

environnement et biodiversité
d'un microcosme océanique

Loïc Charpy (coordinateur)

clipperton



PATRIMOINES NATURELS

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES DU MUSÉUM
IRD ÉDITIONS

Clipperton

environnement et biodiversité d'un microcosme océanique

Loïc Charpy* (coordinateur)

(* IRD, UR 167 - Centre d'Océanologie de Marseille
rue de la Batterie des Lions
13007 Marseille - France
loic.charpy@univmed.fr

Publications scientifiques du Muséum national d'Histoire naturelle
IRD Éditions

Cette publication constitue le volume **68** de la collection Patrimoines Naturels

Directeur de la publication : Bertrand-Pierre Galey
Directeur général du Muséum national d'Histoire naturelle

Rédacteur en chef : Jacques Trouvilliez
Secrétaire de rédaction : Gwénaëlle Chavassieu

Photos 1^{re} de couverture :

a
b
c

 a : vue cocoteraie, lagon et Pacifique (photo C. Fresser)
b : fous masqués (photo L. Charpy)
c : vue aérienne intégrale de l'atoll (photo C. Fresser)

Photos 4^e de couverture :

d	e	f	g
---	---	---	---

 d : *Gecarcinus planatus* Stimpson, 1860 (photo L. Charpy)
e : fous masqués (photo L. Charpy)
f : échantillon de corail du genre *Pocillopora* (photo J.-F. Flot)
g : *Hymenocera picta* Dana, 1852 (photo G.-R. Allen)

Design : Catherine Lasnier

ISSN 1281-6213
ISBN MNHN 978-2-85653-612-4
ISBN IRD 978-2-7099-1660-8

© Publications scientifiques du MNHN, Paris ; IRD, Marseille - 2009

Cet ouvrage doit être référencé comme suit :
CHARPY L. (coord.) 2009. — *Clipperton, environnement et biodiversité d'un microcosme océanique*. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris ; IRD, Marseille, 420 p. (Patrimoines naturels ; 68).

Table des matières

PRÉFACE	7
Fondation Total	
INTRODUCTION	9
De la découverte de l'île de Clipperton à nos jours	11
Jean-Louis Étienne	
Les grands questionnements et les expéditions scientifiques	17
Loïc Charpy, Marie-Josée Langlade	
L'ÎLE	21
Origine, situation et traits morphologiques généraux de l'île	23
Jean Trichet	
Évolution holocène, diagenèse carbonatée et sédimentation phosphatée	29
Françoise Bourrouilh-Le Jan	
Variations du niveau de la mer et du lagon	49
Laurent Testut, Gwénaële Jan, Antoine Guillot, Stéphane Calmant	
Un site test pour le mouvement tectonique absolu de la plaque Pacifique	55
Stéphane Calmant, Nicolas Bergeot, Marie-Noëlle Bouin	
Contexte océanographique	61
Martine Rodier, Loïc Charpy	
Biogéochimie du lagon	67
Loïc Charpy, Martine Rodier, Gérard Sarazin	
LES COMMUNAUTÉS PLANCTONIQUES	81
Le picoplancton photosynthétique	83
Loïc Charpy, Gérald Gregori, Martine Rodier	
Les virus planctoniques du lagon	89
Yvan Bettarel	
Les micro-algues	93
Alain Couté, Caroline Loez-Bley, Catherine Perrette-Gallet	
Le zooplancton	111
Marc Pagano	
Les punaises marines <i>Halobates</i>	119
Romain Garrouste, Lanna Cheng	
LES COMMUNAUTÉS DE LA PENTE EXTERNE ET DU PLATIER	127
La flore marine du complexe récifal et quelques aspects de la biodiversité et de la géomorphologie de l'île	129
Claude Payri, Jean-Louis Menou, Antoine N'Yeurt	
Les poissons	143
Philippe Béarez, Bernard Séret	
Les coraux	155
Jean-François Flot, Mehdi Adjeroud	
Les crustacés décapodes et stomatopodes, inventaire, écologie et zoogéographie	163
Joseph Poupin, Jean-Marie Bouchard, Laurent Albenga, Régis Cleva, Margarita Hermoso-Salazar, Vivianne Solís-Weiss	
En encadré : présence de deux sous-espèces de crevette <i>Alpheus lottini</i> à Clipperton	172
Alain Van Wormhoudt	

Les mollusques	217
Kristie-L. Kaiser	
Les échinodermes	235
Francisco-A. Solís-Marín, Alfredo Laguarda Figueras	
Les annélides polychètes de la cryptofaune benthique associée au corail mort	249
Vivianne Solís-Weiss, Pablo Hernández Alcántara	
Les bryozoaires	271
Jean-Loup d'Hondt	
LE MILIEU TERRESTRE	277
Un état des lieux de la flore et de la végétation terrestres et dulcaquicoles	279
Alain Couté, Romain Garrouste	
Existe-t-il un transport pollinique vers Clipperton?	297
Denis-Didier Rousseau, Patrick Schevin, Jackie Ferrier, Marie-Pierre Ledru, Danielle Duzer	
La faune des insectes	309
Romain Garrouste, Christophe Hervé	
Les arachnides	325
Christophe Hervé, Romain Garrouste	
Éléments d'écologie et nouveau recensement de la population du crabe terrestre <i>Gecarcinus planatus</i> Stimpson, 1860 (Decapoda : Brachyura)	333
Jean-Marie Bouchard, Joseph Poupin	
Les reptiles terrestres ou comment survivre en devenant "vampires"	347
Ivan Ineich, Sandrine Berot, Romain Garrouste	
L'avifaune et l'écologie des oiseaux marins	381
Henri Weimerskirch, Matthieu Le Corre, Charles-André Bost, Lisa T. Ballance, Robert L. Pitman	
Les vertébrés de Clipperton soumis à un siècle et demi de bouleversements écologiques	393
Olivier Lorvelec, Michel Pascal	

Les communautés

planctoniques



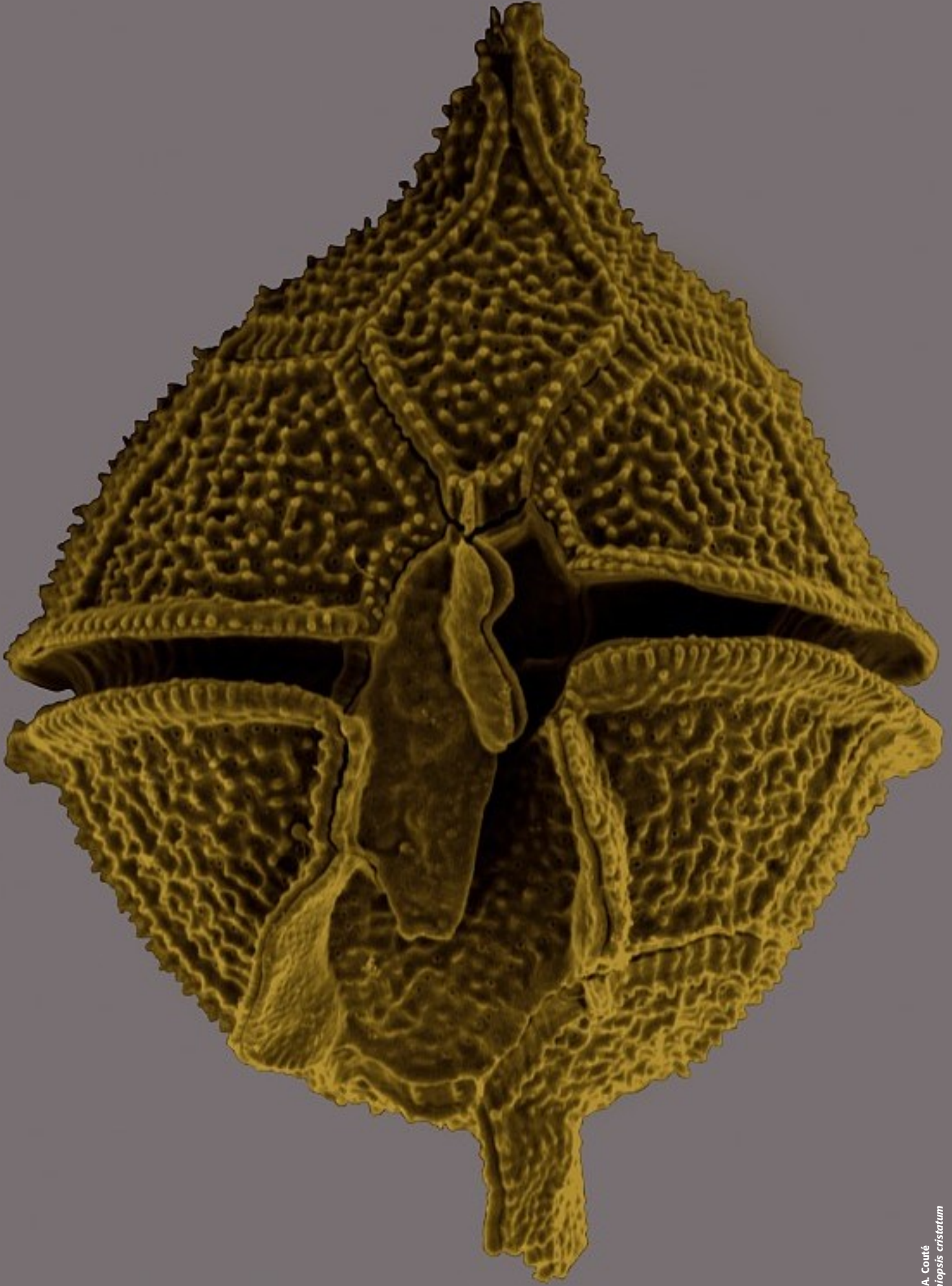


Photo A. Couté
Peridiniopsis cristatum

Les micro-algues

Alain Couté, Caroline Loez-Bley, Catherine Perrette-Gallet

Résumé

Après avoir dressé le bilan des rares études qui ont concerné les micro-algues du lagon de Clipperton, les auteurs évoquent les résultats préliminaires qu'ils ont obtenus sur les échantillons récoltés par l'un d'entre eux (AC) en février 2005. Ils font état de 49 nouveautés dont 13 Cyanophytes (= cyanobactéries) et 20 Chlorophytes (= algues vertes). Avec les 37 taxons déjà connus du lagon (huit seulement ont été retrouvés) dont un endémique (*Peridiniopsis cristatum*, Dinophytes), la composition de la microflore algale du site est plus que doublée atteignant désormais au moins 86 taxons différents. Les auteurs apportent aussi les premières informations sur le phytoplancton et le phytobenthos marins qui semblent dominés, pour la période concernée (février 2005), par les Dinophytes dont plusieurs taxons identifiés sont connus comme toxigènes potentiels (*Dinophysis*, *Ostreopsis*, *Prorocentrum*...). De nouvelles récoltes réalisées au cours d'autres périodes de l'année permettraient certainement d'augmenter encore la connaissance de ces micro-organismes photosynthétiques pour l'atoll de Clipperton.

Abstract

After summarizing the rare studies that have concerned the microalgae of Clipperton lagoon, the authors evoke the preliminary results obtained with the collections sampled by one of them (AC) in February 2005. These include 49 new taxa among which 23 Cyanophyta (= cyanobacteria) and 20 Chlorophyta (= green algae). Added to the 37 taxa previously recorded in the lagoon of which one is endemic (*Peridiniopsis cristatum*, Dinophyta), the algal microflora composition is more than doubled to 86 different taxa. The authors also give the first data about marine phytoplankton and phytobenthos. During the sampling period Dinophyta appeared to be predominant and among the identified taxa some are well known as potential toxin producers (*Dinophysis*, *Ostreopsis*, *Prorocentrum*...). New samples taken during other periods of the year would no doubt improve our knowledge of these photosynthetic microorganisms.

INTRODUCTION

Pourquoi aller si loin, à Clipperton, îlot français dont le nom sonne plus britannique que gaulois, pour chercher la "petite bête", autrement dit la micro-algue? Avant d'apporter une ou deux réponses à cette question, il est bon de définir ce que sont les micro-algues et quels sont les rôles qu'elles jouent dans la nature et qui justifient l'intérêt qu'on peut leur porter.

