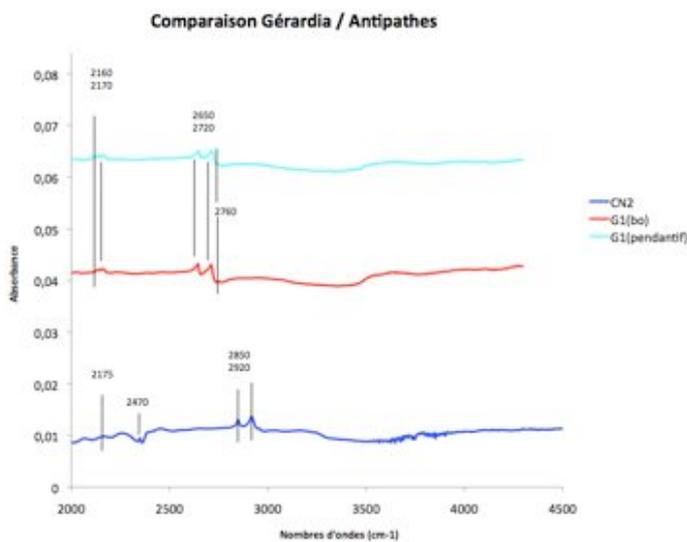


Figure 189 : Zone d'étude du spectre FTIR de 2000 à 4500  $\text{cm}^{-1}$

Il est donc possible de différencier ces deux matières pourtant très semblables visuellement par le biais de l'analyse infra-rouge. Bien que de très nombreux pics doivent encore être caractérisés, il est possible de dire que cette matière organique présente des ressemblances de compositions, mais des différences au niveau de son architecture. C'est souvent dans le cas des matières organiques, ce qui explique des différences notables dans les spectres. On note quelques pics qui ne se répètent pas chez les échantillons de la parure GI : on peut citer les pics 1056, 1115 et 1520  $\text{cm}^{-1}$  que n'a présenté que l'échantillon monté en pendentif. Par ailleurs les pics 1170, 1430  $\text{cm}^{-1}$  n'ont été listé que chez le cabochon monté en boucle d'oreille dans cette même parure G1. Néanmoins, le corail noir ne présente que le pic à 1115  $\text{cm}^{-1}$ , en commun avec le cabochon de Gerardia monté en pendentif. L'ensemble des pics de l'échantillon CN2 sont totalement différents et permettent de préciser en face de quel genre de corail nous somme : Gerardia ou Antipathes.

### 3-II-4 ESSAIS D'APPLICATION DE TRAITEMENT : LE CAS DU PEROXYDE D'HYDROGÈNE

Nous avons voulu savoir si le traitement (corail blanchi en figure 192) défini dans le livre de Kurt Nasau pour le corail noir fonctionnait. N'ayant pas de protocole de traitement précis, nous avons juste suivi les renseignements donnés par cet ouvrage afin de tester le blanchiment du corail noir.

Nous avons prélevé une branche de corail parmi celle du collier échantillon Cntr1 (fig. 191), et nous avons préparé une solution d'eau déminéralisée à 20% de peroxyde d'hydrogène dans laquelle nous avons mis à tremper l'échantillon (fig. 190)

- Après 24h de traitement, des taches légèrement violacées apparaissent à la surface de l'échantillon.
- Après 48 h dans la solution, les taches se sont étendues et la couleur vire au rouge orangé.
- La progression du changement de couleur est perceptible jour après jour, mais pour obtenir un changement sur toute la surface de l'objet, il faut maintenir l'échantillon assez longtemps dans la solution. Au bout d'une semaine complète, on note une vraie différence.

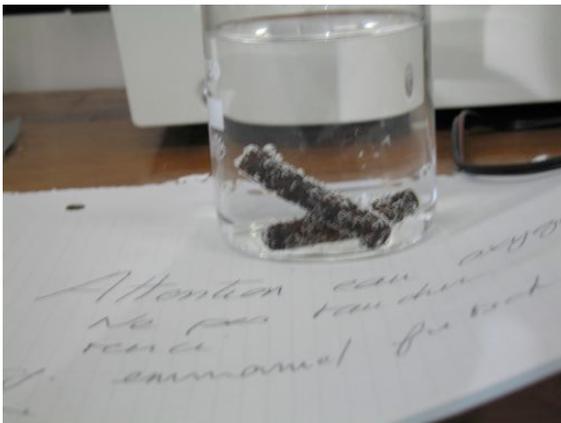


Figure 190 : Echantillon de corail noir CNtr1, dans une solution d'eau déminéralisé à 20% de peroxyde d'hydrogène.

Nous remarquons sur les échantillons :

- La couleur est rouge orangé et pas jaune or comme sur les branches de l'échantillon Cntr3
- La couleur n'est pas uniforme et présente des taches (fig. 193)
- La solution de peroxyde d'hydrogène a abîmé la surface de la branche. Celle-ci est parfois brûlée et rongée, entre autres au niveau de la base des épines (fig. 194).



Figure 191 : Échantillon de corail noir avant traitement, échantillon Cntr1



Figure 192 : Échantillon de corail noir blanchi tel qu'on peut le trouver sur le marché. Échantillon Cntr3

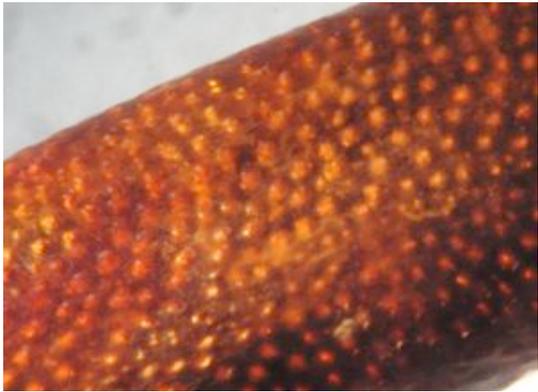


Figure 193 : Échantillon Cntr1, après application de notre solution de traitement à base de peroxyde d'hydrogène.



Figure 194 : Échantillon Cntr1, la surface est brûlée par le traitement.

### **3-III-5- COMPARAISON DES STRUCTURES ENTRE MELITHAEA ET TIGER CORAL**

Nous aurions pu faire la comparaison plus haut dans ce chapitre, mais nous avons préféré démontrer que nous sommes en présence d'un même corail dans un petit paragraphe séparé de façon à ne nous concentrer que sur ce point.

Au cours de ce travail, les échantillons de Tiger coral, ont attiré notre attention car nous les avons toujours trouvés commercialisés sous la dénomination « corail très rare et naturel » sur de nombreux site de vente en ligne de perles, en particulier aux USA. De plus un article de 2006 (Henn), décrivait cet échantillon comme provenant du genre porites.

Nos renseignements sur le genre porite le décrivaient comme aragonitique, or nos analyses du « tiger coral » le prouvaient calcitique. De plus les porites sont des coraux constructeurs et

nous n'avons trouvé aucune mention sur la présence d'une zone organique visible et intégrée à la matrice. Il nous semblait donc que l'identification que nous en avons (Henn, 2006) n'était pas la bonne. À partir de ce postulat, nous avons entrepris des comparaisons entre échantillons. Nous avons aussi essayé des comparaisons entre spectres, mais le Tiger coral, de par son imprégnation constante ne laisse à voir que le spectre de la résine.

