ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE LYON

Année 2006-2007 - Thèse n°

Physiopathologie des Coraux

THESE

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I
(Médecine - Pharmacie)
et soutenue publiquement le 3 Mai 2007
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

Julien Vimal
Né le 28 Janvier 1981
à Clermont Ferrand

ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE LYON

Année 2006-2007 - Thèse n°

Physiopathologie des coraux

THESE

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I
(Médecine - Pharmacie)
et soutenue publiquement le 3 Mai 2007
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

Julien Vimal
Né le 28 Janvier 1981
à Clermont Ferrand

DEPARTEMENT ET CORPS ENSEIGNANT DE L'ENVL

Directeur : Stéphane MARTINOT

Mise à jour : 02/01/2007

	PR EX	PR 1	PR 2	MC	Contractuel, Associé, IPAC et ISPV	AERC	Chargés de consultations et d'enseignement
DEPARTEMENT SANTE PUBLIQUE VETERINAIRE							
Microbiologie, Immunologie, Pathologie Générale	Y. RICHARD		A. KODJO	V. GUERIN-FAUBLEE D. GREZEL			
Pathologie infectieuse			A. LACHERETZ M. ARTOIS	J. VIALARD			
Parasitologie et Maladies Parasitaires	MC. CHAUVE	G. BOURDOISEAU		MP. CALLAIT CARDINAL L. ZENNER			
Qualité et Sécurité des Aliments			P. DEMONT C. VERNOZY	A. GONTHIER S. COLARDELLE			
Législation et Jurisprudence			A. LACHERETZ				
Bio-informatique - Bio-statistique				P. SABATIER ML. DELIGNETTE K. CHALVET-MONFRAY			
DEPARTEMENT ANIMAUX DE COMPAGNIE							
Anatomie			T. ROGER	S. SAWAYA	C. BOULOCHER ME DUCLOS		
Chirurgie et Anesthésiologie		JP. GENEVOIS	D. FAU E VIGUIER D. REMY		S. JUNOT (MCC) K. PORTIER (MCC) C. DECOSNE-JUNOT (MCC)	C.CAROZZO	
Anatomie-pathologique/Dermatologie-Cancérologie			C. FLEURY	T. MARCHAL	P. BELLI D. PIN		
Hématologie		C. FOURNEL			D. WATRELOT-VIRIEUX (MCC)		
Médecine interne		JL. CADORE		L. CHABANNE F. PONCE M. HUGONNARD C.ESCRIOU			I. BUBLOT
Imagerie Médicale					J. SONET (MCC)		
DEPARTEMENT PRODUCTIONS ANIMALES							
Zootechnie, Ethologie et Economie Rurale		M. FRANCK		L. MOUNIER			
Nutrition et Alimentation				D. GRANCHER L. ALVES DE OLIVEIRA G. EGRON			
Biologie et Pathologie de Reproduction		F. BADINAND	M. RACHAIL-BRETIN	S. BUFF P. GUERIN	A. C. LEFRANC		
Pathologie Animaux de Production		P. BEZILLE	T. ALOGNINOUWA	R. FRIKHA M.A. ARCANGIOLI D. LE GRAND			G. LESOBRE P. DEBARNOT D. LAURENT
DEPARTEMENT SCIENCES BIOLOGIQUES							
Physiologie/Thérapeutique				J.J. THIEBAULT J.M. BONNET-GARIN			
Biophysique/Biochimie		E. BENOIT F. GARNIER		T. BURONFOSSE			
Génétique et Biologie moléculaire			F. GRAIN	V. LAMBERT			
Pharmacie/Toxicologie Législation du Médicament		G. KECK	P. JAUSSAUD P. BERNY				
Langues					C. FARMER T. AVISON		
DEPARTEMENT HIPPIQUE							
Pathologie équine		JL. CADORE		A. BENAMOU-SMITH			
Clinique équine		O. LEPAGE		A. LEBLOND	M. GLANGL		

A Monsieur le professeur GHARIB,
de la Faculté de médecine de Lyon,

qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse.

Hommages respectueux.

A Monsieur le professeur BERNY,
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon,

qui nous a fait le plaisir d'encadrer ce travail.
Nous le remercions de l'intérêt qu'il a porté à notre travail ainsi que de l'enthousiasme et la bonne humeur dont il a fait preuve.

Sincères remerciements

A Madame le professeur EGRON,
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon,

qui nous a fait l'honneur de participer à notre jury de thèse.

Hommages reconnaissants.

A mes parents, pour leur immense soutien,

A Benji et Lélé,

A mes grands parents,

Un grand merci à toute ma famille, à mes amis, ainsi qu'à tout mon entourage.

Sommaire

Introduction 7

Partie 1 : Classification et anatomie des coraux 8

I. **TAXONOMIE ET CLASSIFICATION DES CORAUX** 9

A) Taxonomie 9

1) Embranchement des Cnidaires 9
2) La classe des Anthozoaires 11

a) La sous-classe des Octocoralliaires 12
b) La sous-classe des Hexacoralliaires 13

B) Classification des coraux 14

1) Les coraux mous 14
2) Les coraux durs 16

II. **ANATOMIE DES CORAUX** 17

A) Les coraux mous 17

1) Anatomie du polype 17

a) L'anthocodie 17
b) Les tentacules 18
c) La bouche 18
d) Le pharynx (=stomodeum) 18
e) Les cavités gastriques 19

2) Structure histologique 20
3) Le squelette 21

a) Organisation générale 21
b) Mode de formation 21
c) Organisation des sclérites 22
d) Morphologie des sclérites 22

4) La musculature 23
5) Le système nerveux 23
6) Le système des canaux 24
7) Polymorphisme des polypes 24

B) Les coraux durs 25

1) Anatomie du polype 25

a) La paroi du polype 26
b) Le disque oral 27
c) Le pharynx (=stomodeum) 27
d) Les mésentéroïdes 28
e) Les tentacules 28
f) Le disque basal 29

2) Histologie du polype 29
3) Le squelette 32

a) Organisation générale 32
b) Le plateau basal 33
c) La thèque (=muraille) 33
d) Les éléments radiaires 33
e) L'endothèque 34
f) La columelle 35

4) La musculature 35
5) Le plexus nerveux 36
6) Le cœnosarque 36
7) Organisation et morphologie des colonies 37

Partie 2 : Biologie des coraux 41

I. METABOLISME 42

A) La Circulation de l'eau 42

1) Les coraux mous 42
2) Les coraux durs 42

B) La nutrition 44

1) Les coraux mous 44

a) Les sources de nourriture 44
b) Modes de capture 45

2) Les coraux durs 46

a) Les sources de nourriture 46
b) Capture des proies 47
c) Déterminisme de la capture des proies 48
d) La digestion 48

e) Absorption et excrétion 49
C) La calcification 50

1) Composition du squelette 50
2) Mécanisme de la calcification 51

a) Le siège de la calcification 51
b) Transport des éléments nécessaires à la calcification 51
c) Processus chimique de la calcification 52
d) Rôle des zooxanthelles dans la calcification 53
e) Rôle de la matrice organique 53
f) Rôle de l'azote dans la calcification 54

3) Facteurs de variation de la calcification 55

D) Importance des zooxanthelles dans le métabolisme du corail 59

1) Classification et morphologie des zooxanthelles 59

a) Classification 59
b) Morphologie 59

2) Localisation et densité 60
3) Pigments 61
4) La photosynthèse chez les zooxanthelles 62
5) La symbiose 63

a) Contribution des zooxanthelles aux besoins du corail 64
b) Apport du corail au métabolisme des zooxanthelles 64

II. LA REPRODUCTION 66

A) Les coraux mous 66

1) La reproduction asexuée 66

a) Fragmentation des colonies 66
b) Bourgeonnement 67
c) Scissiparité 67
d) Lacération du pied 67

2) La reproduction sexuée 67

a) Généralités 67
b) Maturation des gonades 68
c) Fécondation de l'œuf 69
d) Développement larvaire 69
e) Formation du polype 70

B) Les coraux durs 71

1) La reproduction asexuée 71

a) La libération de planulae 71
b) Le bourgeonnement 71
c) La production de colonies satellites 72
d) La fragmentation 72
e) La scissiparité 72
f) L'expulsion de polypes 72

2) La reproduction sexuée 73

a) Gonades et fécondation 73
b) Développement embryonnaire et vie larvaire 74
c) Développement post larvaire 76

III. LES SYSTEMES DE DEFENSE 76

A) Les coraux mous 77

1) Défenses chimiques 77
2) Défenses physiques 78

B) Les coraux durs 78

1) Les filaments mésentériques 78
2) Les tentacules répulsifs 79
3) La croissance 79

Partie 3 : Pathologie et dangers affectant les coraux 81

I. LES MALADIES 82

A) Le blanchiment des coraux (Bleaching) 83

1) Clinique 83
2) Etiologie 84
3) Pathogénie 85
4) Distribution géographique 87
5) Espèces infectées 87

B) La maladie des bandes noires (Black Band Disease : BBD) 88

1) Clinique 88
2) Etiologie 89
3) Pathogénie 89
4) Distribution géographique 90

5) Espèces infectées 90
C) La maladie de la bande blanche (régression tissulaire, White Band Disease) 91

1) Clinique 91
2) Etiologie 92
3) Pathogénie 92
4) Distribution géographique 92
5) Espèces infectées 92

D) La maladie des plages blanches (White Plague) 93

1) Clinique 93
2) Etiologie 93
3) Pathogénie 94
4) Distribution géographique 94
5) Espèces infectées 94

E) L'Aspergillose 94

1) Clinique 95
2) Etiologie 95
3) Pathogénie 95
4) Distribution géographique 95
5) Espèces infectées 95

F) La maladie des bandes jaunes (Yellow Band Disease : YBD) 95

1) Clinique 95
2) Etiologie 96
3) Pathogénie 96
4) Distribution géographique 96
5) Espèces infectées 96

G) La maladie des bandes rouges (Red Band Disease : RBD) 97

1) Clinique 97
2) Etiologie 97
3) Pathogénie 97
4) Distribution géographique 98
5) Espèces infectées 98

H) La nécrose rapide des tissus (Rapid Tissue Necrosis : RTN) 98

1) Clinique 98
2) Etiologie 99
3) Pathogénie 99
4) Distribution géographique 99
5) Espèces infectées 99

I) La maladie de la gelée brune 99

1) Clinique 99
2) Etiologie 100
3) Pathogénie 100
4) Distribution géographique 100
5) Espèces infectées 101

J) Les anomalies de développement 101

II. LES PARASITES ET PREDATEURS 102

A) Les planaires 102
B) Les mollusques 103
C) Les Annélides polychètes 104
D) Les crustacés 105
E) *Acanthaster plancii* (« coussin de belle mère ») 105
F) Les poissons corallivores 106

III. LES PRESSIONS 107

A) Les pressions naturelles 107

1) Les cyclones 107
2) Les précipitations 108
3) Les changements globaux 109

B) Les pressions anthropiques 109

1) La sédimentation 109
2) La pollution des eaux 110
3) L'exploitation des ressources naturelles 110

Conclusion 113

Bibliographie 114

Glossaire 119

Introduction

Le nom de corail est relativement imprécis car il recouvre une large gamme d'organismes. Il a été donné initialement au corail rouge de méditerranée (*Corallium rubrum* ou corail des bijoutiers). Ce mot désigne actuellement de nombreuses espèces de Cnidaires marins dont les caractéristiques anatomiques et biologiques peuvent être très différentes : ils peuvent fuir la lumière et vivre dans les profondeurs de la mer ou au contraire à la proximité de la surface des eaux pour profiter d'un ensoleillement maximal. Ils appartiennent principalement à la classe des Anthozoaires.

On distingue les coraux hermatypiques, c'est à dire qui possèdent des microalgues dans leurs tissus (zooxanthelles) et les coraux ahermatypiques dépourvus de ces algues.

On fait aussi la distinction entre coraux constructeurs de récifs, c'est à dire possédant un squelette calcaire visible après leur mort (=coraux durs) et les coraux qui ne participent pas à l'élaboration calcaire des récifs (= coraux mous).

Nous commencerons par replacer les coraux au sein de la classification animale tout en décrivant leur anatomie, puis nous développerons dans une seconde partie leur métabolisme ainsi que les stratégies mises en place pour assurer leur développement, ceci afin de mieux comprendre les facteurs responsables de leur déclin et les mécanismes à l'origine de leur mort.

Photo de *Corallium rubrum* (Yvette Tavernier)

Partie 1 : Classification et anatomie des coraux

I. TAXONOMIE ET CLASSIFICATION DES CORAUX

A) Taxonomie

1) Embranchement des Cnidaires

Cet embranchement comprend les méduses, les hydres et les coraux soit environ 11000 espèces. Il regroupe 4 classes :

- les Scyphozoaires
- les Cubozoaires
- les Hydrozoaires
- les Anthozoaires

Ce sont des **Métazoaires diploblastiques** presque exclusivement marins.

Ils présentent une **symétrie radiaire**, une cavité interne qui s'ouvre par un orifice unique provenant du blastopore de l'embryon et qui joue successivement le rôle de bouche et d'anus.

Ils sont constitués par deux couches de cellules monostratifiées : **l'ectoderme et l'endoderme**. Elles sont séparées par la **mésoglée** qui est une couche acellulaire riche en collagène.

On note la présence de tentacules creux autour de la bouche et de cellules urticantes : les **cnidoblastes** (cf. figure ci-dessous).

Ces cnidoblastes sont caractéristiques des Cnidaires (Knide = ortie en Grec), ils sont formés d'une capsule (cnidocyste) contenant du venin et un filament urticant se terminant par un harpon. Au contact d'une proie, le cnidocil (prolongement cytoplasmique excitable) est actionné et entraîne l'ouverture de l'opercule, le harpon s'enfonce dans la proie et libère le venin. Le cnidoblaste ainsi utilisé est éjecté puis remplacé par un autre qui se forme à partir des cellules interstitielles.

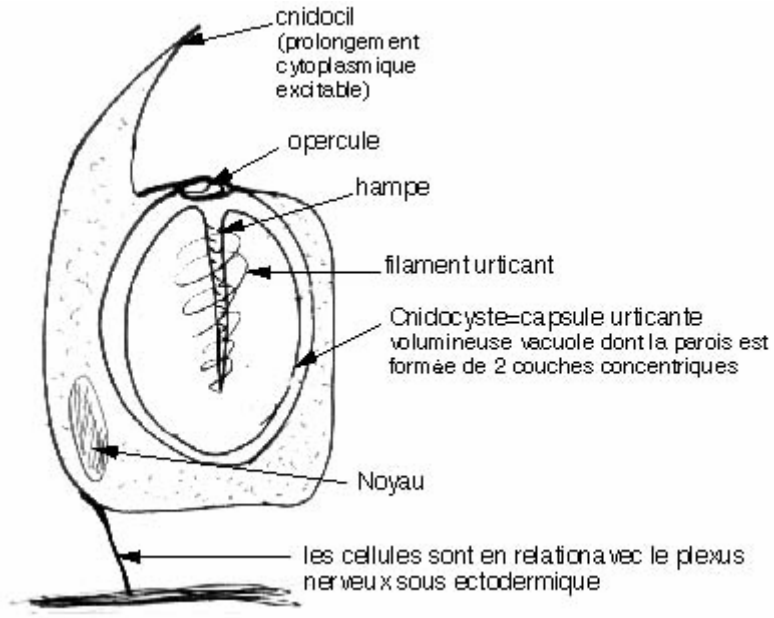


Schéma d'un cnidoblaste (Grasse *et al*, 1987)

Ils sont dépourvus de système respiratoire. La respiration est de type cutané, les échanges gazeux se font au niveau de chaque cellule : l'oxygène dissous dans l'eau de mer diffuse selon le gradient de concentration à travers la membrane cellulaire et le CO_2 produit diffuse dans l'autre sens.

Ils n'ont pas de système circulatoire et excréteur défini. Ils possèdent des systèmes nerveux et digestif rudimentaires.

La grande majorité des Cnidaires a un corps mou, mais quelques groupes possèdent des structures de maintien :

- les Hydrozoaires ont un ectoderme périphérique qui sécrète un fin squelette ectodermique composé de chitine et de protéines tannées par des sécrétions phénoliques.
- les Anthozoaires construisent des structures squelettiques intra-mésogléennes ou ectodermiques, de nature organique ou calcaire.

On distingue deux formes :

- les formes benthiques ou **polypes**, elles sont fixées au substrat,
- les formes nageuses ou **méduses**, elles sont planctoniques.

Dans une même espèce on a régulièrement alternance entre les deux formes : le polype donne naissance par voie asexuée aux méduses qui se reproduisent par voie sexuée pour donner des polypes.

Il y a une très grande diversité de taille, ainsi qu'une diversité dans les cycles reproducteurs et dans les modes de vie.

Les Cnidaires se rencontrent dans toutes les mers avec une prédilection pour les mers chaudes où ils donnent des récifs coralliens.

Les coraux appartiennent majoritairement à la classe des Anthozoaires mais également à celle de Hydrozoaires pour le corail de feu (non traité).

2) La classe des Anthozoaires

Littéralement, « **animal fleur** ».

Tous les Anthozoaires sont **marins**.

Ce sont des organismes solitaires ou coloniaux représentés par un stade larvaire libre et cilié et par un stade polype qui correspond à la phase adulte et sexuée. **Ils ne présentent jamais de stade méduse.**

Les polypes possèdent un tube pharyngien ectodermique (stomodeum) qui permet la communication entre la bouche et la cavité gastrique. La cavité gastrique est divisée radiairement par des cloisons (mésentéroïdes) qui s'étendent de la paroi à l'axe du polype en s'attachant ou non au stomodeum.

Les tentacules sont creux, plus ou moins rétractiles et disposés autour de la bouche.

A la symétrie bilatérale, visible dès les plus jeunes stades, se superpose une **symétrie octoradiaire ou hexaradiaire** qui affecte les tentacules, les mésentéroïdes et certaines parties du squelette lorsque celui ci existe.

Les polypes portent tous des gonades, situées dans la mésoglée des mésentéroïdes.

On distingue plusieurs sous-classes :

- les Octocoralliaires} comprennent les coraux mous, les gorgones et le corail bleu
- les Hexacoralliaires} comprennent les coraux durs
- les Tétracoralliaires
- les Hétérocoralliaires
- les Tabulés

Ces trois dernières sous-classes sont représentées uniquement par des formes paléozoïques.

a) La sous-classe des Octocoralliaires

Ce sont dans la majorité des cas, des colonies sédentaires dont les individus communiquent entre eux par des canaux endodermiques : les **solenias**.

Ils sont caractérisés par une **symétrie radiaire d'ordre huit**. Les polypes portent **huit tentacules creux et pinnulés**. Leur cavité gastrovasculaire est divisée en huit chambres radiaires par huit cloisons longitudinales complètes, minces et non calcaires.

Le stomodeum présente un ou deux sillons appelés **siphonoglyphes**.

Cette sous-classe regroupe huit ordres (Grasse *et al*, 1987) :

- les ALCYONACEA (coraux mous et gorgones)
- les TELESTACEA
- les PENNATULACEA
- les PROTOALCYONARIA
- les STOLONIFERA
- les CLAVULARIIDAE
- les HELIOPORIDAE (corail bleu)
- les GORGONACEA

La majorité des coraux appartient à l'ordre des **Alcyonacea** (coraux mous et gorgones) **;** une petite partie est représentée par les Helioporidae (corail bleu).

b) La sous-classe des Hexacoralliaires

Ils sont solitaires ou coloniaux.

La cavité interne des polypes est divisée par des mésentères parfaits (comme chez les octocoralliaires) et par des mésentères imparfaits c'est-à-dire insérés sur la colonne mais n'atteignant pas le pharynx.

Les mésentères sont au **nombre de six ou d'un multiple de six** (exceptionnellement huit).

Les polypes présentent des **tentacules creux au nombre de six ou multiple de six**, disposés en série radiaire ou en cycle alternant.

Cette sous-classe comporte sept ordres :

- les ANTHIPATHAIRES
- les CERIANTHAIRES
- les ACTINIAIRES (anémones de mer)
- les PTYCHODACTINIAIRES
- les CORALLIMORPHAIRES
- les ZOOANTHAIRES
- les SCLERACTINIAIRES (coraux vrais)

Les **Scléractiniaires** représentent la totalité des coraux durs.

Les coraux sont des animaux exclusivement marins. Ils appartiennent à l'embranchement des Cnidaires et à la classe des Anthozoaires (= « Animaux fleurs »). On distingue principalement deux grandes catégories de coraux : les coraux mous et les coraux durs (= coraux constructeurs de récifs). Les coraux mous appartiennent à la sous-classe des Octocoralliaires et sont représentés par l'ordre des Alcyonacea. Les coraux durs appartiennent à la sous-classe des Hexacoralliaires et sont représentés exclusivement par l'ordre des Scléractiniaires.

B) Classification des coraux

On les divise en trois grandes catégories :

- les coraux mous
- les coraux durs
- les autres (gorgones, corail de feu, corail bleu)

Cette dernière catégorie, pour un souci de clarté et de concision, ne sera pas abordée.

1) Les coraux mous

Ce sont des Alcyonacea (sous-classe des Octocorallaires, classe des Anthozoaires, embranchement des Cnidaires).

Les colonies sont plus ou moins charnues, elles sont composées d'une portion basilaire, le **pied**, surmonté d'une région fertile, le **capitule**.

Elles sont constituées par l'agglomération de polypes englobés à leur base par une substance gélatineuse : le **coenenchyme**.

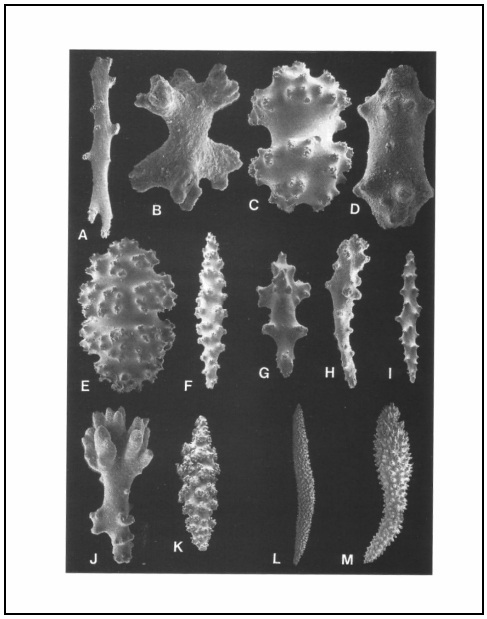
Les colonies peuvent être fixées par un pied encroûtant plus ou moins élargi en forme de disque, elles peuvent aussi présenter des sortes de racines aplaties (Grasse *et al*, 1987).

Les coraux mous présentent une **morphologie variée**.

Photo de *Silunaria sp*, un exemple de corail mou (Julien Vimal)

A l'heure actuelle la confusion règne dans leur identification et dans leur classification car il existe une grande variabilité de leur aspect en fonction des facteurs environnementaux, ainsi deux spécimens apparemment différents peuvent être des morphes de la même espèce. De plus, des coraux apparemment identiques peuvent appartenir à des espèces, à des genres, voire à des familles différentes.

Une identification formelle n'est possible que grâce à un examen microscopique d'éléments squelettiques calcaires appelés **sclérites (= spicules)**. Ils doivent être prélevés à la fois à la base des colonies et sur les ramifications, car il existe une variabilité liée à la localisation sur la colonie. Ces spicules ont la forme de boutons épineux, de croix, d'haltères, d'étoiles ou de massues.



Photos microscopiques de sclérites (Grasse *et al*, 1987)

On distingue 7 familles (Grasse *et al*, 1987) :

- les Alcyoniidae
- les Asterospiculariidae
- les Nephtheidae
- les Archicaulidae
- les Nidaliidae
- les Maasellidae
- les Xeniidae

2) Les coraux durs

Ce sont les Scléractiniaires (sous-classe des Hexacoralliaires, classe des Anthozoaires, embranchement des Cnidaires).

Ce sont des organismes marins généralement fixés, solitaires ou coloniaux.

Ils ont une organisation générale en deux parties :

- **une partie vivante** et contractile, formée d'un ou plusieurs polypes
- **le polypier** ou squelette calcaire, formé d'un ou plusieurs polypiérites

A l'heure actuelle, il n'existe pas de systématique satisfaisante des Scléractiniaires, surtout pour les formes fossiles. Nous adopterons celle réalisée par J.P Chevalier (pour les Scléractiniaires actuels et cénozoïques) et L. Beauvais (pour les Scléractiniaires mésozoïques).

Les principaux critères utilisés reposent sur l'étude du squelette : caractères morphologiques et anatomiques, ornementation des éléments radiaires et structure histologique.

On distingue 54 familles réparties en 11 sous-ordres :

- Stylophyllina (2 familles)
- Pachythecalina (2 familles)
- Distichophyllina (3 familles)
- Archeocaeniina (4 familles)
- Archaeofungiina (3 familles)
- Stylinina (2 familles)
- Dendrophylliina (4 familles)
- Fungiina (14 familles)
- Faviina (9 familles)
- Meandriina (2 familles)
- Caryophyllina (9 familles)

Les coraux mous ont une morphologie très variée, seul l'examen des sclérites (éléments calcaires) permet leur identification. Chez les coraux durs la morphologie est également variable ; c'est l'aspect du polype et les ornementations du squelette calcaire qui permettent de les classer.

II. ANATOMIE DES CORAUX

A) Les coraux mous

1) Anatomie du polype

Il constitue l'**unité de base du corail**.

Il a la forme d'un tube plus ou moins long, variant de 1 mm à plusieurs cm (anthocodie) et se terminant à sa portion distale par un disque oral dont le bord est orné de huit tentacules.

Le disque oral est aplati ; on trouve au centre de celui-ci une bouche ovale qui s'ouvre directement sur le pharynx.

