

# RAPPORT DE MISSION

## du 20 Oct. au 03 Nov. 2019



**Auteurs :**  
Eric Clua  
et coll.



# MISSION SCIENTIFIQUE CLIPPERTON-2019 (île de La Passion - France)

**du 20 Oct. au 03 Nov. 2019**

Compilé et mis en forme par

Eric Clua, Directeur d'Etudes à l'Ecole Pratique des Hautes Etudes

Avec la contribution de

Cesar O. Almeda Jauregui, Leslie Altamirano López, Adriana Jazmín Alatorre Alba, Valérie Barbosa Solomieu, Tristan Berr, Diana Campo Hernandez, Hélène De Méringo, Leticia Huidobro, Daniel Hernández Cruz, Víctor Hugo Martínez Magaña, Nikita Jost, Nathalie Ruallez-Lasserre, Jesus Adolfo Tortolera Langarica, Sergio Paul Padilla Galindo, Jonatan Santander, Juan Roberto F. Vallarta Zárate, Mario Vásquez Ortiz

Citation:

Clua, E., et al (2020) Mission scientifique CLIPPERTON-2019 sur l'atoll de Clipperton (île de La Passion - France) du 20 Oct. au 03 Nov. 2019. Rapport de mission. CRIIBE USR3278 CNRS-EPHE-UPVD, RA284. 83 pp.

Février 2020

## TABLE DES MATIÈRES

|                                                     |       |                                            |
|-----------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------|
| Contexte institutionnel .....                       | 4-5   |                                            |
| Résumé exécutif (Français).....                     | 6-7   |                                            |
| Résumé ejecutivo (Espanol).....                     | 8-9   |                                            |
| Participants .....                                  | 10-11 |                                            |
| Profil des organisations .....                      | 12-13 |                                            |
| Bateau JORGE CARRANZA Fraser .....                  | 14-15 |                                            |
| CHAPITRE 1 .....                                    | 16-17 | CHAPITRE 3 .....44-45                      |
| INTRODUCTION                                        |       | L'ATOLL DE CLIPPERTON: VOLET MARIN         |
| Contexte et justification                           |       | Aperçu général du milieu sous-marin        |
| Objectifs de l'expédition                           |       | Suivi du couvert benthique                 |
| Montage institutionnel et financier                 |       | Ressources ichtyologiques (poissons)       |
| Moyens techniques et humains                        |       | côtières                                   |
| Déroulement de la mission                           |       | Suivi des populations de requins           |
| Débarquement sur l'atoll                            |       | Suivi des populations de cétacés et Mantas |
| CHAPITRE 2 .....                                    | 22-23 | CHAPITRE 4 .....60-61                      |
| L'ATOLL DE CLIPPERTON: VOLET TERRESTRE ET LAGONAIRE |       | LA ZEE DE CLIPPERTON: VOLET PELAGIQUE      |
| Aperçu général du milieu terrestre                  |       | Acoustique halieutique                     |
| Etude eco-toxicologique                             |       | Etude bathymétrique                        |
| Recensement des populations d'oiseaux               |       | Biologie halieutique pélagique             |
| Suivi de la géomorphologie littorale                |       | Etude de la Zone d'Oxygène Minimum         |
| Suivi des épaves                                    |       |                                            |
| Suivi des déchets humains                           |       | BIBLIOGRAPHIE .....80-81                   |
| Suivi du couvert végétal                            |       | ANNEXE .....82-83                          |

## UN PROJET SCIENTIFIQUE PARTAGÉ



Valérie Barbosa

Attachée scientifique  
Ambassade de France  
au Mexique

### "L'atoll de Clipperton- La Passion: sentinelle du changement global"

Les atolls possèdent une grande richesse de biodiversité terrestre et marine ayant une forte valeur écologique, culturelle, sociétale et économique. Elle est cependant fragile, particulièrement face aux changements globaux qui sont considérés comme le principal facteur menaçant l'avenir des territoires insulaires.

Afin de favoriser une meilleure connaissance scientifique des caractéristiques écologiques de l'île de Clipperton-La Passion, de ses ressources marines ainsi que de leur gestion durable, indispensable à la pérennité des stocks et aux activités de pêche liées, ainsi que des enjeux environnementaux de cette zone maritime, les gouvernements de la France et du Mexique ont convenu de mettre en œuvre des programmes de coopération scientifique et universitaire sur les questions identifiées en commun.

À cette fin, un comité franco-mexicain a été établi afin de définir un programme scientifique partagé. Deux ateliers conjointement organisés, successivement en septembre 2017 à Mexico (Mexique) et en septembre 2018 à Paris (France). Via un dialogue qui a duré plusieurs mois, entre les institutionnet équipes intéressées, un projet commun a été élaboré, centré sur l'atoll de Clipperton et ses eaux territoriales (Fig 1-1) qui sont considérés comme des écosystèmes sentinelles. Les détériorations insulaires, littorales et marines qu'ils subissent aujourd'hui illustrent en effet la problématique mondiale qui touche notre planète.

Le projet partagé se décline en trois volets:

**-VOLET 1 - 'PACIFIC OMZ OFF MEXICO': Etude de la variabilité spatio-temporelle de la zone minimale d'oxygène au large du Mexique (Zone 4, Fig. 1-1).**

**-VOLET 2 - 'TROPHO-CLIP': Etude des dynamiques tropho-écologiques du lagon et des eaux bordant l'atoll de Clipperton-La Passion dans le contexte du changement global (Zones 1 et 3, Fig. 1-1).**

**-VOLET 3 - 'EVOL-CLIP': Etude de l'évolution du compartiment émergé de l'atoll de Clipperton-La Passion dans le contexte du changement global, notamment d'une ré-ouverture potentielle des passes récifales naturelles et des dynamiques d'évolution des populations animales (Zone 2, Fig. 1-1).**

Le gouvernement du Mexique a mis à disposition en 2019, via l'Institut National de la Pêche et de l'Aquaculture (INAPESCA), le navire océanographique JORGE CARRANZA Fraser pour une mission qui s'est déroulée du 20 octobre au 03 novembre, au départ du port de Manzanillo (Colima). Cette mission a embarqué 20 scientifiques, dont 6 français (Fig. 1-2), qui ont travaillé sur divers projets s'insérant dans le cadre conceptuel défini ci-dessus. Ce document présente un résumé exécutif de cette mission qui constitue une première réussite et un pas décisif vers une collaboration franco-mexicaine à la hauteur des enjeux.