Lors de la recherche d'échantillons, nous avons trouvé chez un marchand aux USA, les perles présentant le double aspect Tiger coral et Melithaea. En observant en détail l'échantillon, nous sommes arrivés à la conclusion qu'il n'y avait pas de raccord entre les deux matières et que nous étions en présence d'un même corail (fig. 91). Nous sommes donc convaincus que le Tiger Coral est en fait du Melithaea qui a subi un traitement afin de modifier sa couleur (fig. 195 et 196). Le traitement le fragilisant, cela explique la présence de résine de façon importante dans la structure.



Figure 195 : détail de la structure sous la binoculaire d'un melithaea naturel non teinté et non résiné. Échantillon Cgorgnt1



Figure 196 : Détail de la structure d'un Tiger coral sous la binoculaire. Échantillon CI+R1. Notre conviction est que c'est la même matière que sur la figure 195.

La comparaison des structures semble suffisante pour conclure que nous sommes en face du même genre. Néanmoins nous avons complété par une analyse FTIR (fig.197). Celle-ci présente deux spectres avec de nombreuses similitudes. Néanmoins on note clairement que de nombreux pics sur le spectre de l'échantillon CGorgnat1 sont absents du spectre de Tiger Coral. Ainsi on note clairement que la zone allant de 1410 à 1542  $\text{cm}^{-1}$  présente des pics manquants mais aussi des pics de plus faibles intensités chez l'échantillon de Tiger coral Ci+R1, c'est ce que présente la figure 198. On note aussi une plus faible intensité (voir une absence) sur l'ensemble des pics caractérisant les carbonates.

Il serait intéressant de comprendre le mécanisme du traitement qui provoque la destruction de la matière organique dans les parties calcaires, la modification des pics des carbonates et bien entendu la modification de structure de la matière organique. Nous émettons comme

possibilité un traitement thermique, néanmoins nos essais de traitements n'ont pas été concluants.

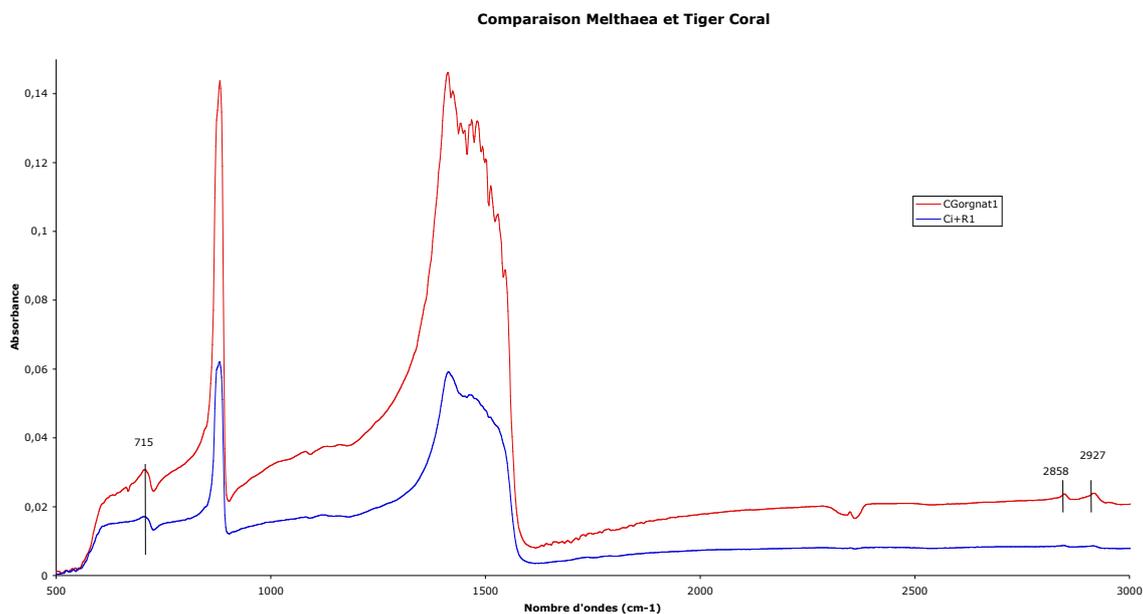


Figure 197 : comparaison entre les spectres FTIR de Melithaea et Tiger coral

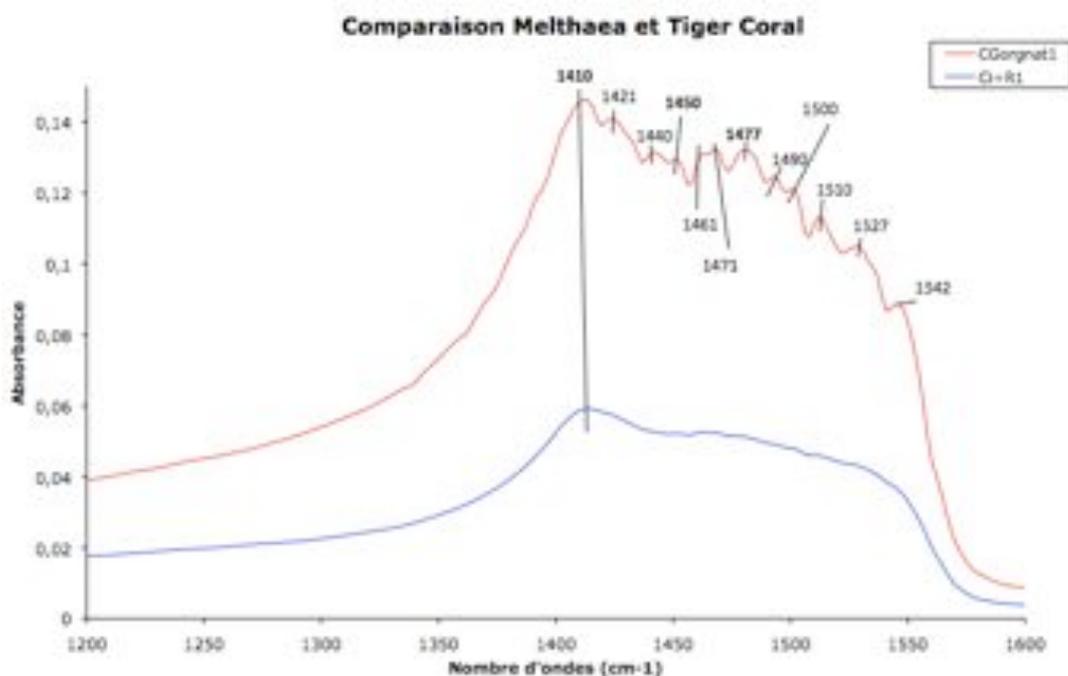
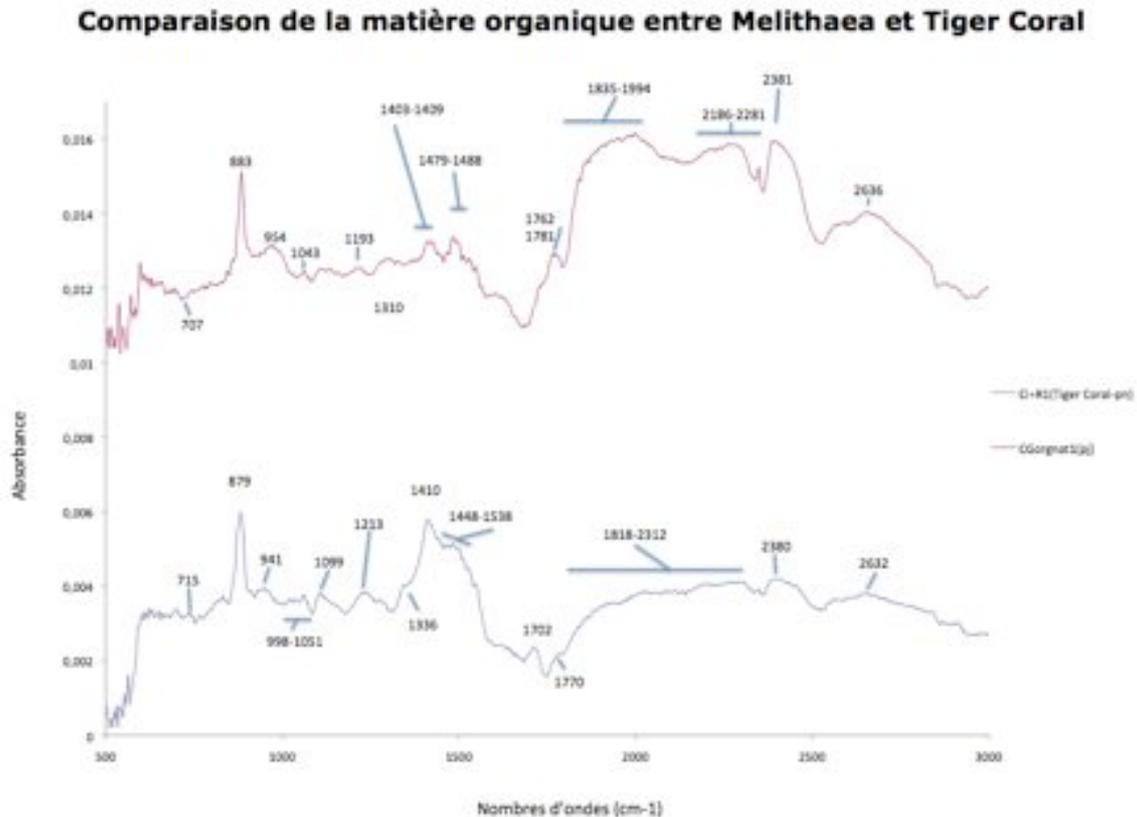