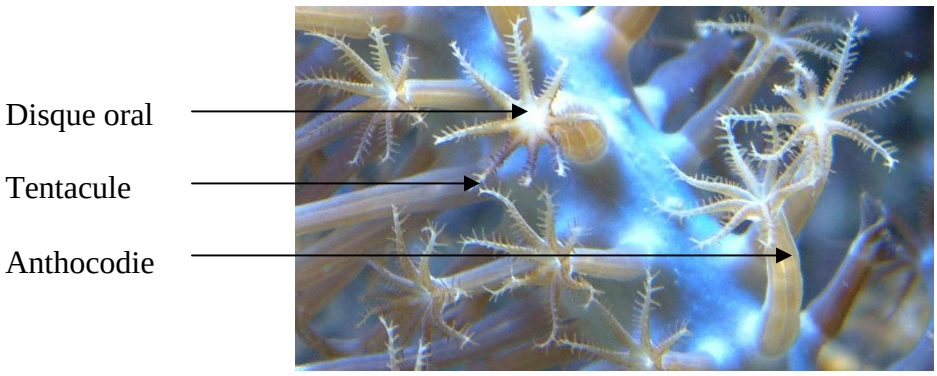


Photo macroscopique de polypes d'un corail mou (Julien Vimal)

a) L'anthocodie

La base de la paroi des anthocodies (anthostèle) est toujours plus dure que sa portion supérieure ; elle forme une saillie permanente appelée **calice**.

Chez la plupart des coraux mous, l'anthocodie peut se rétracter entièrement dans le coenenchyme, ne laissant apparaître qu'un pore. Chez certains genres, cette rétraction est impossible, c'est le cas des genres *Anthelia*, *Heteroxenia* et *Xenia*.

Chez de nombreux genres, le polype s'enfonce bien en dessous de la surface de la colonie allant même jusqu'à la traverser de part en part pour atteindre sa base. Cette observation suggère une hypothèse intéressante : les anthocodies, longs cylindres, pourraient, à la manière d'une fibre optique, conduire la lumière jusque dans les couches profondes de la colonie. C'est le cas chez le genre *Sarcophyton* et *Xenia*.

b) Les tentacules

Ils sont disposés **autour du disque oral** de chaque polype et alternent avec les huit cloisons.

Ils mesurent entre **1 et 50 mm**.

Les tentacules sont plus larges à leur base et tendent à s'effiler à leur extrémité.

Leur forme varie selon l'espèce.

Ils portent (généralement, mais pas toujours) de courtes ramifications appelées **pinnules**, souvent disposées en rangée et leur donnant ainsi l'apparence d'une plume.

Les tentacules des coraux mous et leurs pinnules sont mobiles, contractiles et creux : ils prolongent la cavité gastrique et jouent un rôle important dans la capture des proies (Hyman, 1940 ; d'après Grasse *et al*, 1987).

c) La bouche

Elle est située au centre du disque oral.

Elle est de **forme ovale** et présente à l'une de ses extrémités étroites un élargissement indiquant la position du siphonoglyphe à l'intérieur du pharynx.

Elle s'ouvre à l'intérieur du pharynx.

d) Le pharynx (= stomodéum)

Le pharynx est ovale, il peut être lisse ou parcouru de sillons et s'étend jusqu'à la cavité gastrique.

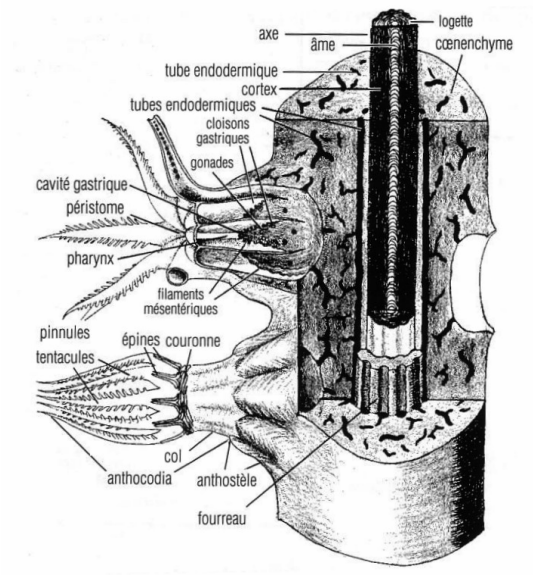
Il est muni à son extrémité ventrale d'une **gouttière bordée de cellules ciliées** et appelée **siphonoglyphe (= sulcus)**.Cette gouttière est destinée à assurer la circulation de l'eau dans la cavité gastrique et pourrait participer à l'ingestion de particules alimentaires.

e) Les cavités gastriques

Elles sont indépendantes les unes des autres.

Au dessous du pharynx, les cavités gastriques se prolongent dans la base de la colonie sous forme de canaux longitudinaux terminés en cul de sac.

L'ensemble des cavités gastriques est appelé **cavité gastrovasculaire**.



Coupe longitudinale d'un polype (Sprung et Delbeeck, 1996)

La cavité gastrovasculaire de chaque polype est divisée par huit cloisons endodermiques (= cloisons mésentériques = septes) qui se poursuivent longitudinalement.

Dans la partie supérieure, elles sont soudées entre elles ainsi qu'au disque oral et au pharynx, délimitant ainsi huit compartiments distincts (=chambres radiaires) communiquant directement avec les chambres tentaculaires : on trouve une **chambre asulcale**, une **chambre sulcale** et six **chambres latérales**.

Dans la partie inférieure, c'est à dire en dessous du pharynx, les bords externes sont encore reliés à la paroi des polypes, alors que les bords internes des cloisons sont libres et portent des cordons épais et onduleux : les **filaments mésentériques**.

On distingue **huit filaments mésentériques** ; ils sont dissemblables tant par leur constitution que par leur origine.

Les deux filaments asulcaux sont longs, rectilignes et fortement ciliés ; ils servent à **créer un courant** aquifère ascendant s'étendant de la base au sommet de la cavité gastrovasculaire.

Les six autres filaments (deux sulcaux et quatre latéraux) sont réduits ou absents. Grâce à leurs cellules glandulaires, ils **achèvent la digestion** des particules alimentaires commencée dans le pharynx.

2) Structure histologique

Le polype est composé de trois couches cellulaires :

- **l'ectoderme** : il correspond à la couche externe ; il couvre la surface du polype et s'étend sur toute la colonie. La zone couvrant le polype comporte des cellules à mucus, des cellules sensorielles et des cnidoblastes. La zone couvrant le coenenchyme comporte moins de cellules sensorielles et de cnidoblastes (Hyman, 1940 ; d'après Grasse *et al*, 1987).

D'après certains auteurs, l'ectoderme serait recouvert par une cuticule d'épaisseur variable sécrétée par les cellules muqueuses ectodermiques (Grasse *et al*, 1987).

Gohar (1940) a observé chez les Xeniidae, tout comme d'autres biologistes chez les Alcyoniidae, l'émission d'une forte décharge de mucus en exposant à l'air des colonies privées de leur milieu. Ce mucus d'odeur très caractéristique, semble protéger l'animal de la dessiccation provoquée par le retrait des eaux pendant la basse mer.

- **L'endoderme** : il correspond à la couche interne ; il limite la surface interne des tentacules, de l'anthocodie, et du disque oral de chaque polype. Il revêt la surface externe du pharynx, les deux faces des cloisons et la surface interne des cavités gastrovasculaires sur toute leur longueur.

- **La mésoglée** : elle est située entre ces deux couches ; elle est constituée par une **matrice gélatineuse qui contient des sclérites.** Elle est composée d'un **hyalogène** contenant une mucine et d'une petite quantité de **substance albuminoïde insoluble**. Elle contient des cellules variables en nombre, en taille et en forme selon l'espèce considérée. Elle est très fine au niveau du polype mais représente la plus grande partie du coenenchyme de la colonie entre les polypes. Elle varie aussi en épaisseur selon les genres et les espèces considérées.

Au niveau de la mésoglée, on trouve un **réseau de canaux endodermiques** qui font communiquer les cavités gastriques entre elles.

Des cellules particulières qualifiées d'amiboïdes sont présentes dans la mésoglée. Certaines d'entre elles deviennent des scléroblastes, responsables de la production de sclérites ; d'autres sont responsables de dépôt de gorgonine chez les gorgones (Hyman, 1940 ; d'après Grasse *et al*, 1987).

3) Le squelette

a) Organisation générale

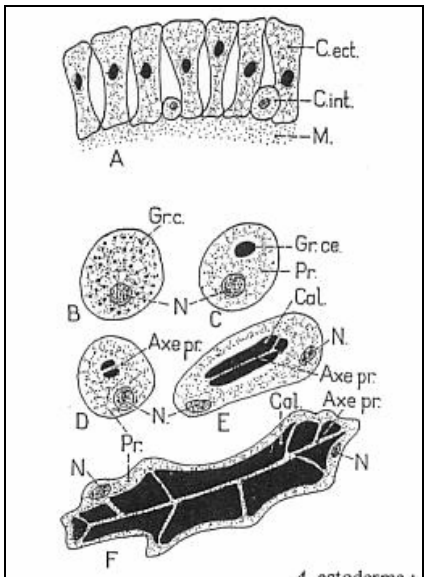
Il se compose d'éléments calcaires isolés, les **sclérites** (ou **spicules)**. Les sclérites sont **intracellulaires** et reposent toujours dans le coenenchyme.

b) Mode de formation

Les sclérites sont formées par des cellules spécialisées : **les scléroblastes**.

Les cellules mères des scléroblastes sont de petites cellules granuleuses arrondies (cellules interstitielles) originellement situées à la base des cellules ectodermiques.

Ces cellules passent dans la mésoglée et sont alors désignées sous le nom de scléroblastes ; elles **augmentent de volume en se chargeant de granulations calcaires amorphes** qui se groupent en une concrétion centrale qui grossit peu à peu jusqu'à dépasser la taille du noyau. Cette concrétion, initialement arrondie, prend peu à peu une forme irrégulière, s'amincit en son centre et s'épaissit à ces deux extrémités. Pendant ce temps, le noyau se divise en deux et les nouveaux noyaux émigrent aux deux pôles, entraînant chacun un amas protoplasmique volumineux. La sclérite est alors formée et **continue à croître par accumulation de calcaire**.



A, ectoderme ; *B, C, D, E, F*, scléroblastes ; *Axepr*, axe protoplasmique ; *Cal*, calcaire ; *Cect*, cellule ectodermique ; *Cint*, cellule interstitielle ; *Grc*, granulation calcaire ; *Grce*, granulation calcaire centrale ; *N*, noyau ; *Pr*, protoplasme scléroblastique.

Schéma de la formation d'une sclérite (Grasse *et al*, 1987)

c) Organisation des sclérites

Les granulations calcaires des cellules scléroblastiques sont constituées de calcaire en liaison chimique avec le complexe protéique du protoplasme. Le calcaire, primitivement amorphe, ne cristallise que secondairement.

Dès le début de sa formation, la granulation sphérique et perforée en son centre, entoure un filament protoplasmique. Peu à peu la concrétion centrale s'accroît par apposition de nouvelles couches calcaires. En même temps, le filament axial (filament protoplasmique) donne naissance à des filaments secondaires qui donnent eux mêmes naissance à des filaments tertiaires. Lorsque le protoplasme scléroblastique est réduit à une simple pellicule, la dernière couche calcaire déposée ferme les extrémités des axes et la croissance du spicule est terminée.

La sclérite est donc formée de deux composants essentiels : l'un organique et l'autre minéral.

d) Morphologie des sclérites

Les sclérites ont des formes très variées. La configuration la plus répandue est celle d'une aiguille courte ou longue, plus ou moins large, mince ou épaisse, lisse ou tuberculée.

Les sclérites sont d'un intérêt primordial pour la détermination des espèces : elles sont à la base de la systématique.

Elles sont spécifiques par leur allure générale et par l'existence, la disposition et la forme de leurs protubérances.

4) La musculature

La musculature se borne à des **muscles septaux**.

Chaque septe porte, sur sa face sulcave convexe, une forte **musculature longitudinale endodermique : les muscles rétracteurs**. Ils sont disposés en éventail et servent à contracter la portion supérieure du polype en abaissant son extrémité orale et en la ramenant à l'intérieur de la cavité gastrique. Ils sont plus ou moins développés selon le pouvoir de rétraction du polype.

En outre chaque septe porte sur sa face pariétale asulcale plane une faible **musculature transverse endodermique** permettant la protraction des polypes.

La disposition des muscles rétracteurs est telle que ceux des deux cloisons sulcales se font face, alors que ceux des septes asulcaux sont opposés. La chambre radiaire asulcale ne renferme aucun muscle rétracteur alors que, la chambre sulcale en possède deux et que les six chambres latérales en comprennent chacune une.
L'ensemble de ces muscles est sous le contrôle d'un système nerveux primitif.

5) Le système nerveux

Il y a chez les Alcyonacea trois localisations principales du système nerveux : l'ectoderme, l'endoderme et la mésoglée.

Au niveau de la mésoglée, on trouve un plexus nerveux au voisinage des cordons des cellules mésenchymateuses. Les neurones de ce plexus sont petits, bi, tri, ou tétrapolaires. Les faisceaux nerveux se situent à l'intérieur ou au bord des cordons cellulaires mésogléens et ne traversent la gelée mésogléenne que pendant ce court trajet (Tischack, 1969 ; d'après Grasse *et al*, 1987).

6) Le système des canaux

Les différents polypes d'une même colonie ne sont pas reliés directement entre eux. Ils communiquent les uns avec les autres grâce à l'existence d'un **réseau de canaux endodermiques** parcourant la mésoglée coloniale. Ce réseau porte le nom de **solenia**.

7) Polymorphisme des polypes

Onze genres de coraux mous **présentent simultanément deux types différents de polypes**, ils sont dits **dimorphes** ; c'est le cas par exemple des genres *Sarcophyton, Lobophytum* et *Heteroxenia* qui présentent des polypes autozoïdes et siphonozoïdes.

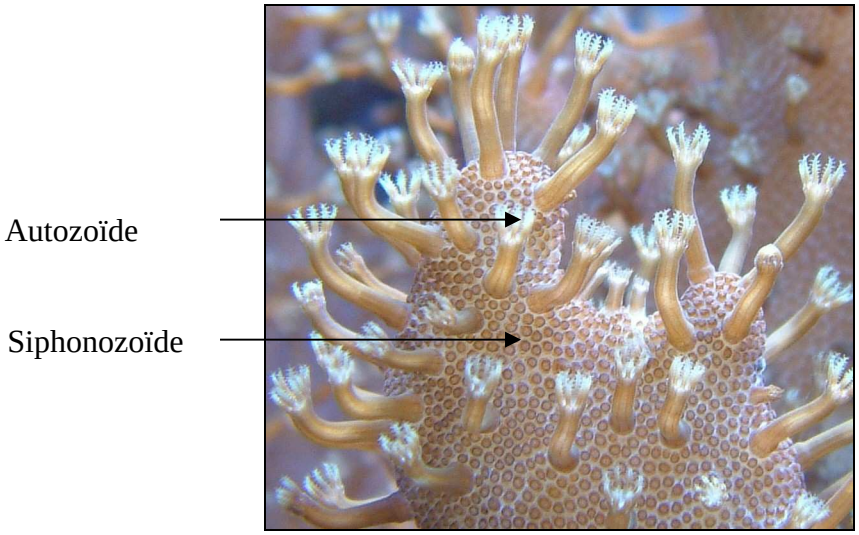


Photo d'un *Lobophytum sp* avec deux types de polypes bien visibles (Julien Vimal)

Les **autozoïdes** sont les polypes typiques ; leur anatomie est exactement celle que nous venons de décrire.

Leurs principales fonctions sont la **nutrition**, la **respiration** et la **captation de lumière** avec peut être conduction de celle-ci jusque dans les parties basses de la colonie.

Ce sont eux qui portent les gonades : ovaires et testicules.

Les **siphonozoïdes** correspondent à l'autre type de polype. Ils sont de **taille réduite** et **leurs tentacules sont rudimentaires ou absents**. Ils sont non rétractiles (Grasse *et al*, 1987).

Leurs cloisons gastriques sont généralement très atrophiées et leur siphonoglyphe est extrêmement développé. Il y a absence ou réduction de leurs tentacules, de leurs septes et de leurs filaments mésentériques.

Ils ne participent pas à l'alimentation, leur fonction principale est **d'assurer un fort courant d'eau dans la colonie**.

Les coraux mous au port branchu, lobé ou arborescent sont la plupart du temps monomorphes tandis que la plupart des formes massives et de grandes tailles sont dimorphes. Cela suggère l'hypothèse que le dimorphisme apparaît en réponse à un besoin de circulation active d'eau dans les grandes colonies (Bayer, 1973 ; d'après Grasse *et al*, 1987). Cette hypothèse est étayée par le fait que *Heteroxenia fuscescens* ne développe des siphonozoïdes que lorsque la colonie a atteint un diamètre donné ; leur nombre augmentant à mesure de la croissance (Achituv et Benayahu, 1990).

Les coraux mous sont constitués d'un ensemble de polypes reliés entre eux par un tissu : le coenenchyme. Les polypes sont de forme et de taille variable. Ils correspondent à un tube terminé par un disque oral qui se prolonge par des tentacules et qui s'ouvre à l'extérieur par une bouche. Un pharynx fait communiquer la bouche avec des cavités gastriques (cavité gastrovasculaire). La musculature des polypes se borne à des muscles septaux. Ils sont sous le contrôle d'un système nerveux primitif et localisé dans les trois couches cellulaires du polype : l'ectoderme, l'endoderme et la mésoglée.
L'ensemble des polypes communiquent entre eux grâce a un système de canaux : le solénia.

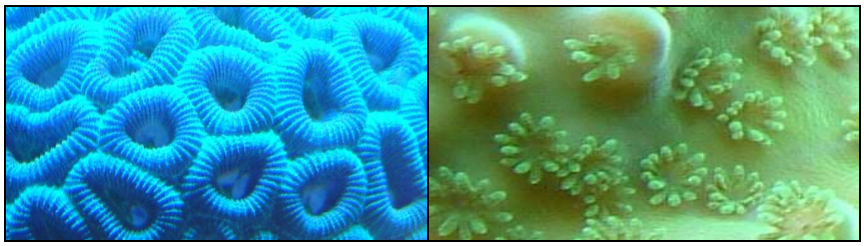
B) Les coraux durs

1) Anatomie du polype

Comme chez les coraux mous, il constitue **l'unité de base des colonies**.

La taille des polypes est très variable, elle peut aller jusqu'à **25 cm de diamètre chez les espèces solitaires** (cf photo *Fungia sp*) alors qu'elle varie de **1 mm à 3 cm chez les espèces coloniales** (cf photos comparatives entre les genres *Favia* et *Acropora).*

Fungia sp. (×0.5), un exemple de corail dur possédant un polype unique (Julien Vimal)



Favia sp. (×1) à gauche, un exemple de corail dur à gros polypes, _Acropora sp._ (×10) à droite, un exemple de corail dur à petits polypes (Julien Vimal)

On distingue différentes parties au niveau du polype (cf. schéma ci-dessous).

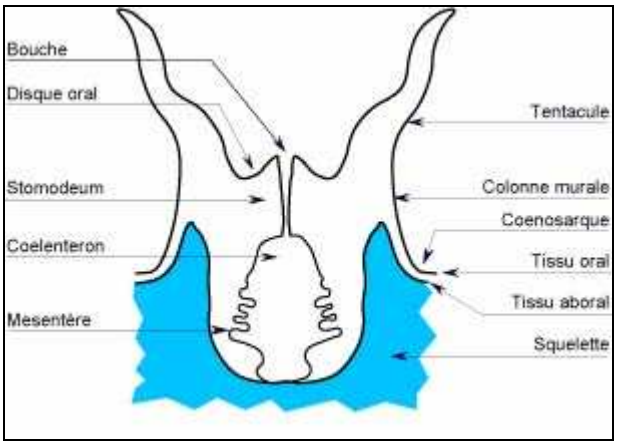


Schéma de l'organisation générale d'un polype (Centre scientifique de Monaco)

a) La paroi du polype (colonne murale)

Elle **relie le disque oral au disque basal**. Son épaisseur varie suivant les espèces et selon les régions du polype.

Elle présente une structure plissée au niveau du polypiérite en raison de la présence des éléments radiaires et de la muraille.

b) Le disque oral

Il constitue la **terminaison distale du polype** et se trouve limité par la couronne la plus externe des tentacules. En son centre, s'ouvre la bouche.

Il est régulier chez les formes simples et plutôt irrégulier chez les coloniaux.

Les parois du disque oral sont très minces, partiellement transparentes et parcourues par de fins sillons correspondant aux mésentéroïdes internes.

La bouche est allongée dans le plan sagittal ; lorsqu'elle est fermée, il persiste deux petits orifices, égaux ou inégaux, aux extrémités de la fente orale. Ils permettent la circulation d'un courant d'eau.

Chez certaines espèces des petites lèvres bordent parfois la bouche.

c) Le pharynx (=stomodeum)

Il s'agit d'un canal qui relie la bouche à la cavité gastro-vasculaire.

L'ouverture antérieure s'appelle l'entérostome.

Les parois internes portent généralement des rides et des sillons longitudinaux.

Les rides correspondent en nombre et en position à l'attachement des mésentéroides principaux à la surface externe du stomodeum.

Parmi les sillons qui séparent les rides, on en trouve deux qui aboutissent aux deux petites ouvertures de la commissure des lèvres. Ils sont appelés sillons directeurs et permettent de canaliser les courants d'eau inhalants et exhalants.

Les polypes uniques ne possèdent qu'un seul stomodeum, par contre chez les formes coloniales, on observe des polypes contenant un ou plusieurs stomodeums. Quelques Scléractiniaires ne possèdent pas de stomodeum.

A l'inverse des Octocoralliaires il n'existe pas de siphonoglyphe.

d) Les mésentéroïdes

Ce sont des cloisons radiaires disposées par couple.

Elles sont attachées à la fois à la surface interne du disque oral et latéralement à la colonne murale.

Leurs deux parois sont différentes : l'une, renflée, qui contient des fibres musculaires longitudinales rétractiles et l'autre, moins saillante, qui contient des fibres musculaires obliques protactiles.

On distingue les mésentéroïdes complets, avec leur bord interne relié à la paroi du stomodeum et les mésentéroïdes incomplets, avec un bord interne libre.

Le bord interne libre de tous les mésentéroïdes complets, ainsi que celui de la plupart des mésentéroïdes incomplets, porte des tractus cnido-glandulaires appelés **filaments mésentériques** (=entéroïdes).

Les filaments mésentériques comprennent une partie médiane flagellée et deux parties latérales plus ou moins bien individualisées et dépourvues de flagelles et de cils. Sous l'influence de différents facteurs (irritation du polype, nutrition…), les filaments mésentériques peuvent sortir par la bouche ou par des ouvertures temporaires de la colonne murale.

Les mésentéroïdes jouent un rôle important dans la **contraction et l'extension des polypes**, ils ont aussi une **fonction digestive** et renferment les **organes reproducteurs**.

e) Les tentacules

Ce sont des excroissances périphériques du disque oral qui se dressent verticalement à partir des chambres mésentériales. Il y en a autant que de mésentéroïdes ; c'est à dire **six ou un multiple de six**.

Ce sont de simples digitations tubulaires, représentant une extension de **la cavité gastro-vasculaire** vers la partie supérieure du polype. Ils sont terminés ou non par un renflement, l'**acrosphère**.

Leur taille varie selon le mode de nutrition de la colonie : ils sont courts chez les Scléractiniaires hermatypiques et longs chez la plupart des ahermatypiques.

Ils sont disposés autour de la bouche en une ou plusieurs couronnes appelées **cycles**.

Les tentacules des coraux durs **peuvent être ramifiés** ; c'est le cas chez *Euphyllia divisa* par exemple.

La plupart des espèces ont des **cnidoblastes** dispersés sur toute la surface des tentacules mais ils sont en plus **forte concentration à leur pointe** ; ce qui peut se traduire par une coloration différente.

***Pectinia sp*. avec des tentacules chargés de cnidoblastes à leurs extrémités (Julien Vimal)**

Ils sont également **tactiles** et **préhensiles** et jouent donc de ce fait un grand rôle dans la défense et la nutrition.

f) Le disque basal

Opposé au disque oral, il constitue la partie inférieure du polype.

Il subit des modifications au cours du temps. Lors de la fixation de la larve, il est représenté par un disque horizontal qui sécrète le plateau basal calcaire ; un peu plus tard, il va former les premiers éléments du squelette en se plissant fortement. Au cours de la croissance, il s'élève en sécrétant dans sa partie inférieure les différents éléments de l'endothèque sur laquelle il prend appui.

2) Histologie du polype

Comme chez tous les Cnidaires, les tissus du polype renferment deux assises cellulaires : l'**ectoderme** et l'**endoderme**, entre lesquelles est située la **mésoglée**. A cause de la présence du squelette, l'étude histologique des scléractiniaires a été beaucoup moins approfondie que celle des autres groupes.

- L’ectoderme prend deux aspects très différents selon sa localisation. Au niveau de la partie supérieure du polype, il constitue l’**ectoderme proprement dit**. Au dessus du squelette, il est beaucoup plus mince et subit certaines transformations pour former la **couche calicoblastique**.

L’ectoderme « proprement dit » a un aspect pseudostratifié et renferme une, ou moins fréquemment, plusieurs assises de cellules. On trouve différents types cellulaires :

- des cellules épithéliales les plus nombreuses ; elles sont allongées, cylindriques et mononucléées. A leur pôle apical, elles portent un flagelle et dans leur partie proximale, elles s’effilent en plusieurs filaments cytoplasmiques qui s’entrecroisent

- des cellules sensorielles très nombreuses dans les tentacules

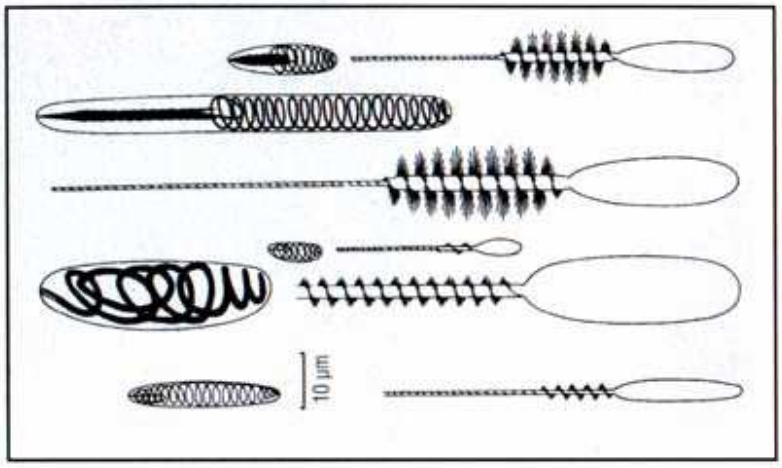
- des cellules glandulaires de deux types :

. les cellules muqueuses localisées dans la partie distale de l’ectoderme. Elles possèdent des vésicules muqueuses contenant des substances diverses souvent acides

. les cellules granulaires localisées dans la partie distale de l’ectoderme. Leur abondance et leur forme varient avec les espèces.