Bonne lecture.



**Figure 0-1.** Matérialisation des quatre zones de mise en oeuvre des trois projets de coopération à savoir: 1) lagon d'atoll, 2) couronne terrestre d'atoll, 3) eaux côtières (correspondant plus ou moins à la mer territoriale, soit 12 Mi des côtes), 4) zone hauturière pélagique.

**Figure 0-1.** Materialización de las cuatro áreas de implementación de los tres proyectos de cooperación, a saber: 1) laguna del atolón, 2) corona terrestre del atolón, 3) aguas costeras (que corresponden más o menos al mar territorial, es decir, 12 Mi de las costas), 4) zona pelágica de alta mar.

## UN PROYECTO CIENTÍFICO COMPARTIDO

### "El atolon de Clipperton- La Passion: centinela del cambio global"

Ramon Isaac Rojas Gonzalez

Director-adjunto de la  
investigación científica en el  
Atlántico - INAPESCA



Los atolones poseen una gran riqueza de biodiversidad terrestre y marina de alto valor ecológico, cultural, social y económico. Sin embargo, son frágiles, especialmente ante el cambio global, que se considera el principal factor que amenaza el futuro de los territorios insulares.

A fin de promover un mejor conocimiento científico de las características ecológicas de la isla de Clipperton, sus recursos marinos y su uso sostenible, que es esencial para la sostenibilidad de las poblaciones de peces y las actividades pesqueras conexas, así como de los problemas ambientales de esta zona marítima, los Gobiernos de Francia y México han convenido en ejecutar programas de cooperación científica y académica sobre las cuestiones identificadas conjuntamente.

Con este fin, se ha creado un comité técnico franco-mexicano para definir un programa científico común. Dos talleres franco-mexicanos dedicados a la temática « Océanos » (2017 en la CDMX, 2018 en Paris) y organizados por la Embajada de Francia, permitieron identificar algunos temas de interés común. A través de un diálogo de varios meses con las instituciones y equipos interesados pudo elaborarse un proyecto compartido. Dicho proyecto tiene por objeto el atolón de Clipperton y sus aguas circundantes (Fig. 1-1), que se consideran ecosistemas centinela. El deterioro de las islas, las costas y los mares que sufren hoy en día ilustra el problema mundial que afecta a nuestro planeta.

El proyecto compartido tiene tres componentes:

**-COMPONENTE 1 - 'PACIFIC OMZ OFF MEXICO': Estudio de la variabilidad espacial y temporal de la zona mínima de oxígeno (ZMO) (Zona 4, Fig. 1-1).**

**-COMPONENTE 2 - 'TROPHO-CLIP': Estudio de la dinámica trofo-ecológica de la laguna y de las aguas que bordean el atolón Clipperton-La Passion en el contexto del cambio global (Áreas 1 y 3, Fig. 1-1).**

**-COMPONENTE 3 - 'EVOL-CLIP': Estudio de la evolución del compartimento emergido del atolón de Clipperton-La Passion en el contexto del cambio global, en particular una posible reapertura de los pasos naturales de los arrecifes y la dinámica de la evolución de las poblaciones animales (Zona 2, Fig. 1-1).**

El Gobierno de México puso a disposición en 2019 el buque oceanográfico JORGE CARRANZA Fraser a través del Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INAPESCA) para una misión que tuvo lugar del 20 de octubre al 3 de noviembre, con salida desde el puerto de Manzanillo (Colima). En esta misión participaron 20 científicos, entre ellos 6 científicos franceses (Fig. 1-2), que trabajaron en varios proyectos dentro del marco conceptual descrito anteriormente. Este documento presenta un resumen ejecutivo de esta misión, que es un primer éxito y un paso decisivo hacia una colaboración franco-mexicana que responda a los desafíos.

Disfrute de su lectura.



**Figure 0-2.** Groupe franco-mexicain lors de l'inauguration du départ de la mission sur l'atoll de Clipperton le 20 octobre 2019 en présence du Dr Isaac Gonzalez et du Dr E. Clua (chef de mission français).

**Figure 0-2.** Grupo franco-mexicano en la inauguración de la salida de la misión en el atolón de Clipperton-La Pasion el 20 de octubre de 2019 en presencia del Dr. Isaac Gonzalez y del Dr. E. Clua (Jefe de Misión francés).



## RESUMEN EJECUTIVO

Una misión científica organizada conjuntamente por los gobiernos de México y Francia tuvo lugar en el atolón Clipperton-La Passion del 20 de octubre al 3 de noviembre de 2019. El buque oceanográfico JORGE CARRANZA Fraser del Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INAPESCA) sirvió de base para esta expedición, en la que participaron 20 científicos, entre ellos seis franceses. Dos talleres franco-mexicanos dedicados a la temática « Océanos » (2017 en la CDMX, 2018 en París) con representantes de instituciones académicas de ambos países habían permitido identificar algunos temas de interés común. Esta reflexión se enriqueció a lo largo del 2018 a través de consultas y discusiones con diferentes equipos de investigación tanto en Francia como en México. Los diversos proyectos ejecutados conjuntamente se referían a: i) un estudio fundamental de la cadena trófica desde las aguas pelágicas frente a México hasta el atolón, ii) el monitoreo de los arrecifes de coral del atolón y iii) las poblaciones de tiburones y iv) los peces de arrecife en aguas adyacentes al atolón, así como dos estudios en tierra sobre v) las poblaciones de aves y vi) la contaminación de la cadena trófica por diversos contaminantes, en particular los relacionados con los efectos antropogénicos.