Ce sont de petits végétaux constitués, le plus souvent, d'une seule cellule (=unicellulaires) ou d'un nombre limité de cellules (=pluricellulaires), avec dans ce dernier cas, des organisations très diversifiées. La majeure partie d'entre eux réalise la photosynthèse qui leur permet de vivre pratiquement en autonomie (on les qualifie d'autotrophes) en utilisant la lumière du soleil, le gaz carbonique de l'atmosphère, les nutriments disponibles dans l'eau et la chlorophylle, pigment qu'ils élaborent eux-mêmes. Cette capacité les rend aptes à synthétiser toutes les molécules qui leur sont nécessaires, en commençant par les sucres (=hydrates de carbone). Au cours de l'évolution, certaines micro-algues ont perdu l'aptitude à synthétiser la chlorophylle mais

ont conservé les chaînes de biosynthèse que cette dernière stimule. À partir de matières organiques dissoutes dans l'eau qu'elles peuvent absorber et métaboliser (on les qualifie alors d'hétérotrophes), elles génèrent les mêmes molécules que les précédentes et qui sont propres au règne végétal. Ceci explique qu'elles demeurent classées dans les végétaux (tel est le cas, entre autres, de certaines Euglénophytes).

Les caractères utilisés à l'heure actuelle pour identifier ces micro-organismes, sont variés. On peut ainsi tenir compte en premier lieu de leur écologie, les milieux qu'ils colonisent étant très diversifiés. En effet, on les rencontre aussi bien dans les eaux arctiques ou antarctiques, que dans les eaux thermales ou volcaniques, dans des lacs hypersalés comme dans des milieux pauvres en sels dissous. Ils colonisent aussi des eaux polluées (matières organiques, métaux lourds, substances toxiques...), des substrats non aquatiques (trunks d'arbres, murs, monuments...), des zones cavernicoles. Ils s'associent même à d'autres organismes (végétaux, champignons ou animaux) constituant des associations profitables aux différents partenaires (=symbiose) ou parasitant leur hôte.

En second lieu, on peut classer les micro-algues en utilisant comme caractère principal leur aptitude à se déplacer dans le milieu. Si bon nombre d'entre elles sont immobiles, d'autres sont douées de mouvements soit parce qu'elles possèdent, dans leur cytoplasme, des protéines contractiles, voisines de celles des muscles, soit parce qu'elles sont équipées de petites structures périphériques appelées flagelles qui, par leurs mouvements, jouent les rôles de moteur et de gouvernail. Quelques unes, enfin, peuvent déformer leur contour, produisant des prolongements qui adhèrent à la surface du substrat (roche, algue, corail...), sur lequel elles se tractent. Cette mobilité très diversifiée permet à ces micro-organismes de coloniser le territoire à l'extrême.

Celles qui demeurent fixées pendant toute leur existence sur un support aquatique (végétal, animal, rocher, caillou...) constituent un grand ensemble appelé phytobenthos. Celles qui nagent ou qui flottent librement dans l'eau, sont regroupées sous le nom de phytoplancton ou plancton végétal.

La localisation de l'ADN (acide désoxyribonucléique; substance portant l'information génétique) dans la cellule, constitue un autre caractère pour distinguer deux grandes catégories dans le monde des micro-algues. Ainsi, on nomme procaryotes celles dont l'ADN n'est pas enveloppé par une membrane au sein du cytoplasme cellulaire (tel est le cas des Cyanophytes, algues bleues ou encore cyanobactéries). Les eucaryotes sont celles dont l'ADN est isolé du cytoplasme par une membrane qui délimite une région particulière de la cellule, à savoir, le noyau (toutes les autres micro-algues).

Pour classer les micro-algues, on peut encore tenir compte d'autres caractères biochimiques liés à leur métabolisme. La nature des pigments leur permettant d'être autotrophes (caroténoïdes, chlorophylles [a, b et c; la chlorophylle a est universelle à tous les organismes photosynthétiques], phycobiliprotéines) est primordiale pour distinguer en général les embranchements (= première subdivision de la classification du monde vivant) (Chlorophytes ou algues vertes, Rhodophytes ou algues rouges...). La composition des substances élaborées par la photosynthèse ou réserves est également utilisée pour

séparer certains groupes (amidon pour les Chlorophytes; chrysolaminarine pour les Diatomophycées; paramylon pour les Euglénophytes; rhodamylon pour les Rhodophytes...).

Enfin, la morphologie, c'est à dire la forme générale des cellules et des détails de leur paroi (écailles, épines, granules, verrues...), leurs dimensions et, pour les pluricellulaires, l'organisation des cellules constitutives, sont aussi des arguments pour l'identification.

Mais quels sont donc les rôles joués par ces micro-végétaux ?

L'activité photosynthétique des micro-algues aboutit à la libération de dioxygène gazeux, substance de déchet fondamentale pour la respiration de tous les organismes à métabolisme aérobie. De tous les végétaux, les micro-algues sont, de loin, les producteurs d'oxygène les plus importants. Ce sont les Cyanophytes qui, il y a plus de trois milliards d'années auraient créé l'atmosphère terrestre que nous connaissons actuellement.

Leur deuxième rôle, capital également pour les écosystèmes, est l'élaboration de matière organique qui leur sert pour couvrir l'essentiel de leurs besoins (croissance, déplacement, reproduction...) et qui est indispensable pour l'alimentation des consommateurs primaires, voire secondaires. À ce titre, on qualifie les micro-algues de producteurs primaires ou de premier maillon de la chaîne alimentaire. Avec les bactéries, elles constituent ainsi la base de la majorité des réseaux trophiques aquatiques.

Clipperton, l'île des fous, présentait deux points d'intérêt qui ont exercé une forte attraction conduisant à répondre très vite présent à l'invitation de J.-L. Étienne.

Le premier, concerne le lagon, milieu fermé (Fig.66) depuis près d'un siècle et demi, inondé sporadiquement par la mer lors des tempêtes et alimenté par les eaux de pluies et les déjections délavées des oiseaux marins (fous masqués, environ 100000; fous bruns, environ 20000; fous à pieds rouges; frégates... Fig. 67). Cet écosystème exceptionnel n'avait, jusqu'à présent, été l'objet que d'études ponctuelles en corrélation, entre autres, avec les rares missions françaises sur le site



Figure 66 : vue du lagon de Clipperton.
Clipperton lagoon.



Figure 67 : population de fous masqués, *Sula dactylatra*.
A group of blue-faced boobies.

(Sachet 1960, 1962; Taxit 1981; Ricard & Bourrelly 1982).

Le second point vise le phytoplancton et le phytobenthos marins qui, jusque là, n'ont pas été l'objet d'investigations. Par contre, le plancton végétal du lagon avait déjà été inventorié en quelques circonstances (Taylor 1939; Balech 1961; Sachet 1962; Ricard & Bourrelly 1982). Les données existantes sont uniquement qualitatives, l'obtention d'informations quantitatives nécessitant des prélèvements répétés au moins tout au long d'une année au cours des différentes saisons, ce qui a toujours été irréalisable jusqu'à maintenant, des séjours de longue durée n'ayant pu être organisés.

Le projet concernant les micro-algues de Clipperton avait donc plusieurs objectifs. Pour le milieu lagunaire, il s'agissait de refaire et compléter l'inventaire

des espèces planctoniques afin de comparer les résultats avec ceux obtenus lors des missions précédentes et de tenter d'estimer l'évolution potentielle de cet écosystème très particulier. Parallèlement, la collecte de données physico-chimiques concomitante devait permettre de mieux cerner le fonctionnement du milieu.

Pour le milieu marin, l'objectif reposait surtout sur l'inventaire du phytobenthos et tout particulièrement des Dinophycées dont on sait que beaucoup d'espèces benthiques sont toxigènes. Quelques récoltes de phytoplancton marin devaient également être effectuées pour établir une première liste de micro-organismes végétaux de cette région jamais examinée à ce sujet, ceci, compte tenu de l'importance des campagnes de pêche développées dans la zone par les mexicains et les espagnols.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Pour récolter le micro- et le nanophytoplancton³, un filet de 20 µm de vide de maille a été utilisé (Fig. 68). La technique consiste à traîner le filet derrière une embarcation naviguant à faible allure ou à le lancer depuis la berge et le ramener vers soi en maintenant l'ouverture immergée au voisinage de la surface et perpendiculaire à cette dernière. L'utilisation du filet présente l'avantage de concentrer la microflore et de donner ainsi une bonne idée de sa composition spécifique sur la zone inventoriée.

3 - pour information :
megaplancton : 20-200 cm ;
macroplancton : 2-20 cm ;
mesoplancton : 0,2mm-2cm ;
microplancton : 20-200 µm ;
nanoplancton : 2-20 µm ;
picoplancton : 0,2-2 µm ;
femtoplantcon : <0,2 µm.



Figure 68 : filet à plancton.
Plankton net.

L'échantillonnage du microphytobenthos a été pratiqué en plongée sous-marine soit en récoltant du sable ou du sédiment dans des anfractuosités ou sur le fond, ou en se servant d'une seringue équipée d'un tuyau souple pour récupérer, par aspiration, le matériel dans les failles ou les trous de petites dimensions (Fig. 69).

Dès le retour au campement, les échantillons destinés à être étudiés à Paris ont été fixés avec une solution aqueuse de formaldéhyde (=formol) à 10% et neutralisée, au préalable, pour obtenir au final une concentration de 4 à 5%. Une partie des récoltes a été conservée fraîche pour les examens microscopiques et les prises de vue sur le vivant à Clipperton.

Les micro-algues observées à l'aide du microscope électronique à balayage (MEB) ont d'abord été isolées à la micro-pipette sous la loupe binoculaire puis, après avoir été regroupées dans un piège perméable aux liquides, ont été déshydratées à l'aide

d'une série de solutions d'éthanol de concentration croissante en alcool. Elles ont ensuite subi le traitement dit du "point critique" remplaçant l'éthanol par du dioxyde de carbone liquide aboutissant à leur dessiccation. Après avoir été placées sur un porte-objet (Fig. 70) recouvert d'adhésif double face carboné au préalable, elles ont été métallisées (couvertes d'une très fine couche d'or et de palladium pour rendre leur surface capable de libérer des électrons) (Fig. 71) puis examinées et photographiées à l'aide du MEB JEOL 840A du Service commun de Microscopie électronique des laboratoires des Sciences de la Vie du Muséum national d'Histoire naturelle (pour plus de détails sur la méthodologie, voir Couté 2005).

Les observations à Clipperton ont été réalisées sur un microscope AXIOSKOP 2+ DIC, à contraste interférentiel (qui permet de distinguer nettement l'un de l'autre des corps transparents ou des fluides de densités optiques très voisines) et équipé d'un épi-illuminateur pour la fluorescence (utilisant une lumière particulière qui excite les molécules pigmentaires [chlorophylles, phycobiliprotéines...] qui émettent alors une fluorescence dont la couleur est propre à la nature de leur molécule), avec d'excellents objectifs dont un plan-apochromat, mis à



Figure 69 : seringue équipée d'un tuyau souple pour les prélèvements dans les anfractuosités de roche ou de corail.
Syringe with flexible pipe to catch biological material in cavities of rocks or corals.



Figure 70 : vue de plusieurs porte-objets métallisés.
Several gold-coated stubs.

disposition par la Société Carl ZEISS, et, au retour à Paris, sur un microscope WILD M20 équipé d'une chambre claire pour l'exécution des dessins et pour mesurer avec précision les dimensions des cellules.



Figure 71 : métalliseur / metal coater.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

... Paramètres physico-chimiques

Le lagon de l'atoll de Clipperton, fermé depuis plus d'un siècle et demi, présente des caractéristiques hydrologiques particulières.

Ainsi, à propos de la salinité, Taylor (1939) considère en premier lieu que l'eau du lagon est salée en raison des infiltrations d'eau de mer au travers du *beach rock* (fragments de coraux brisés et compactés, formant le "sol" de Clipperton) (Fig. 72).

Cependant, après avoir observé les végétaux qui se développent dans ce milieu, il conclut qu'elle doit être plutôt douce à tous les niveaux.

Taxit (1981), pour sa part, parle d'eau légèrement saumâtre alors que Ricard & Bourrelly (1982) signalent une salinité très faible (4,25 à 4,38 gL⁻¹ en surface).

Les investigations menées en 2005 ont montré que sur les premiers quinze mètres de profondeur, la salinité n'excède pas 6 gL⁻¹ en sel, alors que pour tout le reste (jusqu'à 45-50m), la teneur en sel dissous correspond aux valeurs classiques de l'eau de mer (36 gL⁻¹).