Figure 198 : agrandissement de la zone allant de 1200 à 1600 cm<sup>-1</sup> sur le spectre FTIR. Les pics surlignés en gras sont attribués aux carbonates.

La comparaison entre la zone organique la plus poreuse du melithaea et la zone noire sur un melithaea traité fait ressortir un spectre avec des similitudes (fig. 199). Néanmoins des différences sont visibles (pics manquants, absorbance plus ou moins importante sur certaines parties du spectre). Ces ensembles restent à documenter. Le traitement affecte la matière organique au niveau visuel mais en modifie aussi l'architecture chimique.



**Figure 199 :** Spectre FTIR de comparaison entre Melithaea et Tiger Coral. L'explication des différences reste à fournir, mais on note que le traitement modifie l'aspect du spectre de la matière organique.

La zone d'étude la plus intéressante se situe entre 500 et 3000 cm<sup>-1</sup>. On note de nombreuses similitudes entre les deux spectres de matière organique. La plupart des pics relevés chez le Melithaea naturel et non traité sont présents chez le melithaea traité. Néanmoins, l'analyse révèle la présence d'un faible pic d'aragonite chez CGorgnat1 et un pic plus important de calcite chez Ci+R1. Ce corail présentant les deux polymorphes de carbonate dans sa structure, cela n'est pas étonnant que l'on retrouve le signal des polymorphes à l'analyse FTIR. Néanmoins le pic à 1193 cm<sup>-1</sup> n'est visible que sur l'échantillon de Melithaea naturel et le pic à 1702 n'est lui visible sur l'échantillon traité. Il faut aussi apporter la constatation suivante ; l'ensemble des pics communs montre parfois un décalage important chez l'échantillon traité Ci+R1 pouvant aller jusqu'à plus de 20cm<sup>-1</sup>. L'analyse permet de visualiser la modification qu'apporte le traitement à la matière organique. Il faut désormais comprendre le mécanisme du traitement pour comprendre comment cela l'affecte.

## **CHAPITRE 4 : DISCUSSION**

L'ensemble des analyses, qu'elles soient par le biais des appareils de gemmologie classique ou par le biais d'appareils d'analyses de laboratoire, ont montré que le corail se prêtait bien à deux types principaux d'expertises : une observation rigoureuse sous binoculaire et une analyse FT Raman (Les pics sont nombreux et multiples. On note aussi des doublets mais aussi des artefacts et surtout une très forte fluorescence de la matière. De ce fait les spectres ne sont pas toujours exploitables, néanmoins ils sont très riches en information).

Ces deux méthodes, complémentaires, permettent de différencier les coraux soumis à expertise à la fois aux gemmologues classiques, mais aussi aux gemmologues de laboratoire. Les autres méthodes décrites dans ce travail apportent aussi des éléments de réflexion permettant de compléter une expertise, mais ce ne sont pas les plus performantes, aux vues des résultats présentés dans le chapitre précédent.

Par ailleurs, les analyses d'éléments trace, ne se prêtent pas à l'identification du corail, nous rappelons que cet animal est un organisme filtreur, qui retient dans son squelette la plupart des éléments issus de la filtration de l'eau de mer.

Il s'avère que certains résultats diffèrent de la littérature gemmologique et des articles de gemmologie concernant le corail, particulièrement ceux concernant les indices de réfraction et l'aspect des squelettes. À cela plusieurs explications :

- Les échantillons présentent tous plus ou moins de porosité et cela influe sur la mesure
- Certaines descriptions diffèrent d'un article à un autre et il est parfois difficile d'être sûr pour le gemmologue de pouvoir affirmer qu'il se trouve face au même genre
- Des erreurs d'orthographe dans les listes d'échantillons ne permettent pas de trouver précisément le même type de corail avec certitudes.

Visuellement, l'ensemble des coraux étudiés dans ce mémoire ont des morphologies très différentes. Ce sont par ailleurs ces mêmes morphologies qui les rendent, dans la plupart des cas, identifiables sans passer par des analyses de laboratoires. Une grande partie des coraux étudiés présentent une matière organique importante, parfois visible comme dans le cas des Antipathes, des Gerardia, ou des coraux bambous. Cette matière organique, est parfois difficile à identifier tant elles peut présenter des similitudes entre les ordres et les genres. C'est le cas par exemple entre les Antipathes et les coraux bambous bien que chez les coraux bambous, elle prend la forme de nodules ayant une structure en oignons. La couleur est noire mais rouge à brun par transparence. Elle est assez dense, peu solide mais fermement ancrée dans la phase minérale.

Les mesures effectuées avec les instruments de gemmologie classique sont assez peu concluantes. Cela n'est pas étonnant, car le corail est une matière qui présente des caractéristiques visuelles assez évidentes et qui ne se prête pas à des mesures applicables aux pierres taillées. Si la plupart des publications indiquent des différences assez évidentes pour les indices de réfraction, nous ne sommes pas totalement en accord avec l'utilisation de cette méthode pour différencier squelette calcitique et aragonitique. Les mesures ne doivent pas détériorer les échantillons : en effet, s'il est toujours possible de procéder à des mesures susceptibles de détériorer des échantillons personnels, cela n'est pas possible sur les autres. Au-delà, s'acharner à mesurer un indice de réfraction sur un cabochon de corail ne sera pas plus concluant pour en déterminer le genre. Néanmoins, les mesures de densité des coraux calcaires sont à peu près conformes à la littérature à savoir que les densités oscillent entre 2,50 et 2,70.