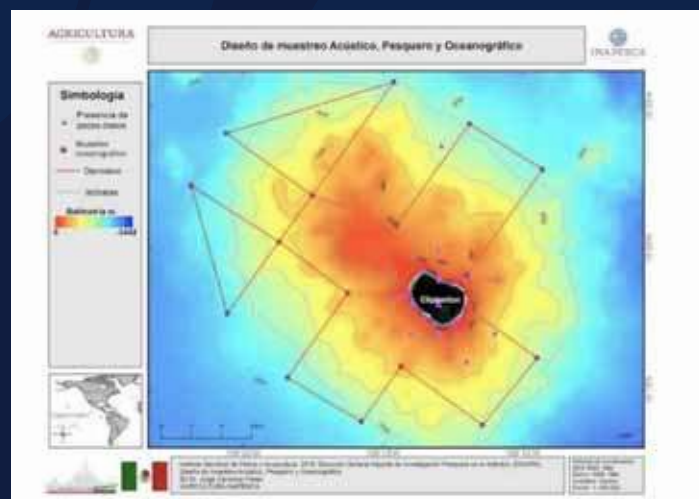
Photo@INAPESCA

Retrasado por una ventana meteorológica desfavorable, el buque abandonó el puerto de Manzanillo (Sinaloa) en la mañana del 21 de octubre. Posponiendo la implementación de estaciones en alta mar para el viaje de regreso, el atolón fue alcanzado en la mañana del 24 de octubre para un intento de desembarcar un equipo franco-mexicano de ocho personas al suroeste del atolón (cerca del campamento de Bougainville). Este intento, servido por lanchas ligeras no adaptados para este tipo de operación, no tuvo éxito debido a un oleaje poderoso. Al día siguiente, al este del atolón, tuvo lugar un exitoso aterrizaje a nado de las dos parejas involucradas en el trabajo en tierra. Demostrando gran flexibilidad, el equipo de INAPESCA propuso que los cuatro buzos científicos (dos franceses y dos mexicanos) permanecieran a bordo de la embarcación CARRANZA, que operaba transbordadores entre el mar abierto y las aguas costeras para dejar a los buzos por la mañana y recuperarlos todas las noches, después de un día de trabajo desde una lancha.

En cuanto al componente de pesca, se llevaron a cabo 16 estaciones a lo largo de transectos preestablecidos en un radio de unas 8 millas náuticas (mn) alrededor del atolón

(véase el mapa de al lado). Se cubrió un total de 2.026 mn, de los cuales 1.204 mn corresponden a desplazamientos y 651 mn a prospección biológica activa con fines científicos (esencialmente cualitativos y sobre organismos pequeños de menos de 10 cm de longitud). La detección acústica de bancos de peces se combinó con cuatro lanzes de redes, pesca diurna al curricán y pesca nocturna a los calamares. Los resultados iniciales muestran una concentración de recursos más bien al oeste del atolón, pero en cantidades relativamente pequeñas (en total ~ 40 kg de biomasa para ~ 10.000 organismos marinos de 23 familias y 36 taxones). La pesca de arrastre ha dado como resultado la captura de sólo cuatro grandes peces pelágicos (1 wahoo y 4 atunes aleta amarilla, el mayor de los cuales era de 40 kg); no se pudo capturar ningún calamar debido a la presencia sistemática de la población local de los grandes delfines durante la pesca (espantados o comiéndose los calamares). Además de estos estudios, se realizó un estudio batimétrico de 104 mn en la fachada de un monte submarino a unos 20 mn al noroeste del atolón.

En aguas costeras, se capturaron unos 60 peces de arrecife y se realizaron autopsias para desarrollar un estudio sobre la posible contaminación del atolón (componente marino de un estudio terrestre). Con respecto a los tiburones, las alarmantes observaciones de 2016, a pesar de una clara mejora en 2018, siguen siendo válidas ya que el 52% de los individuos observados tenían menos de 1 m de longitud y el 90% menos de 1,4 m (es decir, por debajo de la madurez sexual) dentro de la especie más común, el tiburón punta blanca. El promedio de 11 tiburones observados por inmersión en 2018 disminuyó a 8,8 en 2019. La segunda especie en términos de densidad es el tiburón de Galápagos, en el que también predominan los individuos de menos de 90 cm de longitud (70% frente al 64% en 2018), sin mejoras notables. En términos de diversidad, el tiburón coralino ha sido observado varias veces, al igual que el tiburón martillo festoneado (incluyendo media docena de individuos entre 250 y 350 cm). La pesca desde embarcaciones permitió la biopsia a 24 tiburones de punta blanca de entre 80 y 150 cm. También se recogieron heces de 12 individuos y se marcaron acústicamente tres individuos (dos machos y una hembra) para estudiar sus movimientos. Paralelamente, se ha restaurado el sistema de los tres receptores acústicos integrados en la red regional de MIGRAMAR (sustitución de baterías y algunos sistemas de anclaje).