Ricard & Bourrelly (1982) mentionnent aussi des valeurs élevées du pH, variant de 8,77 à 9,14, la température de l'eau de surface avoisinant les 30° C en mai, une concentration en oxygène dissous assez faible dans les quinze premiers mètres et celle du sulfure d'hydrogène supérieure à 100 mgL⁻¹ au delà de -15 m. Ils notent également une turbidité importante.

Les données physico-chimiques de la campagne 2004-2005 (mission organisée par J.-L. Étienne) sont traitées ici dans le chapitre "Biogéochimie du lagon". Il en ressort, au sujet des gaz dissous, que la teneur en oxygène est voisine de la normale sur les premiers quinze mètres, que sur les vingt mètres suivants ce gaz a totalement disparu pour faire place au sulfure d'hydrogène et, qu'enfin, sur les quinze derniers mètres environ, le gaz dissous prioritairement est du méthane.

Enfin, l'apport d'engrais dans le lagon, dû à l'hyper production de "guano" provenant des déjections des multiples colonies d'oiseaux lessivées par les pluies abondantes, entraîne un déséquilibre profond de



Figure 72 : beach rock près du "rocher" / Beach rock near the "rock".

l'écosystème lagunaire tendant vers l'eutrophisation, la réduction de la faune aérobie par la toxicité croissante du milieu et vers le développement d'organismes peu exigeants en oxygène, en même temps qu'une prolifération bactérienne. (Taylor 1939; Taxit 1981).

... Paramètres biologiques

L'inventaire des micro-algues colonisant une région est un travail de longue haleine. En effet, après la phase de récolte qui consiste à prendre en considération tous les types de milieu du site, même les plus inattendus (substrats exondés en permanence, écorce de végétaux arbustifs terrestres, bases de végétaux immergées...) et les différentes profondeurs, il faut passer au peigne fin chacune des récoltes pour détecter tous les taxons présents et en obtenir de bonnes images (dessins, photographies). Cette iconographie permet enfin l'identification grâce aux informations fournies sur la morphologie, le contenu cellulaire (présence de plastides avec leur couleur, de pyrénoloïde [organite cellulaire propre aux algues et siège probable de certaines synthèses] [Fig. 73], de stigma [organite cellulaire, généralement de couleur rouge vif, photosensible] [Fig. 74], d'inclusions particulières...) et sur les dimensions.

Une fois cette tâche minutieuse exécutée et du fait de l'absence d'un ouvrage de référence général ou de banque de données complète et crédible (une sorte de flore) regroupant toutes les espèces connues au monde, il est nécessaire de compulsier une masse énorme de publications scientifiques, de langues variées, pour espérer aboutir à identifier avec précision un individu au niveau spécifique.

À l'heure actuelle, si l'examen approfondi de tous les échantillons récoltés dans le lagon de Clipperton est presque arrivé à son terme et si bon nombre des micro-algues observées ont déjà pu être nommées, certaines demeurent encore imprécises et nécessitent un travail complémentaire avec, pour quelques-unes, un réexamen de la ou des récoltes où elles ont été notées. Les résultats définitifs feront l'objet d'une publication dans une revue scientifique spécialisée.

... Micro-algues du lagon

Si l'on dresse le bilan des connaissances acquises sur les micro-algues dulçaquicoles de Clipperton par les auteurs précédents, on peut constater (Tab. XXII et Tab. XXIII) que :

- Taylor (1939) a identifié 14 taxons dont sept espèces pour sept genres appartiennent à l'embranchement des Cyanophytes (= algues bleues; cyanobactéries) et les sept autres (sept espèces pour cinq genres) à celui des Chlorophytes avec, parmi elles, quatre membres de la famille des Desmidiacées (unicellulaires caractérisés par une symétrie bilatérale, autrement dit par deux moitiés de cellule symétriques). L'une de ces dernières est décrite comme nouvelle pour la science: *Cosmarium clippertonensis*. Elle est représentée,



Figure 73: cellule de *Micrasterias* (Desmidiées) avec de nombreux pyrénoloïdes (flèches).

A cell of *Micrasterias* (Desmidiées) with numerous pyrenoids (red arrows).

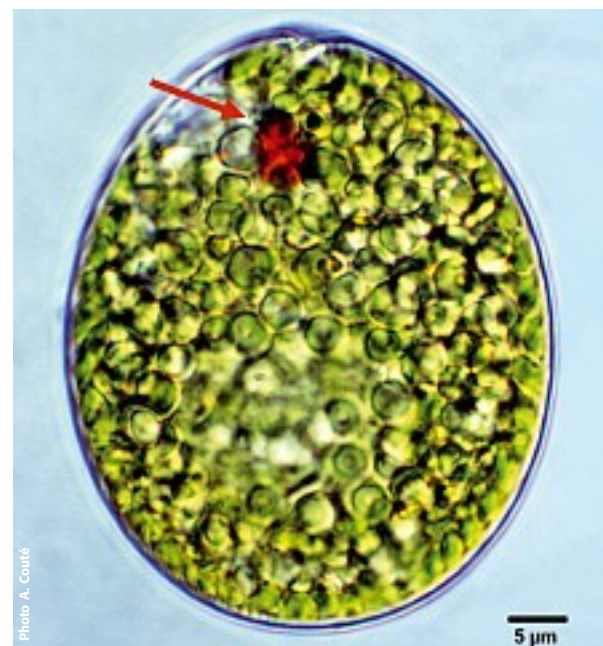


Figure 74: photo de *Lepocinclis* (Euglénophytes) montrant le stigma (flèche).

A cell of *Lepocinclis* (Euglenophyta) with its stigma (red arrow).

ici, avec la seconde espèce appartenant au même genre, *C. subprotumidum* fo. trouvée par Taylor (1939) (Fig. 75a et Fig. 75b).

Seules sont illustrées, dans le travail de Taylor, les quatre Desmidiacées. Il a noté aussi, à propos des Cyanophytes, que *Phormidium versicolor* (anciennement *Lyngbya versicolor*) formait de grandes masses près du rivage (Fig. 76).

- Balech (1961) a décrit du lagon (à partir d'un échantillon qui lui avait été confié) *Glenodinium cristatum*, une nouvelle espèce de Dinophytes endémique de Clipperton, bien illustrée et dont il

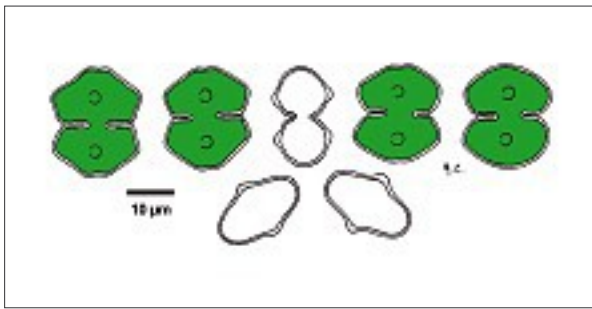


Figure 75a: *Cosmarium clippertonensis* (d'après Taylor 1939).
Cosmarium clippertonensis (redrawn from Taylor 1939).

a disséqué avec précision les plaques thécales du sulcus (qui constituent un caractère systématique important) (Fig. 77).

- Sachet (1962), pour sa part, en étudiant ses propres récoltes effectuées en 1958 sur l'atoll, a noté la présence de 35 espèces dont 24 Cyanophytes, 10 Chlorophytes et une Dinophyte qui correspond à celle décrite par Balech (1961). Aucune espèce nouvelle n'est mentionnée ici. Aucune illustration n'est fournie.

Les Cyanophytes se distribuent en six genres pour sept espèces de l'ordre des Chroococcales, cinq genres pour 10 espèces d'Oscillatoriales et cinq genres pour sept espèces de Nostocales. Pour les Chlorophytes, les Desmidiées sont les plus diversifiées avec deux genres, *Closterium* avec une espèce, une variété et une forme, et *Cosmarium* avec deux espèces.

Tous les taxons identifiés par Taylor ont été retrouvés par Sachet (Tab. XXII et Tab. XXIII).

- Ricard et Bourrelly (1982), sur des échantillons datant de 1980, qui leur avaient été confiés, n'ont

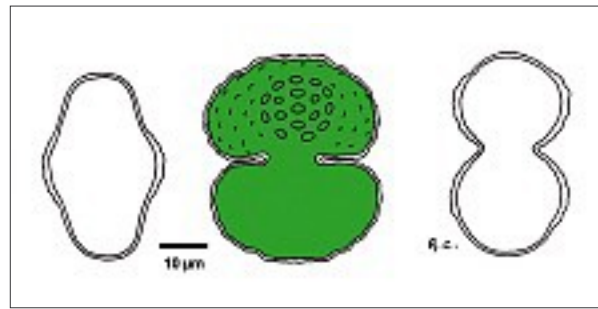


Figure 75b: *Cosmarium subprotumidum* fo. (d'après Taylor 1939).
Cosmarium subprotumidum fo. (redrawn from Taylor 1939).

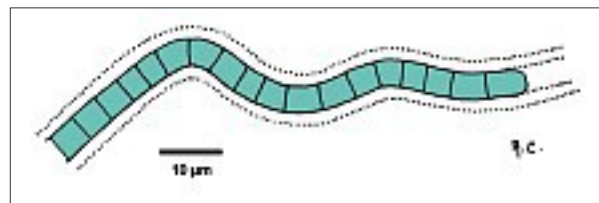


Figure 76: *Phormidium versicolor* (d'après Drouet in Komarek & Anagnostidis 2005).

Phormidium versicolor (redrawn from Drouet in Komarek & Anagnostidis 2005).

pris en considération que quelques Dinophycées et Chlorophycées (alors qu'ils reconnaissent la présence de nombreuses autres micro-algues dont des Diatomophycées) pour la description précise desquelles le microscope électronique à balayage (MEB) pouvait apporter une aide précieuse. Ils ont ainsi étudié et illustré par des microphotographies avec le microscope photonique et le MEB, *Glenodinium cristatum* (dont la dénomination avait changé entre temps pour devenir *Peridiniopsis cristatum* [Bourrelly 1968, 1970]), *Cosmarium clippertonensis* ainsi que deux autres espèces de ce même

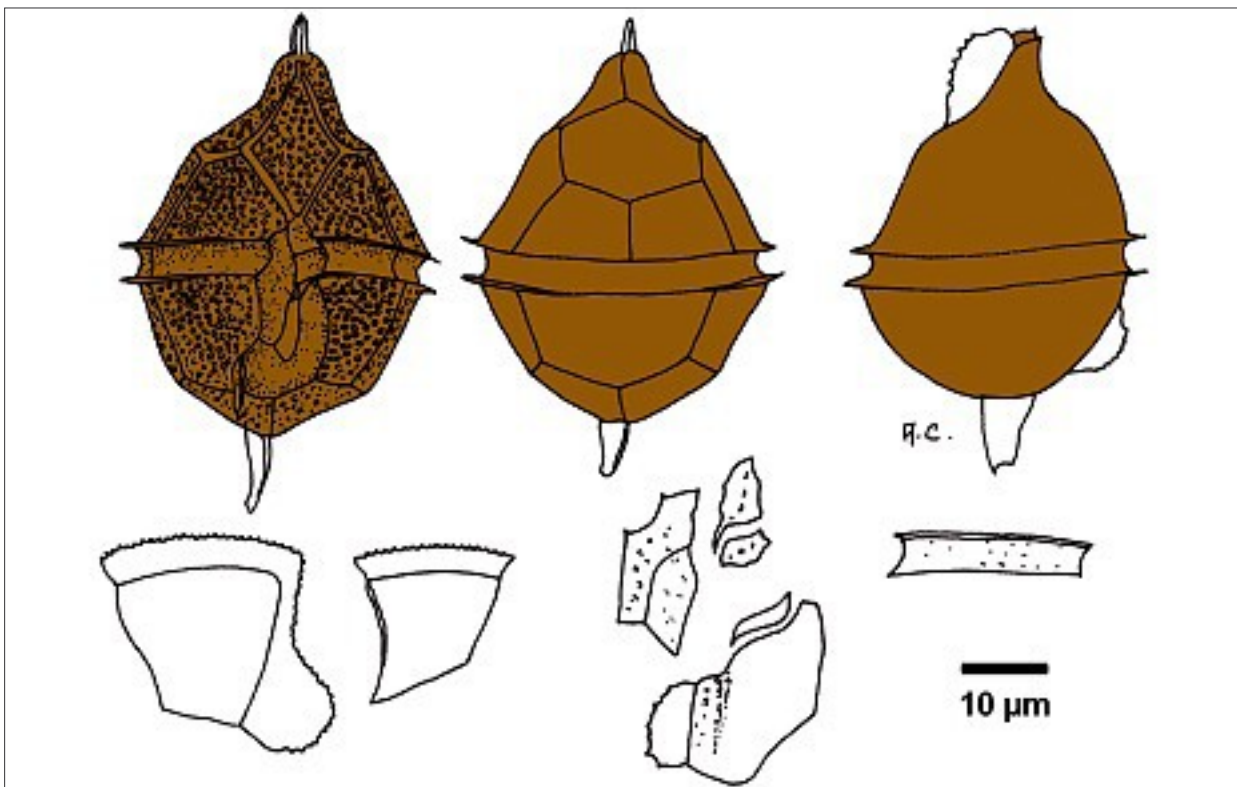


Figure 77: *Peridiniopsis cristatum* anciennement *Glenodinium cristatum* (d'après Balech 1961).
Peridiniopsis cristatum previously *Glenodinium cristatum* (redrawn from Balech 1961).