- des amoebocytes qui participent à la défense de l’organisme en phagocytant les corps étrangers

- des nématocystes de morphologie variable selon les espèces



Représentation de différents types de nématocystes (Grasse et al, 1987)

- des cellules musculaires

- des neurones bipolaires ou multipolaires qui constituent le plexus nerveux

La couche calicoblastique (=calicoblastème) : elle est présente partout où le polype repose sur le squelette externe. Elle ne renferme qu'une seule assise de cellules et ne possède ni plexus nerveux, ni couche musculaire. On trouve différentes catégories cellulaires :

- les calicoblastes (= scléroblastes) : cellules très aplaties, de petite taille et munies d'expansions digitées ; elles constituent l'élément essentiel de l'assise

- les cellules glandulaires : cellules granulaires et cellules muqueuses, elles sont peu nombreuses, dégénérées ou non fonctionnelles.

- les desmocytes qui permettent l'attache du polype au squelette : elles sont plus nombreuses dans les zones de tension où les tissus doivent résister à l'action musculaire

- L'endoderme constitue la partie interne du polype ; son épaisseur varie énormément d'un endroit à l'autre du polype. Il comprend sensiblement les mêmes éléments que l'ectoderme, à savoir :

- les cellules épithéliales

- les cellules glandulaires : cellules muqueuses (très nombreuses au niveau de la cavité gastrovasculaire) et cellules granulaires

- les nématocystes : souvent rares et non fonctionnels

- les amoebocytes : ils sont plus nombreux que dans l'ectoderme et joueraient un rôle excréteur

- des cellules musculaires

- des neurones multipolaires

- les **zooxanthelles** : ce sont des algues unicellulaires intracellulaires dont l'étude sera abordée plus loin.

- La mésoglée : elle est toujours **présente entre l'ectoderme et l'endoderme**, elle est très mince (0.1µm à 3µm).

Sa composition est mal connue, elle est constituée d'une substance amorphe contenant un arrangement irrégulier de minces filaments. Elle comprend également des débris cellulaires et quelques rares cellules provenant de l'endoderme et de l'ectoderme. Elle renferme aussi des amoebocytes et des gamètes.

3) Le squelette

a) Organisation générale

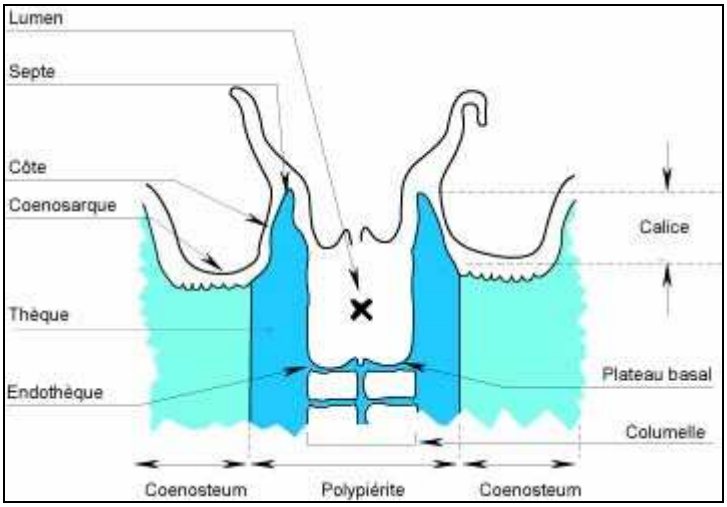
L'emplacement de chaque polype est circonscrit par une **muraille** (= **thèque**), qui forme une coupe appelée **corallite**. L'intérieur de cette coupe, dans laquelle se loge le polype, porte le nom de **calice**.

Détail macroscopique du squelette d'un Scléractiniaire après sa mort (Julien Vimal)

La couche calicoblastique sécrète en sa partie inférieure un exosquelette de carbonate de calcium : le **polypiérite**. Le polypiérite comprend dans sa partie inférieure une lame calcaire, le **plateau basal**, d'où s'élève verticalement la **thèque**.

Ces deux éléments délimitent une cavité : le **lumen** qui est divisée verticalement par des cloisons calcaires appelées **éléments radiaires** (**=les septes**) qui se prolongent à l'extérieur de la thèque par les **côtes.** Le lumen est également divisé transversalement par des lames calcaires appelées **endothèques**.

La partie axiale du polype est occupée par une structure squelettique verticale : la **columelle**.



Représentation schématique des éléments squelettiques (Centre scientifique de Monaco)

Dans le cas de polypes coloniaux, les thèques sont reliées entre elles par le **cœnosteum** (=exothèque), synthétisé par le cœnosarque.

b) Le plateau basal

Lame calcaire compacte qui constitue le support du polypiérite. Elle est sécrétée par le disque basal. Le plateau basal représente le premier élément du squelette ; il est élaboré par le polype après fixation de la larve.

c) La thèque (=muraille)

Désigne l'enveloppe calcaire qui isole la cavité calicinale de l'extérieur.

C'est une structure secondaire qui prend place, le plus souvent, après édification des éléments radiaires.

C'est une structure compacte ou poreuse, continue ou discontinue, plus ou moins verticale ou au contraire horizontale chez les formes discoïdes (Ex *Fungia sp*).

d) Les éléments radiaires

Lames calcaires verticales, à disposition radiaire, qui divisent l'espace intérieur circonscrit par la muraille et délimitent ainsi des chambres périphériques. Les éléments radiaires sont soudés par leur partie inférieure au plateau basal.

Ils sont constitués de trabécules dirigés de façon centripète et centrifuge par rapport à une « ligne de divergence ». Ils présentent une grande diversité de formes et de dimensions. Leur nombre varie de douze à plusieurs centaines.

Les éléments radiaires présentent une **ornementation** qui est le reflet de leur structure histologique. Elle est utilisée pour l'établissement de leur systématique.

e) L'endothèque

C'est l'ensemble d'éléments transversaux en forme de lames ou lamelles, qui divisent en compartiments la cavité calicinale et sur lesquels repose le disque basal du polype au cours de sa croissance en hauteur. Certains Scléractiniaires en sont totalement dépourvus (Turbinolidae, Flabellidae). On en distingue deux types :

- le dissepimentarium : endothèque formée de lamelles interseptales, plus ou moins étendues dans la cavité calicinale et ne l'obstruant jamais complètement.

- le tabularium : endothèque constituée de lames horizontales d'épaisseur variable traversant totalement la cavité calicinale.

Ces deux types d'endothèque peuvent coexister dans le même polypiérite.

f) La columelle

Partie du squelette qui **occupe la région axiale des polypiérites**. Elle peut être absente ou réduite. On en distingue plusieurs types morphologiques :

- styliforme : elle et formée d'une seule tigelle verticale cylindrique
- lamellaire : elle est formée d'une petite lame située dans le plan directeur
- papilleuse : elle se compose de petites tigelles verticales
-spongieuse : elle est formée par l'entremêlement et l'anastomose de dents paliformes
- chicoracée : elle correspond à la soudure des éléments trabéculaires entre eux

C'est une structure susceptible de s'épaissir par adjonction de sclérenchymes fasciculaires ou fibreux.

4) <u>La musculature</u>

Il n'existe pas de véritable système musculaire chez les scléractiniaires.

Une partie de la couche musculaire se situe dans l'ectoderme au contact de la mésoglée. Elle est constituée par des myofibrilles représentant le prolongement basal des cellules ectodermiques et, en plus, par un assemblage de cellules musculaires au niveau de certaines régions (tentacule et disque oral). Ces cellules musculaires sont ancrées dans la mésoglée par des digitations de 1 à 3 μm de profondeur.

L'autre partie de la musculature se trouve au niveau de l'endoderme ; elle est en général plus importante que celle de l'ectoderme, de constitution identique, et comprend à la fois des fibrilles et des véritables cellules musculaires.

Organe du polype	**Musculature au niveau de l'ectoderme**	**Musculature au niveau de l'endoderme**
Colonne murale	longitudinale	Circulaire (sphincter)
Disque oral	radiaire	Circulaire (sphincter)
Stomodeum	longitudinale	Circulaire (sphincter)
Tentacules	longitidinale	Circulaire
Mésentéroïdes (faces entocoeliques)		Longitudinale (rétractile)
Mésentéroïdes (faces exocoeliques)		Oblique (protractile)

Répartition des différents types de musculature au sein des polypes de Scléractiniaires (Grasse *et al*, 1987)

5) Le plexus nerveux

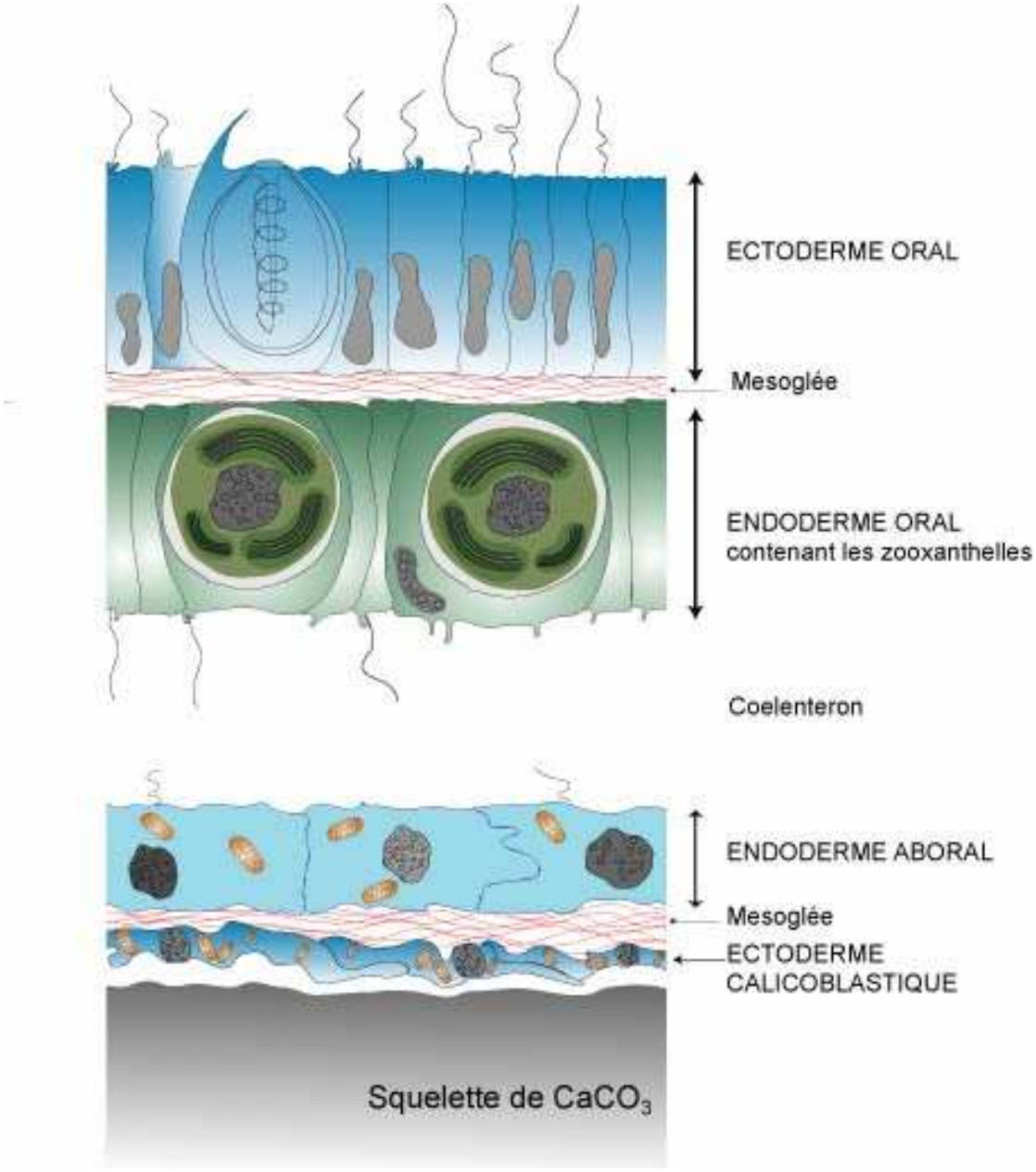
Il **est situé dans l'endoderme et au niveau de la partie proximale de l'ectoderme**. Il est constitué par des neurones bipolaires ou multipolaires dont les axones sont connectés entre eux par des synapses vésiculeuses. Ils forment en général un réseau sans direction privilégiée. Toutefois, dans certaines régions du polype, comme les tentacules, une grande partie des axones s'associent pour former des fibres nerveuses.

Le plexus nerveux est épais au niveau des tentacules et moins développé dans le coenosarque.

6) Le cœnosarque

Il est constitué par la superposition du tissu oral et du tissu aboral. Il permet à l'ensemble des polypes de se comporter comme une réelle colonie. Il assure ainsi la

communication des polypes entre eux et rend possible le transport de matière ingérée d'un site à l'autre de la colonie corallienne.



Schématisation du cœnosarque (Centre scientifique de Monaco)

7) Organisation et morphologie des colonies

L'organisation fait référence à la structure des colonies tandis que la morphologie dépend du mode de croissance.

On distingue différents types d'organisation (Sprung et Delbeeck, 1998) :

- CERIOIDE : les corallites ont des murs communs. Ils sont si serrés que les calices prennent souvent une forme polygonale, Ex *Favia sp.*

- DENDROIDE : les corallites sont tubulaires et alternent en zigzag sur des colonies branchues, Ex *Tubastraea micrantha*.

- FLABELLOMEANDROIDE : les corallites sont reliés en vallées mais ils n'ont pas de murailles communes, Ex *Euphyllia ancora*.

- HYDNOPHOROIDE : Les corallites sont groupés autour de protubérances coniques, Ex *Hydnophora sp*.

- MEANDROIDE : on a des groupes ou des séries de corallites qui sont reliés en vallées et qui ont des murailles communes, Ex *Leptoria phrygia*.

- PLOCOIDE : les polypes sont nettement distincts, non reliés par leur muraille mais par une épithèque, Ex *Barabattoia sp*.

- PHACELOIDE : les polypes sont encore plus éloignés les uns des autres et forment des colonnes, Ex *Caulastrea sp*.

- BOURGEONNEMENT INTRATENTACULAIRE : le polype naît du disque oral à l'intérieur de la couronne de tentacules, Ex *Goniastrea sp*.

- BOURGEONNEMENT EXTRATENTACULAIRE : le nouveau polype nait du coenosarque entre les anciens polypes à l'extérieur des tentacules, Ex *Montastrea sp*.

La morphologie des colonies coralliennes est assez variée (Sprung et Delbeeck, 1998) :

- BRANCHUE : la colonie présente des pousses digitées ou des branches buissonnantes, Ex *Acropora sp*.

- COLUMNAIRE : Il y a formation de colonnes ascendantes, Ex *Porites sp*.

- ENCROUTANTE : il y a présence de pousses en lames qui enveloppent le substrat et qui y adhèrent fermement, Ex *Porites sp*.

- FOLIACEE : la colonie forme des feuilles ou des spirales, Ex *Turbinaria reniformis*.

- LIBRE : les colonies ou les polypes solitaires sont simplement posés sur du sable ou sur un substrat dur, Ex *Fungia sp*.

- MASSIVE : colonies épaisses et globuleuses, Ex *Porites sp*.

Photo de *Porites sp*, un exemple de morphologie massive (Julien Vimal)

- TURBINEE : la colonie a une forme d'entonnoir, Ex *Turbinaria sp*.

Remarque : Ces formes ne s'excluent pas mutuellement, plusieurs peuvent être communes à une espèce (notamment selon les conditions de brassage).

Il faut noter aussi que quelques coraux passent d'une morphologie à une autre au cours de leur croissance.

Les coraux durs sont constitués de deux parties distinctes et liées entre elles : le polype et le squelette.

Le polype constitue l'unité de base du corail, il peut être unique ou multiple et sa taille varie de un millimètre à quelques dizaines de centimètres. Il est constitué par un disque basal et un disque oral, reliés entre eux par une paroi. Le disque oral correspond à la partie distale du polype, il est prolongé par six ou un multiple de six tentacules et s'ouvre à l'extérieur par une bouche. Le disque basal met en contact le polype et le squelette. L'intérieur du polype est divisé par des cloisons radiaires : les mésentéroïdes ; ils sont également au nombre de six ou d'un multiple de six, ils jouent un rôle primordial dans la digestion et dans les mouvements des polypes.

La musculature est représentée par un ensemble de myofibrilles et de véritables cellules musculaires. Elle est sous le contrôle d'un plexus nerveux situé dans l'ectoderme et l'endoderme.

Le squelette correspond à la partie inerte du corail et constitue sa base, il sert de point d'encrage au polype. Il est subdivisé en plusieurs petites coupes appelées corallites.

Les corallites présentent une structure complexe et variée. Chaque corallite est circonscrite par une muraille et présente en son centre une structure squelettique verticale : la columelle. La corallite est également divisée verticalement et transversalement par des lames calcaires, appelées respectivement septe et endothèque.

Partie 2 :
Biologie des coraux

I.METABOLISME

A) La circulation de l'eau

La circulation de l'eau au sein des colonies coralliennes joue un **rôle fondamental dans le métabolisme du corail** : elle facilite la nutrition, permet les échanges gazeux et favorise les échanges de matière avec le milieu extérieur.

1) Les coraux mous

La circulation de l'eau chez les Octocoralliaires est assurée **grâce aux cils**.

Ils provoquent des mouvements à l'origine d'un déplacement d'eau appelé **« courant ciliaire ».**

Il existe, au niveau de la bouche des autozoïdes et des siphonozoïdes, deux courants ciliaires plus ou moins puissants. On a d'un côté, un courant inhalant provenant du siphonoglyphe et d'un autre, un courant exhalant naissant dans les filaments mésentériques dorsaux. Leur action conjuguée **assure l'arrivée et l'expulsion d'une grande quantité d'eau** dans les polypes tout en permettant aux particules nutritives de pénétrer et de ressortir de l'orifice buccal.

2) Les coraux durs

La circulation de l'eau est assurée **grâce aux cils**.

Les courants ciliaires dépendent de l'état d'extension des polypes et du rapport des polypes entre eux. En dehors des repas, on distingue différents types de courants :

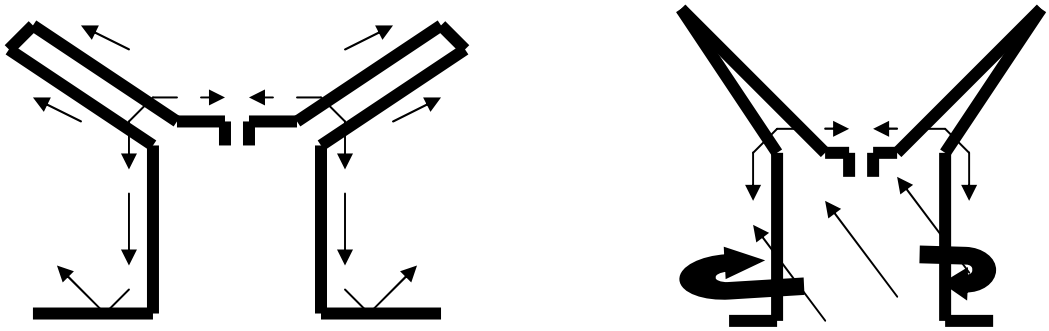
- un courant principal qui se dirige de la bouche vers la périphérie du disque oral,

- des courants plus faibles qui se dirigent vers l'orifice oral et qui entraînent éventuellement des particules alimentaires vers le stomodeum,

- des courants dirigés vers les tentacules lorsque ceux ci sont épanouis,

- des courants ascendants (*Acropora sp, Pocillopora sp*) ou descendants (*Porites sp, Caulastrea sp, Balanophyllia sp*) au niveau de la colonne murale,

- des courant circulaires à la base des polypes. Ils ne sont pas présents chez tous les genres.



A **B**

Représentation schématique des différents courants ciliaires chez *Porites sp.* (A) et chez *Madracis mirabilis* (B) (d'après Lewis et Price, 1976, modifié)

Ces courants permettent l'**oxygénation de la colonie ainsi que l'élimination des filaments muqueux** au dessus du cœnosarque puis vers l'extérieur de la colonie.

Pendant les **repas**, les mouvements ciliaires **s'inversent**, ce qui permet de transporter le mucus et les proies vers l'orifice oral.

La circulation de l'eau au sein d'une colonie corallienne joue un rôle important dans son métabolisme ; elle est assurée par des organites particuliers : les cils. Ils sont responsables d'un déplacement d'eau appelé courant ciliaire. Chez les coraux mous il y a présence de deux courants opposés, l'un provenant du siphonoglyphe et l'autre des filaments mésentériques dorsaux. Chez les coraux durs ils sont plus nombreux, variables selon les espèces et capables de s'inverser au moment des repas.

B) La nutrition

Le comportement alimentaire des coraux varie énormément.

Ceux qui sont dépourvus de zooxanthelles doivent trouver de la nourriture pour assurer leur métabolisme : ils sont **hétérotrophes**.

Ceux qui possèdent des zooxanthelles bénéficient de la photosynthèse de ces dernières : ils sont **autotrophes**.

Le plus souvent les coraux sont **hétérotrophes ou mixotrophes**, c'est à dire capable de profiter de la symbiose avec les algues tout en chassant des proies.

1) Chez les coraux mous

a) Les sources de nourriture

La nutrition est assurée pour la presque totalité des espèces par de petits organismes planctoniques.

Le terme de **plancton** est assez vague et regroupe de nombreuses espèces animales et végétales. La plus grande partie du **zooplancton** (= plancton animal) est représentée par de petits crustacés et leurs larves ainsi que par les larves de mollusques, d'annélides et de poissons. Concernant le **phytoplancton**, on trouve de nombreuses espèces d'algues comme les Diatomées et les Dinoflagellés.

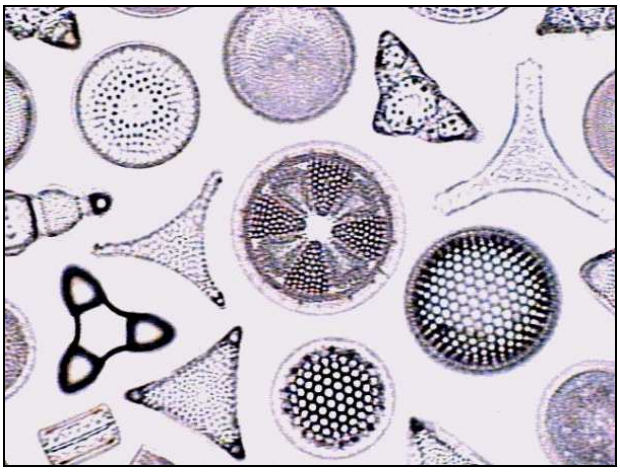


Photo de cellules de phytoplancton (http://www.indiana.edu)

Chez les coraux mous, la majeure partie du plancton absorbé est constituée par le **phytoplancton**. Concernant le zooplancton, les coraux mous ont une prédilection pour le **plancton peu actif** et présentent une **incapacité à piéger des proies plus mobiles** ; cela est très probablement dû à un **manque d'efficacité des cnidoblastes** (Sprung et Delbeeck, 1999).

D'autres sources de nourriture peuvent être exploitées par certains Octocoralliaires, par exemple **l'absorption directe** de nutriments et de minéraux contenus dans l'eau et **l'ingestion de flocons de mucus** (porteurs de bactéries et de matières organiques).

b) Modes de capture

La capture est assurée par le courant inhalant du siphonoglyphe et par l'extrémité des tentacules qui entraînent et immobilisent les proies par décharge des cnidoblastes.

Le plancton pénètre par les orifices buccaux des autozoïdes de toutes les colonies, qu'elles soient monomorphes ou dimorphes.

La proie est rapidement triée par le polype : elle est rejetée ou rapidement acceptée traversant alors le pharynx en quelques minutes.

Les aliments subissent à ce niveau une première digestion extra-cellulaire grâce à la sécrétion glandulaire de **protéases** par des cellules spéciales : les **cellules caliciformes**.

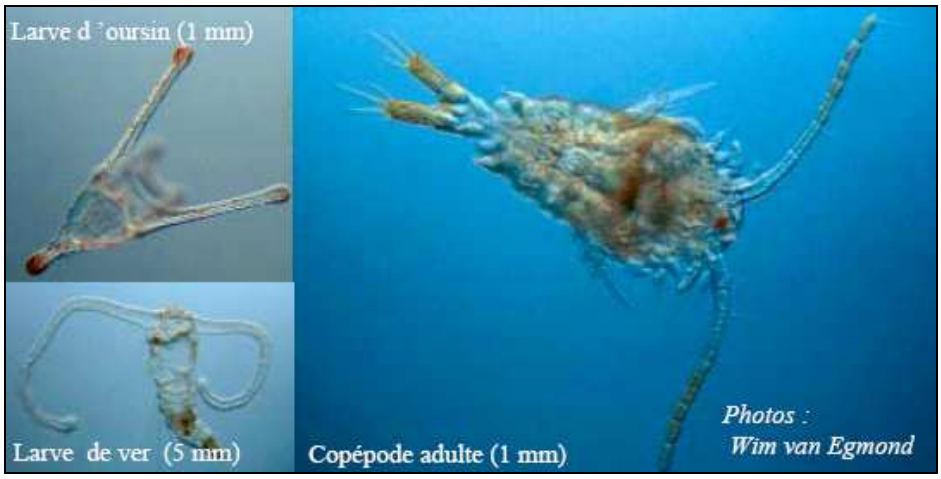
La digestion se poursuit au niveau des **filaments mésentériques** ventraux et latéraux qui possèdent eux aussi un grand nombre de ces cellules.