Si les échantillons n'ont donné que peu de réactions sous les UVC, les observations sous UVL sont plus concluantes. Les coraux sont le plus souvent décrits comme inertes aux UV. En réalité nous avons bien observé des coraux inertes aux UV qui se trouvent être les coraux de couleurs blanches. Ils sont le plus souvent notés inertes ou violets (couleur de la lampe, *n.d.a*) dans la littérature. Les réactions les plus intéressantes ont été observées au UVL et sur les coraux colorés, riches en matière organique ou bien ceux artificiellement colorés. Elles permettent de visualiser des informations différentes de celles données dans la littérature. Mais elles ne sont pas caractéristiques d'un genre, d'un traitement. Enfin la phosphorescence est elle aussi bien visible sur plusieurs coraux même si celle-ci demeure très courte (environ 1s).

Concernant les traitements, nous avons pu étudier des pièces teintées, imprégnées, reconstitués et vernies. Nous n'avons pu observer qu'à une seule occasion un vernis teinté, visible sur le corail noir. Dans le cas des *Melithaea*, le traitement de décoloration le fait passer d'une couleur rouge orange à une couleur blanche à jaune très clair avec des zones marrons et noires ayant un aspect "caramelisé". Vendu sous le nom de Tiger Coral, nous sommes parvenus (après étude des structures) à la conclusion que cette matière est un *Melithaea* qui à été décoloré, peut-être par cuisson. Des essais par décoloration chimique n'ayant rien donné. Ce traitement n'ayant jamais été signalé, il faudra en continuer l'étude afin de comprendre son fonctionnement. Concernant le traitement du corail noir, nos essais sont concluants, mais nous n'avons pas les dosages ni la pratique des personnes qui traitent du corail noir régulièrement. De ce fait, le résultat n'est pas intéressant au plan « commercial ».

Les analyses Raman par Transformée de Fourier sont celles qui tout au long de cette étude ont apporté le plus de renseignements exploitables. La nature non-destructive et une relative facilité d'analyse en font l'appareil le plus pratique à utiliser afin de caractériser les échantillons. Une nuance toutefois, les échantillons contenant une trop grande proportion de matière organique ont parfois été difficiles voir impossible à analyser. Néanmoins avec une résolution classique de  $4\text{cm}^{-1}$ , cela est largement suffisant pour différencier les phases minérales des squelettes et mettre en évidence une double cristallisation de la minéralisation. Il nous a été possible de classer les causes de coloration et donc de trouver des éléments distinctifs entre genre dans le cas par exemple de la distinction *Corallium* / *Stylaster*. Cette méthode n'est certes pas la plus performante pour l'analyse de certains types de matières organiques surtout en ce qui concerne les produits de dégradations des porphyrines. Ainsi dans ce cas présent, il est possible de visualiser une espèce de porphyrines mais pas d'indiquer avec exactitude en face de laquelle nous nous trouvons en présence. L'ensemble des analyses Raman on permet de confirmer que le corail peut avoir un squelette constitué ou bien de calcite, ou bien d'aragonite. Par ailleurs, et c'est le cas du *Melithaea ochracea*, il peut avoir dans son squelette deux polymorphes de carbonate de calcium. Le FT Raman s'est avéré la méthode d'analyse la plus adaptée à la visualisation des deux polymorphes dans sa structure. Par ailleurs l'étude de la matière organique complexe des coraux de cette étude permet en outre de différencier deux types de causes à la coloration, hors traitements : trois types de molécules en sont responsables : les polyènes, les caroténoïdes et les produit de dégradation des porphyrines.

Enfin l'étude FT Raman a permis de mettre en évidence un certain nombre de différences entre Gorgonine et Antiphatine, ces deux protéines qui composent une partie des coraux étudiés :

Dans le cas de la Gorgonine, la liste a été établie sur un spectre de *Melithaea* :

93, 642, 812, 825, 837, 1020, 1034, 1068, 1188, 1296, 1444, 1585, 1610, 2850, 2801, 2937, 2966 et  $3070\text{ cm}^{-1}$

Dans le cas de l'Antipathine, la liste a été établie sur un spectre d'Antipathes :  
106, 526, 561, 646, 669, 835, 856, 1022, 1109, 1182, 1215, 1244, 1273, 1300, 1315, 1340,  
1417, 1448, 1575, 1618, 1658, 2883, 2935, 3064, 3130  $\text{cm}^{-1}$

L'imagerie MEB nous a démontré que le corail est un matériau qui possède une facilité d'analyse par imagerie. L'ensemble des échantillons ont permis d'obtenir de bons résultats mais aussi de présenter de nombreuses structures différentes. Bien que cette méthode ne soit applicable que pour la caractérisation pure, elle a le mérite de démontrer la diversité des structures que peuvent prendre le carbonate de calcium et la matière organique. Chaque échantillon a été une vraie découverte. Classifier des structures n'est pas une chose facile, mais cela a permis de bien différencier certains genres. De plus pour les échantillons non identifiés avec certitude, l'imagerie MEB a apporté des réponses supplémentaires qui ont permis d'identifier ou un genre ou un ordre. En corrélation avec les analyses faites en FT Raman, il n'a pas été possible d'identifier des éléments permettant de rapprocher pics Raman et structure cristalline.

Les analyses en FTIR se sont révélées intéressantes pour ce qui concerne essentiellement tout ce qui touche la comparaison et la classification de la matière organique. De plus l'utilisation de cet appareil a permis, dans certains cas, de collecter un spectre utilisable quand le FT Raman ne nous permettait pas d'obtenir de bons résultats, surtout en ce qui concerne les échantillons G1. Par contre les résultats n'ont pas été bons quand les structures font état d'une présence infime de carbonate de calcium ou de matière organique. Dans ce cas-là, le FT Raman s'est révélé plus performant. À l'instar des analyses précédentes, le FTIR permet de clarifier la nature des structures minérales, ainsi que de mieux visualiser les différences structurelles de la matière organiques. Ces analyses nous ont été utiles pour différencier corail noir et corail doré, mais aussi pour différencier la matière organique d'un corail bambou et celle d'un corail noir. Bien que de nombreux pics doivent être caractérisés avec certitude, l'architecture de la matière organique influe de manière importante sur les spectres et permet donc de différencier en plus de critères visuels caractéristiques, ordre et genre.

## **CHAPITRE 5 : CONCLUSION GÉNÉRALE**

Aujourd'hui en France, la fraude aux conventions internationales comme la CITES ou celle de Berne<sup>42</sup> représente environ 60 % de l'ensemble des contrôles effectués annuellement par les Douanes Françaises dans le cadre de sa mission de protection du Patrimoine (environ 10% des contrôles, toutes catégories mélangées). Ce chiffre est une estimation basse établie sur la base des contrôles douaniers, par la direction de La Rochelle. Ainsi, c'est 638 constatations de fraude à la convention de Washington (sur les 1000 contraventions diverses constatées dans le cadre de cette mission) que la Douane a constatée en 2010 (soit une augmentation de 27% par rapport à 2009 : chiffre donné le 27 janvier 2011, lors de la conférence de presse annuelle de présentation des performances douanières à Bercy. Cela représente 1,5 tonnes d'animaux marins parmi lesquels coquillages, corail...). Cette fraude ne cible pas exclusivement le corail, mais un ensemble d'animaux et de plantes introduit vivants ou morts sans permis, tels que le prévoit par exemple la CITES. Parmi ces animaux, bien sûr le corail y figure. Si dans le cas de la bijouterie, nous avons montré que la palette de coraux utilisée est très large, la plupart sont soumis à des interdictions ou des limitations de commerce, même quand ils sont à l'état de squelettes. En témoigne, l'impossibilité d'obtenir des échantillons de squelette par les magasins, entre autres, d'aquariophilie, qui doivent obligatoirement déclarer et détruire les pertes parmi les importations de coraux vivants.