Tableau XXII : récapitulatif des différents inventaires des Cyanophytes effectués à Clipperton avant la mission de 2005.
Summary of the different Cyanophyte inventories drawn up before the 2005 expedition.

Taxons	Taylor (1939)	Balech (1961)	Sachet (1962)	Ricard & Bourrelly (1982)
CYANOPHYTES				
Chroococcales				
<i>Chroococcus turgidus</i> (Kützing) Nägeli	+	-	+	-
<i>Cyanothece aeruginosa</i> (Nägeli) Kom.	-	-	+	-
<i>Entophysalis deusta</i> (Menegh.) Drouet et Daily	-	-	+	-
<i>Entophysalis granulosa</i> Kützing	-	-	+	-
<i>Gloeocapsa atrata</i> Kützing		-	+	-
<i>Gomphosphaeria aponina</i> Kützing	+	-	+	-
<i>Microcystis flos aquae</i> (Wittrock) Kirchner	+	-	+	-
Oscillatoriales				
<i>Leptolyngbya lagerheimii</i> (Gom.) Anagn. et Kom.	+	-	+	-
<i>Leptolyngbya nostocorum</i> (Born. ex Gom.) Anagn. et Kom.	-	-	+	-
<i>Leptolyngbya terebrans</i> (Born. et Flah. ex Gom.) Anagn. et Kom.	-	-	+	-
<i>Lyngbya aestuarii</i> Liebman ex Gom.	+	-	+	-
<i>Lyngbya confervoides</i> Agardh C.A. ex Gom.	-	-	+	-
<i>Lyngbya guaymensis</i> Drouet	-	-	+	-
<i>Lyngbya semiplena</i> Agardh J. ex Gom.	-	-	+	-
<i>Microcoleus chthonoplastes</i> Thuret	-	-	+	-
<i>Phormidium versicolor</i> Wartm. in Rab. ex Gom.	+	-	+	-
<i>Schizothrix heufferi</i> Grünow	-	-	+	-
Nostocales				
<i>Amphithrix violacea</i> (Kützing) Born. et Flah.	-	-	+	-
<i>Calothrix crustacea</i> Thuret	-	-	+	-
<i>Calothrix parietina</i> (Nägeli) Thuret	-	-	+	-
<i>Calothrix stellaris</i> Born. et Flah.	+	-	+	-
<i>Mastigocoleus testarum</i> Lagerheim	-	-	+	-
<i>Nostoc</i> sp.	-	-	+	-
<i>Scytonema hofmannii</i> Agardh C.A.	-	-	+	-

genre (jamais vues jusque-là à Clipperton), *C. calcareum* fo. (Fig. 78) et *C. insigne* fo. (désormais *C. pseudoinsigne*) (Fig. 79), et *Closterium parvulum* cf. var. *majus*. (Fig. 80).

À la date de l'expédition Clipperton 2005, la connaissance des algues microscopiques du lagon correspondait donc exactement à l'inventaire dressé par Sachet auquel il faut ajouter les deux *Cosmarium* décrits par Ricard et Bourrelly (1982) (Fig. 78 et Fig. 79), soit 24 Cyanophytes, 12 Chlorophytes et une Dinophyte, autrement dit à 37 micro-algues dulçaquicoles au total. Il faut mentionner aussi quelques changements d'appellation survenus récemment :

- pour les Cyanophytes, *Lyngbya lagerheimii* est ainsi remplacé par *Leptolyngbya lagerheimii*, *Plectonema*

nostocorum par *Leptolyngbya nostocorum*, et *Lyngbya versicolor* par *Phormidium versicolor* ;

- pour les Dinophytes, *Glenodinium* sp. selon Sachet est devenu *Glenodinium cristatum* pour Balech et enfin *Peridiniopsis cristatum* pour Bourrelly ;
- et pour les Chlorophytes, *Cosmarium insigne* fo. est appelé désormais *C. pseudoinsigne* fo.

Les résultats des investigations menées en 2005 sur les micro-algues dulçaquicoles de l'atoll de Clipperton portent sur 22 récoltes dont 17 effectuées en milieu immergé à l'aide du filet et cinq en milieu exondé par grattage ou récolte directe de fragments de roche ou de *beach rock*. Ils sont consignés dans les tableaux XXIV, XXV et XXVI. L'inventaire, tel qu'il en ressort, bien qu'imparfait et à confirmer pour quelques cas (l'identification

Tableau XXIII : récapitulatif des différents inventaires des Chlorophytes et Dinophytes effectués à Clipperton avant la mission de 2005.
 Summary of the different Chlorophyte and Dinophyte inventories drawn up before the 2005 expedition.

Taxons	Taylor (1939)	Balech (1961)	Sachet (1962)	Ricard & Bourrelly (1982)
CHLOROPHYTES				
<i>Closterium parvulum</i> Nägeli	-	-	+	-
<i>Closterium parvulum</i> Nägeli fo.	+	-	+	-
<i>Closterium parvulum</i> cf. var. <i>majus</i> West	+	-	+	+
<i>Cosmarium calcareum</i> Wittrock fo.	-	-	-	+
<i>Cosmarium clippertonensis</i> Taylor	+	-	+	+
<i>Cosmarium insigne</i> Schmidle fo. (= <i>Cosmarium pseudoinsigne</i> [Schmidle] Prescott fo., nom actuel valide)	-	-	-	+
<i>Cosmarium subprotumidum</i> Nordstedt fo.	+	-	+	-
<i>Oocystis solitaria</i> cf. fo. <i>major</i> Wille	+	-	+	-
<i>Oedogonium</i> sp.1	+	-	+	-
<i>Oedogonium</i> sp.2	-	-	+	-
<i>Protococcus grevillei</i> (Agardh C.A.) Crouan	-	-	+	-
<i>Chara</i> sp.	+	-	+	-
DINOPHYTES				
<i>Glenodinium</i> sp. (Sachet) = <i>Glenodinium cristatum</i> Balech = <i>Peridiniopsis cristatum</i> (Balech) Bourrelly (nom actuel valide)	-	+	+	+

de certains taxons à l'espèce voire même au genre n'est pas finalisée; d'autres n'ont pas encore été examinés) montre la présence, sur l'atoll de Clipperton de 57 micro-organismes photosynthétiques différents. Parmi ceux-ci, on dénombre, pour les Cyanophytes, 25 espèces pour 10 genres, pour les Chlorophytes, 25 espèces pour 17 genres, pour les Euglénophytes, deux espèces pour deux genres, pour les Dinophytes, une espèce d'un genre bien défini (*Peridiniopsis cristatum*) (Fig. 77 et Fig. 83) et deux autres non identifiées au genre (Dino 1 et Dino 2 dans le tableau XXVI ; Fig. 81 et Fig. 82), pour les Hétérokontophytes, une espèce pour un genre et, enfin, pour les Rhodophytes, un genre dont l'identification reste à confirmer.

On voit ainsi que les richesses spécifiques des Cyanophytes et des Chlorophytes sont équivalentes et importantes tandis qu'elles sont fort réduites pour tous les autres embranchements.

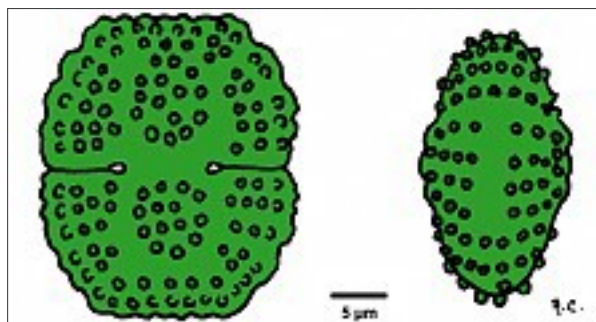


Figure 78 : *Cosmarium calcareum* (d'après West & West 1908).
Cosmarium calcareum (redrawn from West & West 1908).

Cependant, richesse spécifique (de même que biodiversité) importante n'est pas forcément synonyme de biomasse forte. En effet, dans le lagon, la Dinophycée *Peridiniopsis cristatum*, bien qu'appartenant à un embranchement représenté seulement par trois taxons, est le micro-organisme largement prédominant dans les eaux lagunaires. Si une analyse quantitative des peuplements avait été menée durant la période de séjour (ce qui aurait été judicieux si celle-ci avait été plus longue), elle aurait confirmé ce fait qui apparaissait flagrant sur simple

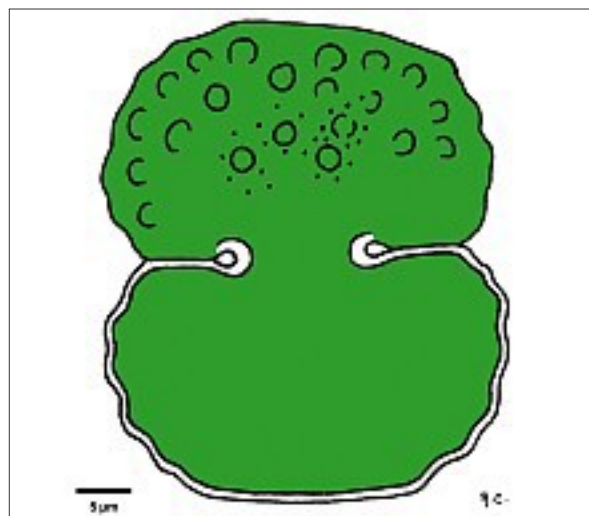


Figure 79 : *Cosmarium pseudoinsigne* fo. anciennement *Cosmarium insigne* (d'après Bourrelly 1966).

Cosmarium pseudoinsigne fo. previously *Cosmarium insigne* (redrawn from Bourrelly 1966).

observation microscopique d'une goutte d'eau du lagon (Fig. 84).

Les Cyanophytes, après les Dinophytes, représentent la population la plus abondante pour la période concernée, avec surtout des formes filamenteuses (Fig. 85, Fig. 86 et Fig. 87) et deux coloniales, les genres *Aphanocapsa* et *Aphanothece* (Fig. 88).

Si les Chlorophytes sont caractérisées par une richesse spécifique bien marquée, elles ne représentent qu'une faible partie de la population de microalgues, leur apparition dans les préparations microscopiques étant souvent seulement anecdotique (voir Fig. 84).

La comparaison des résultats de 2005 avec ceux des campagnes précédentes laisse ressortir plusieurs points.

Ainsi, en premier lieu, il apparaît qu'en 2005, sur les 57 taxons identifiés, huit seulement correspondent à ceux répertoriés par Taylor (1939), Sachet (1962) et par Ricard & Bourrelly (1982). Le bilan à tirer de cette étude montre donc 49 nouveautés pour le lagon. Pourquoi les 29 autres espèces des auteurs précédents n'ont-elles pas été retrouvées? S'agit-il d'une disparition liée à une pression de prédation comme cela a été observé lors de la mission 2005, les prédateurs (ciliés, copépodes, rotifères...) étant abondants dans le milieu (Fig. 89, Fig. 90, Fig. 91).