Il existe une **relation entre l'apparition et la croissance du nombre des zooxanthelles, d'une part, et la régression progressive des filaments mésentériques ventraux et latéraux, d'autre part** (Pratt, 1905 ; d'après Grasse *et al*, 1987). Par exemple chez *Lobophytum sp*, les filaments mésentériques contiennent un grand nombre de cellules glandulaires et seulement quelques zooxanthelles ; chez *Sarcophyton sp* les filaments mésentériques sont plus petits, les cellules glandulaires moins nombreuses et les zooxanthelles plus abondantes ; chez *Silunaria sp* les filaments mésentériques sont très petits voir absents, les cellules glandulaires très rares et les zooxanthelles très nombreuses.

2) Chez les coraux durs

a) Les sources de nourriture

- LE ZOOPLANCTON : il est surtout abondant la nuit et représente la **source principale d'aliments**.



Photos de différents représentants du zooplancton (W.V. Egmond)

- LE PHYTOPLANCTON : il n'est **pas consommé dans leur milieu naturel** par les Scléractiniaires (contrairement aux Alcyonaires). Toutefois des colonies de *Montipora sp* et de *Pocillopora sp* mises à l'obscurité pendant 6 heures et nourries exclusivement d'algues planctoniques (dinoflagellés) marquées au C^{14}, sont capables de les consommer et de les digérer avec un taux d'assimilation variant de 0,5% à 4% (Sorokin, 1973 ; d'après Grasse *et al*, 1987).

- LES MATIERES ORGANIQUES EN SUSPENSION : ce sont des fragments d'animaux, des excréments, des produits sexuels, des agrégats de protéines et de colloïdes, du mucus sécrété par des animaux benthiques. Une grande partie de cette matière est susceptible d'être absorbée au moyen de cordons ou de filets muqueux.

- LES MATIERES ORGANIQUES DISSOUTES : on trouve des glucides comme le glucose, des alcools comme le glycérol et des acides aminés. A l'aide de marqueurs chimiques, on a pu montrer que ces produits sont métabolisés par le polype ; les

cellules ectodermiques, grâce à leurs villosités sont le siège de cette absorption (Goreau et al, 1971 ; d'après Grasse *et al*, 1987).

- LES MATIERES MINERALES DISSOUTES : Il s'agit du calcium, du phosphore, de l'azote et de l'arsenic (qui sera réduit en arsenite et rejeté dans le milieu extérieur).

- LES BACTERIES : **3% à 20% des bactéries peuvent être ingérées, leur taux d'assimilation peut atteindre 80 %.**

b) Capture des proies

Les Scléractiniaires utilisent différents modes de capture :

- **capture par les tentacules** : les proies sont saisies par les tentacules, paralysées par les nématocystes et portées jusqu'à la bouche pendant que le disque oral se soulève. Le mucus sécrété par la bouche n'est utilisé que pour enrober les proies. Les mouvements ciliaires ne jouent qu'un rôle de nettoyage en éliminant les déchets.

- **capture grâce au mucus et aux mouvements ciliaires** : on trouve cette technique chez les espèces possédant de courts tentacules. Les proies, paralysées par les nématocystes du cœnosarque et du disque oral, sont enrobées par des filaments de mucus excrétés par la bouche. Le mucus et les proies sont alors transportés jusqu'à l'orifice oral grâce aux mouvements ciliaires qui s'inversent. Les Scléractiniaires qui utilisent ce procédé sont peu nombreux et ne se nourrissent que de petites proies.

- **capture à la fois par le mucus, les mouvements ciliaires et les tentacules** : c'est le cas le plus fréquent.

- **capture par les entéroïdes** : la sortie des entéroïdes est localisée le plus souvent dans les régions du polype où une particule alimentaire entre en contact avec l'épiderme ; elle peut être accompagnée d'une évagination partielle du stomodéum. Les entéroïdes capturent et paralysent les proies grâce à leur mobilité et surtout grâce à la présence de nombreux nématocystes. Ce mode de capture existe parfois seul, mais il est le plus souvent associé aux précédents.

c) Déterminisme de la capture des proies

Les réactions de nutrition (extension du polype, mobilité des tentacules, production de mucus, mouvements ciliaires modifiés, sortie des entéroïdes) sont déclenchées par des **stimuli chimiques**. Expérimentalement et par chromatographie, on a pu isoler les facteurs chimiques capables de déclencher les réflexes de nutrition ; ce sont **essentiellement des acides aminés** et quelques autres substances d'origine animale : proline (la plus active), arginine, phénylalanine, glycine, acide aspartique, leucine, acide glutamique, glutathion, acide pipécolique, glucides. Ces **activateurs chimiques** agissent à faible dose et avec une certaine spécificité. Les impulsions sont transmises depuis les cellules réceptrices ectodermiques jusqu'au centre musculaire du polype et des polypes voisins (Muscatine, 1973 ; Lehman et Porter, 1973 ; d'après Grasse *et al*, 1987).

Différents facteurs physiques peuvent influencer cette chimioréception : la température et la lumière.

Une fois introduite dans la bouche, la nourriture descend dans le stomodéum et arrive dans la cavité gastrovasculaire où a lieu la digestion.

d) La digestion

Les Scléractiniaires ne peuvent digérer que les matières organiques d'**origine animale**. On distingue trois types de digestion :

Une digestion extracellulaire : elle a lieu dans la cavité gastrovasculaire grâce à la sécrétion d'une **protéase** par la partie glandulaire des entéroïdes ; cette enzyme fragmente les grosses particules et transforme les protéines insolubles en peptides. Il a été mis en évidence d'autres enzymes : une **dipeptidase**, une **lipase** et un **polysaccharidase**. Cette digestion dure **deux à trois heures** selon les espèces de Scléractiniaires.

Une digestion intracellulaire : la digestion des proies par les enzymes de la cavité gastrique est suivie d'une **phagocytose** pour les proies microscopiques et d'une **pinocytose** pour les substances en solution. Elle se produit dans la partie interne des mésentéroïdes. Cette digestion intracellulaire débute par une **phase acide** suivie deux jours

après l'ingestion d'un repas d'une **phase alcaline**. Diverses enzymes ont été mises en évidence : une puissante **protéase** qui transforme les protéines et les polypeptides en acides aminés, une **lipase**, une **estérase**, une **glycogénase**, une **amylase** et des **phosphodiesterases**. Cette digestion dure de quelques heures à plusieurs jours.

Une digestion extracoelentérique : elle existe lorsque les entéroïdes sortent et assurent la capture des proies. Elle a lieu au contact du **mucus imprégné d'enzymes** et sécrété par les cellules glandulaires des filaments. Ce procédé n'est présent que chez certaines espèces.

La digestion est suivie par une phase d'absorption et d'excrétion.

e) Absorption et excrétion

L'absorption a lieu au niveau des cellules de la partie digestive des mésentéroïdes. Les substances assimilées **diffusent de cellule à cellule** (Yonge, 1931 ; d'après Grasse *et al*, 1987).

L'excrétion a également lieu au niveau de la partie digestive des mésentéroïdes. Les principales substances excrétées sont : des déchets inattaqués par la digestion, des composés phosphatés et ammoniacaux.

L'élimination des déchets vers le milieu extérieur s'effectue par la bouche grâce à son ouverture, aux courants marins et aux mouvements ciliaires.

Le comportement alimentaire des coraux est hétérogène. Certains sont dépourvus de zooxanthelles et doivent chasser pour se nourrir, ils sont dits hétérotrophes. D'autres sont capables d'utiliser uniquement l'activité photosynthétique de leurs algues, ils sont dits autotrophes.
Chez les coraux mous, la capture des proies est assurée par le courant inhalant du siphonoglyphe et complétée dans une moindre mesure par la décharge de cnidoblastes.
Les coraux durs utilisent diverses techniques de capture qui font appel aux tentacules, aux mouvements ciliaires, à la production de mucus et aux entéroïdes.
La capture des proies est rapidement suivie par une phase de digestion qui peut être extracellulaire, intracellulaire ou extracoelentérique. Après absorption des nutriments, l'élimination des déchets vers le milieu extérieur se fait par la bouche.

C) La calcification

Ce processus, **spécifique aux Scléractiniaires,** permet d'élaborer un squelette calcaire.

1) Composition du squelette

Le squelette des Scléractiniaires renferme de l'eau ainsi que des substances organiques et minérales :

- le **carbonate de calcium,** qui représente **entre 90% et 99%** du poids sec du squelette, est présent sous forme de **cristaux orthorhombiques d'aragonite**. Le calcium y est donc environ 800 fois plus concentré que dans l'eau de mer.

- le **strontium** représente **entre 0,6 % et 1,1%** du poids sec du squelette. Il existe au même titre que le calcium (avec lequel il peut y avoir échange) et servirait de noyau dans la cristallisation de l'aragonite. Sa concentration est 800 à 1200 fois plus importante que dans l'eau de mer. **Son rôle physiologique est assez mal connu et sujet à des avis divergents**.

- le **sodium** représente entre **0,4% et 0,9%** du squelette. Sa concentration est plus faible que dans l'eau de mer.

- le **magnésium** représente **0,008% à 0,05%** du squelette. Sa concentration est légèrement inférieure ou égale à celle de l'eau de mer. Cette concentration varie avec les saisons (elle augmente avec la température).

- de nombreux **métaux** sous forme de **traces** : baryum, cuivre, cobalt,…

- des **matières organiques** qui représentent **0,01% à 0,15%** du squelette. Elles sont présentes sous la forme d'une **matrice, sécrétée par la couche calicoblastique,** qui fixe les ions $CO3^{2-}$ et Ca^{2+}. On trouve essentiellement des **protéines**, des **glycoprotéines**, des **mucopolysaccharides** et des **phospholipides** (Anonyme, 2004).

- de l'**eau** : **8% à 12%** du squelette.

2) Mécanismes de la calcification

a) Le siège de la calcification

Il existe un espace sous-épidermique **entre la couche calicoblastique et le squelette ;** il est appelé **ECF** (**E**xtracytoplasmic **C**alcifying **F**luid) ; il est rempli d'une substance colloïde (la matrice organique). C'est à ce niveau que les ions HCO_3^- et Ca^{2+} s'associent et cristallisent sous forme d'**aiguilles aragonitiques** (cristaux particuliers de carbonates de calcium) (Anonyme, 2004).

b) Eléments nécessaires à la calcification

Les deux éléments majeurs nécessaires à la calcification sont le **calcium** et les **ions carbonates**. Ils doivent être transportés ou formés au niveau de l'ECF.

- Le calcium présent dans l'eau de mer se retrouve au niveau de la cavité gastrique de l'animal (cœlenteron), il traverse ensuite la couche calicoblastique, puis est transféré au niveau de l'ECF (Anonyme, 2004). Pour passer du cœlenteron vers l'épithélium calicoblastique, le calcium transite à travers des **canaux voltages dépendants**. Concernant le transport du calcium entre la couche calicoblastique et l'ECF, deux théories ont été proposées :

- Il existerait une pompe $Ca^{2+}/ 2H^+$, elle ferait rentrer un ion calcium au niveau de l'ECF pendant que deux ions hydrogènes regagneraient l'épithélium calicoblastique. Allant à l'encontre du gradient de concentration, le transporteur mis en jeu consommerait une molécule d'ATP pour deux molécules de calcium acheminées (McConnaughey et Whelan, 1997)

- le calcium serait transporté vers l'ECF grâce à une Ca^{2+} ATPase (Tambutte *et al*, 1996).

- Le transport et la source des ions bicarbonates sont moins bien connus (Anonyme, 2004).

Les sources de carbone inorganique auraient deux origines, une partie proviendrait de la respiration de l'hôte (via la production de CO_2) et l'autre aurait pour origine l'eau de mer (Allemand *et al*, 2004).

Deux hypothèses majeures ont été retenues pour le transport des bicarbonates :

- les bicarbonates arrivent au niveau du cœlenteron (ils proviennent de l'eau de mer ou des produits métaboliques des cellules) ; ils se combinent à des protons pour former du CO_2, puis le CO_2 diffuse librement à travers l'épithélium calicoblastique jusqu'à l'ECF où il est converti en carbonates.

- les bicarbonates arrivent au niveau du cœlenteron, où ils sont pompés de façon active le long des membranes de l'épithélium calicoblastique, puis arrivent au niveau de l'ECF. A ce niveau, les bicarbonates sont convertis en carbonates.

c) Processus chimique de la calcification

Le calcium est adsorbé en même temps que les ions bicarbonates sur la substance colloïde. Les réactions chimiques suivantes ont lieu :

$$Ca^{2+} + 2HCO3^{-} \longleftrightarrow (CO_3H)_2Ca \quad (1)$$

$$(CO_3H)_2Ca \longleftrightarrow CO_3Ca + CO_3H_2 \quad (2)$$

L'acide carbonique CO_3H_2 est éliminé suivant la réaction réversible :

$$CO_3H_2 \longleftrightarrow CO_2 + H_2O \quad (3)$$

d) Rôle des zooxanthelles dans la calcification

De nombreuses expériences et observations ont mis en évidence l'importance des zooxanthelles dans la calcification des coraux hermatypiques. Plusieurs hypothèses, qui ne s'excluent pas, ont été envisagées :

-1) Par leur pouvoir de photosynthèse, elles absorbent le gaz carbonique contenu dans le polype et par conséquent déplace l'équilibre des réactions (3) et (2) vers la droite. Ceci favorise donc la dissociation de l'acide carbonique et ainsi, le dépôt de carbonate de calcium. Toutefois cette hypothèse est controversée, car il se pourrait que les zooxanthelles consomment le gaz carbonique de l'eau de mer.

-2) Les zooxanthelles favoriseraient la croissance en sécrétant une hormone ou une vitamine, ou bien des substances qui augmenteraient le métabolisme des calicoblastes, ou encore en élaborant des produits qui entreraient dans la constitution de la matrice organique du squelette. (Goreau, 1959 ; d'après Grasse *et al*, 1987)

-3) Les zooxanthelles absorbent les phosphates, excrétés en grande quantité par le polype, ce qui inhibe la formation des cristaux d'aragonite nécessaires à la formation de la matrice du squelette. De plus, ces algues élimineraient les ions ammoniums qui gêneraient la fixation du calcium.

-4) Certains travaux récents sembleraient montrer que les zooxanthelles ne sont pas responsables d'une calcification plus rapide chez les coraux hermatypiques (avec zooxanthelles) que chez les coraux ahermatypiques (dépourvus de zooxanthelles) (Marshall, 1996).

e) Rôle de la matrice organique

Elle représente moins de **0,01% du poids du squelette**.

La matrice organique peut être divisée en deux parties : une **partie soluble** qui contient des **acides aminés, des monosaccharides** et une **phase minérale**.

La composition de la matrice organique **varie** en fonction des **groupes taxonomiques** et dépend du **métabolisme du corail** (autotrophe ou hétérotrophe) (Cuif *et al*, 1996). Sa composition varie également en fonction de la **profondeur au sein de la colonie** (Gautret, 2000).

Les protéines isolées dans la partie soluble de la matrice contiennent un grand nombre d'acides aminés. **L'acide aspartique est majoritaire,** il peut représenter jusqu'à **60 %** des acides aminés et cela aussi bien chez les coraux hétérotrophes que chez les coraux autotrophes. L'acide glutamique arrive en deuxième position chez les coraux autotrophes, alors qu'il est très peu représenté chez les coraux non photosynthétiques (Cuif *et al*, 1999).

Ces acides aminés seraient capables de **fixer le calcium** et favoriseraient ainsi la calcification.

Des études réalisées sur *Stylophora pistillata* ont montré que l'utilisation d'inhibiteurs de la synthèse de la protéine réduisait le taux de calcification ; par exemple réduire la synthèse de la protéine de 60% entraîne une baisse de 50% du taux de calcification (Allemand *et al*, 1998).

La matrice organique joue un **rôle majeur** dans la biominéralisation ; elle est responsable de la **nucléation** des cristaux et de la régulation de la **morphologie des cristaux** (Allemand *et al*, 2004). Elle est également capable d'inhiber la formation du carbonate de calcium intrasquelettique (Gautret, 2000).
La formation des cristaux est modelée par les caractéristiques biochimiques de la matrice (Gautret, 2000).

f) Rôle de l'azote dans la calcification

Il semblerait que les produits d'excrétion comme l'urée et les uréides (acide allantoïque, acide allantoïnique, citrulline, arginine, ornithine) pourraient constituer un réservoir de carbone pour le squelette (Crossland et Barnes, 1974 ; d'après Grasse *et al*, 1987). Concernant l'utilisation de l'urée, les réactions suivantes se produiraient :

$NH_2\text{-}CO\text{-}NH_2 \longleftrightarrow 2NH_3 + CO_2$ (1)

(Urée)

$CO_2 + H_2O \longleftrightarrow CO_3H^- + H^+$ (2)

$Ca^{2+} + CO_3H^- \longleftrightarrow CO_3Ca + H^+$ (3)

Les ions hydrogènes et l'ammoniaque sont éliminés sous forme d'ammonium selon la réaction suivante :

$2H^+ + 2NH_3 \longleftrightarrow 2NH_4^+$ (4)

Il existerait une autre voie pour la fabrication du carbonate de calcium : dans certaines conditions, l'urée se combine à l'acide glycoxyllique pour fabriquer de l'acide allantoïque qui, associé aux ions calcium, se transforme en allantoate et allantoinate de calcium. Ces deux composés réagissent avec le gaz carbonique pour donner de l'acide hydroxyacétylène diuréide carboxylique (HADC-Ca) qui par hydrolyse fournit le carbonate de calcium.

Cette théorie expliquerait pourquoi certains composés chimiques agissent sur la calcification. Ainsi l'ATP, l'ornithine, le glycoxylate, accélèrent beaucoup la calcification ; la citrulline au contraire la retarde, car elle arrête l'élimination des ions.

3) Facteurs de variation de la calcification

La croissance du squelette dépend de facteurs génétiques (facteurs intrinsèques) et de facteurs écologiques (facteurs extrinsèques).

- Les facteurs intrinsèques :

- Morphologie du squelette : les espèces au squelette poreux ont un taux de croissance plus élevé que celles au squelette compact, qu'elles soient massives ou

rameuses. De plus, parmi les espèces rameuses, les formes aux branches grêles croissent plus rapidement que celles aux rameaux épais.

- **Age et dimensions de la colonie** : chez les formes coloniales, la **croissance diminue avec l'âge**. Cela provient non seulement d'un affaiblissement du métabolisme du polype mais aussi, de la diminution relative de la surface de la colonie par rapport au volume.

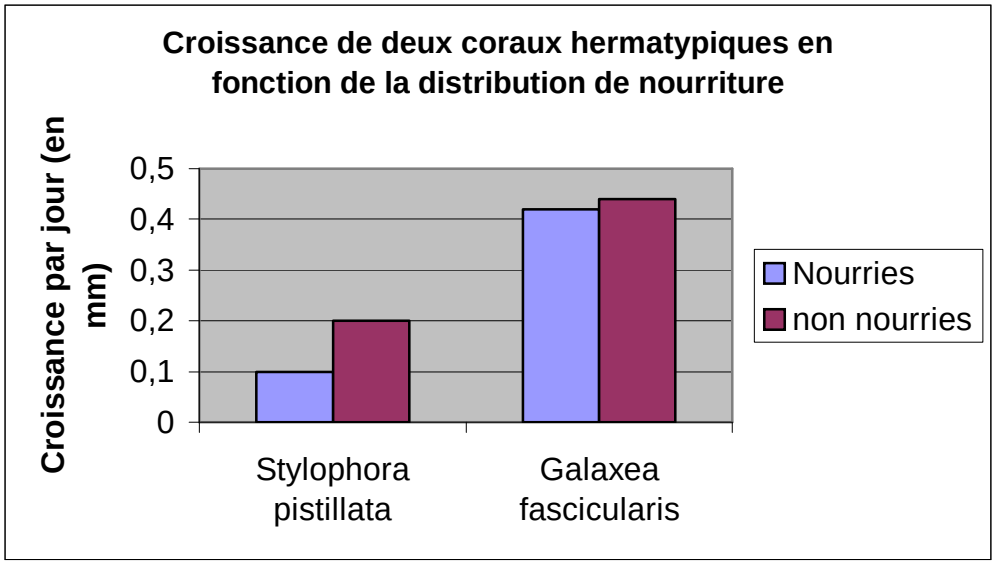
- Les facteurs extrinsèques :

- **La température** : la croissance moyenne annuelle est fonction de la température moyenne de la mer durant l'année et augmente avec celle-ci (Ma, 1935 ; d'après Grasse *et al*, 1987). Elle n'est pas toujours une fonction linéaire de la température, même lorsque celle ci est comprise entre certaines limites compatibles avec un développement normal du corail. (Jacques et al, 1975 ; d'après Grasse *et al*, 1987).
Les coraux tropicaux présentent une calcification optimale lorsque la température est comprise **entre 25°C et 28°C** (Howe et Marshall, 2002).

- **La lumière** : elle exerce une action favorable sur le prélèvement du calcium de l'eau de mer chez les espèces hermatypiques ; par contre, chez les espèces ahermatypiques, le dépôt de calcaire n'est pas influencé par ce facteur.
Il semble que la lumière agisse de façon indirecte sur la calcification par l'intermédiaire de l'action photosynthétique des zooxanthelles. Le rythme journalier de calcification est en corrélation étroite avec celui de la capacité photosynthétique des zooxanthelles. L'action de ces algues sur la croissance a été prouvée expérimentalement, par l'utilisation d'inhibiteurs de la photosynthèse qui réduisent dans de grandes proportions le taux de calcification (Chalker, 1977 ; d'après Grasse *et al*, 1987).

- **La profondeur** : elle exerce un effet sur les Scléractiniaires hermatypiques ; cet effet semble être dû uniquement à l'atténuation de la lumière et au rôle photosynthétique des zooxanthelles. En effet, plus on s'enfonce dans l'eau de mer et plus l'intensité lumineuse diminue.
A notre connaissance aucune expérience concernant l'effet de la pression sous l'eau n'a été réalisée.

- **La présence de nourriture** : Une étude menée conjointement sur deux Anthozoaires possédant des zooxanthelles, *Stylophora pistillata* et *Galaxea fascicularis*, illustre le rôle variable de la nourriture sur la croissance des coraux hermatypiques (Leclercq, 1993).



Influence de la nourriture sur la croissance de deux coraux hermatypiques (Nicolas Leclerc)

Stylophora pistillata présente une croissance plus rapide lorsqu'il n'est pas nourri. Il est à tendance **autotrophe**.

Galaxea fascicularis n'est pas perturbé par une distribution d'artémias congelés et son taux de croissance reste pratiquement identique à celui qu'il présente lorsqu'il n'est pas nourri. Il est à tendance **hétérotrophe** et s'accommode de la présence ou de l'absence de proies.

Chez les coraux dépourvus de zooxanthelles (ahermatypique) la calcification augmente avec l'apport en nourriture.

- **Les sédiments** : Leur présence en suspension dans l'eau de mer exerce une influence sur le taux de croissance. **La calcification diminue avec l'augmentation du taux de sédiments**. Ils agissent de deux façons : ils exercent une **action mécanique** sur le polype (ils ne favorisent pas son déploiement optimal) et **baissent la quantité de lumière** qui arrive jusqu'aux colonies (ils jouent un rôle d'écran en captant une partie de la lumière nécessaire au bon fonctionnement des zooxanthelles).

- **Les mouvements de la mer** : d'une manière générale, la houle, les turbulences et les flux laminaires exercent une action bénéfique sur la calcification des Scléractiniaires par **effet mécanique** et par **enrichissement de l'eau en oxygène**.

- **La composition de l'eau de mer** : elle **influence sensiblement le taux de calcification.**

La calcification augmente avec la concentration en ions calcium jusqu'à un certain seuil (Chalker, 1976 ; d'après Grasse *et al*, 1987) et avec la concentration en strontium. L'incorporation du calcium est un processus saturable qui dépend du nombre de transporteurs actifs (Tambutté *et al*, 1995). Le strontium agit comme un inhibiteur compétitif au niveau de ces mêmes canaux ; la fraction de strontium incorporée dans le squelette baisse à mesure que la teneur en calcium dans l'eau de mer augmente (Ferrier-Pagès *et al*, 2002).

Les phosphates, les orthophosphates inorganiques et les pyrophosphates organiques sont des inhibiteurs de la précipitation du carbonate de calcium même à faible dose.

Une augmentation de la salinité baisse la calcification : une forte teneur en sels rendrait le squelette plus compact (Grasse *et al*, 1987).

- **Les organismes vivants** : ils freinent ou arrêtent la croissance des Scléractiniaires en rétrécissant l'espace disponible, en interceptant la lumière, en parasitant ou en détruisant le corail.

La calcification est un phénomène propre aux coraux durs (Scléractiniaires), elle leur permet d'élaborer un squelette calcaire constitué à 90 % par du carbonate de calcium. Les éléments principaux nécessaires à la calcification sont les ions calcium et carbonates. Ils doivent être transportés de façon active depuis le milieu extérieur jusqu'à un espace situé entre la couche calicoblastique et le squelette : il s'agit de l'ECF (Extracytoplasmic Calcifying Fluid). La calcification a lieu au niveau de la substance colloïde de l'ECF ; il se produit les réactions suivantes :

$$Ca^{2+} + 2HCO3^{-} \longleftrightarrow (CO_3H)_2Ca \longleftrightarrow CO_3Ca + CO_3H_2$$

Ces réactions aboutissent à la formation du carbonate de calcium et à l'élimination de l'acide carbonique sous forme d'eau et de dioxyde de carbone.
Chez les coraux hermatypiques, les zooxanthelles favoriseraient la calcification.
Le taux de calcification est variable ; il dépend de facteurs génétiques et écologiques.