Photo@INAPESCA

En cuanto al monitoreo de los arrecifes, se hicieron diez estaciones distribuidas alrededor del atolón mediante inmersiones a 10 m y 20 m respectivamente, utilizando las metodologías utilizadas anteriormente y en los sitios ya estudiados (con fines de comparación a medio plazo). Además de describir la cubierta coralina, se realizó un estudio de rugosidad, así como unas 30 muestras (15 cm<sup>2</sup>) para estudiar la tasa anual de acumulación de calcareo. En general, la cobertura de coral vivo sigue siendo muy alta (>60%), entre las mejores del Pacífico, gracias en particular a dos especies masivas muy dominantes, que representan alrededor del 50% de la superficie. Sin embargo, la capa superior del arrecife (<10 m de profundidad) parecía muy fragmentada en algunas áreas, con hasta un 19% de coral muerto. Una de las causas de esta situación podría ser la reciente ocurrencia de un huracán, pero esta hipótesis requiere validación. Los signos de enfermedad o blanqueamiento siguen siendo poco evidentes.

En tierra, los conteos de aves indican un dinamismo demográfico de las poblaciones de bobos enmascarados (con 35 a 40.000 parejas reproductoras) y de bobos pardos (con 9 a 10.000 parejas reproductoras), que siguen siendo las primeras y segundas más grandes del mundo, respectivamente. Aunque más pequeñas, las poblaciones de charrán pardos (~1000 parejas) y bobos de patas rojas (~200 parejas) también contribuyen a la diversidad específica del sitio. Cabe destacar la presencia marginal de algunas otras especies reproductoras (gitanos blancos, charrán hollín, charrán negro, sebo morado,



Photo@E. Cros

bobo de Grant), así como una importante variedad de aves playeras y acuáticas. Las especies reproductoras parecen poco afectadas por la introducción de la rata negra y la población de cangrejos parece estable. Por otra parte, están surgiendo otras amenazas (acumulación de plástico, rápida expansión de la vegetación rastrera, aguas crecientes) que deben ser objeto de un seguimiento meticuloso.

El atolón todavía está plagado de una cantidad impresionante de residuos, principalmente residuos plásticos vertidos por el mar. También hay rastros muy visibles de la presencia humana en los campamentos de Bougainville y en los antiguos campamentos estadounidenses, repletos de municiones viejas. No hay ningún naufragio significativo de barcos nuevos que reportar, y los viejos se están erosionando inexorablemente. Como tal, se ha iniciado un estudio innovador sobre la contaminación del atolón, la laguna y las aguas circundantes en relación con esta contaminación inducida por el hombre. Se recogieron muestras de biota (cangrejos, plumas, plantas acuáticas y terrestres, biopelículas, etc.) y sedimentos del atolón, así como de unos sesenta peces de arrecife de 10 especies diferentes distribuidas a lo largo de la cadena alimentaria (véase la sección marina). Durante los análisis se tratarán dos tipos de contaminación: metales y nanomicroplásticos.

La medición de las playas de barrera a la altura de los antiguos canales naturales muestra un ligero aumento de la anchura, lo que sugiere que la reapertura natural temprana de estas conexiones entre el océano y la laguna no está garantizada en absoluto.

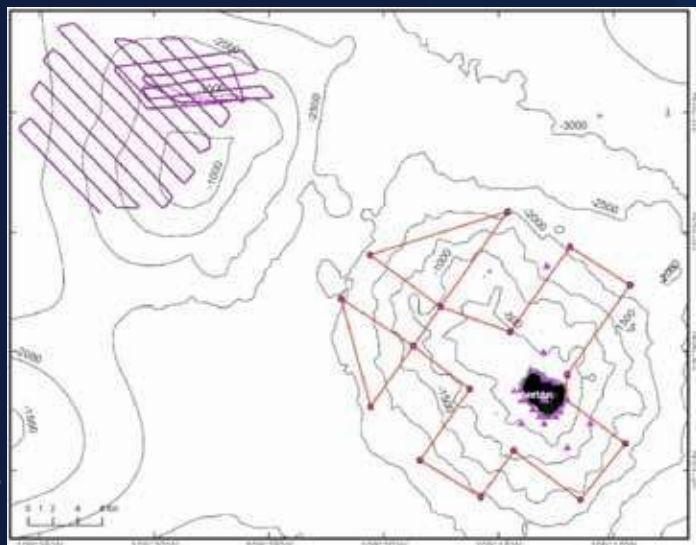


Finalmente, en la ruta de retorno, 7 estaciones recuperaron datos sobre la Zona Mínima de Oxígeno frente a México. En cada estación, se lanzó una sonda CTD (temperatura, conductividad y profundidad) para recuperar datos sobre O<sub>2</sub>, pH y salinidad. También se utilizaron redes de plancton para evaluar la productividad primaria. El análisis de estos datos es crucial para comprender mejor los riesgos de acidificación de estas zonas oceánicas y, entre otras cosas, su posible disminución de la productividad pesquera.

Todo este trabajo debería desembocar a corto plazo en al menos media docena de publicaciones científicas en las que participen equipos conjuntos franco-mexicanos sobre temas de contaminación, poblaciones de peces (peces de arrecife y tiburones), reapertura de pases y, potencialmente, aves.

El éxito de esta misión se debe en gran medida a la capacidad técnica del buque Dr. Jorge Carranza Fraser y a la gran disponibilidad, capacidad de adaptación y profesionalismos de la tripulación y personal científico de INAPESCA. El trabajo realizado durante esta primera campaña franco-mexicana desembocará a corto plazo en al menos media docena de publicaciones científicas conjuntas sobre temas de contaminación, poblaciones de peces (peces de arrecife y tiburones), reapertura de pases y, potencialmente, aves. Los resultados de este estudio, de gran relevancia, desde un punto de vista científico, requerirán, para su plena explotación y comprensión, de un seguimiento a través de los años. En este sentido, se espera que la cooperación entre los equipos implicados, cuyas competencias son muy complementarias, pueda consolidarse y resulte, a mediano y largo plazo, en proyectos conjuntos de investigación que impliquen la formación de recursos humanos por medio de un programa de becas específico (CONAPESCA, etc.). De igual manera se tiene contemplado integrar a equipos de investigación de ambos países que no tuvieron la oportunidad de participar en esta primera edición.