Nous avons essayé de savoir quelle part du marché est consacrée à la vente et à la fabrication des bijoux en corail. Si la Fédération HBJO n'a pu nous répondre faute de chiffres exacts, il est clair en étudiant de près les différents bulletins Eco-stat, que la part des bijoux en pierre fines sur or ou argent représente une part non négligeable du commerce de la bijouterie. Il est donc de plus en plus important de sensibiliser les gens à ce qu'ils achètent, mais aussi d'accompagner les gens dans leur achat par le biais de certificats d'authenticité garantissant la provenance, mais aussi le respect des conventions internationales sur la faune et la flore. À l'heure où le corail rouge, *Corallium rubrum*, et dans un plus vaste ensemble, tout les *Corallium* et *Paracorallium*, sont soumis à des demandes grandissantes par les USA d'inscription à la convention de Washington et à la limitation de leur commerce, il semble plus qu'important de responsabiliser les fabricants et les acheteurs, mais plus important encore, les laboratoires qui parfois les expertisent.

Si cela semble difficile à mettre en œuvre, cela reste néanmoins primordial, au vu simplement de ce que la loi prévoit en cas de fraudes aux conventions environnementales internationales : de 1 à 5 ans de prison et jusqu'à 50 000€ d'amendes.

\*\*\*\*\*

Le but de ce travail était de lister et d'examiner tous les squelettes de coraux cités à un moment ou à un autre comme ayant des qualités suffisamment importantes pour être utilisés dans la création de bijoux. Et à cette fin, donner des indications afin de pouvoir les reconnaître, de façon à tenir compte, entre autres, des obligations légales qu'engendrent la commercialisation de certains genres et espèces (CITES, convention de Berne<sup>1</sup>...). En effet au cours de ce travail et de la recherche obligatoire d'échantillons, nous avons pu nous rendre compte de la méconnaissance de la filière professionnelle bijoutière envers ces fameuses

---

<sup>42</sup> Convention de Berne relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe

[http://www.coe.int/t/dg4/cultureheritage/nature/bern/default\\_FR.asp?](http://www.coe.int/t/dg4/cultureheritage/nature/bern/default_FR.asp?)

obligations légales en matière d'importation ; et ce à tout les niveaux: récoltant du pays d'origine, mais aussi chez les grossistes en gemmes ou bien entendu chez le bijoutier.

Il était donc important de permettre au consommateur quel qu'il soit de pouvoir l'informer et savoir reconnaître ce qu'il souhaite acquérir.

Quatre conclusions essentielles découlent de ce travail :

- *La difficulté de recenser les coraux de manière exhaustive et de les identifier de façon précise.*

Deux raisons principales expliquent cela: tout d'abord les bases de données sont toutes différentes et aucune ne référence les mêmes taxons, le même nombre d'espèces dans un genre sans citer des différences notables qui ressortent des systématiques (noms anciens, doublons, nom d'espèce non référencés...). Pour résoudre ce problème en partie, nous avons décidé de nous fonder sur la base de données américaine ITIS<sup>43</sup> (Integrated Taxonomic Information System). La deuxième source de problème pour lister les genres a été un problème issu des différents articles trouvés sur le sujet dans lesquels des fautes d'orthographe dans les noms de genres ou d'espèce ne nous a pas facilité la tâche pour construire leur systématique. En effet les noms utilisés sont très souvent issus de la systématique de Linné<sup>44</sup> et une erreur d'écriture dans un nom en latin peut changer beaucoup de chose. Nous citons pour exemple le cas des Eunicea et des Eunicella qui nous a posé problème pour la systématique (cf. page 22). En effet ces deux coraux sont différents bien que du même ordre, néanmoins ils ne possèdent pas du tout la même systématique.

La recherche d'échantillons a été un long travail. Si beaucoup ont été acquis rapidement, certains ont été difficiles à trouver et à obtenir en particulier à cause des conventions internationales. Nous avons analysé 58 échantillons qui correspondent en partie à la liste que nous avons faite. Certains genres n'ont pu être trouvés sur le marché et pour d'autres nous pensons que certaines attributions dans des articles antérieurs a ce travail soulèvent des interrogations.

Il va de soit, bien sur, qu'il est toujours possible de trouver de nouveaux échantillons : en juin 2010 à Sainte-Marie-aux-Mines, nous avons trouvé un squelette de Scleractina du genre Diploastrea dont les cavités ont été remplis de pyrite et de colle. Cet échantillon provenant des Philippines.

- *La pertinence relative de l'analyse sous binoculaire pour caractériser les échantillons*

Nous avons démontré par ce travail qu'il est formellement possible de déterminer les genres des coraux soumis à analyse. Dans les cas se révélant suspicieux, il a été possible de donner au minimum un ordre, cela permettant de vérifier la possibilité de commercialiser ou non tel type de corail.

---

<sup>43</sup> <http://www.itis.gov/>: Le choix de cette base de donnée, s'est fait par comparaison, mais aussi en raison des partenariat important mis en place pour la création de cette base de donnée : Smithsonian Institution, NOAA...

<sup>44</sup> Carl von Linné, naturaliste suédois, père de la taxonomie moderne

Si ce travail avait essentiellement pour but une exploration en laboratoire des échantillons, nous avons montré qu'une bonne observation des échantillons par le biais des méthodes de gemmologie classique reste la condition sine qua non pour démarrer l'identification d'un squelette de corail. Il ne faut en aucun cas négliger cette partie de l'observation qui permet sans passer par des analyses coûteuses, d'identifier le genre d'un corail proposé à l'expertise.

*- La nécessité de recourir aux méthodes d'analyse en laboratoire pour affiner la caractérisation des échantillons*

Ce travail n'aurait pas d'intérêt si les analyses en laboratoire n'apportaient pas de réponses précises et donc incontestables. Nous avons pu vérifier que les analyses Raman reste à ce jour, la forme d'analyse non destructive la mieux adaptée à la caractérisation des squelettes de coraux. Ce point est particulièrement important actuellement en gemmologie notamment lorsqu'il s'agira d'expertiser un échantillon qui n'a pas été utilisé dans cette recherche.

Nous avons pu vérifié et mettre en évidence que ce type d'analyse permet de vérifier la phase minérale d'un squelette (calcite ou aragonite ou encore les deux), les causes de la coloration d'un échantillon (pigments polyènes, caroténoïdes ou produit de dégradation des porphyrines). Enfin nous avons pu visualiser la matière organique des coraux ne contenant que très peu de carbonate de calcium dans leur structure.