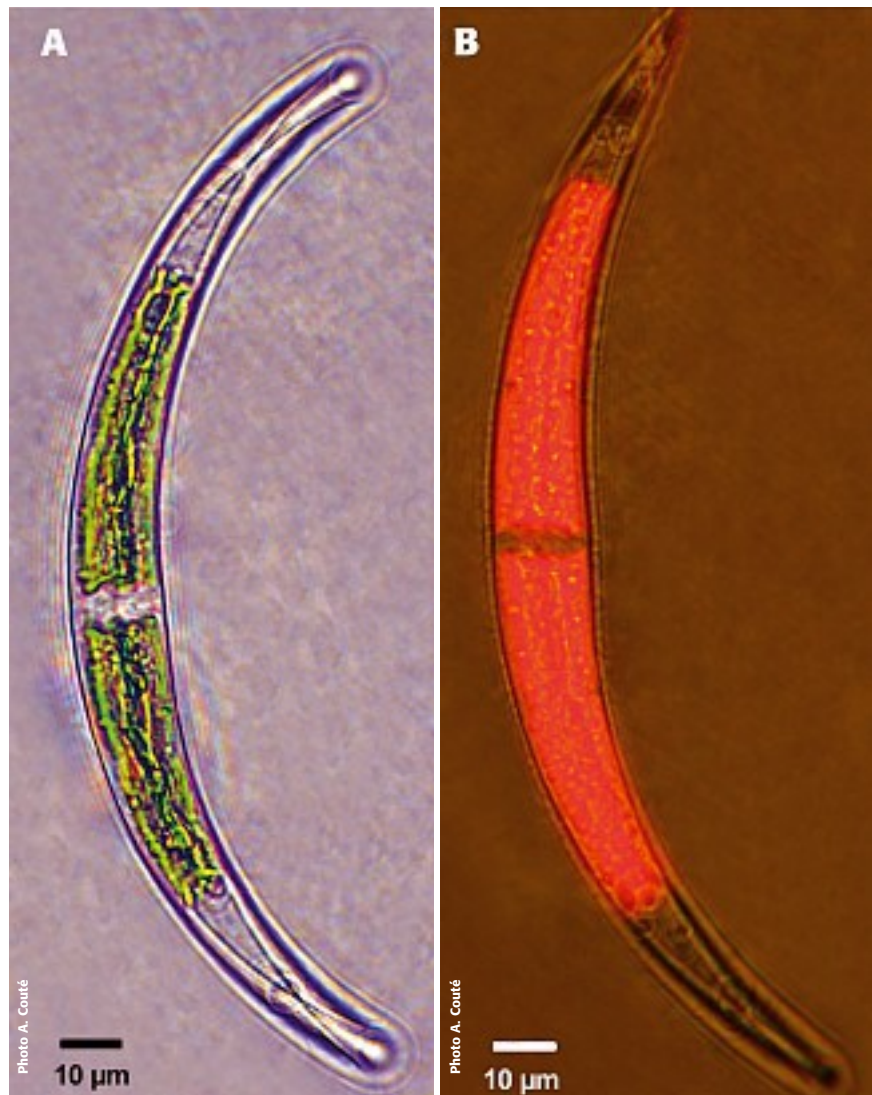


Figure 80: *Closterium parvulum* cf. var. *majus* (microscopie photonique. **A**: en lumière normale. **B**: en fluorescence).

Closterium parvulum cf. var. *majus* (**A**: light microscopy [LM] of a live cell. **B**: fluorescence microscopy revealing the auto-fluorescence of the chloroplast of a live cell).

Des ciliés, contenant de nombreuses cellules d'algues en cours de digestion, ont même été examinés directement sur le vivant (Fig. 91). Peut-être a-t-on affaire à une simple absence de ces éléments de la microflore,

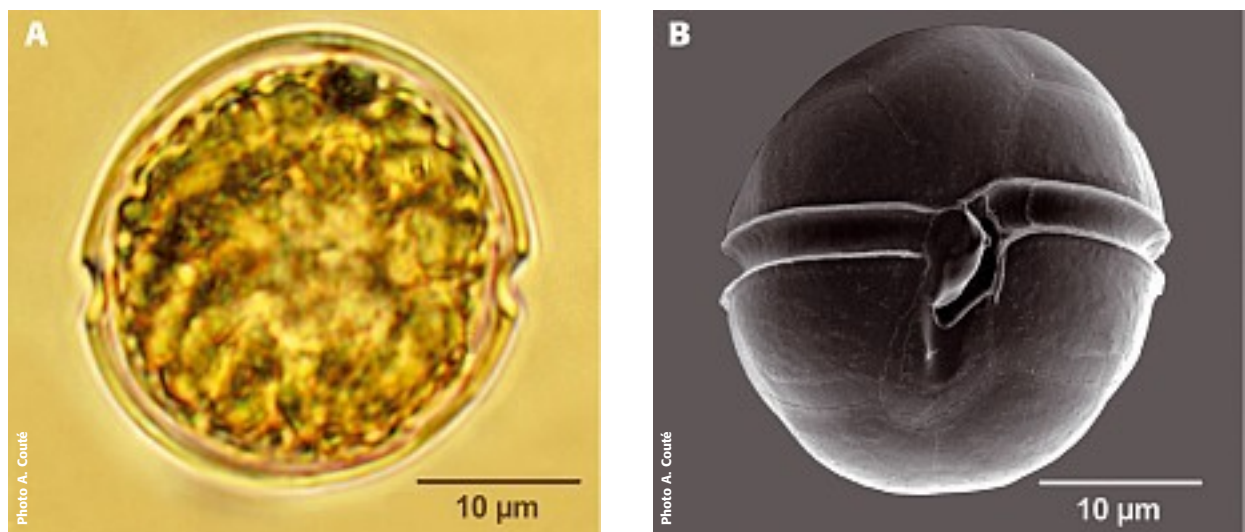


Figure 81: Dino 1 (**A**: microscopie photonique. **B**: microscopie électronique à balayage).

Dino 1 (**A**: LM, a live cell. **B**: scanning electron microscopy [SEM], one cell).

Tableau XXIV : récapitulatif des différents taxons de Cyanophytes observés à Clipperton entre le 07.02.05 et le 20.02.05 (les taxons sur fond plus foncé ont été signalés par Sachet 1962, celui marqué par un astérisque a été noté par Taylor 1939).

Summary of the different Cyanophyte taxa found in Clipperton between 07.02.05 and 20.02.05 (taxa with dark background have been mentioned by Sachet 1962; the one marked with an asterisk was found by Taylor 1939).

Taxons	Embranchements	Classes	Ordres
<i>Aphanocapsa delicatissima</i> West W. et G.S.	CYANOPHYTES	CYANOPHYCÉES	CHROOCOCCALES
<i>Aphanocapsa elachista</i> West W. et G.S.	"	"	"
<i>Aphanocapsa incerta</i> (Lemm.) Cronberg et Kom.	"	"	"
<i>Aphanocapsa marina</i> Hansgirg	"	"	"
<i>Aphanothece comasii</i> Kom.-Legn. et Tavera	"	"	"
<i>Aphanothece conglomerata</i> Rich	"	"	"
<i>Aphanothece elabens</i> (Breb. in Menegh.) Elenkin	"	"	"
<i>Aphanothece stagnina</i> (Sprengel) A. Braun in Rab.	"	"	"
<i>Chroococcus dispersus</i> (Keissler) Lemm.	"	"	"
<i>Chroococcus membraninus</i> (Menegh.) Nägeli	"	"	"
<i>Chroococcus minimus</i> (Keissler) Lemm.	"	"	"
<i>Chroococcus minutus</i> (Kützing) Nägeli	"	"	"
<i>Chroococcus planctonicus</i> Bethge	"	"	"
* <i>Chroococcus turgidus</i> (Kützing) Nägeli	"	"	"
<i>Cyanosarcina thalassia</i> Anagn. et Kom.	"	"	"
<i>Gloeocapsa atrata</i> Kützing	"	"	"
<i>Synechocystis salina</i> Wislouch	"	"	"
<i>Oscillatoria annae</i> Van Goor	"	"	OSCILLATORIALES
<i>Oscillatoria luteola</i> Drouet	"	"	"
<i>Oscillatoria nigro-viridis</i> Thwaites in Harvey	"	"	"
<i>Oscillatoria subbrevis</i> Schmidle	"	"	"
<i>Oscillatoria tenuis</i> Agardh C.A. ex Gomont	"	"	"
<i>Phormidium acuminatum</i> (Gomont) Anagn. et Kom.	"	"	"
<i>Yonedaella lithophila</i> (Ercegović) Umezaki	"	"	"
<i>Anabaena minutissima</i> Lemm.	"	"	NOSTOCALES

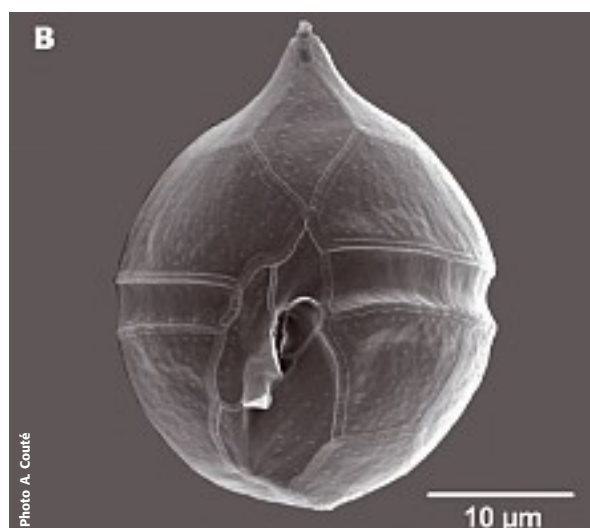
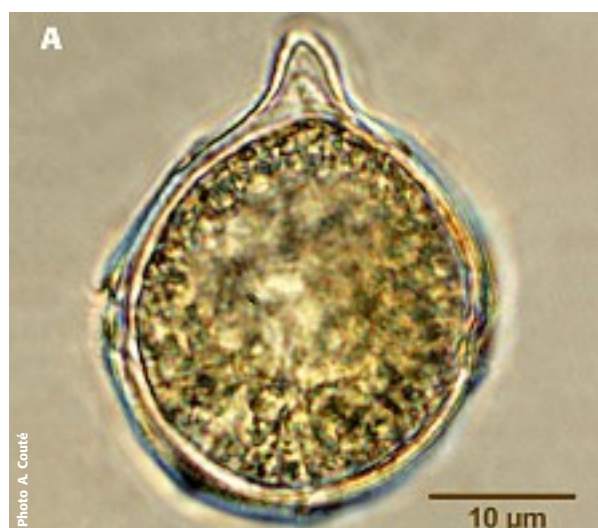


Figure 82 : Dino 2 (A : microscopie photonique. B : microscopie électronique à balayage).
Dino 2 (A : LM, a live cell. B : SEM, one cell).

Tableau XXV : récapitulatif des taxons de micro-algues appartenant à l'embranchement des Chlorophytes observés à Clipperton entre le 07.02.05 et le 20.02.05 (les taxons sur fond plus foncé ont été signalés par Sachet 1962; ceux marqués par un astérisque, ont été notés par Taylor 1939).
Summary of the different Chlorohyte taxa found in Clipperton between 07.02.05 and 20.02.05 (taxa with dark background have been mentioned by Sachet 1962; these marked with an asterisk were found by Taylor 1939).

Taxons	Embranchements	Classes	Ordres
<i>Chlamydomonas</i> sp.	CHLOROPHYTES	CHLOROPHYCÉES	VOLVOCALES
<i>Ankistrodesmus gracilis</i> (Reinsch) Korš.	"	"	CHLOROCOCCALES
<i>Ankistrodesmus nanoselene</i> Skuja	"	"	"
<i>Chondrosphaera laponica</i> Skuja	"	"	"
<i>Chlorella emersonii</i> Shih. et Krauss ?	"	"	"
<i>Chlorella luteoviridis</i> Chodat in Conrad et Kuffer. ?	"	"	"
<i>Chlorella mirabilis</i> Andreeva ?	"	"	"
<i>Chlorella vulgaris</i> Beijerinck ?	"	"	"
<i>Diacanthos belenophorus</i> Korš.	"	"	"
<i>Granulocystis helenae</i> Hindak	"	"	"
<i>Monoraphidium minutum</i> (Nägeli) Kom.-Legn.	"	"	"
<i>Monoraphidium tortile</i> (West W. et G.S.) Kom.-Legn.	"	"	"
* <i>Oocystis solitaria</i> Wittrock cf. fo. <i>major</i> Wille	"	"	"
<i>Scenedesmus ovalternus</i> Chodat ?	"	"	"
<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turp.) Breb. sensu Chodat	"	"	"
<i>Scenedesmus verrucosus</i> Roll ?	"	"	"
<i>Schroederia setigera</i> (Schröd.) Lemm.	"	"	"
<i>Tetraedron minimum</i> (Braun A.) Hansg.	"	"	"
<i>Closterium parvulum</i> Nägeli	"	ZYGOPHYCÉES	DESMIDIALES
* <i>Cosmarium clippertonensis</i> Taylor	"	"	"
* <i>Cosmarium subprotumidum</i> Nordstedt fo.	"	"	"
<i>Cloniophora macrocladia</i> (Nordstedt) Bourr.	"	ULOTHRICOPHYCÉES	CHAETOPHORALES
<i>Trentepohlia umbrina</i> (Kützing) Bornet	"	"	"
* <i>Oedogonium</i> sp.	"	"	OEDOGONIALES
<i>Enteromorpha</i> sp.	"	"	ULVALES

durant la période de la mission, que l'on pourrait attribuer à des variations climatiques saisonnières ? Il est vrai que les récoltes de Taylor ont été réalisées en juillet et août 1938 et celle de Sachet en août 1958, donc au cours d'une saison totalement différente tant par la température ambiante que par l'importance des précipitations. Il faut aussi reconnaître que les micro-algues sont des êtres souvent très fragiles donc susceptibles de ne pas résister à des modifications climatiques brutales.