En este marco, y bajo reserva que las condiciones presupuestales, técnicas y administrativas sean favorables, todas las partes implicadas concuerdan en la pertinencia de planificar una nueva misión en 2020, a bordo del buque que constituye un instrumento excepcional de investigación oceanográfica.



Concernant le volet halieutique, 16 stations ont été effectuées le long de transects pré-établis dans un rayon



## RESUME EXECUTIF

Une mission scientifique conjointement organisée par les gouvernements du Mexique et de la France s'est déroulée sur l'atoll de Clipperton-La Passion du 20 octobre au 03 novembre 2019. Le navire océanographique JORGE CARRANZA Fraser de l'Institut National des Pêches et de l'Aquaculture (INAPESCA) a servi de support logistique à cette expédition qui comptait 20 scientifiques, dont six français. En accord avec les thématiques définies lors des deux ateliers préparatoires de 2017 (Mexico city) et 2018 (Paris), les divers projets mis en oeuvre conjointement ont concerné i) une étude fondamentale de la chaîne trophique au sein des eaux pélagiques au large du Mexique jusqu'aux abords de l'atoll, ii) un suivi des récifs coralliens de l'atoll ainsi que iii) des populations de requins et iv) poissons récifaux au sein des eaux adjacentes à l'atoll, ainsi que deux études à terre concernant respectivement v) les populations aviaires et les vi) pollutions de la chaîne trophique par divers contaminants, en particulier liés aux effets anthropiques.

Retardé par une fenêtre météo défavorable, le navire a quitté le port de Manzanillo (Sinaloa) le 21 octobre au matin. La mise en oeuvre des stations en haute mer a été repoussée au trajet retour, ce qui permis d'atteindre l'atoll dès le 24 octobre au matin pour une tentative de débarquement d'une équipe franco-mexicaine de huit personnes au sud-ouest de l'atoll (près du camp Bougainville). Cette tentative, desservie par des embarcations légères inadaptées à ce type d'opération, s'est avérée infructueuse en raison d'une houle puissante. Un débarquement à la nage des deux binômes concernés par le travail à terre s'est déroulé avec succès le lendemain à l'Est de l'atoll. Faisant preuve d'une grande flexibilité, l'équipe d'INAPESCA a proposé que les quatre plongeurs scientifiques (deux français et deux mexicains) restent basés à bord du navire CARRANZA, qui a effectué des navettes entre le large et les eaux côtières afin de déposer les plongeurs le matin puis les récupérer tous les soirs, après une journée de travail réalisée à partir d'une embarcation légère.

d'environ 8 nautiques (mi) autour de l'atoll (cf carte ci-contre). Un total de 2,026 mn ont été parcourus, composées de 1,204 mn correspondant à des déplacements et 651 mn de prospection biologique active à visée scientifique (essentiellement qualitative et sur les petits organismes < 10 cm de longueur). La détection acoustique des bancs de poisson-fourrage a été couplée à quatre traits de filets, de la pêche diurne à la traine et de la pêche nocturne aux calmars. Les premiers résultats montrent une concentration des ressources plutôt à l'Ouest de l'atoll, mais dans des quantités relativement faibles (en tout ~ 40 kg de biomasse pour ~ 10 000 organismes marins relevant de 23 familles et 36 taxons). La pêche à la traine a débouché sur la capture d'à peine cinq gros pélagiques (1 wahoo et 4 thons jaunes, dont le plus gros de 40 kg); aucun calamar n'a pu être pêché en raison d'une déprédation par la population locale de grands dauphins systématiquement présents lors des pêches. En marge de ces prospections, une étude bathymétrique sur une distance totale de 104 mn a été réalisée sur la façade d'un mont sous-marin à une vingtaine de mn au nord-ouest de l'atoll.



Photo@E. Clua

Dans les eaux côtières, une soixantaine de poissons de récifs ont été pêchés et autopsiés en vue d'une étude sur la pollution potentielle en provenance de la partie émergée de l'atoll (volet marin de l'étude terrestre). Concernant les requins, les observations alarmantes de 2016 liées à une surpêche probable des squales, malgré une amélioration en 2018, restent d'actualité dès lors que 52% des individus observés mesuraient moins de 1 m de long et 90% moins de 1.4 m (soit en deçà de la maturité sexuelle) au sein de l'espèce la plus présente, à savoir le requin à pointes blanches. La moyenne de 11 requins observés par plongée en 2018 est redescendue à 8,8 en 2019. La deuxième espèce en densités est le requin des Galapagos, au sein de laquelle dominant aussi les individus d'une longueur inférieure à 90 cm (70% contre 64% en 2018), sans aucune amélioration perceptible. En terme de diversité, le requin corail a de nouveau été observé à plusieurs reprises, de même que le requin marteau à festons (notamment une demi-douzaine d'individus entre 250 et 350 cm). La pêche à partir des bateaux a permis de biopser 24 requins à pointes blanches entre 80 et 150 cm. Des fecès ont aussi été prélevés sur 12 et trois individus (deux mâles et une femelle) ont été marqués acoustiquement afin d'étudier leurs déplacements. En parallèle le dispositif des trois récepteurs acoustiques intégrés au réseau régional MIGRAMAR a été restauré (changement de batteries et certains systèmes d'ancrage).