En complétant ces analyses par l'utilisation des techniques d'infra-rouge, nous avons pu préciser nos observations, mais aussi obtenir des résultats que nous n'arrivions pas à avoir par le biais du FT Raman. En effet ces appareils ont aussi leurs limites, en partie à cause des échantillons eux-mêmes : fluorescence importante, matière organique « écrasée » par le signal du carbonate de calcium... Les analyses non destructives sont utiles en raison de la non préparation des échantillons, point tout à fait essentiel pour les analyses. Nous voulions tout particulièrement éviter de détruire les échantillons, de façon à voir si les résultats d'études précédents réalisés avec des échantillons préparés (réduction en poudre, mise en solution, déminéralisation) était cohérent. Le résultat qui en ressort est positif, mais les résultats sont moins précis (cf. biliverdine). Néanmoins, l'utilisation des méthodes non destructives prouve que celles-ci doivent être développées afin de pouvoir affiner les résultats et les caractérisations.

Ce travail a aussi permis de mettre en évidence des différences importantes dans les micro structures microscopiques des squelettes. C'est la seule exception à l'utilisation de méthodes non destructives, car la métallisation ne permet de récupérer les échantillons.

Enfin, ce travail a permis de mettre en évidence la matière organique qui constitue le corail. Les spectres FT Raman et FTIR permettent de la visualiser et de la caractériser en partie.

Ce travail arrive à son terme et a permis de vérifier de nombreuses hypothèses relatives à la caractérisation des squelettes, aux causes des colorations, à la mise en évidence de traitement, à leurs améliorations, concernant des coraux que l'on trouve sur le marché de la bijouterie.

*- Les questions auxquelles ce travail a permis partiellement de répondre et leurs conséquences pratiques pour le développement prochain des possibilités d'analyse et de caractérisation gemmologiques*

Il reste évidemment de nombreuses questions non résolues, mais aussi de nombreuses possibilités d'analyses permettant de mieux comprendre l'interaction entre la nature du corail et sa matière organique.

En effet, la caractérisation de celle-ci, en particulier par le biais de méthodes non destructives reste une priorité car elle permet de différencier les coraux riches en protéines actuellement présents sur le marché. Son analyse permet aussi de visualiser et de comprendre l'action de certains traitements sur le corail. Nous pensons, par exemple, au blanchiment du corail noir ou à la différenciation entre gorgonine et antipathine. Néanmoins, sans préparation des échantillons, la compréhension de l'architecture de cette matière organique est compliquée. Nous en avons eu la démonstration pour le corail bleu avec les analyses par FT Raman qui permettent de voir des pics relatifs aux porphyrines mais pas de nommer avec précision ce produit de coloration. En effet, les analyses précédentes ont toutes été destructives pour mettre en évidence la Billiverdine-IX  $\alpha$ .

Les analyses par imagerie MEB ont mis en évidence de grandes différences structurelles dans les squelettes. Cette mise en évidence de structure peut, peut-être, permettre à terme de trouver des caractéristiques permettant de différencier avec plus de subtilités les échantillons, mais certainement par le biais de méthode destructives ou micro-destructives.

Néanmoins, Il serait intéressant d'étudier si ces résultats peuvent permettre à terme de mettre en évidence des différenciations sur les spectres Raman. De plus il pourrait être intéressant de vérifier si une corrélation existe entre qualité de la structure et origine géographique. Le corail étant un animal, son squelette subit des modifications en fonction de son lieu d'origine mais aussi de son mode de vie (température de l'eau, type d'alimentation, pollution).

Le développement futur des analyses non destructives permettra certainement la mise en évidence de nouveaux critères, afin d'apporter avec encore plus d'exactitude des réponses sur la caractérisation des squelettes de coraux sortis de leur contexte biologique.

## **CHAPITRE 7 : BIBLIOGRAPHIE**

- Allemand, D. (1994) The organic matrix of skeletal structures of the Mediterranean red coral, *Corallium rubrum*. Bulletin de l'institut océanographique, Monaco, N° spécial 14, pp1
- Allemand, D. (1996) Dynamics of calcification in the Mediterranean Red coral, *Corallium Rubrum*. The journal of experimental zoology, vol. 276, pp. 270-278
- Bariand, P. et Poirot, JP. (1985): Larousse des pierres précieuses, Larousse, pp. 105-108
- Bayer, F. (1964) The genus *corallium* in the western north atlantic ocean, Bulletin of marine science of the gulf and Caribbean, 14, n°3, pp 465-478
- Bell, S.E.J. (1999) Time resolved resonance raman spectroscopy of excited-state porphyrins, Laser Chem., Vol. 19, pp. 271-274
- Bischoff, W.D. (1985) Carbonate ion disorder in synthetic and biogenic magnesian calcites: a Raman spectral study. American Mineralogist, vol. 70, pp. 581-589
- Block, R (1938) the amino acid composition of keratins, The composition of gorgonin, spongin, turtle scutes and other keratins, The journal of biological chemistry, pp. 685-693
- Bocchio, R. (2006) Gem Corals: X-ray diffraction, solid state NMR, elemental analysis. The Australian Gemmologist, vol. 22, pp. 524-532
- Brown, G. (1976) Two new precious corals from Hawaii, Australian Gemmologist, vol. 12, N°12, pp. 371-377
- Brown, G. (1977) Black coral: true or false, Australian Gemmologist, vol. 13, N°2, pp. 35-41
- Brown, G. (1979) *Corallium* precious corals, Australian Gemmologist, vol.13, N°12, pp. 391-399
- Brown, G. (1980) *Corallium* precious corals, (Part 2) , Australian Gemmologist, vol. 14, N°1, pp. 14-19
- Brown, G. (1988) Bamboo coral: a new precious coral from Hawaii, The Australian Gemmologist, pp. 449-454
- Buhl-Mortensen Lene (2004) Symbiosis in deep-water corals. Symbiosis, vol. 37, pp. 33-61
- Carballeira, N.M. (1996) Phospholipid fatty acid composition of gorgonians of the genus *Pseudopterogorgia*: Identification of tetracosapolyenoic acids, Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, Volume 113, N°4, pp. 781-783
- Carballeira, N.M. (1996) Dimethyl disulfide derivatization of ethyl (9Z,12Z)-9,12-octadecadienoate and ethyl (9E,12E)-9,12-octadecadienoate, Chemistry and Physics of Lipids, Volume 84, N°1, pp. 81-85
- Carballeira, N.M. (1997) Phospholipid Fatty Acid Composition of Gorgonians of the Genus

Eunicea: Further Identification of Tetracosapolyenoic Acids, Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, Volume 118, N° 2, pp. 257-260

Cissokko, M. (1983) Étude de la composition en lipides de quatre espèces de palythoa, Thèse de l'université de Dakar.

Dauphin, Y. (1997) Infrared spectra and elemental composition in recent carbonate skeletons: relationships between the  $\nu_2$  band wavenumber and Sr and Mg concentrations. Applied Spectroscopy, 51, N° 2, pp. 253-258

Dauphin, Y. (1999) infrared spectra and elemental composition in recent biogenic calcites: relationships between the  $\nu_4$  band wavelength and Sr and Mg concentrations. Applied Spectroscopy, vol. 53, N° 2, pp. 184-190

Dauphin, Y. (2001) Implications de la diversité de composition des phases organiques solubles extraites des squelette carbonates, Bull. Soc. Geol. France, 173, N°4, pp. 307-315

Dove, S. (1995) Isolation and Partial Characterization of the Pink and Blue Pigments of Pocilloporid and Acroporid Corals, Biol. Bull. 189, pp. 288-297.

Effenger, H. (1981) Crystal structure refinements of magnesite, calcite, rhodochrosite, siderite, smithonite and dolomite, with discussion of some aspects of the stereochemistry of calcite type carbonates, Z. Kristallogr., vol. 156, pp. 221-238

Fabricius, K. Soft corals and sea fans: a comprehensive guide to the tropical shallow-water genera of the central-west Pacific, the Indian Ocean and the Red Sea.