Enfin, leur petitesse et la robustesse de leur paroi font qu'elles peuvent être facilement véhiculées à la fois par les vents et certains animaux comme les oiseaux de mer ou les oiseaux migrateurs, pouvant ainsi coloniser aisément tout territoire.

Il résulte de cela qu'avec les 29 espèces non retrouvées, mais peut-être encore sur le site, les 49 nou-

vellement dénombrées et les huit communes, on arrive à un total de 86 taxons différents ce qui constitue un nombre relativement conséquent pour un territoire aussi restreint et à l'écologie si particulière. Ce sont les Cyanophytes, avec 23 espèces, et les Chlorophytes, avec 20, qui constituent l'apport majeur.

Les tableaux XXIV, XXV et XXVI, résument donc la nouvelle composition de la flore des micro-algues du lagon qui comprend 47 Cyanophytes, 32 Chlorophytes, 3 Dinophytes, 2 Euglénophytes, 1 Hétérokontophyte et 1 Rhodophyte présumée. Ces chiffres sont susceptibles de modifications, toutes les récoltes n'ayant pas été exploitées en totalité et certains groupes comme celui des Diatomophycées n'étant pas encore traités à l'heure actuelle.

Parmi les nouveautés découvertes ici, quelques curiosités sont à noter. Ainsi, il est étrange que *Cloniophora macrocladia* (Fig.92), Chlorophyte

Tableau XXVI: récapitulatif des taxons de micro-algues appartenant aux embranchements des Euglénophytes, Hétérokontophytes, Dinophytes et Rhodophytes observés à Clipperton entre le 07.02.05 et le 20.02.05 (les taxons sur fond plus foncé ont été signalés par Sachet 1962; celui marqué par un astérisque a été notés par Taylor 1939 et par Ricard & Bourrelly 1982).

Summary of the different Euglenophyte, Heterokontophyte, Pyrrophyte and Rhodophyte taxa found in Clipperton between 07.02.05 and 20.02.05 (taxa with dark background have been mentioned by Sachet 1962; that with an asterisk has been found by Taylor 1939 and Ricard & Bourrelly 1982).

Taxons	Embranchements	Classes	Ordres
<i>Euglena retronata</i> Johnson	EUGLÉNOPHYTES	EUGLÉNOPHYCÉES	EUGLÉNALES
<i>Phacus curvicauda</i> Swirenko	"	"	"
* <i>Peridiniopsis cristatum</i> (Balech) Bourr.	DINOPHYTES	DINOPHYCÉES	PÉRIDINIALES
Dino 1	"	"	"
Dino 2	"	"	"
<i>Centritractus ellipsoideus</i> Starm. fo. <i>excentricus</i> Kriemtz. & Heynig	HÉTÉROKONTOPHYTES	XANTHOPHYCÉES	MISCHOCOCCALES
<i>Phragmonema</i> sp. ?	RHODOPHYTES	RHODOPHYCÉES	GONIOTRICHALES

dont les thalles (= individu ou encore "pied") sont suffisamment grands pour être visibles à l'œil nu et qui sont rejetés en épave par le ressac sur le rebord du lagon, soit passé inaperçu. Il en est de même pour le genre *Enteromorpha* qui est classé comme macro-algue marine bien que des signalisations en eau douce ne soient pas rares. Sa présence (Fig. 93 et Fig. 94), jamais notée jusqu'ici dans le lagon de Clipperton malgré ses dimensions, est étonnante mais peut s'expliquer par sa localisation très restreinte. En effet, la seule station où cette algue a été trouvée est proche du "rocher", dans une zone où le talus du *beach rock* est en partie dégradé par l'assaut des vagues de tempête et laisse probablement percoler l'eau de mer. Cette modification du talus pourrait être récente. Le cas de *Trentepohlia umbrina*, micro-algue verte aussi, filamenteuse et ramifiée, subaérienne, vivant ici toujours sur les parois exondées des corridors du "rocher", souvent teintée en orange vif et de taille non négligeable, est aussi intéressant. A-t-il échappé à la sagacité des auteurs précédents en raison de son habitat subaérien ou n'est-il parvenu à Clipperton qu'après 1960? Ceci demeure pour l'instant énigmatique.

Un autre point marquant de l'étude menée en 2005 est la redécouverte de *Cosmarium clippertonensis* (Fig. 75a) et de *Peridiniopsis cristatum* (Fig. 77 et Fig. 83), tous deux confirmés ainsi dans leur statut d'endémique de l'atoll. Leur persistance dans le lagon, depuis plus de 60 ans pour le premier et près de 50 pour le second, est la preuve d'une capacité exceptionnelle de leur part à résister aux conditions particulières de ce site, en particulier aux émanations d'hydrogène sulfuré qui remontent des eaux profondes du lagon alors que beaucoup d'autres espèces en sont incapables et sont, ainsi, remplacées.

Si l'identification du genre *Phragmonema* est prochainement avérée, la présence de cette Rhodophyte (= algue rouge), dont les stations sur le globe terrestre sont particulièrement rares, sera aussi un résultat marquant. Son introduction sur l'atoll constitue

également une énigme car ce genre supporte mal les forts éclaircissements (Leclerc *et al.* 1983) et les atmosphères à faible teneur en vapeur d'eau, ce qui rend son transport anémochore ou zoochore difficile.

L'étude des micro-algues dulçaquicoles du lagon de Clipperton, menée durant la campagne 2005, a donc révélé son lot de surprises. Elle a permis d'accroître considérablement la connaissance en multipliant par un facteur supérieur à deux le nombre de taxons colonisant le territoire. Elle montre, parmi ceux-ci, la présence de représentants de trois embranchements nouveaux pour le lagon, à savoir les Euglénophytes, les Hétérokontophytes et les Rhodophytes. Enfin, elle confirme la présence des deux espèces endémiques, *Cosmarium clippertonensis* et *Peridiniopsis cristatum*. Elle met en évidence des énigmes, entre autres celle de la colonisation du territoire et celle du taux de renouvellement des espèces, apparemment important.

Ces résultats et ceux à venir sur les groupes restant à étudier feront l'objet, comme indiqué plus haut, de publication dans une revue spécialisée.

• • • Micro-algues marines

Cette expédition de 2005 a été l'occasion de dresser un premier inventaire des micro-algues marines tant benthiques que planctoniques, l'objectif premier, comme indiqué plus haut, étant de tenter de détecter des genres connus comme toxigènes.

Huit récoltes ont été effectuées, deux à l'aide du filet à plancton (pour une première approche du phytoplancton) et six par collecte de sable et de sédiment en plongée, entre -5 et -25 m de profondeur.

L'échantillonnage a été pratiqué exclusivement sur la côte ouest et nord-ouest de l'atoll, à une distance d'environ un demi mille du rivage. Les conditions de mer, la disponibilité des embarcations et l'accès à la côte (marée, franchissement de la barre...) n'ont pas autorisé l'obtention de collections plus conséquentes.

Compte tenu de la priorité donnée à l'étude du lagon, à l'heure actuelle les observations sur le

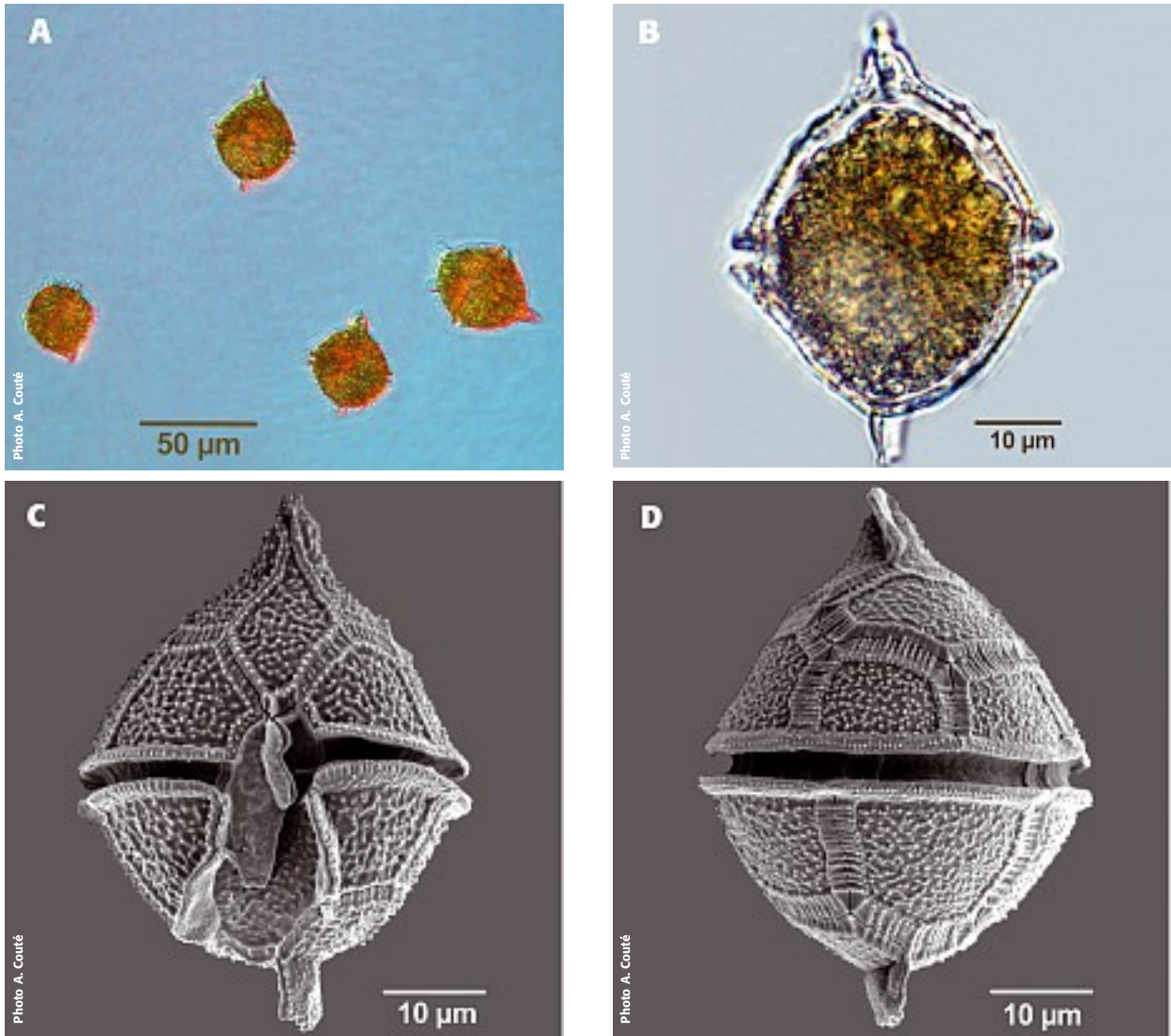


Figure 83 : *Peridiniopsis cristatum*. **A** : quatre cellules. **B** : une cellule (**A** et **B** : microscopie photonique). **C** : une cellule en vue de face. **D** : une cellule en vue dorsale (**C** et **D** : microscopie électronique à balayage).
Peridiniopsis cristatum. **A** : four cells. **B** : one cell (**A** and **B**: LM). **C** : one cell, ventral view. **D** : one cell, dorsal view (**C** and **D**: SEM).