Concernant le suivi récifal, dix stations réparties autour de l'atoll ont été mises en oeuvre en plongée respectivement à



Photo@E. Clua

10 m et 20 m de profondeur, en reprenant les méthodologies précédemment utilisées et sur les sites déjà étudiés (à des fins de comparaison à terme). Outre la description de la couverture corallienne, une étude de la rugosité a aussi été effectuée, de même qu'une trentaine de prélèvements (de 15 cm<sup>2</sup>) visant à étudier le taux d'accrétion calcaire annuel. Globalement la couverture en corail vivant reste très importante (>60%), parmi les meilleures du Pacifique, notamment grâce à deux espèces massives très dominantes, qui représentent autour de 50% des surfaces. Néanmoins, l'étage supérieur du récif (<10 m de profondeur) est apparu très fragmenté à certains endroits, avec jusqu'à 19% de corail mort. Ce résultat est probablement à imputer à une perturbation cyclonique récente qu'il conviendra de valider. Les signes de maladies ou de blanchissement restent, quant à eux, relativement faibles.



Photo@E. Cros

À terre, les comptages d'oiseaux indiquent un dynamisme démographique des deux populations dominantes de fous masqués (avec 35 à 40 000 couples nicheurs), et de fous bruns (avec 9 à 10 000 couples nicheurs). Bien que plus réduites, les populations de noddis bruns (~1000 couples) et de fous à pieds rouges (~200 couples) participent également à la diversité spécifique du site. Une présence marginale de quelques autres espèces nicheuses (gygis blanche, sterne fuligineuse, noddie noir, talève violacée, fou de Grant) est à souligner, ainsi qu'une importante variété de limicoles et d'oiseaux d'eau. Les espèces nicheuses semblent peu affectées par l'introduction du rat noir et la population des crabes semble stable. En revanche, d'autres menaces (accumulation de plastique, expansion rapide de la végétation rampante, montée des eaux) se profilent et sont à surveiller de près.

L'atoll est toujours jonché d'une quantité impressionnante de déchets, essentiellement en plastiques rejetés par la mer. Subsistent aussi les traces encore très visibles de la présence humaine dans les camps de Bougainville et l'ancien camp américain, jonché de vieilles munitions. Il n'y a pas

de nouvelle épave conséquente de bateau à déplorer, et les anciennes s'érodent inexorablement. À ce titre, une étude innovante a été lancée concernant la contamination de l'atoll, du lagon et des eaux environnantes en lien avec ces pollutions d'origine humaine. Des prélèvements de biote (crabes, plumes, plantes aquatiques et terrestres, biofilms, etc.) et de sédiments sur l'atoll ont été effectués, de même que sur une soixantaine de poissons récifaux relevant de 10 espèces différents échelonnées sur la chaîne trophique (cf volet marin). Deux types de contamination seront ciblés lors des analyses: les métaux et les nano-microplastiques.

La mesure des cordons littoraux au niveau des anciennes passes naturelles, montre une légère augmentation des largeurs, ce qui engage à penser que la ré-ouverture naturelle anticipée de ces connections entre l'océan et le lagon n'est en rien garantie.

Enfin, sur la route de retour, 7 stations ont permis de récupérer des données concernant la Zone d'Oxygène Minimale au large du Mexique. Sur chaque station, une sonde CTD (Température, Conductivité et Profondeur) a été lancée pour récupérer des données sur l'O<sub>2</sub>, le pH et la salinité. Des filets de plancton ont aussi été déployés pour évaluer la productivité primaire. L'analyse de ces données est cruciale pour mieux appréhender les risques d'acidification de ces zones océaniques et, entre autres, leur diminution potentielle de productivité halieutique.



Photo@E. Clua

Tous ces travaux devraient déboucher à court terme sur *a minima* une demi-douzaine de publications scientifiques impliquant des équipes mixtes franco-mexicaines sur les sujets de la pollution, les populations ichtyologiques (poissons récifaux et requins), la ré-ouverture des passes, les oiseaux et la botanique. Il conviendrait de développer conjointement des programmes de bourses pour étudiants afin de renforcer ces axes, en développer d'autres et inclure de nouvelles équipes dans cette dynamique.

La réussite de cette mission est en grande partie imputable au bateau et équipage d'INAPESCA, allié à l'implication de CRIOBE. Ces premiers résultats partagés engagent à planifier dans les plus brefs délais une nouvelle mission en 2020 pour laquelle le bateau d'INAPESCA apparaît comme un outil très adapté.

## EQUIPE MEXICAINE INAPESCA-CICESE-UABC



**Miguel VALDEZ SANCIDIO**

Capitaine

Diplômé de l'école navale de Mazatlan-

Sinaloa, M. VALDEZ a obtenu sa licence de capitaine hauturier sans limite de tonnage en 2003 (norme SCTW-2010). Il cumule une expérience de 27 ans en tant que capitaine de la marine marchande, de pêche et de recherche océanographique. Il est aujourd'hui en charge du JORGE CARRANZA Fraser pour INAPESCA.

Email : manuel.valdez@inapesca.gob.



**Juan Roberto F. VALLARTA ZÁRATE**

Chef du département acoustique

Roberto est chercheur principal à INAPESCA. Il est titulaire d'une maîtrise en sciences de la mer de l'Université nationale autonome du Mexique. Spécialiste des opérations d'échosondeurs scientifiques et bathymétries et des systèmes acoustiques en général et de l'analyse en systèmes d'information géographique (SIG).

Email : roberto.valarta@inapesca.gob.mx



**Víctor Hugo MARTÍNEZ MAGAÑA**

Chef du département Océanographie

Diplômé de la Faculté des Sciences Marines de basse-Californie (UABC), Víctor travaille au sein de l'Institut National des Pêches et de la Aquaculture (INAPESCA), notamment pour l'élaboration et mise en oeuvre des projets de recherche en océanographie des pêches.