D) Importance des zooxanthelles dans le métabolisme du corail

1) Classification et morphologie des zooxanthelles

a) Classification

Il s'agit **d'algues unicellulaires** qui peuvent avoir une vie libre dans le milieu extérieur.

Ce sont des **Dinoflagellés Péridiniens**.

Chez les Scléractiniaires, il a été longtemps admis qu'elles appartenaient toutes à l'espèce ***Symbiodinium microadriaticum*.**

Grâce à l'électrophorèse, Trench et Blank (1987) montrèrent en fait qu'il existait de nombreuses autres espèces (Sprung et Delbeeck, 1996). Aujourd'hui, on a pu isoler plus de **8O espèces différentes**, on peut citer par exemple *Symbiodinium Kawaguti* chez *Montipora verrucosa*.

De nombreuses espèces d'algues n'ont pas encore été identifiées.

b) Morphologie

Ce sont des **corps ellipsoïdaux ou sphériques de 7 à 14 µm de diamètre** et de **couleur brune**.

Elles sont circonscrites par une **double membrane de 70 Å d'épaisseur chacune**.

Elles possèdent un cytoplasme renfermant des vacuoles qui contiennent des réserves (surtout des lipides), des granules pigmentaires et des cristaux d'oxalate de calcium.

Image microscopique d'une préparation de zooxanthelles (R. Scott)

Elles sont constituées par :

- **un grand corps d'assimilation** : il peut occuper la moitié de la cellule ; c'est une vacuole propre aux dinoflagellés symbiotiques et dont la fonction est peu connue.

- **de nombreux chloroplastes** : ils sont situés à la périphérie.

- **un pyrénoïde pédicellé** : il est relié à la face interne du chloroplaste par un court pédoncule et contient la ribulose 1,5-diphosphate-carboxylase-oxygénase, enzyme responsable de la photosynthèse.

- **un noyau** : il est assez grand et composé de nombreux corps sphériques.

2) Localisation et densité

Elles sont localisées au niveau de l'**endoderme** en **position intracellulaire** à raison d'**une cellule végétale par cellule animale** en général, cependant, on a isolé chez certains coraux plusieurs zooxanthelles dans une seule cellule.

Elles sont contenues dans une vésicule délimitée par une membrane de la cellule animale : la **vésicule périsymbiotique**.

Elles sont plus **abondantes au niveau des parties superficielles** de l'animal : disque oral, cœnosarque et tentacules.

Localisation des zooxanthelles dans les tissus d'un corail (http://www.recifduvendredi.org)

Selon les auteurs il y aurait entre **1.000.000 et 5.000.000 algues par cm^2**.

La densité des zooxanthelles et leur répartition dans les tissus sont variables Elles dépendent :

- de la géométrie du polype : chez les colonies branchues elles sont moins abondantes vers l'extrémité des rameaux et chez les colonies lamellaires, ce sont les parties supérieures qui renferment le plus de zooxanthelles.

- du comportement des polypes : ceux en expansion le jour renferment d'avantage de zooxanthelles, notamment au niveau des tentacules.

- du milieu : la lumière semble être le facteur le plus important. Plus la colonie est éclairée et plus la densité en zooxanthelles diminue ; il existe une **relation inverse entre la densité en algues et l'intensité des radiations et la proportion en UV** (Stimson, 1997) (voir blanchiment dans la partie pathologie).
La densité en zooxanthelles augmente avec la concentration en ions $NH4^+$ dans l'eau de mer (Stimson, 1997).

- de la physiologie du polype : le nombre de symbiotes dépend des besoins nutritifs et du métabolisme du polype ; par exemple chez *Galaxea musicalis* on trouve de nombreuses zooxanthelles probablement pour pallier un stomodeum imparfaitement fonctionnel (Grasse *et al*, 1987).

3) Pigments

Différents pigments photosynthétiques ont pu être mis en évidence par chromatographie :

- Chlorophylle a
- Chlorophylle b (rare)
- Chlorophylle c
- Caroténoïdes : les xanthophylles (péridinine, diadinoxanthine, dinoxanthine) et les carotènes
- Phycobilines

Les caroténoïdes et les phycobilines sont qualifiés de **pigments accessoires,** car l'énergie lumineuse qu'ils absorbent n'est pas directement utilisée, mais transférée aux molécules de chlorophylles avec lesquelles ils sont associés. Ils jouent un rôle fondamental en permettant **d'élargir le spectre des longueurs d'onde utilisables** (Lesage *et al*, 2005).

La répartition et la concentration des différents pigments sont très variables et dépendent :

- **des espèces et de la forme des colonies** : la chlorophylle a est plus abondante chez les espèces aux formes lamellaires
- **des caractéristiques de la lumière**.

La présence de plusieurs pigments différents permet aux zooxanthelles de s'adapter aux différentes conditions d'éclairement, aussi bien en terme de quantité que de qualité. Cela permet **d'optimiser la captation d'énergie lumineuse** quelle que soit la profondeur des colonies et les variations d'ensoleillement.

Tous ces pigments présentent un **pic d'absorption maximale** situé **entre 408 et 705 nm**, c'est à dire dans **la bande bleue** du spectre visible (Sprung et Delbeeck, 1996).

Grâce aux pigments qu'elles renferment, les zooxanthelles pratiquent la photosynthèse.

4) La photosynthèse chez les zooxanthelles

Les zooxanthelles utilisent l'énergie lumineuse pour réaliser la photosynthèse. Elle se déroule en deux phases : la première est appelée **phase claire** et correspond à la transformation de l'énergie solaire en énergie chimique, la seconde est nommée **phase obscure** (car ne nécessitant pas de lumière) et permet de transformer le CO_2 en glucide grâce à l'énergie produite lors de la première phase. On peut simplifier et résumer la photosynthèse par l'équation chimique suivante :

$$6\ CO_2 + 12\ H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 + 6\ H_2O$$

Le taux de photosynthèse dépend de l'intensité lumineuse, il croit avec cette dernière jusqu'à une valeur maximum au delà de laquelle il n'augmente pas et peut même diminuer (photoinhibition) (Schmitz et Kremer, 1977 ; d'après Grasse *et al*, 1987).

Les zooxanthelles consomment du gaz carbonique et synthétisent au contact du tissu corallien différents produits qui sont pour l'essentiel : du glycérol, du glucose, des acides aminés (essentiellement de l'alanine), et quelques autres acides organiques.

5) La symbiose

La symbiose est une association qui dure pendant au moins une partie du cycle biologique, entre deux ou plusieurs organismes spécifiquement distincts. Cette association conduit à la formation d'une nouvelle entité biologique : le **symbiocosme**.
On appel le plus grand des partenaires, l'**hôte**, et le plus petit, le **symbiot**e.

Sur le plan physiologique, elle permet généralement une meilleure **adaptation au milieu** ; sur le plan génétique, elle peut être un moyen sophistiqué **d'acquérir de nouveaux gènes** par transfert latéral.

Concernant la symbiose corail/zooxanthelle, on parle d'**endosymbiose** car l'algue vit incluse dans une vésicule en **position intracellulaire**.

Lors de la reproduction asexuée, les zooxanthelles sont transmises via les tissus de la colonie mère.

Lors de la reproduction sexuée, les zooxanthelles sont ingérées en pleine eau par les stades larvaires.

Il est intéressant de déterminer le rôle respectif du symbiote et de l'animal hôte dans cette association.

a) Contribution des zooxanthelles aux besoins du corail

Par leur activité photosynthétique les zooxanthelles **libèrent de l'oxygène** qui est utilisé par le tissu animal, ils jouent donc un rôle important dans le métabolisme du corail.

Le corail utilise certaines molécules produites par les zooxanthelles pour réaliser son métabolisme.

Les **molécules organiques** fabriquées par les zooxanthelles passent à travers la membrane de l'algue, qui leur est perméable, pour rejoindre le cytoplasme des cellules du polype. Il a été montré que **la perméabilité de la membrane des zooxanthelles est accrue en présence des tissus du polype** ; en effet, les enzymes digestives, sécrétées par le corail au moment de la digestion, rendent les parois des algues cellulaires perméables aux produits digérés.

Des études réalisées à l'aide du microscope électronique montrent le passage à travers la membrane de **glycogène** et de **lipides** sous forme de granules (Patton et al, 1977 ; d'après Grasse *et al*, 1987).

Les zooxanthelles fabriqueraient aussi des vitamines et des hormones utilisées par le polype (Crossland et Barnes, 1977 ; d'après Grasse *et al*, 1987).

Elles jouent également un rôle dans la fabrication de l'ADN du polype à partir de la **thymidine**.

Les zooxanthelles peuvent fournir jusqu'à **98% des produits de leur photosynthèse à leur hôte**.

Les zooxanthelles permettent **l'élimination des déchets azotés et phosphorés du corail**.

Comme nous l'avons vu précédemment, les zooxanthelles jouent aussi un **rôle important dans la calcification**.

b) Apport du corail au métabolisme des zooxanthelles

Le métabolisme du polype produit des déchets qui sont utilisés en partie par les zooxanthelles.

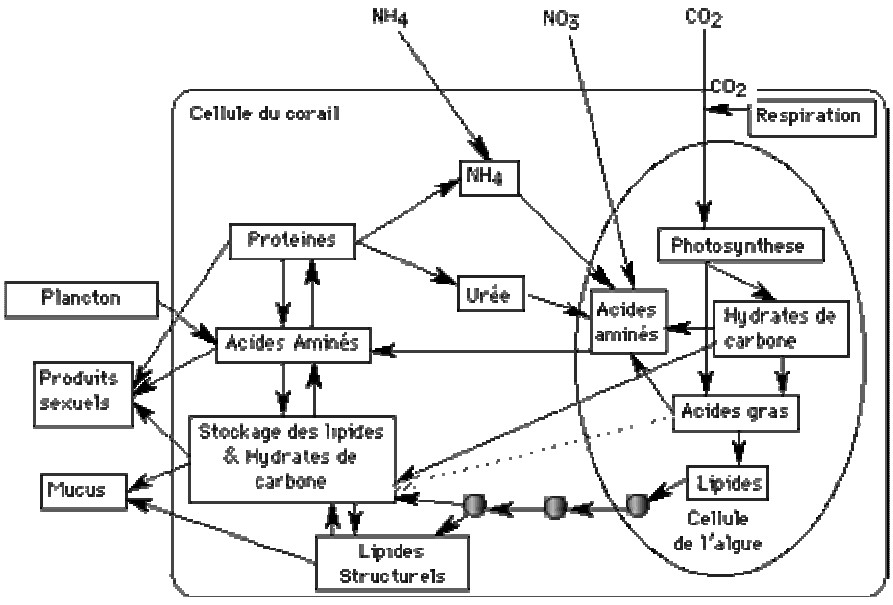
Les produits qui transitent du polype vers les zooxanthelles sont les suivants :

- le **gaz carbonique** : il est peu ou pas utilisé par les zooxanthelles qui prélèvent préférentiellement celui issu de l'eau de mer.

- les **composés phosphorés** : les algues symbiotiques utilisent le phosphate produit par le polype afin de réaliser leur métabolisme protidique.

- les **composés azotés** : les ions NH_4^+ fabriqués par le polype sont en partie utilisés par les zooxanthelles et dans une moindre mesure, les nitrites et les nitrates peuvent l'être également.

- l'**acétate** : c'est un produit du catabolisme de la cellule animale qui, à l'intérieur des zooxanthelles, est activé puis converti en acides gras dans les chloroplastes (Benson, 1984 ; d'après Sprung et Delbeeck, 1996).



Interaction entre une cellule de corail et une Zooxanthelle

(http://www.mars.reefkeepers.net)

Il faut également noter que **le corail fournit une protection**, au sein de ses cellules, aux zooxanthelles ; il leur permet ainsi d'éviter la prédation et de lutter contre l'action des sédiments.

Les zooxanthelles ne sont présentes que chez les coraux hermatypiques. Ce sont des algues unicellulaires de couleur brune qui appartiennent au genre *Symbiodinium*. Elles sont localisées dans l'endoderme du corail en position intracellulaire. Leur densité et leur répartition dans les tissus sont variables, elles dépendent de facteurs extrinsèques et intrinsèques. Elles contiennent plusieurs pigments photosynthétiques (chlorophylle, caroténoïde, xanthophylle) qui leur permettent de s'adapter à différentes conditions d'éclairement et d'optimiser ainsi leur photosynthèse.
Elles vivent en endosymbiose avec le corail. Elles contribuent aux besoins du corail en produisant de l'oxygène et des molécules utiles à son métabolisme ; elles permettent également d'éliminer certains déchets du corail et favorisent la calcification. En échange le corail leurs fournit une petite partie de ses besoins en CO_2 et met à leur disposition ses déchets phosphorés et azotés ainsi que de l'acétate ; il permet également de leur fournir une protection vis à vis de l'extérieur en les « hébergeant » au sein de ses tissus.

II.REPRODUCTION

A) Chez les coraux mous

1) La reproduction asexuée

Elle est présente **chez la quasi totalité des coraux mous**.

La fragmentation de la colonie est le procédé le plus rencontré. Parmi les autres modes de reproduction asexuée, on trouve le bourgeonnement, la scissiparité transversale et la lacération du pied.

a) Fragmentation de colonies

On distingue différents types de fragmentation (Sprung et Delbeeck, 1999) :

- l'**étranglement** d'un petit rameau portant 5 à 8 polypes ; le fragment tombe sur le substrat et s'y fixe très rapidement.

- la **segmentation** de l'extrémité d'une branche ; le corail favorise la croissance d'algues filamenteuses qui croissent autour d'un rameau et le comprime jusqu'à ce qu'il se détache.

- la **séparation** spontanée de **polypes individuel**s ; c'est le cas chez les colonies appartenant au genre *Xenia* et *Anthelia*.

- la **fragmentation** dûe à des prédateurs ou à des **perturbations naturelles** (tempête, cyclone).

b) Bourgeonnement

Il se produit à la base du pédoncule ou plus rarement juste sous le capitule.

Si le bourgeonnement a lieu à la base d'une petite colonie, fille et mère peuvent se développer ensemble. S'il s'agit d'une grande colonie, les filles restent chétives car ombragées par leur mère.

c) Scissiparité

On peut avoir une division transversale avec séparation du capitule et du pédoncule, ou une division longitudinale chez les coraux à pédoncule épais.

On retouve ce phénomène chez les genres *Lemnalia, Nephtea, Cladiella, Xenia* et *Heteroxenia.*

d) Lacération du pied

Le corail se déplace sur le substrat et, dans son mouvement, une partie du tissu de la base peut se détacher de la colonie et donner naissance à un nouveau corail.

C'est un phénomène fréquent chez les genres *Xenia, Cladiella* et *Nephtea*.

2) <u>La reproduction sexuée</u>

a) Généralités

Il existe des individus mâles et des individus femelles.

Le sexe des colonies se reconnaît facilement grâce à la couleur des gonades ; en effet, **les femelles ont la teinte orange de leurs œufs alors que les colonies mâles sont blanches opaques comme leurs sacs spermatiques** (Grasse *et al*, 1987).

La plupart des coraux mous sont ovipares, seules quelques espèces sont vivipares, c'est le cas par exemple des *Xenia* et des *Heteroxenia* (Grasse *et al*, 1987).

Les Alcyonacea pondent à différents moments de l'année ; ces périodes sont différentes selon les individus et les conditions du milieu. Certaines espèces ont une reproduction sexuée saisonnière, alors que d'autres ont une ponte déclenchée par des stimuli naturels (phases de la lune, marées), tout au long de l'année.

On connaît **trois principaux modes de reproduction sexuée** (Sprung et Delbeeck, 1999) :

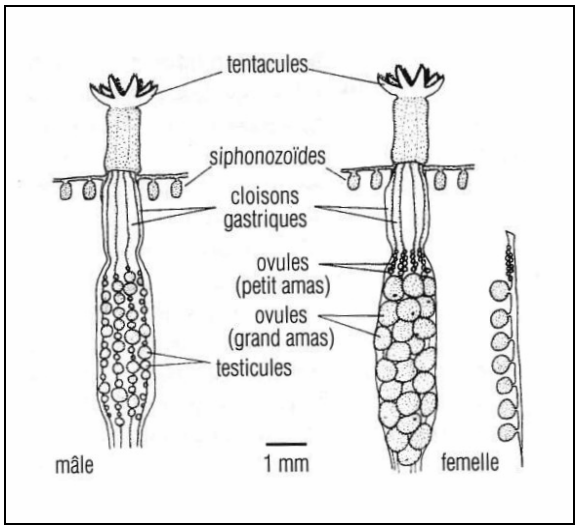
- une **ponte en eau libre suivie d'une fécondation externe** ; c'est le mode le plus commun pour la famille des Alcyonidés. Au moment de la ponte, les polypes femelles se plissent, rétractent leurs tentacules et libèrent leurs œufs dans l'eau de mer par leur orifice buccal. De manière simultanée, les individus mâles émettent des spermatozoïdes dépourvus de queue et dont la tête est ornée de pointes coniques.

- une **fécondation interne avec maturation interne des planulaes** dans des chambres endodermiques spécialisées. Elle a été observée chez plusieurs genres de Xénidés. La fécondation a lieu au niveau de la cavité gastrique, puis les planulae migrent dans des chambres de la mésoglée pour achever leur vieillissement.

- une **fécondation interne avec incubation externe de planulae** dans des poches situées sur les flancs du polype.

b) Maturation des gonades

Les gonades sont situées sur les cloisons gastriques des autozoïdes. Des études menées sur les genres *Lobophytum, Sarcophyton* et *Silunaria* ont révélé que le développement des ovules durait généralement deux ans, alors qu'un an suffisait pour la production et la maturation des spermatozoïdes (Alino et Coll, 1989 ; d'après Sprung et Delbeeck, 1999). Il n'est donc pas rare de trouver dans le même polype des ovules de taille différente.



Coupe longitudinale d'autozoïdes de *Lobophytum crassum* montrant les ovules et les spermatozoïdes en cours de maturation (Sprung et Delbeeck, 1998)

Après rupture des différentes membranes qui les entourent, les ovules se détachent des cloisons et se retrouvent libres dans la cavité gastrovasculaire, ils remontent par le pharynx et sont expulsés dans l'eau de mer par la bouche du polype pour les espèces à fécondation externe. Sinon chez les espèces à fécondation interne, ils restent dans la cavité gastrovasculaire dans l'attente d'un éventuel spermatozoïde.

c) Fécondation de l'œuf

L'œuf est entouré par une couronne de spermatozoïdes, puis est fécondé par l'un d'entre eux.

Jusqu'à présent **les phénomènes nucléaires de la fécondation sont inconnus et les pronucleus mâles et femelles n'ont jamais été observés**.

Le stade morula est présent environ 24 heures après la fécondation.

d) Développement larvaire

Le début de cette phase a lieu dans le milieu extérieur ou dans le polype selon les espèces.

48 heures après la fécondation, la surface embryonnaire est ondulée et la larve qui apparaît est appelée **pré-planulae**. Elle subit des remaniements au niveau de ces feuillets et donne, vers le quatrième jour, une **planulae** sphérique, onduleuse et ciliée.

Cette planulae subit des modifications et sept jours après son développement, finit par se fixer en sécrétant au contact du support une mince couche de mucus blanc (Grasse *et al*, 1987).

e) Formation du polype

Dès le premier jour de fixation, les cils de la planulae disparaissent et la larve fixée s'aplatit. Son pôle antérieur sera la base de la formation du premier polype.

Le deuxième jour de fixation, huit extensions verticales apparaissent et on distingue, au sommet de la surface libre, huit petites digitations coniques tentaculaires.

Le troisième jour, la taille du polype augmente et il se forme au centre du disque tentaculaire une invagination ectodermique stomodéale.

Le quatrième jour s'ouvre la bouche par rupture de l'invagination.

Les jours suivants, le polype grandit et les rangées de pinnules se forment progressivement.

Trois semaines après la fixation de la larve, il apparait un prolongement de la base circulaire du polype. Ce prolongement, appelé **stolon**, prend une forme circulaire puis engendre un bourgeon qui donne naissance à un deuxième polype dont les septes dorsaux sont voisins de ceux du polype primitif. Un second bourgeon se forme et donne naissance à un troisième polype et ainsi de proche en proche, naissent de nouveaux polypes primitifs (= zoïdes). Après un premier cercle de bourgeons, un second cercle est créé à l'extérieur du précédent. Il apparait ensuite de nouveaux polypes entre le premier cercle et le polype primitif.

Chez les coraux mous, la reproduction asexuée est présente tout au long de l'année ; elle peut avoir lieu de différentes manières. La fragmentation est le procédé le plus rencontré ; elle peut se réaliser par étranglement d'un petit rameau, par segmentation de l'extrémité d'une branche, par séparation spontanée de polypes individuels ou encore suite à des agressions extérieures (prédateurs, tempêtes..). Les autres modes de reproduction asexuée sont le bourgeonnement à la base d'une colonie, la scissiparité et la lacération du pied.
La reproduction sexuée a lieu de manière saisonnière ou tout au long de l'année. Les colonies sont soit mâles soit femelles. La fécondation peut avoir lieu de trois manières différentes :
- fécondation externe
- fécondation interne et maturation des planulae dans des chambres endodermiques
- fécondation interne et maturation des planulae dans des poches à l'extérieur du polype
Une semaine après la fécondation, la planulae se fixe dans le milieu extérieur et donne naissance, après une série de remaniements, au premier polype qui sera à l'origine de la future colonie.

B) Chez les coraux durs

1) La reproduction asexuée

Elle peut avoir lieu à n'importe quel moment de l'année et plusieurs fois par an. **Elle a lieu lorsque les conditions de croissance sont idéales et permet de coloniser rapidement un milieu**.

Les stratégies de reproduction asexuée des coraux durs comprennent la libération de planulae, le bourgeonnement, la production de colonies satellites, la scissiparité et la fragmentation.

a) La libération de planulae

Le mécanisme de production de larves par voie asexuée n'est pas très bien connu. Il a été observé chez *Pocillopora damicornis* (Ayre et Resing, 1986 ; d'après Sprung et Delbeeck, 1999). Il s'agissait de larves génétiquement identiques à la colonie de départ.

b) Le bourgeonnement

Cela correspond à la formation d'un petit squelette, entouré par du tissu, qui grandit au contact de la colonie mère.

Au bout d'un certain temps, il est victime de sa croissance et finit par se détacher du pied d'origine sous l'action de son propre poids. Une fois séparé, il est à l'origine d'une nouvelle colonie.

Ce mode de reproduction est favorisé chez les coraux durs possédant de gros polypes et vivant la majeure partie du temps sur un sol sablonneux (*Catalaphyllia jardinei*, *Goniopora stokesi*).

c) La production de colonies satellites

Il s'agit de la formation de colonies secondaires sessiles parmi les polypes de la colonie mère. La colonie satellite grandit puis, lorsqu'elle atteint un certain poids, se détache (par gravité) de la colonie mère.

d) La fragmentation

Cela correspond à la naissance d'une nouvelle colonie à partir d'un fragment de corail. Elle est caractérisée par son caractère **accidentel**. Ce sont surtout les coraux branchus comme les *Acropora sp* qui utilisent ce procédé en raison de la fragilité de leurs branches. Le morceau de corail cassé va se fixer au substrat pour donner une nouvelle colonie.
Ces propriétés sont très utiles pour la propagation des coraux en captivité.

e) La scissiparité

Ce processus est identique à la fragmentation mais il s'en différencie par son **caractère non accidentel**. Il entraîne la division de la colonie d'origine en plusieurs parties qui vont s'individualiser progressivement, puis former des colonies indépendantes les unes des autres.

f) L'expulsion de polypes

Cela correspond à l'expulsion d'un ou plusieurs polypes qui, une fois dans le milieu extérieur, iront se fixer sur un substrat favorable.

Ce mode de reproduction est très rare ; il n'a été observé qu'en captivité et il s'agissait du corail *Seriatopora histrix* (Poiraud-Lambert, 2004).

2) La reproduction sexuée

Ce mode de reproduction n'est pas le plus employé par les coraux durs ; il **offre les avantages du brassage génétique et de la dispersion à longue distance mais est soumis aux aléas de la rencontre des gamètes**.

a) Gonades et fécondation

- ORGANISATION DES GONADES

- Les gonades mâles sont représentées par des spermaties ; ce sont des capsules sphériques ou ovoïdes de diverses dimensions, contenant de nombreux spermatozoïdes. Les spermatozoïdes sont flagellés et de forme triangulaire ou piriforme.

- Les gonades femelles sont représentées par les ovaires ; ce sont des sacs renflés qui forment une à six rangées longitudinales au niveau des parois mésentériales. Chaque ovaire contient un à cinq ovules en moyenne. L'ovule présente un cytoplasme granulaire, un noyau large et vésiculeux muni d'un nucléolus excentrique ; on n'observe pas de zooxanthelles.

- LOCALISATION ET DISTRIBUTION DES GONADES

Les organes génitaux sont situés dans les **mésentéroïdes**.

La distribution des organes génitaux est variable en fonction des espèces. On distingue deux grandes catégories :

- Les formes monoïques : elles représentent la plus grande partie des Scléractiniaires, **68 % des coraux étudiés sont hermaphrodites** (Richmond et Hunter, 1990 ; d'après Sprung et Delbeeck, 1999). On distingue deux groupes :

- les **coraux coloniaux** qui possèdent à la fois des **polypes mâles et femelles**, on peut citer par exemple *Pocillopora brevicornis* et *Lobophyllia sp*.

- les **coraux solitaires** ou **coloniaux au(x) polype(s) hermaphrodite(s)** ; selon les espèces, les organes génitaux mâles et femelles sont situés sur des mésentéroïdes séparés ou sur les mêmes mésentéroïdes.

Chez ces espèces, ovules et spermatozoïdes peuvent être libérés séparément ou bien ensemble en un paquet qui se disloque rapidement avant que l'ovule ne soit fécondable (Veron, 1986 ; d'après Sprung et Delbeeck, 1999).