Fritsch E, Rossman GR (1987) An update on color in gems. Part I. Introduction and colors caused by dispersed metal ions. Gems and Gemology 23, 126-139.

Fritsch E, Rossman GR (1988) An update on color in gems. Part II. Colors caused by charge transfers and color centers. Gems and Gemology 24, 3-15.

Fritsch E, Rossman GR (1988) An update on color in gems. Part III. Colors caused by physical optics. Gems and Gemology 24, 81-103.

Goldberg, M.W. (1973) The ecology of the coral-octocoral communities off the southeast Florida coast: geomorphology, species, composition and zonation. Bulletin of Marine Sciences, vol. 23, N°3, pp. 465-487

Goldberg, M.W. (1976) Comparative study of the chemistry and structure of gorgonian and antipatharian coral skeleton, Marine Biology, vol. 35, N°3 p253-267

Grange, R.K. (1985) Distribution, standing crop, population structure and growth rates of black coral in the southern fiords of New Zealand. New Zealand journal of marine and freshwater research, vol. 19, pp. 467-475

Grigg, W.R. (1965) Ecological studies of Black coral in Hawaii. Pacific Science, vol. 19, pp. 244-260

Grigg, W.R. (2000) Precious corals in Hawaii: discovery of a new bed and revised management measures for existing beds. *Marine fisheries review*, vol.64, N°1, pp. 13-20

Grigg, W.R. (2001) Black coral: History of a sustainable fishery in Hawaii. *Pacific science*, 55, No.3, 291-299

Harmelin,J-G (2006): L'or rouge, un objet de fascination. *Futura-sciences.com*, consulté Durant le mois de septembre 2007

Hardy, J.T. (1992) Remote detection of coral 'bleaching' using pulsed-laser fluorescence spectroscopy, *Marine ecology progress series*, vol. 88, pp 247-255

Hedegaard, C. (2005) Molluscan shell pigments: an in situ resonance Raman study, *Journal of Molluscan Studies*

Heuze-Balme,C. (1995) Le corail rouge de Méditerranée, DUG

Henn,U. (2006) Korallen im Edelstein- und Schmuckhandel. *Gemmologie*, vol. 55, N°3/4

HYMAN, L. H., 1940. Metazoa of the cellular grade of constructionu phylum porifera, the sponges, Chapter 6. Pages 284-364 in L. H. Hyman, *The Invertebrates: Protozoa Through Ctenophora*. McGraw-Hill Book Co. Inc., New York.

Huang, C.K., and Kerr, P.K. (1960) Infrared study of the carbonate minerals, *American Mineralogist*, vol. 45, pp. 311-324.

Iguchi, K (2001) Three new chlorinated marine steroids, yonarasterols G, H and I, isolated from the Okinawan soft coral, *Clavularia viridis*, *Steroids*, Volume 66, N°1, pp. 25-32

Jones, G.C. and Jackson, B. (1993) *Infrared Transmission Spectra of carbonate Minerals*, Chapman and Hall, London

Kaczorowska, B. (2003) Spectroscopic characterization of natural corals. *Anal Bioanal Chem*, vol. 377, pp. 1032-1037

Karampelas, S. (2006) Determination by Raman scattering of the nature of pigments in cultured freshwater pearls from the mollusk *Hyriopsis cumingi*. *Journal of Raman spectroscopy*, vol. 38, pp. 217-230

Karempelas, S. (2009) Identification of the endangered pink-to-red *Styaster* corals by Raman spectroscopy, *Gems and Gemology*, pp 48-52

Lefevre,P. (2005) DUG: Les teintures des gemmes

Lulzac. Y. (2005) Manuel de détermination des pierres gemmes

Marine and terrestrial species and algae, Appendix J, pp 1-106

Mayr, S. (2009) I Struktur einer neuartigen Variante von Cofaktor F430, II Protoneninventar

der Methyl-Coenzym-M-Reductase, III Weitere Studien zur Wirkungsweise von F430, thèse de l'université de Zurich

Merlin, J.C. (1985) Resonance raman spectroscopy of carotenoids and carotenoid-containing systems. *Pure et Appl. Chem.*, 57, N°5, pp. 785-792

Merlin, J.C. (1986) Resonance raman characterization of polyacetylenic pigments in the calcareous skeleton, *Comp. Biochem. Physiol.*, vol. 84B, N°1, pp 97-103

Moore, R.C. (1953) *Treatise on Invertebrate Paleontology, The Micropaleontologist*, vol. 4, N°4, pp. 10-11

Mundy, C.B. (2004) New record of the fish genus *Grammatonotus* from the Central Pacific, including a spectacular species in the Northwestern Hawaiian islands. *Pacific science*, vol. 58, N°3, pp. 403-417

Murgida, D. (2007) The Chromophore Structures of the Pr States in Plant and Bacterial Phytochromes, *Biophysical Journal*, vol. 93, pp. 2410-2417

Noé, U.S. (2004) Living and fossil deep-water gorgonian corals (Keratoisis) on Chattam Rise, New Zealand. *Geophysical research abstract*, vol. 6

Nomur, T. (1966) Identification du pigment bleu-vert des écailles du poisson de mer, *Cololabis Saira*, *Tohoku journal of agricultural research*, vol. 16(3), pp. 213-224

Opresko, D.M. (1997) A new species of Anthipatharian coral from Caribbean coast of colombia. *Caribbean journal of science*, vol. 33, N° 1-2, pp. 75-81

Opresko, D.M. (2001) Revision of the Anthipatharia. Part I. Establishment of a new family, Myriopathidae. *Zoologische Mededelingen*, vol. 75, pp. 16-25

Opresko, D.M. (2002) Revision of the Anthipatharia. Part II. Schizopathidae. *Zoologische Mededelingen*, vol. 76, pp. 17-24

Opresko, D.M. (2003) Redescription of *Anthipathes dichotoma* Pallas, 1766. *Zoologische Mededelingen*, vol. 77, pp. 15-36

Opresko, D.M. (2004) Revision of the Anthipatharia. Part IV. Establishment of a new family, Aphanipathidae. *Zoologische Mededelingen*, vol. 78, pp. 1-16

Peyssonnel, J-A (1844) *Ouvrage manuscrit, Traité du corail*,

Roche, J. (1963) Sur la Biochimie comparée des Phosphagènes et leurs répartitions chez les animaux, *Biological Reviews*, vol. 39, N°2, pp. 214-231

Rolandi, V. (1981) Les gemmes du règne animal: étude gemmologique des substances du cnidaire. *Revue gemmologique AFG*, n°66

Rolandi, V. (2005) Gem corals : Classification and spectroscopic features. Australian Gemmologist, vol. 22, pp. 285-298

Rudiger, W (1968) On the structure of pterobilin, the blue pigment of *Pieris brassicae*, Cellular and Molecular life sciences, Vol.24, N°10

Russel. M.P. (1993) Resonance raman spectroscopic studies of bilirubin and biliverdin

Sanchez, A.J. (1999) Black coral-octocoral distribution patterns on Imelda bank, a deep-water reef, Colombia, Caribbean sea. Bulletin of marine science, vol. 65, N°1, pp. 215-225

Sawatzki, J. (1990) Fourier-transform Raman spectroscopy applied to photobiological systems, Proc. Nat. Acad. Sci. USA, vol. 87, pp. 5903-5906

Schneider, S. (1988) Billiproteins from the butterfly *Pieris brassicae*, studied by time-resolved fluorescence and coherent anti-stokes raman spectroscopy, Photochemistry and Photobiology Vol. 48, No. 2, pp. 239-242.