Email : Victor.martinez@inapesca.gob.mx



**Leticia HUIDOBRO CAMPOS**

Chef du département Biologie

Leticia est diplômée de l'Université nationale autonome du Mexique (UNAM), coordinatrice et responsable du domaine de la biologie de la pêche sur le B/I Jorge Carranza Fraser. Chercheur à l'INAPESCA, spécialiste en ichtyologie, systématique et biologie des pêches.

Email : leticia.huidobro@inapesca.gob.mx



**Heriberto SANTANA HERNÁNDEZ**

Chef de campagne

Titulaire d'un doctorat en pêche pélagique, Heriberto est entré à INAPESCA en 1984 pour assumer plusieurs postes de responsabilité, avant d'être nommé comme chef de plusieurs campagnes océanographiques dans le Golfe du Mexique et sur la côte Pacifique.

Email : heriberto.santana@inapesca.gob.mx



**Sergio Paul PADILLA GALINDO**

Chef du département Captures

Sergio est ingénieur en pêche au sein de l'INAPESCA, en charge de l'amélioration des engins de pêche. Il est spécialiste de la pêche au thon et aux calamars.

Email : sergio.padilla@inapesca.gob.mx



**César O. ALMEDA JAUREGUI**

Océanographe

César est chercheur au sein de l'organisme CICESE, en tant que spécialiste des flux de particules organiques et inorganiques dans l'océan, océanographie du minimum d'oxygène couplé au changement climatique, écologie des microbes hétérotrophes et phototrophes dans l'océan.

Email : calmeda@cicese.mx



**Jonathan SANTANDER**

Océanographe

Jonathan est titulaire d'un master et affecté au sein de l'Université de Basse Californie en tant que technicien du domaine de l'océanographie chimique, spécialiste de la chimie du CO2 dans la colonne d'eau de mer, de la méthodologie pour déterminer les paramètres impliqués dans le système du carbone dans l'eau de mer ainsi que leurs interactions ou atmosphère océanique.

Email : santandercruzj@uabc.edu.mx

## EQUIPE SCIENTIFIQUE FRANCO-MEXICAINE



**Eric CLUA**

Vétérinaire, Docteur en Ecologie Marine

Chef de mission

Directeur d'études à l'Ecole Pratique des Hautes Etudes et affecté au sein du CRILOBE USR3278, spécialisé dans la biologie et l'écologie comportementale des requins. Il oeuvre pour la conservation de ces animaux à travers ses études et la production de supports télévisuels ou de conférences pour le grand public. Eric a effectué sa première mission sur Clipperton en 2016 en coopération avec l'association mexicaine Pelagios-Kakunja et la fondation colombienne pour Malpelo, pour étudier la connectivité génétique et spatiale des requins fréquentant les eaux de Clipperton. Ce projet s'inscrit dans le réseau régional Migramar qui étudie ce phénomène à l'échelle du Pacifique Tropical Est.

Email : eric.clua@univ-perp.fr



**Adolfo Jesus TORTOLERO LANGARICA**

Docteur en gestion des ressources naturelles

Titulaire d'un doctorat en sciences de la biosystématique, de l'écologie et de la gestion des ressources naturelles. Adolfo est professeur-chercheur à l'Institut Tecnológico de Bahía de Banderas, Mexique (TecNM). Spécialiste en sclérochronologie, taux de croissance et impacts environnementaux sur les coraux hermatypiques et restauration active des récifs coralliens.

Email : adolfo.tl@bahia.tecnm.mx



**Nathalie RUALEZ-LASSERE**

Ingénieur en écotoxicologie marine

Nathalie est Ingénieure d'Etudes hors classe du CNRS et est affectée au sein du laboratoire d'Ecotoxicologie Aquatique relevant de l'UMR CNRS 5805 EPOC - OASU, situé à la Station Marine d'Arcachon, et rattaché à l'Université de Bordeaux.

Email : nathalie.mesmer-dudons@u-bordeaux.fr



**Hélène DE MERINGO**

Docteur en écologie marine

Hélène de Méringo, Ingénieure d'Etude CNRS à l'IMBE à Aix-en-Provence, spécialisée en écologie trophique travaille sur l'impact des espèces invasives en milieu insulaire et participe à l'étude et au recensement des oiseaux marins sur l'atoll de Clipperton.

Email : helene.demeringo@imbe.fr



**Tristan BERR**

Doctorant en ornithologie marine

Rattaché à l'Université de Nouvelle-Calédonie et l'Institut de la Recherche pour le Développement UMR ENTROPIE et à l'IMBE. Travaille sur la distribution des oiseaux marins reproducteurs sur les îles coralliennes basses. Conduit l'inventaire des communautés aviaires de Clipperton-La Passion.

Email : tristan.berr@ird.fr



**Nikita JOST**

Master2 en écologie marine

Titulaire d'un master universitaire en écologie, Nikita ambitionne de s'impliquer durablement sur l'étude de la résilience des écosystème de l'atoll de Clipperton. Sur la mission 2019, Nikita est commissionné et pris en charge par le CPOM pour contribuer à l'étude d'éco-toxicologie mise en oeuvre par le laboratoire EPOC.

Email : nikitajost@gmail.com



**Eric CROS**

Plongeur professionnel

Titulaire du diplôme professionnel de plongée en scaphandre Classe IIB, E. Cros a créé le bureau d'études SEASTEMIC qui fournit aussi une expertise en ingénierie informatique, en photographie sous-marine et en formation.

Email : eric.cros@seastemic.com

## INSTITUTO NACIONAL DE PESCA Y ACUACULTURA

L'Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura est la seule institution mexicaine de recherche sur les pêches et l'aquaculture ayant une couverture nationale en contact permanent avec le secteur de la pêche et de l'aquaculture, ses problèmes de développement et de gestion. Les travaux menés dans le cadre du principe de la pêche responsable fournissent à l'autorité compétente en matière de pêche et d'aquaculture des bases scientifiques solides, des données fiables pour conserver, gérer et développer la pêche et contribuer à la préservation de la biodiversité, des écosystèmes et de l'habitat aquatique.