- Les formes dioïques : on a des colonies entièrement mâles et d'autres exclusivement femelles. Elles sont beaucoup moins nombreuses et surtout représentées par des coraux solitaires mais aussi par quelques espèces coloniales.

- LA FECONDATION

Elle peut être **interne ou externe**.

Dans le cas de fécondation interne, elle a lieu au niveau de la cavité gastrovasculaire. Seul le sperme est émis en dehors des polypes.

Lorsqu'elle est externe, la fécondation nécessite un frai synchronisé.

La fécondation aboutit à la formation d'un œuf qui sera le point de départ du développement d'un futur individu.

b) Développement embryonnaire et vie larvaire

- STADES EMBRYONNAIRES

Les zooxanthelles pénètrent dans l'œuf juste après la fécondation.

L'œuf subit une segmentation superficielle qui aboutit à une blastosphère non ciliée ayant une large cavité centrale. On a ensuite un renversement des feuillets qui aboutissent à la mise en place des assises ectodermiques et endodermiques. La mésoglée se différencie entre

l'ectoderme et l'endoderme, les flagelles se forment et ainsi l'embryon se transforme en larve qui nage dans le lumen du polype pendant deux à quatre semaines.

- LA PLANULATION

On désigne sous ce nom l'**expulsion des jeunes larves dans le milieu extérieur**.

Elle a lieu le plus souvent par la cavité buccale mais, chez certaines espèces, on observe la formation de pores transitoires permettant l'évacuation des larves. Le nombre de larves expulsées par unité de temps est variable selon les espèces.

La période de planulation est sous contrôle génétique, mais elle dépend également de facteurs externes ; elle peut donc varier pour une même espèce.

Selon les espèces, elle est en relation ou non avec les phases lunaires. Si elle est en relation avec la lune, elle se produira de façon périodique ; dans le cas contraire, elle aura lieu de façon continue sur des intervalles de temps plus ou moins longs en fonction des espèces.

Le contrôle lunaire s'exerce par l'intermédiaire des marées : la pression dans l'eau (qui varie en fonction de l'alignement du soleil et de la lune avec la terre) agit sur la maturation des gonades et sur l'expulsion des zooxanthelles. La lune exerce aussi son action grâce à la lumière qu'elle réfléchit.

- FIXATION DE LA LARVE

Après son expulsion du polype, la planulae reste parfois quelques minutes sans bouger, puis, grâce à ses flagelles, nage jusqu'à la surface de l'eau. Elle avance de manière saccadée grâce à l'alternance de contractions et d'extensions. Par ailleurs, la larve est animée de mouvements de rotation autour de son axe longitudinal et de mouvements ondulatoires et spiraux.

La vitesse de déplacement horizontal varie entre 20 et 40 secondes par 10 cm ; celle des mouvements ascensionnels est plus faible, entre 30 et 75 secondes pour 10 cm.

La durée de la vie larvaire varie avec les espèces et le milieu.

La planulae se fixe par son pôle aboral qui s'aplatit et sécrète une substance muqueuse adhésive.

c) Développement post larvaire

Une fois fixée, la larve se transforme en un polype appelé **oozoïte**.

Pour arriver à ce stade, la planulae s'aplatit, devient discoïde puis apparaît une bouche en son centre. La larve se divise en six, huit puis douze lobes qui correspondent aux chambres intermésentériales au sommet desquelles se développent des tentacules.

Dans quelques cas très rares, les premiers éléments du squelette sont formés alors que la larve n'est pas encore fixée (*Pocillopora bulbosa*, *Agaricia agaricites*).

En général, le squelette n'apparaît qu'après l'établissement de la larve ; l'oozoïte sécrète un polypiérite appelé **protopolypiérite**.

Chez les coraux durs, la reproduction asexuée a lieu toute l'année ; elle leur permet, lorsque les conditions de développement sont idéales, de coloniser rapidement un milieu. Elle peut se faire par fragmentation, par scissiparité, par bourgeonnement, par production de colonies satellites ou en encore par libération de planulae.
Un autre mode de reproduction est la reproduction sexuée ; elle assure un meilleur brassage génétique et permet d'accéder rapidement à des zones distantes de la colonie mère. Les colonies peuvent être dioïques ou monoïques (polypes males et femelles sur une même colonie ou polypes hermaphrodites). La fécondation a lieu dans le polype ou dans le milieu extérieur ; elle aboutit à la formation d'une larve (planulae) qui, après maturation, se fixe sur un substrat et donne naissance au premier polype à l'origine de la colonie.

III. SYSTEMES DE DEFENSE ET D'AGRESSION

La lutte pour l'espace est un des facteurs les plus importants de la limitation des espèces. C'est pour cela que les coraux ont mis au point des stratégies destinées à défendre leur territoire vital et à coloniser de nouveaux espaces.

Trois systèmes principaux sont utilisés par ces invertébrés pour établir leur territoire : on trouve, en premier lieu, la rapidité de développement qui permet de surplomber les autres

organismes (coraux, éponges, algues, gorgones, anémones) et de bénéficier au mieux de la lumière et des flux de matière. Ils utilisent également des structures agressives et certains sont capables de synthétiser des substances toxiques dans l'eau.

A) Les coraux mous

1) Défenses chimiques

La production de substances chimiques par une espèce pour inhiber la croissance d'une autre espèce est appelée **alléopathie** ou **amensalisme.**

Les Octocoralliaires sont capables de synthétiser une grande variété de molécules qui jouent un rôle important dans la lutte pour l'espace, contre l'envahissement par les algues, pour la défense face aux prédateurs (répulsion alimentaire) et dans l'augmentation de la prolificité (Sammarco, 1996 ; d'après Sprung et Delbeeck, 1999).

« L'arsenal chimique » des coraux mous est variable et propre à chaque espèce.
Les principales « familles » de molécules incriminées sont :

- les **sarcophines**
- les **terpénoïde**s
- les **diterpénoïdes**

Ces molécules sont capables de se combiner entre elles et ainsi d'avoir une action synergique. Leur action est également spécifique de certains coraux et de certains prédateurs.

Une étude a montré que *Silunaria flexibilis* et *Lobophytum hedleyi* peuvent inhiber la croissance et entraîner la nécrose des Scléractiniaires environnants (Aceret *et al*, 1995). Des analyses chimiques ont montré que ces coraux mous étaient capables de synthétiser plusieurs types de diterpènes.

Ces différentes molécules entrainent une baisse de l'activité des polypes chez *Acropora formosa* et *Porites cylindrica*. Elles causent l'expulsion de zooxanthelles vivantes

qui sont responsables de la fixation du carbone, via la photosynthèse et entraînent un relargage de nématocystes nécessaires à la capture de proies (Aceret *et al*, 1995).

2) Défenses physiques

Certains coraux mous comme *Sarcophyton sp*, *Lobophytum sp* sont capables de synthétiser un **film cireux** qu'ils exfolient pèriodiquement ; ce phénomène s'accompagne parfois d'une desquamation de l'ectoderme. Il permet à ces coraux de se débarrasser des algues et de relarguer leur carbone en excès (Coll *et al*, 1987 ; d'après Sprung et Delbeeckk, 1999).

Pour lutter contre les prédateurs, les Octocoralliaires, en plus de l'usage **d'anti-appétants** et de **toxiques**, disposent de **spicules calcaires** et de leur **aptitude à rétracter leurs polypes**.

La taille et le nombre des spicules varient selon la zone de la colonie ; ainsi certaines parties sont plus exposées à la prédation. Par exemple chez *Silunaria sp*, les sclérites sont généralement plus grands et plus nombreux à la base qu'aux extrémités des rameaux qui ont donc une probabilité plus grande d'être mangés par les poissons (Sprung et Delbeeck, 1999).
La forme et la taille de sclérites sont variables selon les espèces et donc plus ou moins efficace pour assurer une défense physique.

Remarque : Chez les coraux qui sont non rétractables et/ou qui possèdent peu de sclérites (*Anthelia sp, Xenia sp*), les substances chimiques sont plus abondantes.

B) Les coraux durs

1) Les filaments mésentériques

Ce sont des organes qui ont habituellement un rôle dans l'alimentation en favorisant la digestion ; ils peuvent cependant être utilisés dans un but agressif.

Quand deux coraux durs entrent en contact, l'un d'entre eux (l'agresseur) a la possibilité de faire jaillir, par sa bouche ou au travers de son corps, des **filaments mésentériques**. A leur contact, les tissus de la victime sont digérés et laissent alors apparaître le squelette nu. La zone mise à nue devient disponible et peut alors être colonisée par

l'agresseur ou bien par des organismes encroûtants qui créent une zone « tampon » entre les deux individus (Huston, 1985 ; d'après Delbeeck et Sprung, 1999).

Dans la plupart des cas, des coraux de même espèce ou de même genre ne s'agressent pas.

Les filaments mésentériques sont également utilisés pour débarrasser le substrat environnant des microalgues à la base des colonies et au niveau des points de contact de jeunes pousses avec le substrat.

2) Les tentacules répulsifs

Leur développement fait suite, la plupart du temps, à un contact avec un autre individu.

Certaines espèces sont capables d'en disposer en permanence ; c'est le cas de *Galaxea sp*.

Ces organes sont plus longs et plus minces que les tentacules normaux. On note également une **proportion beaucoup plus importante de cellules urticantes (cnidoblastes)**. Ils restent localisés et n'apparaissent qu'au niveau de la partie du corail en contact avec un agresseur.

Ce mode de défense et d'attaque est très présent chez les genres *Galaxea*, *Euphyllia*, *Catalaphyllia*, *Caulastrea*, *Goniastrea*, *Platygyra* et *Plerogyra*.

3) La croissance

La stratégie est simple : le corail doit surpasser son adversaire en vitesse de croissance afin de le dominer dans l'interception de la lumière.

Les espèces à colonies massives, comme les *Porites* et les Favidés, ont une croissance lente et sont les plus rapidement surpassées. Pour combler cette lacune, elles présentent l'avantage de ne pas être facilement endommagées par les tempêtes et par les organismes perforants qui détruisent facilement les coraux à croissance rapide, comme le genre *Acropora*.

Les systèmes de défense et d'agression permettent aux coraux de conserver leur espace vital, voir de conquérir de nouveaux horizons.
Les stratégies utilisées font appel à des mécanismes physiques et chimiques qui diffèrent selon les groupes de coraux.
Chez les coraux mous, l'alléopathie (production d'une substance chimique par une espèce pour inhiber la croissance d'une autre espèce) est un moyen de défense très utilisé qui permet de ralentir la croissance des coraux environnants mais aussi de lutter contre les prédateurs. Certains coraux mous utilisent également l'exfoliation d'un film cireux pour se débarrasser des algues et autres organismes encroûtants, d'autres disposent de spicules calcaires pour dissuader les prédateurs.
Chez les coraux durs, la stratégie est différente, ils utilisent trois procédés principaux : l'expulsion de filaments mésentériques, le développement de tentacules répulsifs et la croissance pour surplomber les autres espèces.

Partie 3 : Pathologie et dangers affectant les coraux

Depuis une quinzaine d'années les récifs coralliens se dégradent de façon accélérée. Les causes de ce déclin sont diverses et nombreuses ; elles incluent les maladies, l'invasion par certaines espèces, l'impact de l'homme et les changements globaux.

I.LES MALADIES

L'origine, la prévalence et les conséquences de chaque maladie sont mal connues et ne font l'objet que de peu d'études.

Si l'on s'intéresse aux publications réalisées depuis 1973 on voit qu'elles ne font référence qu'à une centaine d'espèces de coraux et une cinquantaine de localités (plus de 60% des études concernent les Caraïbes, alors que cela ne constitue que 8% des récifs du monde) (Bruckner, 2002).

Dans la littérature une trentaine de noms différents font référence à des maladies touchant les coraux ; en réalité il y a de nombreux synonymes et il n'en existe qu'une **dizaine** (Green et Bruckner, 2000).

D'avantages de recherches et d'observations seraient nécessaires afin d'arriver à mieux comprendre les processus océanographiques et écologiques qui affectent les écosystèmes coralliens. Il est urgent de trouver les causes et de comprendre le déroulement de ces maladies, afin d'en réduire leurs conséquences sur les populations de coraux. Il est certain qu'une bonne compréhension de ces phénomènes, pourrait permettre de mettre en place des programmes d'aide à la conservation des récifs coralliens

Le but de cette partie est de **résumer les différents types d'informations connues à ce jour** sur chaque maladie ; elle doit permettre de donner un aperçu rapide de la maladie (signes cliniques, étiologie, localité et répartition selon les espèces) afin de pouvoir envisager des mesures curatives et prophylactiques, aussi bien dans le milieu naturel qu'en captivité.

Cette partie ne se veut en aucun cas exhaustive ; de nombreuses incertitudes persistent et tout laisse à penser que de nouvelles hypothèses seront émises et que d'autres seront écartées.

A) Le blanchiment des coraux (Bleaching)

Maladie proprement dite ou **phénomène adaptatif** ?

Le blanchiment (ou blanchissement) des coraux a été décrit pour la première fois dans les années 1920, suite à une expédition au niveau de la grande barrière de corail.

Au cours de ces vingt dernières années ce phénomène a augmenté en intensité et en fréquence. Il **n'affecte pas que les coraux** ; il est également observé chez tous les animaux qui vivent en symbiose avec des algues dinoflagellées du genre *Symbiodinium* (Cnidaires symbiotiques, certains bivalves, foraminifères, éponges) (Pecheux, 2004).

1) Clinique

Le blanchiment des coraux est un phénomène qui se caractérise par une perte de couleur de l'animal provenant de **l'élimination partielle ou totale des zooxanthelles** ou de la **dégradation des pigments** contenus dans les zooxanthelles.

Les coraux atteints sont **blancs** car leurs tissus, **restés vivants**, ont perdu toute leur pigmentation. Ils laissent alors apparaître la **couleur blanche du squelette à travers la transparence du polype**. Le corail peut survivre quelques semaines et être recolonisé par des zooxanthelles (si les conditions redeviennent favorables) ou bien finira par mourir.

Scléractiniaire présentant un blanchiment généralisé (http://www.coral.noaa.gov)

Il peut exister une phase qui précède le blanchiment proprement dit ; les coraux présentent alors des **colorations fluorescentes** jaune pâle ou vert pâle. Cette fluorescence spectaculaire a été très remarquée au début du mois d'avril 1991, au niveau des récifs de Polynésie française, lors d'un épisode massif de blanchiment (Rougerie *et al*, 1992).

Le blanchiment peut être localisé ou généralisé à toute la colonie. Lorsqu'il est localisé, il touche le haut ou le bas de la colonie, mais peut aussi prendre l'apparence d'une tache circulaire ou l'apparence d'un anneau (Poiraud-Lambert, 2004).

La nature et l'extension du blanchiment varient selon les espèces mais aussi au sein d'une même espèce.

2) Etiologie

En dépit des nombreuses recherches, il n'existe pas à l'heure actuelle d'explication simple et cohérente des causes du blanchiment. Les facteurs susceptibles d'être responsables du blanchiment sont nombreux :

- les températures extrêmes (élevées et basses) : il s'agit d'un **facteur prépondérant et variable** selon les coraux. Il dépend des différentes espèces de zooxanthelles qui sont associées dans les tissus ; en effet celles-ci ont des températures de croissance optimale et des niveaux de tolérance thermique qui varient énormément (Strychar *et al*, 2004). La plupart des Scléractiniaires ne sont pas affectés lors de courtes expositions à des températures avoisinant les 30°C ; **32°C semble être la température maximale tolérée par la majorité des espèces**. Cependant, certaines espèces peuvent blanchir à des températures plus basses et d'autres sont susceptibles de résister à des températures plus élevées, c'est le cas par exemple de *Porites solida* qui peut résister jusqu'à 34°C (Strychar *et al*, 2005).

- une irradiation trop forte ou mal appropriée

- une période d'obscurité prolongée

- une baisse de la salinité

- la présence de métaux lourds (cadmium)

- une carence en sels nutritifs

- des bactéries, des virus ou des parasites (coccidies)

Cette maladie apparaît comme une **réponse généralisée face à un stress**. Certaines espèces sont plus susceptibles que d'autres de blanchir dans les mêmes conditions ; ceci pourrait être dû à une diversité génétique des symbiotes (Pecheux, 2004).
Cette différence de sensibilité est présente chez les Scléractiniaires mais aussi chez les coraux mous (Strychar *et al*, 2005).

Il est possible que le tableau clinique du blanchiment ne représente pas une maladie unique, il pourrait s'agir d'un **symptôme commun en réponse à des agressions différentes**.

3) Pathogénie

- A l'heure actuelle deux hypothèses sont avancées pour expliquer le **déroulement de la maladie** :

-1) Un facteur extérieur (température, augmentation de la quantité d'UV, CO_2, salinité) stresse le corail, celui-ci pour des raisons inconnues, expulse alors ses zooxanthelles. Le corail devient blanc ; il est toujours vivant mais affaibli, car il a perdu ses symbiotes qui lui fournissaient une grande partie de son énergie. Si les conditions défavorables persistent, le corail meurt de faim ou subit des surinfections à l'origine de sa mort.

-2) Suite à un changement des conditions du milieu (augmentation de la température, variation de la salinité..), diverses bactéries ou parasites adhèrent aux coraux et deviennent virulents ; ils obligent le corail à expulser ses zooxanthelles (mécanisme inconnu) puis détruisent les tissus du corail (Sprung et Delbeeck, 1999).

- Le mécanisme qui aboutit à l'expulsion des zooxanthelles n'est pas encore bien connu et doit vraisemblablement varier en fonction de l'étiologie (Douglas *et al*, 2003). Cinq mécanismes cellulaires ont été proposés (Strychar *et al*, 2004) :

- **L'exocytose** : l'algue est entourée par une vésicule qui fusionne avec la membrane, ceci lui permet d'être libérée dans le milieu extérieur
- **L'expulsion** de l'algue par un phénomène de **bourgeonnement**
- **Perte des systèmes d'adhésion** des cellules de l'hôte

- **L'apoptose** : cela correspond aux processus pathologiques et biochimiques par lesquels des stimuli anormaux induisent la mort cellulaire (à ne pas confondre avec la mort cellulaire programmée)

- **La nécrose** : il s'agit d'une perte d'énergie à l'origine de dysfonctionnements membranaires et intracellulaires (qui induisent la mort de la cellule)

Les zooxanthelles expulsés peuvent être **morts ou vivants** ; lorsqu'ils sont vivants ils peuvent être recaptés par d'autres organismes.

Il semble que seules l'apoptose et la nécrose puissent expliquer la mort des zooxanthelles expulsés (Strychar *et al*, 2004).

Cas particulier d'*Oculina patagonica* :

Tous les étés depuis 10 ans, les eaux de surface de la méditerranée atteignent 30 à 31°C. Associé à cette montée de température, le corail *Oculina patagonica* voit sa population **blanchir à 90%** (Israely *et al*, 2001). Pendant l'hiver, la majeure partie de la population retrouve ses couleurs, c'est à dire ses zooxanthelles.

L'agent responsable du blanchiment a été identifié, il s'agit d'une bactérie : ***Vibrio shiloi*** (Kushmaro *et al*, 1997). La recherche du pathogène a permis de montrer que la bactérie était présente dans 100% des coraux blanchis et indétectable pendant la saison d'hiver (Israely *et al*, 2001).

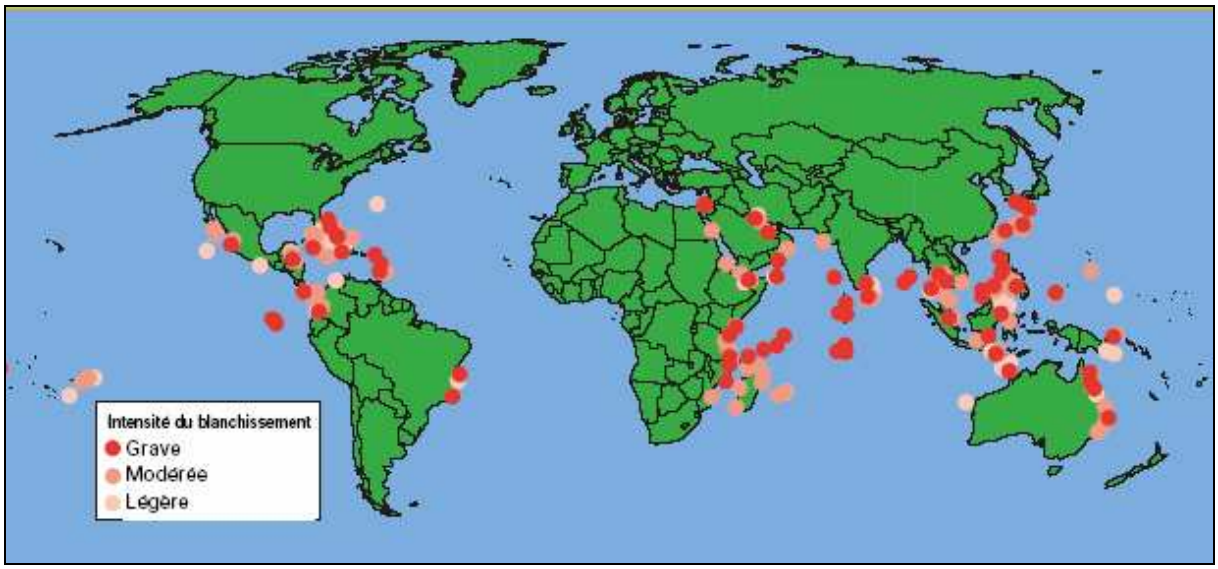
L'induction de facteurs de virulence par la bactérie est régulée par la température. Il a été montré qu'elle était capable de synthétiser, en été, **une toxine thermostable : la toxine P**. *In vitro* la toxine P se fixe sur les zooxanthelles et semble faciliter la pénétration d'ammoniaque dans les algues ce qui bloque la photosynthèse (Banin *et al*, 2001). De plus une étude a montré qu'à 30°C et non à 16°C, *Vibrio shiloi* synthétise et sécrète une enzyme : **la superoxyde dismutase** ; elle pourrait avoir un rôle protecteur en permettant à la bactérie de résister à un milieu très oxydant (en raison de la photosynthèse des zooxanthelles) (Banin *et al*, 2003).

Il a été mis en évidence que le ver de feu, ***Hermodice caranculata***, qui appartient à la famille des Polychètes, est le **réservoir hivernal** de *Vibrio shiloi* ; de plus il sert de vecteur de transmission pendant la saison chaude, lorsqu'il part se nourrir des tissus du corail (Sussman *et al*, 2003).

La contamination peut également avoir lieu de manière directe de corail à corail.

4) Distribution géographique

Cette maladie est présente dans toutes **les mers du monde** et sa prévalence est de plus en plus importante.



Distribution mondiale des épisodes de blanchiment entre 1998 et 2000 (Westmacott *et al*, 2000)

5) Espèces infectées

Ce phénomène touche **tous les coraux** (durs et mous) mais aussi tous les autres organismes marins qui vivent en relation avec des algues symbiotiques.

En règle générale, **les coraux durs branchus (genres *Acropora* et *Pocillopor*a) blanchissent de façon plus importante que les formes massives** (Jiménez *et al*, 2001).

Les Octocoralliaires semblent mieux résister, dans la majorité des cas, aux élévations de température que les Scléractiniaires (Strychar *et al*, 2004). Cependant, **il est probable que l'incidence de ce phénomène, chez certains coraux mous, soit sous estimée en raison d'une dégradation rapide des tissus après l'expulsion des zooxanthelles** (Strychar *et al*, 2005).

B) La maladie des bandes noires (Black-Band Disease : BBD)

Elle a été décrite, pour la première fois, au début des années 1970 par Arnfried Antonius, à la surface d'espèces de morphologie massive, dans les récifs de l'ouest des Caraïbes.

1) Clinique

Cette maladie est caractérisée par la présence d'une **bande noire assez mate de quelques millimètres à quelques centimètres de largeur**.

Cette bande est présente à la **surface du tissu** du corail. Elle se propage le long de la colonie en laissant derrière elle le **squelette blanc** et nu du corail.

On ne note pas de changements de couleur ou de morphologie du tissu du corail.

Photo d'un corail dur atteint de Black Band Disease (http://www.coral.noaa.gov)

Elle progresse de **quelques millimètres par jour** (3 à 10 millimètres)**,** pouvant ainsi anéantir une colonie en moins d'un mois.

Dans certain cas le phénomène peut s'arrêter, la bande noire disparaît et le tissu non encore détruit reprend sa croissance et peut recouvrir la partie du squelette dénudé. Il est aussi possible que la partie morte soit colonisée par des algues à l'origine de « l'étouffement » du reste de la colonie.

2) Etiologie

Selon divers scientifiques, ***Phormidium corallyticum*** (anciennement *Oscillatoria submembranaceae*) serait l'agent principal de cette maladie (Antonius, 1981 ; d'après Bruckner, 2002).

Il s'agit d'une **cyanobactérie filamenteuse**.

Elle est à l'origine de la coloration noire, car elle contient un pigment photosynthétique rouge en grande quantité : la **phycoérythrine**.

D'autres bactéries ont été identifiées fréquemment au niveau de la bande noire : ***Spirulina sp*** *et* ***Beggiatoa sp***. Elles semblent jouer un rôle secondaire (Richardson, 1998).

Certains facteurs augmentent l'incidence et la prévalence de la maladie :

- la **présence de sédiments**

- des **toxiques chimiques** produits par des algues récifales

- une **élévation de la température** ; lorsque la température descend en dessous de 26°C la maladie disparaît (Riddle, 1997 ; d'après Poiraud-Lambert, 2004).

- la **variation de la salinité** à la suite de pluies

3) Pathogénie

Le tissu du corail est détruit en raison de **l'absence d'oxygène** au niveau de la zone en contact avec la bande noire ; de plus, à ce niveau, les tissus sont exposés aux **sulfures d'hydrogène** produits par les bactéries.

Le squelette du corail laissé derrière est alors en contraste avec la bande noire créée par les cyanobactéries.

4) Distribution géographique

Elle a été observée dans **26 régions différentes** (Green et Bruckner, 2000).