SSEF Facette (2005), n°12

Schwartz, R.E. (1980) organic constituents of the deep-sea precious coral *Gerardia* and *Corallium* spp., these de l'université de Hawaii.

Shumman. W (1999) Guide des pierres précieuses.

Thomson, N (1975) Marine science aids rare-coral industry, Spring/summer issue, State of Hawaii, Department of planning and economic development

Tshuchiya, Y. (1958) Recherches sur les pigments bleu vert des teguments des poissons, Thoku journal of agricultural research, vol. 9, N°2, pp. 81-92

Urmos, J. (1991) Characterization of some biogenic carbonates with raman spectroscopy. American mineralogist, vol. 76, pp. 641-646

Wainwright, S.A. (1982) Mechanical design in organisms, Princeton University press

Yamaguchi, K (1971) Billiproteins of marine animals, Bulletin of Japanese society of scientific fisheries, vol. 37, N°4, pp. 339-354

## CHAPITRE 6 : GLOSSAIRE

Afin de faciliter la lecture, l'ensemble des notes de bas de pages sont répercutées dans ce glossaire. Néanmoins les définitions longues, seront synthétisées dans les notes de bas de pages. Il faut donc se référer au glossaire quand cela est indiqué dans les notes de bas de pages.

Alcane : ce sont des hydrocarbures saturés qui ne contiennent donc que des atomes C et H.

Alcène : (anciennement appelé oléfine) ce sont des hydrocarbures saturés, caractérisés par une double liaison covalente entre deux atomes de C.

Alcyne : ce sont des hydrocarbures possédant une insaturation caractérisée par la présence d'une triple liaison entre deux atomes de C.

Amide : c'est un composé organique dérivé d'un acide carboxylique. Un amide possède un atome d'N lié sur son groupement carbonyle.

Amine : c'est une molécule dérivée de l'ammoniaque dont certains hydrogènes ont été remplacés par un groupement carboné.

Bignon Jean-Paul: né à Paris le 19 septembre 1662 et mort à l'Île Belle le 14 mars 1743, est un homme d'Église français, grand commis de l'État, prédicateur de Louis XIV et bibliothécaire du roi.

Cnidaire : élément d'un embranchement animal comprenant les méduses, les anthozoaires et les hydrozoaires

Cnydocite : cellule caractéristique des cnidaires

Coenosarcs : tissu mou du polype des Scleractiniaires (hexacoralliaires) qui recouvre l'extérieur du calice.

Coenostreum : synonyme de exothèque, désigne la matrice du squelette.

Convention de Berne : C'est une convention relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe

[http://www.coe.int/t/dg4/cultureheritage/nature/bern/default\\_FR.asp?](http://www.coe.int/t/dg4/cultureheritage/nature/bern/default_FR.asp)

Convention de Washington : La Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction, connue par son sigle CITES ou encore comme la Convention de Washington, est un accord international entre Etats. Elle a pour but de veiller à ce que le commerce international des spécimens d'animaux et de plantes sauvages ne menace pas la survie des espèces auxquelles ils appartiennent. [www.cites.org](http://www.cites.org)

Cystéine : c'est un acide- $\alpha$ -aminé naturel qui possède un groupement sulfhydryle ou thiol et qui est présent dans la plupart des protéines, bien que seulement en petites quantités. Sa présence dans des protéines est très importante, notamment parce qu'elle forme des ponts disulfures. Le groupement thiol est très fragile : il s'oxyde très facilement. Son oxydation

conduit à la cystine, qui consiste en deux molécules de cystéine unies par un pont disulfure. Une molécule d'eau (H<sub>2</sub>O) est le produit secondaire de la création de chaque molécule de cystine. Un oxydant plus énergétique peut oxyder la cystéine sur son soufre en donnant l'acide cystéique, à l'origine de la taurine (produit de décarboxylation, présent dans la bile sous forme de taurocholate).

Cupule : sorte de coupe qui entoure la fleur ou le fruit de certains végétaux. Peut-être utilisé en zoologie.

Dolomite : (Ca, Mg) CO<sub>3</sub>

Ectoderme : feuillet externe de l'embryon qui fournit l'épiderme et le système nerveux.

EDAX : analyse par dispersion d'énergie de rayons X secondaires

Gesso : Mélange de colle animale (type colle de peau de lapin) et blanc de Meudon (craie).

Gorgone : Animal de l'embranchement des cnidaires, formant des colonies de polypes.

Harmelin Jean-George : Biologiste marin, Français, membre du CNRS de 1966 à 2002.

Hydraire : animal dont le cycle de reproduction comporte toujours une forme fixe, le polype, qui peut engendrer une forme libre, par exemple une méduse.

ITIS : <http://www.itis.gov/>: Le choix de cette base de donnée, s'est fait par comparaison, mais aussi en raison des partenariats importants mis en place pour la création de cette base de données : Smithsonian Institution, NOAA...

Jussieu : (Joseph) Botaniste français, descendant d'une grande famille de botaniste.( Lyon 1704 – Paris 1779)

Lacaze-Duthier : (Henry de) Zoologiste français (Montpezat 1820- Las fonds 1901)

(von) Linné, Carl: naturaliste suédois, père de la taxonomie moderne

Lithophyte : Plante qui pousse sur les rochers telle que le lichen.

Madrepore: animal coelétééré bâtisseur de récifs coralliens, qui appartient à la sous-classe d'une famille de cnidaires hexacoralliaires.

Mesoglée : substance gélatineuse extracellulaire des cnidaires

Moro : Corail japonais (Paracorallium japonicum) d'un rouge saturé

NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration, [www.noaa.gov](http://www.noaa.gov)

Ovide : (Publius Ovidius Naso) avocat et poète grec (Sulmone 20 mars 43 av.JC- Roumanie 17 ap.JC). Connu surtout pour « Les Métamorphoses ».

Pampille : taille particulière de pierre, le plus souvent en forme de goutte pouvant être facettée.

Passée : ici, désigne un petit canal de vascularisation

Périthèque : forme particulière d'exothèque, partie extérieure de la thèque.

(de) Peyssonnel Jean-André est né à Marseille le 19 juin 1694 et décédé le 24 décembre 1759 à Saint-Bertrand de l'Isle-Grande Terre en Guadeloupe. Il était médecin et naturaliste.

Pline l'ancien : naturaliste et écrivain latin (Côme 23 ap. JC- Stabius 79 ap. JC). Parmi ses nombreux ouvrages, n'a été conservé que son Histoire Naturelle en 37 livres : « de historiae naturalis ».

Polypier : Squelette calcaire secrété par les polypes, solitaires ou coloniaux chez les cnidaires participant à la construction des récifs.

Réaumur : (René Antoine Ferchault de) Physicien et naturaliste français. (La rochelle 1683-Saint-Julien\_du\_Terroux 1757.

Théophraste : philosophe grec (Eresos, Lesbos v.372 av. JC – Athènes v.287 av. JC). Il suivit les leçons de Platon et d'Aristote. Il a composé de nombreux ouvrages sur les plantes, les roches et les minéraux dont « des pierres ».

Thèque : enveloppes de compositions variables, présentes chez de nombreux organismes. On parle de thèques en médecine, botanique, mycologie et zoologie.