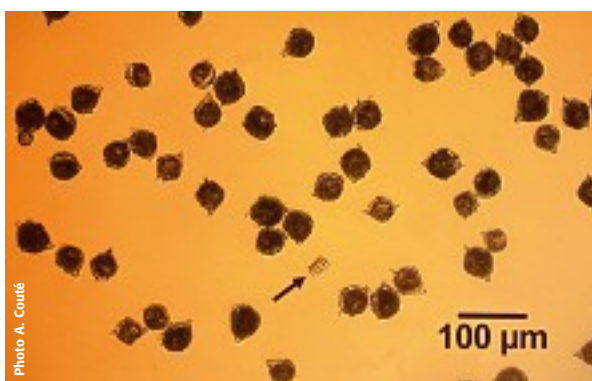


Figure 84 : prédominance des Dinophytes dans le plancton du lagon de Clipperton (flèche: *Scenedesmus*, Chlorophytes).
Predominance of Dinophytes in lagoon plankton of Clipperton (arrow: Scenedesmus, Chlorophytes).



Figure 86 : filament de Cyanophyte (microscopie photonique en fluorescence).
Autofluorescence of a filament of Cyanophyte (LM).

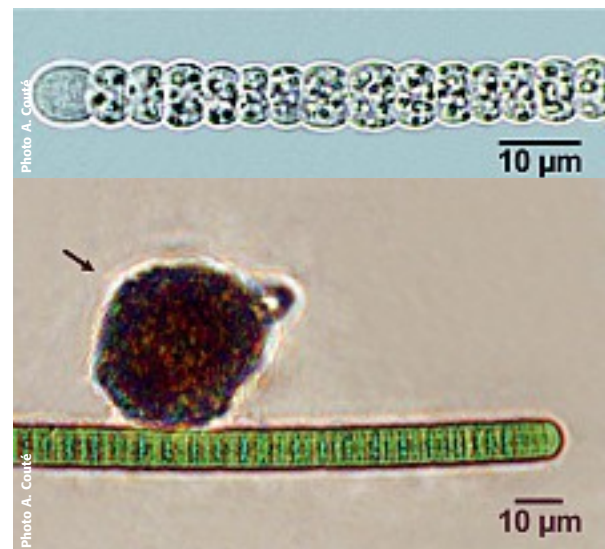


Figure 85 : Cyanophytes filamenteuses (microscopie photonique). La flèche montre une cellule de *Peridiniopsis cristatum*.
Two filamentous Cyanophytes (LM). The arrow shows a Peridiniopsis cristatum cell.



Figure 87 : nombreux filaments de Cyanophytes (microscopie photonique en fluorescence).

Autofluorescence of numerous filaments of Cyanophytes (LM).

matériel biologique marin ont consisté surtout en un survol rapide axé essentiellement sur les Dinophytes dont on sait qu'elles sont les premiers producteurs de toxines en milieu marin pour ce qui concerne les micro-algues.

Les résultats de ces premières investigations montrent, pour les micro-algues benthiques (= phytobenthos), la présence de plusieurs genres de Dinophytes. Parmi celles-ci, on peut noter, entre autres, une prorocentrale, *Prorocentrum magnum* (Gaarder) Dodge (famille: Prorocentracées) (Fig. 95), une Dinophysale, à savoir *Dinophysis paulseni* subsp. *platycephala* Balech (famille: Dinophysacées) (Fig. 96) et une péridiniale, *Ostreopsis* cf. *ovata* Fukuyo (famille: Ostreopsidacées) (Fig. 97). Les trois sont susceptibles d'élaborer des toxines. Ainsi, les genres *Dinophysis* et *Prorocentrum* sont connus pour être à l'origine d'intoxications de type IDFM (Intoxications Diarrhéiques par absorption de Fruits de Mer). Le genre *Ostreopsis*, pour sa part, a été identifié comme intervenant, entre autres, dans les intoxications par ingestion de poissons, qualifiées de ciguatera.

En règle générale, il faut reconnaître que les micro-algues benthiques ne sont pas abondantes dans les prélèvements et que chaque taxon, lorsqu'il n'est pas limité à une unité, n'est souvent pas représenté par plus de quatre ou cinq individus. Cette situation peut, très probablement, s'expliquer par le fort brassage de la zone de récolte dû à la houle qui remet en suspension les éléments qui auraient tendance à sédimenter, ainsi que par la granulométrie marquée du sable, tous deux facteurs peu favorables à l'installation de micro-algues benthiques.

Pour le phytoplancton marin, les premières observations ont mis en évidence que les récoltes étaient plus riches que celles du phytobenthos mais limitées en diversité de taxons avec, à côté de quelques Diatomophycées (Fig. 98), une prépondérance encore des Dinophytes.

Ainsi, si l'on trouve toujours le même *Dinophysis* (Fig. 96) et le même *Prorocentrum* (Fig. 95) cités

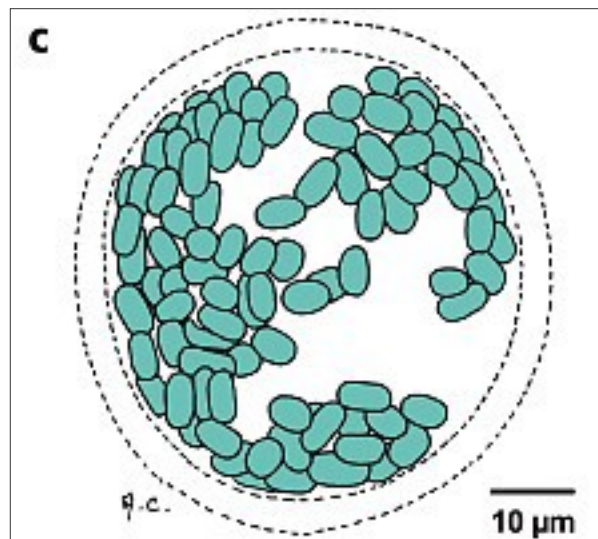
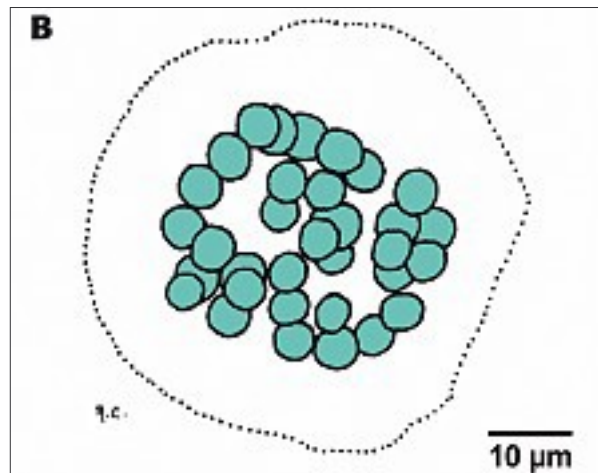
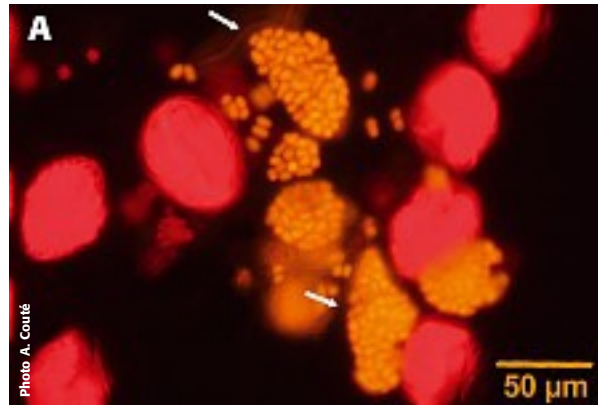


Figure 88 : **A** : Cyanophytes coloniales (flèches) mêlées à des Dinophytes (microscopie en fluorescence). **B** : *Aphanocapsa*. **C** : *Aphanothece*.

(LM): autofluorescence of colonial Cyanophytes (arrows) mixed with Dinophyte cells. B: drawing of a colony of Aphanocapsa. C: drawing of a colony of Aphanothece.

plus haut, qui peuvent évoluer dans la colonne d'eau, car équipés de deux flagelles, disposés, comme chez toutes les Dinophytes, à angle droit l'un par rapport à l'autre. Une autre Dinophysale a aussi été observée: *Ornithocercus steinii* Schütt. emend. Kofoid & Skogsberg (Dinophysacées) (Fig. 99), caractéristique avec sa collerette apicale et son aileron latéral. Deux Péridiniales accompagnaient cette dernière, à savoir *Ceratium* sp. (au moins trois espèces) avec ses trois appendices (Ceratiacées) (Fig. 100) et *Blepharocysta* sp. (Podolampacées)



Figure 89: larve de crustacé/Crustacean larva (LM).



Figure 90: rotifère et Dinophyte (à droite)/Rotifer with a cell of Dinophyte (right) (LM).

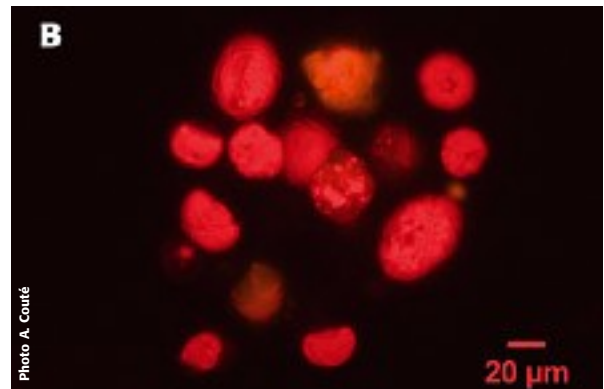
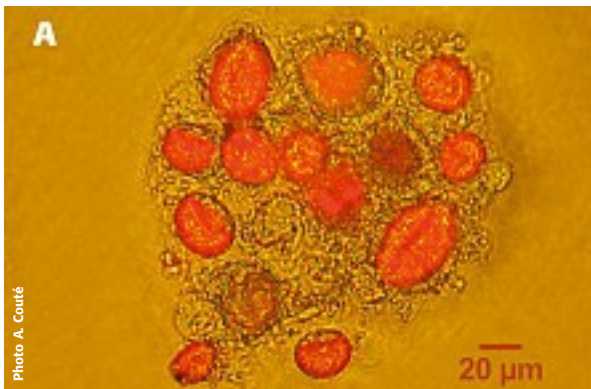


Figure 91: **A** et **B**: même cilié ayant ingéré des cellules de Dinophytes, observé en microscopie photonique en fluorescence. **A**: avec contraste interférentiel. **B**: en fluorescence seule. Les proies encore vivantes fluorescent dans le rouge.

A and B: red autofluorescence of Dinophyte cells infested by a ciliate. **A**: fluorescence microscopy with interferential contrast. **B**: fluorescence microscopy only.

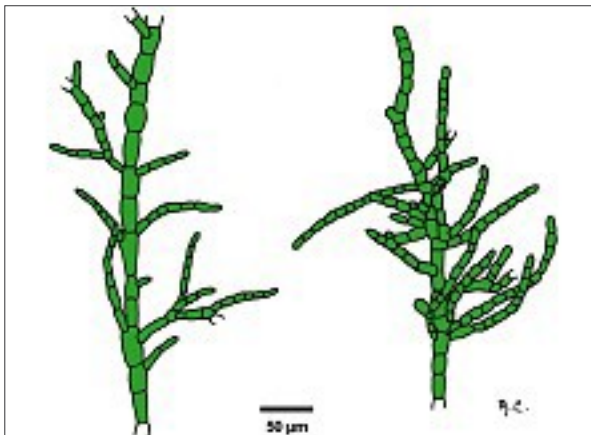


Figure 92: deux fragments de l'algue verte *Cloniophora macrocladia*. Drawing of two fragments of *Cloniophora macrocladia* (Chlorophytes).

(Fig. 101), aisé à reconnaître avec son sillon postérieur réduit et l'absence de sillon équatorial caractéristique du genre (sillon postérieur = sillon sulcal ou sulcus, où circule le flagelle postérieur qui sert à orienter la nage de la cellule; sillon équatorial = sillon cingulaire ou cingulum, où circule le flagelle médian qui assure le mouvement). Ces trois derniers taxons n'ont jamais été répertoriés jusqu'ici comme générateurs de toxines.

Toutes les Dinophytes inventoriées ici, qu'elles soient dulçaquicoles ou marines, planctoniques ou benthiques, sont bordées par une thèque plus ou moins robuste (qu'elles élaborent elle-mêmes), faites de

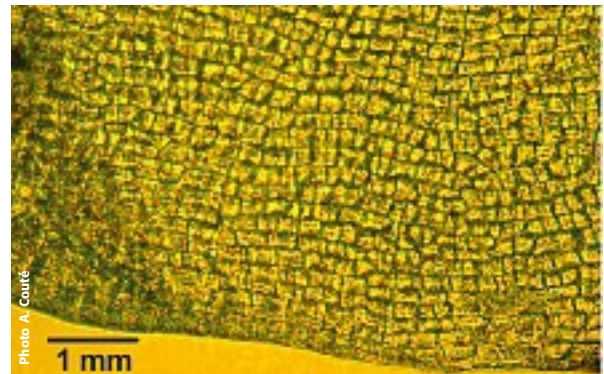


Figure 93: fragment de thalle d'*Enteromorpha* (microscopie photonique en lumière normale).