80% des observations ont été réalisées au niveau des **Caraïbes** ; le reste concerne la Mer Rouge et l'océan Indo-Pacifique (Green et Bruckner, 2000).

5) Espèces infectées

Cette maladie touche principalement des espèces appartenant aux Scléractiniaires (coraux durs).

Elle a été observée chez **42 espèces différentes** ; les genres ***Favia***, ***Favites***, ***Diploria*** et ***Montastraea*** sont les plus touchés (Green et Bruckner, 2000).

Chez les coraux mous, elle a été décrite chez ***Silunaria sp*** (Delbeek et Sprung, 1996). Elle affecte également les **Gorgones**.

De nombreux coraux sont insensibles à la maladie dans la nature, mais sujet à la maladie en captivité (Riddle et al, 1997 ; d'après Poiraud-Lambert, 2004).

Espèces	**sensibilité en aquarium**
Fungia sp	Immunisé
Galaxea sp	Résistant
Porites sp	Résistant
Tubipora sp	Résistant
Hydnophora exesa	Attaque lente (1 mm de tissu perdu par jour)
Montipora sp	Attaque lente (1 mm de tissu perdu par jour)
Pavona sp	Attaque lente (1 mm de tissu perdu par jour)
Stylophora sp	Attaque lente (1 mm de tissu perdu par jour)
Goniastrea pectinia	Attaque moyenne (1 à 3 mm de tissu perdu par jour)
Hydnophora micoconos	Attaque moyenne (1 à 3 mm de tissu perdu par jour)
Pocillopora sp	Attaque moyenne (1 à 3 mm de tissu perdu par jour)
Acropora sp	Attaque rapide (3 à 5 mm de tissu perdu par jour)
Goniastrea retiformis	Attaque rapide (3 à 5 mm de tissu perdu par jour)

Sensibilité en aquarium de quelques coraux résistants à la maladie dans la nature (Riddle *et al*, 1997)

C) La maladie de la bande blanche (régression tissulaire, White-band disease)

1) Clinique

Elle **ressemble au tableau clinique du blanchiment mais les tissus sont détruits**. On observe un recul du tissu sur le squelette. Les tissus **pèlent** puis se détachent et tombent du squelette de façon uniforme et avec une vitesse constante, laissant ainsi apparaître le squelette blanc du corail.

***Acropora sp* atteint par la maladie de la bande blanche (http://www.coral.noaa.gov)**

La partie mise à nu du squelette peut être colonisée par des algues (*Ostreobium sp*) et peut apparaître verdâtre (Delbeeck et Sprung, 1998).

Le tissu remanié ne présente pas de signe de blanchiment.

Remarque : il existe une forme clinique un peu différente où on constate un blanchiment du tissu en aval de la zone dénudée. On parle de maladie de la bande blanche de type 2. Elle a été décrite pour la première fois en 1997.

La maladie **débute à la base du corail** et **se dirige vers l'extrémité** des branches. Dans certains cas la maladie peut commencer **au milieu** d'une branche. Cette caractéristique permet de faire la différence avec les pertes de tissus dues à l'action de prédateurs ou occasionnées par les brûlures de coraux voisins.

La perte de tissu peut atteindre **quelques millimètres par jour**.

2) Etiologie

L'origine exacte est encore **inconnue**.

Des agrégats de **bactéries Gram négative** ont été trouvés dans les tissus de coraux atteints par la maladie de la bande blanche de type 1.

Le mucus des coraux atteint par la maladie de la bande blanche de type 2 contient des bactéries du genre ***Vibrio***.

3) Pathogénie

Inconnue.

4) Distribution géographique

La maladie de la bande blanche de type 1 a été observée aux **Caraïbes**, aux **Philippines**, au niveau de la **grande barrière de corail** et au niveau de la **mer rouge** (Bruckner, 2002).

La maladie de la bande blanche de type 2 a été observée uniquement aux **Bahamas** à ce jour.

5) Espèces infectées

Uniquement les coraux durs et spécifiquement le genre ***Acropora***.

50% à 80% des espèces appartenant au genre *Acropora* sont atteintes.

Elle est responsable du déclin d'*Acropora cervicornis* et *d'Acropora palmata* aux Caraïbes (Aronson et Precht, 2001 ; d'après Bruckner, 2004).

Les autres coraux les plus touchés sont *Goniastrea retiformis, Plazygyra lamellina* et *Hydnophora microconos* (Green et Bruckner, 2000).

D) La maladie des plages blanches (White Plague)

1) Clinique

Cela correspond à **une perte massive de tissus laissant apparaître le squelette blanc** du corail ; elle peut être **partielle ou totale**.

Le corail présente des **zones blanches assez étendues**.

***Porites sp* atteint par la maladie de la plage blanche (http://www.coral.noaa.gov)**

La progression est rapide : plus de un centimètre par jour.

La mortalité est très importante

On distingue trois formes selon la vitesse de propagation et les espèces touchées:

- White Plague de type 1 : la progression est assez **lente** (inférieur à 3 cm/j)
- White Plague de type 2 : la progression est **rapide** (supérieur à 2 cm/j)
- White Plague de type 3 : la progression est **très rapide** (environ 10 cm/j)

2) Etiologie

Elle est inconnue pour la White plague de type 1 et 3.

Pour la White plague de type 2, l'agent responsable serait une bactérie Gram négatif aérobie stricte et hétérotrophe ; elle a été nommée ***Aurantimonas coralicida*** (Ritchie et Smith, 1998).

3) Pathogénie

Inconnue.

4) Distribution géographique

- White Plague de type 1 : Bahamas, Puerto Rico, Floride
- White Plague de type 2 et 3 : Floride uniquement

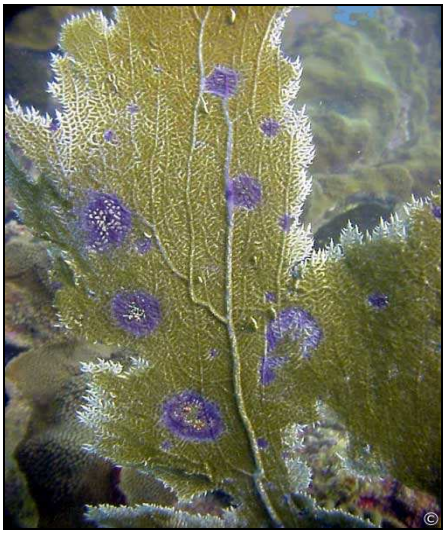
5) Espèces infectées

34 espèces de Scléractiniaires ont été recensées comme atteintes (Green et Bruckner, 2000). **Les espèces massives, incrustantes et branchues sont les plus touchées**.

E) L'aspergillose

1) Clinique

Elle touche **uniquement les coraux mous et spécifiquement les Gorgones** ; les spécimens atteints présentent **une ou plusieurs taches irrégulières** ou bien une perte extensive de tissus, pourpre, avec de fins filaments blancs et des sédiments le long de la structure axiale. Souvent **les tissus adjacents aux taches présentent une coloration plus intense**.



Gorgone atteinte d'aspergillose (http://www.coral.noaa.gov)

2) Etiologie

L'agent responsable de la maladie est un champignon terrestre : ***Aspergillosus sydowii*.**

3) Pathogénie

Dans certaines conditions, les spores germent à la surface du corail, puis l'hyphe du champignon pénètre à l'intérieur des tissus, entraînant ainsi sa mort. Le corail sécrète un **tissu pourpre** afin d'essayer d'encapsuler le champignon.

4) Distribution géographique

La maladie a été observée aux Caraïbes, aux Bahamas, en République Dominicaine, en Floride, en Jamaïque et aux Antilles.

5) Espèces infectées

Il s'agit d'une maladie qui touche les **coraux mous** et qui n'a été observée que chez **deux espèces de Gorgones** : ***Gorgonia flabellum*** et ***Gorgonia ventalina*** (Green et Bruckner, 2000).

F) La maladie des bandes jaunes (Yellow Band Disease, YBD, Yellow-blotch disease)

Elle a été décrite pour la première fois en 1994 par Craig Quirolo, qui l'observa en Floride.

1) Clinique

Il s'agit d'une **maladie nécrotique** laissant apparaître le squelette du corail.

On observe, autour de la partie dénudée du corail, une **bande concentrique de tissus de couleur jaune pâle** ; cette bande, de couleur « anormale » présente une épaisseur comprise entre **1 et 10 centimètres**.

Le squelette dénudé peut parfois rester de couleur jaune et peut également être envahi par des algues.

Maladie de la bande jaune chez un Scléractiniaire (http://www.coral.noaa.gov)

La progression est rapide et dépend des conditions du milieu, notamment de la température.

L'été, la maladie se propage à une vitesse moyenne de 19,7 mm +/- 4,9 mm par semaine tandis que l'hiver, on observe une progression moyenne de 9,4 mm +/- 3,9 mm par semaine (Korrubel, 1996 ; d'après Poiraud-Lambert, 2004).

2) Etiologie

Elle est inconnue pour le moment.

3) Pathogénie

Inconnue.

4) Distribution géographique

On la rencontre en Floride, aux Caraïbes et dans le golf Arabique.

5) Espèces infectées

Elle est **très fréquente chez le genre *Montastraea***. Elle attaque le plus fréquemment les formes massives (*Montastraea faveolata*) et moins fréquemment les formes branchues (*Montastraea annularis*).

D’autres espèces ont été identifiées comme subissant cette maladie (Korrubel, 1996 ; d’après Poiraud-Lambert, 2004) :

- *Acropora clathrata*
- *Acropora pharaonis*
- *Acropora valida*
- *Acropora florida*
- *Cyphastrea microthalma*
- *Porites lutea*
- *Porites nodifera*
- *Turbinaria reniformis*

Elle n’a jamais été décrite chez des coraux mous.

G) La maladie des bandes rouges (Red Band Disease : RBD)

1) Clinique

Cette maladie ressemble à la maladie de la bande noire. La bande présente une **couleur rouge brique ou marron foncé**.

La progression semble assez lente.

2) Etiologie

La bande rouge est composée de **cyanobactéries** et de microorganismes différents de ceux retrouvés dans la maladie de la bande noire. On pense, à l’heure actuelle, que les microorganismes sont différents selon les types de coraux, mais les agents responsables n’ont pas encore été précisément identifiés.

3) Pathogénie

Elle est inconnue pour le moment.

4) Distribution géographique

Elle est peu fréquente et n'a été observée qu'aux Caraïbes et le long de la grande barrière de corail.

5) Espèces infectées

Elle affecte les coraux durs et les **Gorgones**. Les espèces de **coraux durs** les plus affectés dans la nature sont de forme massive ou en plateau :

- *Diploria strigosa*
- *Montastraea annularis*
- *Montastraea cavernosa*
- *Porites astreoides*
- *Siderastrea radians*
- *Colpophyllia natans*

H) La nécrose rapide des tissus (Rapid Tissue Necrosis : RTN)

1) Clinique

Il s'agit d'une **dégradation très rapide des tissus** qui laissent derrière eux le squelette blanc du corail. Elle touche simultanément l'ensemble des branches ou bien se propage de branche en branche.

Scléractiniaire atteint par un épisode de nécrose rapide des tissus (Eric Borneman)

La vitesse de propagation est très rapide ; elle atteint plusieurs centimètres par jour.

Cette maladie est **extrêmement contagieuse** et se répand très rapidement ; elle peut anéantir en quelques heures ou jours la totalité des coraux d'un aquarium (Sprung. et Delbeek, 1999).

2) Etiologie

L'origine semble bactérienne, mais aucun agent pour le moment n'a été identifié.

3) Pathogénie

Inconnue.

4) Distribution géographique

Non connue et difficile à évaluer du fait de la rapidité d'évolution.

5) Espèces infectés

Elle touche uniquement les Scléractiniaires.

I) La maladie de la gelée brune (Brown Jelly)

1) Clinique

Les coraux atteints par cette maladie présentent une **nécrose de leurs tissus** et possèdent une **masse gélatineuse brune** en arrière des zones encore saines.

L'avancée peut atteindre **plusieurs centimètres par jours** (Delbeek et Sprung, 1996).

Maladie de la gelée brune chez un Alcyonaire (Eric Borneman)

Remarque : cette pathologie est **peut être associée à la maladie de la bande blanche** observée dans les récifs ; dans des conditions naturelles, l'action des vagues éliminerait la gelée, seul le front de nécrose serait visible (Delbeek et Sprung, 1996).

2) Etiologie

On suppose que **plusieurs organismes** sont associés dans cette maladie.

Un examen microscopique de cette gelée révèle la présence de nombreux protozoaires appartenant principalement à l'espèce ***Helicostoma nonatum*** ; on note aussi la présence de petits vers et de copépodes.

3) Pathogénie

Des bactéries ou des blessures sont à l'origine de l'infection ; il s'ensuit un **développement rapide des protozoaires** qui ingèrent une grande quantité de zooxanthelles ; leur action est complétée par celle de vers et de copépodes qui semblent être opportunistes.

4) Distribution géographique

Elle est observée **uniquement en aquarium**.

5) Espèces infectées

Elle touche de nombreuses espèces de coraux durs ; les genres *Euphyllia, Goniopora* et *Acropora* sont les plus sensibles à cette maladie.

De nombreux coraux mous sont également sujets à cette maladie ; il s'agit principalement de la famille de Nephtéidés et des genres *Anthelia, Cladiella* et *Xenia*.

Remarque : Elle touche aussi d'autres types d'organismes, notamment les anémones coloniales (*Zoanthus sp, Palythoa sp, Parazoanthus sp*).

J) Les anomalies de développement

Ce sont essentiellement des **néoplasies** et des **hyperplasies**.

Les espèces les plus fréquemment touchées sont : *Pseudoplexaura sp, Gorgonia ventalin, Platygyra sinensis, Porites sp, Acropora palmata.*

Néoplasie présente chez un *Acropora sp* (Eric Borneman)

Les maladies des coraux sont variées et plus ou moins bien documentées. Leur classification repose sur des critères macroscopiques subjectifs. Les causes sont connues dans quelques cas mais restent incertaines, voire inconnues, pour d'autres. Les principales maladies et leurs caractéristiques sont résumées dans le tableau suivant.

MALADIE	CLINIQUE	Espèces touchées
Blanchiment	**corail blanc avec des polypes transparents visibles**	**coraux symbiotiques mous et durs (++)**
Maladie des bandes noires	**bande noire avec de part et d'autre une zone saine et une zone blanche**	**coraux durs (++), coraux mous (*Silunaria sp*, gorgones)**
Maladie de la bande blanche	**bande blanche qui précède le tissu sain**	**coraux durs (++ pour les *Acropora sp*)**
Maladie des plages blanches	**perte massive de tissus, zones blanches ou atteinte entière du corail**	**coraux durs**
Aspergillose	**taches irrégulières avec perte de tissus +/- coloration intense autour**	**coraux mous (gorgones)**
Maladie des bandes jaunes	**bande de couleur jaune pâle avec de part et d'autre une zone saine et une zone blanche**	**coraux durs**
Maladie des bandes rouges	**bande rouge brique avec de part et d'autre une zone saine et une zone blanche**	**coraux durs, coraux mous (gorgones)**
Nécrose rapide des tissus	**dégradation très rapide des tissus sur l'ensemble du corail**	**coraux durs**
Maladie de la gelée brune	**masse gélatineuse brune avec de part et d'autre une zone saine et une zone blanche**	**coraux durs et coraux mous**
Anomalies de développement	**aspect anormal du tissu, présence de reliefs**	**coraux durs (*Porites sp*) et coraux mous (gorgones)**

II. LES PARASITES ET PREDATEURS

A) Les planaires

Elles appartiennent à l'embranchement des Plathelminthes et à la Classe des Turbellaria.

On distingue une quinzaine d'espèces différentes qui peuvent être parasites, commensaux, déprédateurs opportunistes, prédateurs ou encore détritivores.

Elles mesurent 5 à 10 mm et sont aplaties ventrodorsalement ; elles ont le plus souvent une tête arrondie et une queue fourchue.

Les **formes parasite**s se distinguent des autres par le fait qu'elles sont **toujours présentes sur leurs hôtes** ; elles sont généralement **gris clair à brun** et présentent souvent une **bande dorsale**.

Elles s'attaquent essentiellement aux **coraux mous et aux coraux durs à gros polypes** ; elles finissent par recouvrir la totalité de la surface du corail et entraînent sa mort. **On ne sait pas si la mortalité est dûe à l'action des vers ou à l'ombre qu'ils génèrent**.

B) Les mollusques

Cet embranchement comprend de **nombreuses espèces parasites et prédatrices**. Ce sont essentiellement des escargots, des ovules (gastéropodes qui ressemblent à des porcelaines) et des limaces (nudibranches). Parmi les escargots consommateurs de polypes, on peut citer :

- *Heliacus aerola,*
- *Philipia sp.*
- *Architectonica sp.*
- *Jenneria sp.*
- *Drupa sp.*
- *Drupella cornus* (« murex »).
- *Rapa rapa*
- *Coralliophila sp.*
- *Leptoconchus sp.*
- *Magilopsis sp.*
- *Magilus sp.*
- *Epitonium sp*. (il est de couleur rouge orange et se nourrit exclusivement de *Tubastraea sp*.)

***Epitonium sp* se nourrissant d'un polype de *Tubastrea sp*. (http//www.pnwscuba.com)**

Les ovules s'attaquent essentiellement aux coraux mous et aux gorgones. Les principaux parasites présents dans cette famille sont :

- *Cyphoma gibbosum* (« langue de flamant »)
- *Volva brevirostris*
- *Prionovolva sp.*
- *Simnia loebbeckeana*
- *Ovula ovum*
- *Diminovula sp.*

Les nudibranches appartiennent tous à la **sous-classe des Opistobranchia** et à l'**ordre des Nudibranchia**. La plupart d'entre eux ont un **régime alimentaire spécialisé** et s'attaquent à un type de coraux définis, avec lesquelles ils présentent un **mimétisme prononcé**. On peut citer :

- *Phylliodesmum sp*. (ils s'attaquent essentiellement aux coraux mous.)
- *Phestilla melanobrachia* (il se nourrit des colonies de *Tubastraea sp*.)
- *Dendronotus sp*.
- *Cuthona poritophages* (il s'attaque aux colonies de *Porites sp*.)
- *Tritonopsilla sp*. . (ils se nourrissent de coraux mous)
- *Tritonia sp.* (ils se nourrissent de coraux mous)
- *Marionopsis sp*. (ils se nourrissent de coraux mous)

C) Les Annélides polychètes

Ils sont représentés par des **espèces vermiformes dont le corps est segmenté**. Leur taille va de quelques millimètres à plusieurs centimètres.

Ils possèdent des soies plus ou moins nombreuses et de taille variable.

On distingue des formes errantes et des formes sédentaires ; seules les formes errantes présentent des espèces parasites. Celles ci possèdent une **trompe dévaginable** pourvue de puissantes mâchoires chitineuses. Leur action parasite s'exerce par **taraudage**, par **ingestion de polypes** ou encore par **perforation** des coraux.

Le plus connu des aquariophiles est le ver de feu, ***Hermodice carunculata*** ; il s'agit d'un prédateur qui s'attaque aux coraux durs et mous, mais aussi, aux anémones et aux gorgones.

D) Les crustacés

Les principales espèces nuisibles sont représentées par des **crevettes**.
Elles appartiennent à l'ordre des Décapodes.
Les plus connues sont :

- *Saron marmotus* (crevette « marbrée »)
- *Saron inermis*
- *Rhynchocinetes uritai* (crevette « bossue »)

***Rhynchocinetes uritai* (http//www.pnwscuba.com)**

Elles présentent un régime corallivore et exercent une action prédatrice sur les coraux.

E) *Acanthaster planci* (« coussin de belle mère »)

Il s'agit d'une **étoile de mer épineuse**.
Elle mesure 20 à 50 cm de diamètre et possède 11 à 12 bras en général.
Son poids varie entre **200 grammes et 3 kilos**.

***Acanthaster planci* dans son milieu naturel (http//www.pnwscuba.com)**

Elle présente un **régime corallivore**, chaque individu est capable de consommer **5 à 6 m^2 de corail par an** (Conand et Charpy, 2002) ; ainsi une agrégation de ces étoiles est capable de détruire **plusieurs km^2 par an de coraux**.

Depuis ces 20 dernières années, on assiste à une **pullulation** de l'espèce (= agrégation de plusieurs milliers d'individus qui persistent pendant plusieurs mois, voire des années, au niveau d'une zone délimitée) et à une **extension géographique de sa répartition.**

F) Les poissons corallivores

Les espèces qui s'attaquent aux coraux sont assez nombreuses.

Elles peuvent consommer, de façon directe, les polypes ou bien endommager les colonies en se nourrissant de microorganismes se réfugiant dans les coraux.

A titre d'exemple, on peut citer : les chaetodontinés (poissons papillons), les balistidés, les monacanthidés (poissons limes), les ostracionidés (poissons coffres) et les canthigastéridés.

Rhinecanthus aculeatus *Chaetodon trifasciatus*

Photographies de deux poissons au régime corallivore

(http//www.pnwscuba.com)

Les parasites et prédateurs des coraux sont très nombreux, ils sont de nature diverse et appartiennent à différents groupes. Les plus fréquents sont des plathelminthes, des mollusques, des vers, des échinodermes, des crustacés et les poissons corallivores. Ils présentent des régimes alimentaires différents et plus ou moins spécifiques en fonction des espèces ; ils sont responsables d'une bonne partie de la destruction des récifs et participent au remodelage des fonds marins.

III.LES PRESSIONS

A) Les pressions naturelles

Elles s'exercent indifféremment sur toutes les zones du récif.

1) Les cyclones

Les cyclones agissent par **effet mécanique**, ils sont responsables d'un déplacement d'eau et de matériaux qui sont projetés sur les communautés coralliennes. Il s'ensuit une destruction partielle ou totale des espèces touchées.

Ils jouent un rôle important en modifiant l'équilibre entre les espèces ; **les espèces branchues subissent en général des dommages plus importants que les coraux massifs ou encroûtants**.

Outre l'impact direct de destruction, dûe à la force des houles cycloniques, les cyclones ont un effet indirect en augmentant le transport de solides par les rivières. Cela provoque une augmentation de matériel terrigène en zone lagonaire et au débouché des rivières, ce qui est à l'origine d'une **asphyxie** des coraux.

La **phase d'après cyclone** est encore plus ravageuse, elle dure environ deux semaines et fait se succéder des **encombrements nuageux**, de **fortes précipitations** et un énorme **lessivage** des sols.

2) <u>Les précipitations</u>

Lorsqu'elles sont abondantes et prolongées (saison des pluies), elles entraînent des perturbations importantes.

Les pluies continentales s'additionnent à celles tombées directement dans l'eau de mer et provoquent :

- Une **baisse de salinité** : l'eau de mer est diluée avec de l'eau douce ; il en résulte une baisse de la différence de pression osmotique de part et d'autre des membranes cellulaires des différentes espèces et cela aboutit à des perturbations physiologiques importantes, pouvant aller jusqu'à la mort des coraux.

- Une **baisse de la pénétration de la lumière** : l'eau douce, moins dense que l'eau de mer, a tendance à rester en surface et à former une couche d'eau plus trouble. La turbidité, dûe à la **différence de l'indice de réfraction** des deux eaux, entraîne une baisse de la quantité de lumière reçue par les coraux.

- Un **dépôt de particules sédimentaires** : le lessivage des terres entraîne de grandes quantités de particules sédimentaires (terre, particules végétales, insecticides, résidus,

engrais) au niveau de la mer. Cela entraîne un **abrasion** des coraux, une **obstruction des pores** et un **filtrage de la lumière**.

3) Les changements globaux

Ils agissent de façon plus ou moins directe sur les récifs coralliens ; on peut citer :

- **l'augmentation du taux de CO_2 atmosphérique**
- **l'augmentation des températures de surface**
- **l'élévation du niveau de la mer**
- **l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des cyclones**

B) Les pressions anthropiques

Elles sont liées, de façon directe ou indirecte, à **l'action de l'homme** et présentent souvent une **action localisée** notamment au niveau de la **frange littorale**.

1) La sédimentation

Il s'agit de la **première cause de dégradation des récifs** à l'échelle mondiale. Elle a plusieurs origines.

✓ L'**érosion mécanique** des sols est une **caractéristique naturelle** des îles tropicales jeunes. Mais toute action de l'homme qui conduit à la **destruction du couvert végétal,** renforce cette dégradation. Les causes majeures d'érosion sont :

- la déforestation
- les mauvaises pratiques agricoles
- l'urbanisation des pentes et du littoral
- l'exploitation minière
- les terrassements en montagne

Les apports sédimentaires induisent de profondes modifications du profil littoral et la dégradation des récifs frangeants. Les sédiments sont responsables de l'**étouffement** des coraux et des organismes sessiles ainsi que de l'**augmentation de la turbidité** de l'eau, ce qui entraîne une **diminution de la quantité de lumière** reçue. Ils exercent également une **abrasion** des tissus par le frottement.

- ✓ Les **dragages** des récifs frangeants sont réalisés soit pour **l'extraction de granulats coralliens** (afin de construire des routes ou des logements), soit pour la réalisation **d'aménagements maritimes** comme les ports ou les chenaux de navigation.

L'impact de ces dragages est double : le site d'extraction est détruit de façon quasi irréversible et la zone aux alentours est fortement perturbée par la mise en suspension d'une quantité importante de sédiments à l'origine de l'**eutrophisation** du milieu.

2) <u>La pollution des eaux</u>

Les pollutions domestiques et agricoles provoquent un enrichissement artificiel des eaux côtières en **phosphates** et **nitrates** provoquant des phénomènes d'**eutrophisation** qui **induisent une baisse de la calcification et favorisent la multiplication d'algues et de divers organismes en concurrence directe avec les coraux**.

Les principaux polluants chimiques sont les **hydrocarbures**, des **détergents**, des **métaux lourds** et des **pesticides**. Il est intéressant de noter que **les produits traitant les hydrocarbures (dispersants et détergents) sont plus toxiques que les hydrocarbures eux mêmes**.

3) <u>L'exploitation des ressources naturelles</u>

- ✓ Certaines **techniques de pêche** peuvent se révéler destructrices :

  - Filets maillants
  - Fusils sous marins
  - Pêche au caillou
  - Pêche à la dynamite

- Empoisonnement (Cyanure de sodium, futu, uruva)
- Trémail
- Senne
- Pêche à la gaulette
- Barre à mine

✓ Une **mauvaise gestion des ressources naturelles** peut entraîner la disparition d'espèces.

Les causes sont diverses :

- méthodes de pêche destructrices
- exploitation intensive d'espèces peu ou pas mobiles
- exploitation intensive d'espèces rares ou endémiques
- exploitation intensive des ressources halieutiques et déséquilibre des peuplements avec un effet indirect sur les coraux (par exemple une raréfaction des poissons herbivores entraîne une augmentation de la quantité d'algues)

✓ Les **activités humaines** sur les récifs ont un impact considérable ; par ordre décroissant de gravité on trouve :

- Le piétinement : il est exercé par toute personne qui va marcher sur le récif avec des chaussures (locaux, pêcheurs, touristes).Ils entraînent l'abrasion des tissus et la **destruction directe de colonies**.

- La plongée : elle exerce une action non négligeable sur les récifs, les principaux responsables sont les utilisateurs de palmes et le port de gants.

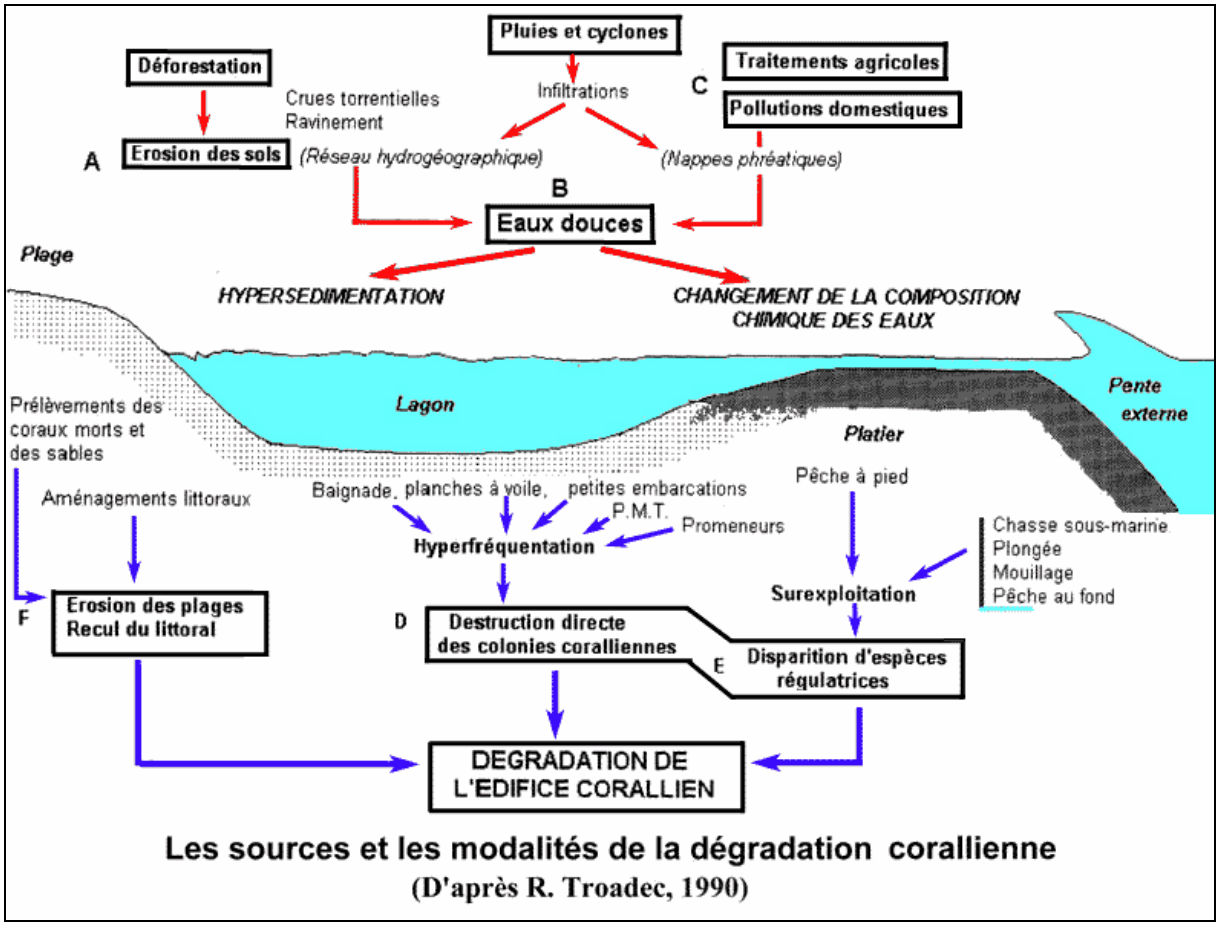
- La voile, le canoë, le surf et tout autre engin motorisé entraînent le « rasage » des coraux.

- La collecte de coraux vivants ou morts par des particuliers.

- Les ancres : lors de l'amarrage, elles entraînent « l'explosion » de massifs coralliens. Afin de préserver les zones de mouillage, quelques îles mettent en place

des corps morts bétonnés, ainsi les bateaux n'ont plus qu'à s'amarrer aux bouées en surface sans risque de lâcher l'ancre sur des coraux.

Les pressions ont un effet délétère important sur les fonds marins ; elles peuvent être naturelles ou anthropiques c'est-à-dire liées à l'action de l'homme. Les pressions naturelles s'exercent sur toutes les zones des récifs ; elles comprennent les cyclones, les précipitations et les changements globaux. Les pressions anthropiques ont une action souvent localisée, en particulier au niveau de la frange littorale ; on distingue la sédimentation qui est la première cause de dégradation des récifs, la pollution des eaux et une mauvaise exploitation des ressources naturelles.



Les sources et les modalités de la dégradation corallienne
(D'après R. Troadec, 1990)

Schéma récapitulatif des pressions subies par les coraux (R. Troadec)

CONCLUSION

Longtemps considérés comme appartenant au règne végétal, les coraux sont des animaux marins qui appartiennent à l'embranchement des Cnidaires. Les coraux durs disposent d'un squelette calcaire rigide alors que les coraux mous sont capables d'onduler dans les courants.

En dépit de leur apparente hétérogénéité, ils sont tous constitués de un ou plusieurs polypes associés qui forment la colonie. La majeure partie des coraux sont capables d'utiliser l'énergie lumineuse grâce à leur symbiose avec des algues unicellulaires : les zooxanthelles. Ils ont également la capacité de se nourrir via l'ingestion et la digestion de végétaux et d'animaux présents dans leur environnement. Leur priorité est la lutte pour l'espace et la conquête de nouveaux territoires, elle est effective grâce à de multiples procédés de défense et de propagation.

Depuis quelques années, on assiste à une augmentation rapide et sévère de la dégradation des récifs coralliens ; les causes sont nombreuses, diverses et plus ou moins liées entre elles ; elles incluent les maladies et la prédation, les changements globaux et l'impact de l'homme. Face à cette situation de plus en plus critique, il est urgent de mettre en place des structures capables d'enregistrer et d'uniformiser les informations recueillies au niveau mondial, ceci afin de pouvoir envisager des mesures curatives et défensives efficaces.

Professeur responsable
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon
Lyon

Le Président de la thèse

Vu et permis d'imprimer

Lyon. le 28 MARS 2007

Pour Le Président de l'Université
Le Président du Comité de Coordination
Des Etudes Médicales

Professeur F.N GILLY

Vu : Le Directeur
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de

Pour le Directeur et par délégation,
LA DIRECTRICE DE L'ENSEIGNEMENT

Professeur Françoise GRAIN

BIBLIOGRAPHIE

ACERET T.L., SAMMARCO P.W., COLL J.C. (1995)
Toxic effects of alcyonacean diterpenes on scleractinian corals. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 188, 63-78

ALLEMAND D., FERRIER-PAGES C., FURLA P., HOULBREQUE F., PUVEREL S., REYNAUD S., TAMBUTTE E., TAMBUTTE S., ZOCCOLA D. (2004)
Biomineralisation in reef-building corals: from molecular mechanisms to environmental control. C.R. Palévol, 3, 453-467

ALLEMAND D., TAMBUTTE E., GIRARD J.P., JAUBERT J. (1998)
Organic matrix synthesis in the scleractinian coral *Stylophora pistillata*: role in biomineralisation and potential target of the organotin tributylin. J. Exp. Biol., 201, 13, 2001-2009

ANONYME. (page consultée le 26 Décembre 2004). The chemical and biochemical mechanisms of calcification, [en ligne]. Adresse URL: http://www.advancedaquarist.com

ANTHONY K.R.N., FABRICIUS K.E. (2000)
Shifting roles of heterotrophy and autotrophy in coral energetics under varying turbidity. J. Exp. Biol., 252, 221-253

BANIN E., VASSILAKOS D., ORR E., MARTINEZ R.J., ROSENBERG E. (2003)
Superoxide dismutase is a virulence factor produced by the coral bleaching pathogen *Vibrio shiloi*. Curr. Microbiol., 46, 6, 418-422

BANIN E., KHARE S.K., NAIDER F., ROSENBERG E. (2001)
A proline-rich peptide from the coral pathogen *Vibrio shiloi* tha inhibits photosynthesis of zooxanthellae. Appl. Environ. Microbiol., 67, 1536-1541

BERKELMANS R., WILLIS B.L. (1999)
Seasonal and local spatial patterns in the upper thermal limits of corals and the inshore Central Greet Barrier reef. Coral Reefs, 18, 219-228

BRUCKNER A.W. (2002)
Priorities for Effective Management of Coral Diseases. NOAA National Marine Fisheries Service, Silver Spring, 57 pp

CONAND C., CHARPY L. (page consultée le 2 Février 2007). Les Acanthaster, [en ligne]. Adresse URL : http://www.com.univ-mrs.fr/IRD/atollpol/ecorecat/acantha.htm

CUIF J.P., DAUPHIN Y., DENIS A., GAUTRET P., MARIN F. (1996)
The organo-mineral structure of coral skeletons: a potential source of new criteria for Scleractinian taxonomy. Bull. Inst. Ocean. Monaco, 14, 4, 359-367

CUIF J.P., DAUPHIN Y., FREIWALD A., GAUTRET P., ZIBROWIUS H. (1999)
Biochemical markers of zooxanthellae symbiosis in soluble matrices of skeleton of 24 Scleractinia species. Comparative Biochemistry and Physiology, 123, 269-278

DELBEECK J.C., SPRUNG J. (1998)
L'aquarium récifal, Volume 1.Ricordea Publishing, Floride, 544 pp

DOUGLAS A.E. (2003)
Coral bleaching-how and why? Mar.Pollut. Bull., 46, 385-392

FERRIER-PAGES C., BOISSON F., ALLEMAND D., TAMBUTTE E. (2002)
Kinetics of strontium uptake in the scleractinian coral *Stylophora pistillata.* Mar. Ecol. Prog. Ser., 245, 93-100

GAUTRET P. (2000)
Matrices organiques intrasquelettiques des Scléractiniaires récifaux: évolution diagénétique précoce de leurs caractéristiques biochimiques et conséquences pour les processus de sédimentation. GEOBIOS, Villeurbanne, le 29.02.2000, 73-78 (à verrifier)

GRASSE P.P., DOUMENC D., BEAUVAIS L., CHEVALIER J.P., HERBERTS C., LAFUSTE J., SEMENOFF-TIAN-CHANSKY P., SHELTON G.A.B., TIFFON Y., TIXIER-DURIVAULT A., VAN-PRAET M. (1987)
Traité de Zoologie. Anatomie, Systématique, Biologie. Tome III Fascicule III. Cnidaires Anthozoaires. MASSON, Paris, 859 pp

GREEN E.P., BRUCKNER A.W. (2000)
The signifiance of coral disease epizootiology for coral reef conservation. Biol.Conserv., 96, 347-361

HOEGH-GULDBERG O. (1999)
Climate change, coral bleaching and the world's coral reef. Mar. Freshw. Res., 50, 839-866

HOWE S.A., MARSHALL A.T. (2002)
Temperature effects on calcification rate and skeletal deposition in the temperate coral, *Plesiastrea versipora*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 275, 63-81

ISRAELY T., BANIN E., ROSENBERG E. (2001)
Growth, differentiation and death of *vibrio shiloi*. Coral tissue as a seawater temperature. Aquat. Microb. Ecol., 24, 1-8

JIMENEZ C., CORTES J., RUIZ E. (2001)
Coral bleaching and mortality associated with the 1997-1998 El Niño in an upwelling environment in the eastern Pacific (Gulf of Papagayo, Costa rica). Bull. Mar. Sci., 69, 457-468

KUSHMARO A., FINE M., LOYA Y., ROSENBERG E. (1997)
Bleaching of the coral *Oculina patagonica* by *Vibrio* AK-1. Mar. Ecol. Prog. Ser., 147, 159-165

LECLERC N. (1993)
Effet de l'éclairement et de la nutrition sur la croissance de microcolonies de deux Scléractiniaires à Zooxanthelles : *Stylophora pistillata* et *Galaxea fascicularis*. Mémoire de maîtrise de biologie, Université Claude Bernard, Lyon, 58pp

LECLERC N., FOURNIER S. (2003)
La nutrition des Anthozoaires. Aquaplaisir, 74, 55-59

LESAGE F., FINET B. (page consultée le 12 Février 2005). Des couleurs plein les yeux-Les acteurs de la coloration, [en ligne]. Adresse URL: http//www.recifs.org

MARSHALL A. T. (1996)
Calcification in hermatypic and ahermatypic corals. Science, 271, 637-639

McCONNAUGHEY T.A., WHELAN J.F. (1997)
Calcification generates proton for nutrient and bicarbonate uptake. Earth-Sci., 42, 95-117

PECHEUX M. (page consultée le 29 Novembre). Review on coral reef bleaching, [en ligne].Adresse URL:http//www.mars.reefkeepers.net/USHomePage:USArticles/bleaching/

POIRAUD-LAMBERT F. (page consultée le 11 Novembre2004). Reproduction du corail, [en ligne]. Adresse URL: http//www.mars.reefkeepers.net

POIRAUD-LAMBERT F. (page consultée le 11 Novembre). Maladies des coraux, [en ligne]. Adresse URL: http//www.mars.reefkeepers.net

RICHARDSON L.L. (1998)
Coral diseases: what is really known?
Trends Ecol. Evol., 13, 438-443

RITCHIE K.B., SMITH G.W. (1998)
Red Band Disease. Rev. Trop. Biol., 46, 199-203

ROUGERIE F., SALVAT B., TATARATA- COURAUD M. (1992)
La mort blanche des coraux. Recherche, 23, 245, 826-834

SPRUNG J. (1999)
Le blanchiment des coraux. Aquaplaisir, 46, 59-60

SPRUNG J., DELBEECK J.C. (1999)
L'aquarium récifal, Volume 2. Ricordea publishing, Floride, 546 pp

STIMSON J. (1997)
The annual cycle of density of zooxanthellae in the tissues of field and laboratory-held *Pocillopora damicornis*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 214, 35-48

STRYCHAR K.B., COATES M., SAMMARCO P.W (2005)
Loss of *Symbiodinium* from bleached soft corals *Sarcophyton ehrenbergi, Silunaria sp, Xenia sp*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 320, 159-177

STRYCHAR K.B., COATES M., SAMMARCO P.W., PIVA T.J. (2004)
Bleaching as a pathogenic response in Scleractinian corals, evidenced by high concentrations of apoptotic and necrotic zooxanthellae. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 304, 99-121

SUSSMAN M., LOYA Y., FINE M., ROSENBERG E. (2003)
The marine fireworm *Hermodice carunculata* is a winter reservoir and spring-summer vector for the coral-bleaching pathogen *Vibrio shiloi*. Environ. Microbiol., 5, 250-255

TAMBUTTE E., ALLEMAND E., MUELLER D., JAUBERT J. (1996)
A comportmental approach to the mechanism of calcification in hermatypic corals. J. Exp. Biol., 199, 1029-1041

TAMBUTTE E., ALLEMAND D., BOURGE I., GATTUSO J.P., JAUBERT J. (1995)
An improved ^{45}Ca protocol for investigating physiological mechanisms in coral calcification. Mar. Biol., 122, 453-459

WESTMACOTT J.M., TELEKI K., WELLS S., WEST J.M. (2000)
Gestion des récifs coralliens blanchis et gravement endommagés. UICN, 36pp

AUTRES SOURCES D'INFOMATIONS POUR APPROFONDIR LE SUJET

Centre scientifique de Monaco. (page consultée le 29 septembre 2004). Le corail tropical, [en ligne]. Adresse URL: http://www.centrescientifique.mc/csmfr/corail_tropical.php

FONTAYNE A. (page consultée le 20 Février 2005). Le blanchiment des coraux par des organismes pathogènes, [en ligne]. Adresse URL: http://www.recifduvendredi.org

Futura-Sciences. (page consultée le 27 Décembre 2004). Les coraux en danger ! [en ligne]. Adresse URL: http://www.futura-sciences.com/comprendre/d/dossier255-5.php

IKBS. (page consultée le 27 septembre 2004).Coraux des Mascareignes, [en ligne]. Adresse URL : http://coraux.univ-reunion.fr

National Oceanic and Atmospheric Administration. (page consultée le 2 Février 2007). Diseases of reef building corals, [en ligne]. Adresse URL : http://www.coral.noaa.gov

Récifs org. (page consultée le 29 septembre 2004). Les animaux dans leur environnement, [en ligne]. Adresse URL : http ://www.recifs.org

Récif France. (Page consultée le 28 septembre 2004). L'aquariophilie marine à la portée de tous, [en ligne]. Adresse URL : http://www.recif-france.com

SCHLICHTER D. (page consultée le 29 septembre 2004). Nutrition et production des carbonates chez les Scléractiniaires, [en ligne]. Adresse URL : http:www.aquarium32.com/FR/Articles/Eaudemer/Gazette/Gazette75/nutrition.htm

SOLER C. (page consultée le 28 septembre 2004). Les zooxanthelles : physiologie et rôle dans le métabolisme et la calcification des coraux, [en ligne]. Adresse URL : http//perso.wanadoo.fr/mika.dit.kl/html/Coraux SavoirZooxanthelles.htm

SOLER C. (Page consultée le 28 septembre 2004).Urgence sur les récifs : leur santé est en péril ! [en ligne]. Adresse URL : http//perso.wanadoo.fr/mika.dit.kl/html/Coraux Dangers.htm

GLOSSAIRE

Alcyonacea- Sous-classe des Octocoralliaires, classe des Anthozoaires, embranchement des Cnidaires. Comprend les coraux mous et les gorgones.

Anthocodie- Long tube cylindrique qui relie le polype à la colonie.

Anthozoaires- Littéralement « animal fleur ». Ils représentent l'une des quatre classes des Cnidaires et sont subdivisés en deus sous-classes : les Octocoralliaires et les Hexacoralliaires. Les anthozoaires ne comportent que le stade polype dans leur cycle biologique.

Autozoïdes- Polypes typiques des coraux mous. Assurent la capture des proies et contribuent à la réalisation de la photosynthèse.

Azooxanthellé- Qui ne possède pas de zooxanthelles. Les coraux azooxanthellés tirent leur énergie uniquement à partir de leur alimentation.

Blanchiment- Voir blanchissement.

Blanchissement- Perte de coloration des coraux, consécutif à l'expulsion des zooxanthelles ou des pigments photosynthétiques. Le tissu est vivant et transparent ; il laisse transparaître la blancheur du squelette.

Cnidaire- Embranchement d'organismes eucaryotes (cellule à noyau) métazoaires (état pluricellulaire). Ils se présentent sous l'aspect d'un sac, à une seule ouverture, qui fait office à la fois de bouche et d'anus ; cet orifice est entouré par des tentacules.

Cnidoblaste (ou nématocyste)- Type cellulaire qui caractérise l'embranchement des Cnidaires. Cette cellule, hautement spécialisée, sert à la capture des proies et à la protection de l'organisme.

Cnidocyste- Capsule contenant un filament urticant et du venin. Participe à la capture des proies chez les Cnidaires.

Colonie- Ensemble d'individus qui vivent en étroite relation les uns avec les autres et qui sont formés par le bourgeonnement d'un organisme initial.

Cœnosarque- Tissu qui relie les polypes coralliens entre eux et qui permet ainsi à l'ensemble des polypes de se comporter comme une réelle colonie.

Corail- Nom imprécis qui recouvre une large gamme d'organismes marins appartenant tous à l'embranchement des Cnidaires. Ils appartiennent principalement à la classe des Anthozoaires (coraux mous, gorgones, coraux durs, corail bleu) mais également à celle de Hydrozoaires (corail de feu).

Dinoflagellés- Eucaryotes unicellulaires qui possèdent deux flagelles perpendiculaires l'un à l'autre. Ceux rencontrés chez les Cnidaires appartiennent tous au genre *symbiodinium*.

Eutrophisation- Modification des écosystèmes aquatiques, dûe à un enrichissement en nutriments et se traduisant par l'augmentation de la production d'algues ainsi que par la baisse de la transparence des eaux.

Filaments mésentériques- Cordons, épais et globuleux, présents à l'intérieur de la cavité gastrovasculaire. Ils permettent de créer un courant dans le polype et contribuent à la digestion des proies.

Hexacoralliaire- Sous-classe des Anthozoaires dont la bouche est entourée par un multiple de six tentacules. Ils peuvent être solitaires ou coloniaux. Cette sous-classe comporte les coraux durs (Scléractiniaires), les anémones, les cérianthes et les Zoanthaires.

Mésentéroïdes- Cloisons radiaires présentes dans la cavité gastrovasculaire des coraux.

Mésoglée- Couche gélatineuse contenant 90% d'eau, du collagène et des fibres élastiques. Elle sépare l'ectoderme de l'endoderme et offre élasticité et rigidité au polype.

Nématocyste- Voir cnidoblaste.

Octocoralliaire- Sous-classe des Anthozoaires dont la bouche est entourée d'un multiple de huit tentacules pennés (petites extensions des tentacules disposées en deux rangées). Ils sont tous coloniaux. Cette sous-classe comporte les coraux mous (Alcyonaires), les gorgones, le corail bleu (Hélioporidés), les plumes de mer (Pennatulidés) et les orgues de mer (Stolinifères).

Polype- Constitue l'unité de base du corail. C'est une vésicule fixe qui possède un seul orifice (faisant office de bouche et d'anus) entouré par une ou plusieurs rangées de tentacules. La bouche aboutit dans la cavité gastrovasculaire

Scléractiniaire- Sous-classe des Hexacoralliaires, classe des Anthozoaires, embranchement des Cnidaires. Ils représentent la totalité des coraux durs et sont caractérisés par la présence d'un squelette.

Sclérite (ou spicule)- Elément squelettique calcaire, présent dans le tissu des coraux mous, permettant une certaine rigidité dans les courants et assurant un moyen de défense physique contre les prédateurs.

Scléroblaste- Cellule spécialisée qui forme les sclérites.

Siphonoglyphe- « gouttière », bordée de cellules ciliées, présente au niveau de l'extrémité ventrale du pharynx. Elle est présente uniquement chez les coraux mous et assure la circulation de l'eau au niveau de la cavité gastrique.

Siphonozoïdes- Polypes de petite taille, présents chez certains coraux mous, assurant la circulation de l'eau au niveau de la colonie.

Solénia- Réseau, de canaux endodermiques présents dans la mésoglée, qui permet la communication des polypes entre eux.

Spicule- Voir sclérite.

Stomodeum- Nom donné au pharynx des Cnidaires.

Symbiose- Association, durant pendant au moins un partie du cycle biologique, entre deux ou plusieurs organismes distincts. Permet une meilleure adaptation physiologique au milieu ainsi que l'acquisition de nouveaux gènes par transfert latéral.

Symbiote- Partenaire d'une symbiose. Le plus grand des organismes est appelé hôte et le plus petit symbiote.

Zooxanthelle- Voir Dinoflagellés.

Julien Vimal

Titre : PHYSIOPATHOLOGIE DES CORAUX

Thèse Vétérinaire : Lyon, Jeudi 03 Mai 2007

RESUME :

Longtemps considérés comme appartenant au règne végétal, les coraux sont des animaux marins qui appartiennent à l'embranchement des Cnidaires. Les coraux durs disposent d'un squelette calcaire rigide alors que les coraux mous sont capables d'onduler dans les courants.

En dépit de leur apparente hétérogénéité, ils sont tous constitués de un ou plusieurs polypes associés qui forment la colonie. La majeure partie des coraux sont capables d'utiliser l'énergie lumineuse grâce à leur symbiose avec des algues unicellulaires : les zooxanthelles. Ils ont également la capacité de se nourrir via l'ingestion et la digestion de végétaux et d'animaux présents dans leur environnement. Leur priorité est la lutte pour l'espace et la conquête de nouveaux territoires, elle est effective grâce à de multiples procédés de défense et de propagation.

Depuis quelques années, on assiste à une augmentation rapide et sévère de la dégradation des récifs coralliens ; les causes sont nombreuses, diverses et plus ou moins liées entre elles ; elles incluent les maladies et la prédation, les changements globaux et l'impact de l'homme. Face à cette situation de plus en plus critique, il est urgent de mettre en place des structures capables d'enregistrer et d'uniformiser les informations recueillies au niveau mondial, ceci afin de pouvoir envisager des mesures curatives et défensives efficaces.

MOTS CLES :
- Blanchissement
- Calcification
- Cnidaire
- Corail
- Récif
- Symbiose
- Zooxanthelle

JURY :

Président :	Monsieur le Professeur Gharib
1er Assesseur :	Monsieur le Professeur Berny
2ème Assesseur :	Madame le Professeur Egron

DATE DE SOUTENANCE :

Jeudi 3 Mai 2007

ADRESSE DE L'AUTEUR : 22 rue Grolée
69002 Lyon