Fragment of an *Enteromorpha* thallus (LM).

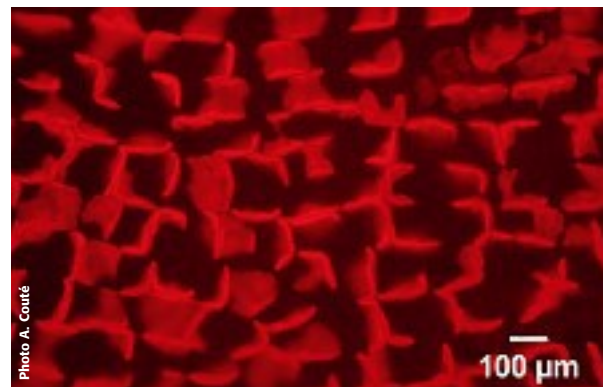


Figure 94: détail de thalle d'*Enteromorpha* (microscopie photonique en fluorescence).

Detail of the red autofluorescence of chloroplasts of an *Enteromorpha* thallus fragment (fluorescence microscopy).

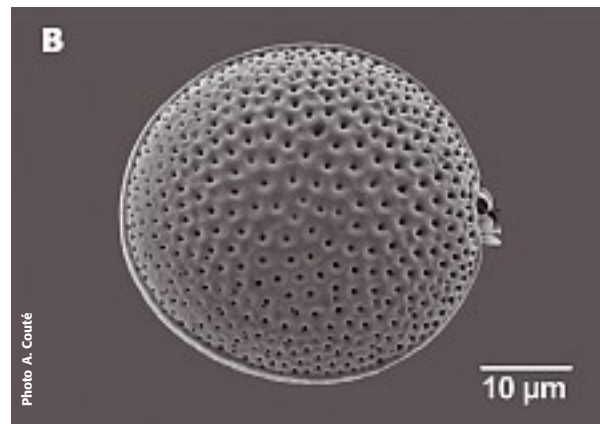
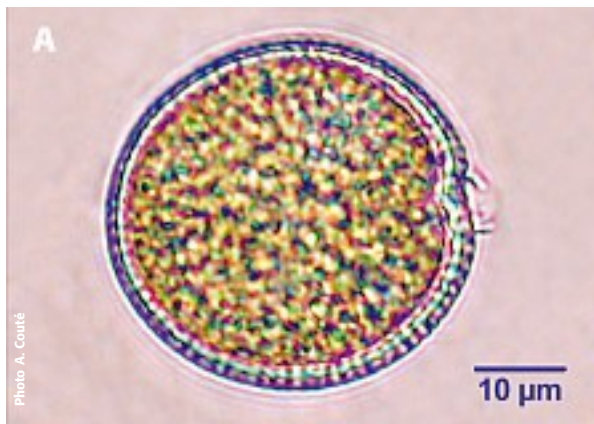


Figure 95: *Prorocentrum magnum* (A: microscopie photonique. B: microscopie électronique à balayage).
Prorocentrum magnum (A: LM. B: SEM).



Figure 96: *Dinophysis paulseni* subsp. *platycephala* (microscopie photonique).
Dinophysis paulseni subsp. *platycephala* (LM).

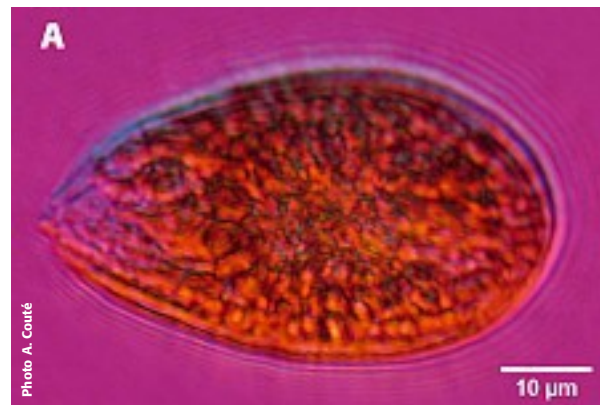


Figure 97: *Ostreopsis cf. ovata* (A: microscopie photonique. B: microscopie électronique à balayage).
Ostreopsis cf. ovata (A: LM. B: SEM).

plaques soudées les unes aux autres et dont l'ornementation, la forme et la taille servent pour l'identification.

Les observations faites sur les micro-algues du milieu marin, de toute évidence plus succinctes que celles effectuées sur le lagon, ont, tout d'abord, l'avantage de constituer une première. Elles révèlent la présence prédominante des Dinophytes avec, parmi elles, des genres à risque toxique potentiel qui devraient susciter un suivi vigilant si les pêches sur la zone devaient continuer à manifester une activité toujours croissante. Plancton et benthos devraient être pris en compte de manière plus complète et devraient être l'objet d'une étude annuelle, avec une fréquence de prélèvements au minimum mensuelle et des stations de récolte réparties sur toute la périphérie de l'atoll. De telles investigations permettraient de préciser la composition de la micro-flore marine et de mesurer les risques potentiels d'intoxication.

Le travail sur les micro-algues, mené lors de l'expédition Clipperton 2005, constitue une avancée non négligeable de la connaissance de ce compartiment très particulier du monde vivant, indispensable

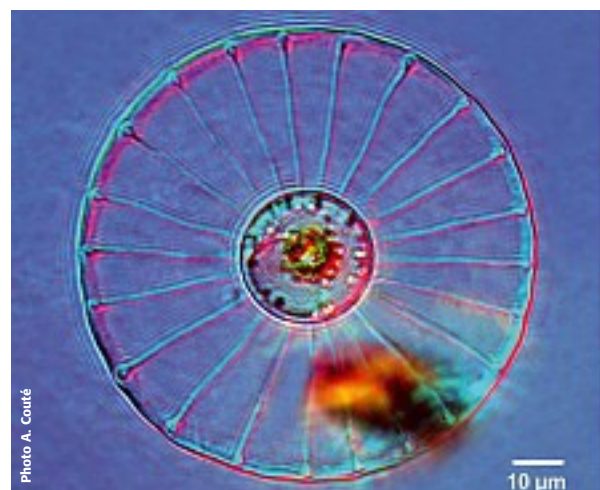


Figure 98: *Planktoniella* sp. (microscopie photonique).
Planktoniella sp. (LM).



Figure 99: *Ornithocercus steinii* (microscopie électronique à balayage). *Ornithocercus steinii* (SEM).

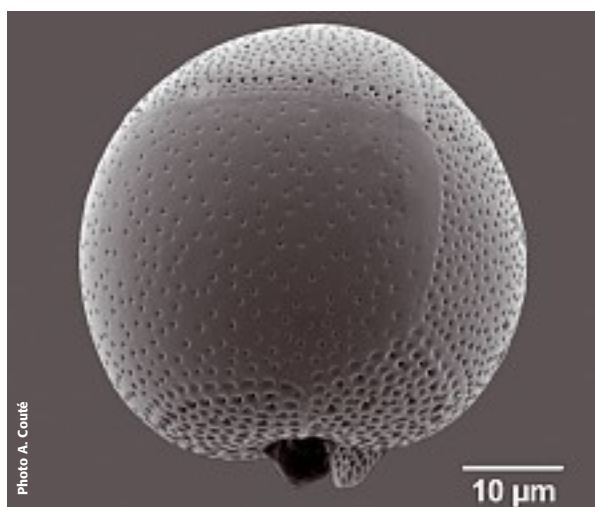


Figure 101: *Blepharocysta* sp. (microscopie électronique à balayage). *Blepharocysta* sp. (SEM).

tant par l'oxygène qu'il produit que par la masse de matière organique qu'il engendre. Il multiplie par un facteur voisin de trois le nombre de taxons connus pour cette région qui s'élève désormais à 92, tant dulçaquicoles que marins. L'évolution de la

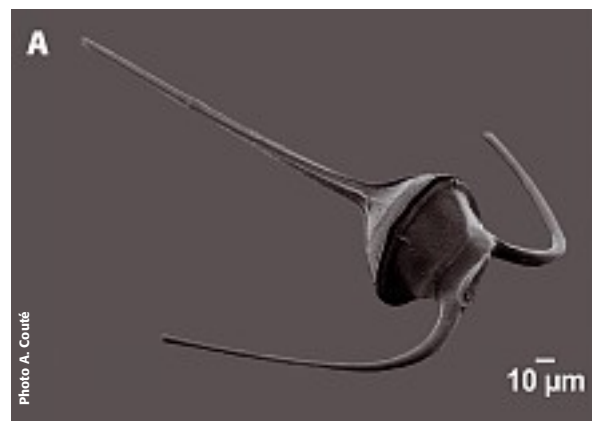


Figure 100: **A** et **B**: deux espèces du genre *Ceratium*. **A**: microscopie électronique à balayage. **B**: microscopie photonique. *Two species of Ceratium*. **A**: SEM. **B**: LM.

composition de la microflore du lagon devra, dans l'avenir, être le paramètre incontournable de la vie de cette étendue d'eau dont la salinité demeure très inféodée aux fluctuations climatiques et, par voie de conséquence, à celles du niveau général des eaux.

REMERCIEMENTS

Alain Couté remercie chaleureusement J.-L. Étienne et le personnel de 7^e Continent de lui avoir permis de participer à l'expédition Clipperton 2005 et d'avoir mis à sa disposition les matériels et les facilités logistiques sur l'atoll.

Il est aussi très reconnaissant envers l'équipe plongée qui a facilité au mieux la réalisation du travail en milieu sous-marin et assuré la sécurité des inter-

venants malgré des conditions parfois difficiles. Alain Couté sait gré à la fondation Total d'avoir largement participé à ses frais de déplacement et de séjour à Clipperton.

Enfin, sans la Société Carl Zeiss, qui a aimablement mis à disposition le microscope photonique AXIOSKOP 2+ DIC, les micrographies présentées dans ce chapitre n'auraient pu être obtenues.

BALECH E. 1961. – *Glennodinium cristatum*, sp. nov. (Dinoflagellada). *Neotropica* 7(23): 47-51.

BOURRELLY P. 1966. – Quelques algues d'eau douce du Canada. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie* 51(1): 45-126.

BOURRELLY P. 1968. – Notes sur les Péridiniens d'eau douce. *Protistologica* 4(1): 5-14.

BOURRELLY P. 1970. – *Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique. 3. Les algues bleues et rouges. Les Eugléniens, Péridiniens et Cryptomonadines.* Boubée éd., Paris, 512 p.

COUTÉ A. 2005. – Biologie et microscopie à balayage. *Revue française d'Histotechnologie* 18(1): 111-127.

KOMAREK J. & ANAGNOSTIDIS K. 2005. – *Cyanoprokaryota. 2. Oscillatoriales.* Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 759 p. (Süßwasserflora von Mitteleuropa; 19/2).

LECLERC J.-C., COUTÉ A. & DUPUY P. 1983. – Le climat annuel de deux grottes et d'une église du Poitou, où vivent des colonies pures d'algues sciaphiles. *Cryptogamie-Algologie* 4(1-2): 1-19.

Bibliographie

RICARD M. & BOURRELLY P. 1982. – Quelques algues microscopiques du lagon de l'atoll de Clipperton (Pacifique tropical nord). *Cryptogamie-Algologie* 3(1) : 25-31.

SACHET M.-H. 1960. – Histoire de l'île de Clipperton. *Cahiers du Pacifique* 2 : 1-32.

SACHET M.-H. 1962. – Flora and vegetation of Clipperton Island. *Proceedings of the California Academy of Sciences*, 4th series 31(10) : 249-307.

TAXIT R. 1981. – La biologie de Clipperton ou les conséquences du déséquilibre d'un écosystème sur les problèmes de survie. *Médecine Tropicale* 41(6) : 671-674.

TAYLOR R.-W.-M. 1939. – Algae collected on the presidential cruise of 1938. *Smithsonian Miscellaneous Collections* 98(9) : 1-18.

WEST W. & WEST G.S. 1908. – *A monograph of the British Desmidiaceae*. 3. Ray Society, London, 274 p.