Contact: [www.gob.mx/inapesca/](http://www.gob.mx/inapesca/)



## CICESE

Le Centre de recherche scientifique et d'enseignement supérieur d'Ensenada (Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada) est un centre de recherche et d'enseignement situé à Ensenada, Baja California, Mexique. Le centre fut créé en 1973 par le gouvernement fédéral mexicain. Il propose des formations de master et des doctorats dans divers domaines scientifiques et techniques. Ils font partie du système des centres publics de recherche du conseil national des sciences et technologies (CONACYT). En une trentaine d'années il est devenu un centre majeur de recherche du pays.

Contact: [www.cicse.edu.mx](http://www.cicse.edu.mx)



## CRIOBE - UNITÉ DE SERVICE ET DE RECHERCHE (USR) 3278, EPHE-CNRS-UPVD

Le Centre de Recherches Insulaires et Observatoire de l'Environnement (CRIOBE) fait partie du TOP20 mondial des laboratoires spécialistes du fonctionnement des écosystèmes récifo-coralien, en particulier en ce qui concerne les effets du changement climatique sur les écosystèmes coralliens. Cette unité de recherche

scientifique a une double implantation géographique à travers une station de terrain située en Polynésie Française à Moorea, et un centre situé sur le campus de l'université de Perpignan, au Sud de la France. Il inclut une soixantaine de chercheurs et techniciens spécialisés sur les écosystèmes méditerranéens et tropicaux, en particulier les récifs coralliens. Les activités scientifiques du CRIOBE concernent la Recherche de base et appliquée, l'Enseignement et la Formation (thèses et stages d'élèves) et l'Information (articles de presse, vulgarisation scientifique).

Contact: [www.criobe.pf](http://www.criobe.pf)



## EPOC - UMR5805 CNRS-EPHE-UNIV. BORDEAUX

L'UMR 5805 « Environnements et Paléoenvironnement Océaniques » (EPOC) a été créée au 1er janvier 1997. Cette UMR a tout d'abord associé deux puis très rapidement trois laboratoires de l'Université Bordeaux 1 : (1) le Département de Géologie et d'Océanographie (DGO), le Laboratoire d'Océanographie Biologique (LOB) et le Laboratoire d'Ecophysiologie et d'Ecotoxicologie des Systèmes Aquatiques (LEESA).

Contact: [www.epoc.u-bordeaux.fr](http://www.epoc.u-bordeaux.fr)



## ENTROPIE - UNITÉ MIXTE DE RECHERCHE

ENTROPIE est une UMR à trois tutelles (Université de La Réunion, IRD et CNRS) dont l'objectif vise à mieux comprendre le fonctionnement des écosystèmes marins et insulaires de l'Indo-Pacifique tropical dans le contexte du réchauffement climatique. Les sites de recherche se situent prioritairement en Nouvelle-Calédonie et à La Réunion.

Contact: [www.umd-entropie.ird.nc](http://www.umd-entropie.ird.nc)



## IMBE - UNITÉ MIXTE DE RECHERCHE

L'IMBE est structuré en 7 grandes équipes : Paléoenvironnements et Processus Macroécologiques (PPM), Origine et Evolution de la Biodiversité (OEB), Vulnérabilité Ecologique et Conservation (VEC), Ingénierie de la Restauration des Patrimoines Naturel et Culturel (IRPNC), Diversité et Fonctionnement des Molécules aux Ecosystèmes (DFME), Biomarqueurs, Environnement, Santé (BES) et Biotechnologie Environnementale et Chimie pour la valorisation de la biodiversité (BEC). Afin de favoriser l'émergence de l'écologie globale, les échanges scientifiques et les travaux de recherches sont mobilisés au sein de thèmes fédérateurs qui recoupent les problématiques de plusieurs équipes.

Contact: [www.imbe.fr](http://www.imbe.fr)

## INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE BAYAS BANDERAS



L'Instituto Tecnológico de Bahía de Banderas a commencé ses activités dans le prolongement de l'Instituto Tecnológico del Mar No. 2 de Mazatlán, Sinaloa, en août 1993, rattaché à la Dirección General de Educación en Ciencia y Tecnología del Mar, dépendant du Subsecretaría de Educación e Investigación Tecnológica du Secretaría de Educación Pública.

A ce jour, l'Institut offre les carrières de : Diplôme en Biologie options Aquaculture et/ou Génie Marin, Environnemental et Technicien Supérieur en Plongée



Sportive et Récréative et bientôt en Ingénierie en Gestion d'Entreprise. Les diplômes et l'ingénierie ont une durée de 4 ans et la carrière de Technicien Supérieur de deux ans.

Contact: [www.bahia.tecnm.mx](http://www.bahia.tecnm.mx)

## CLIPPERTON PROJETS D'OUTREMER

CPOM ou « Clipperton – Projets d'Outre-Mer » est une ONG de type Association de droit local Alsace-Moselle, (loi 1908) fondée le 11 novembre 2008, reconnue

« Organisme d'Intérêt général pour ses actions et contributions dans le domaine de la Science et de l'environnement ». Elle a pour objet : la recherche, la promotion et la diffusion des connaissances et des échanges au bénéfice du patrimoine environnemental, historique et culturel des îles et territoires de l'Outre-Mer français et plus particulièrement de l'île de La Passion-Clipperton ». Pour la mission 2019, CPOM a réussi à mobiliser une subvention du MOM de 10 000 euros pour faciliter la logistique des participants français.

Contact: [www.cpom.fr](http://www.cpom.fr)



## FONDATION DE LA MER

La Fondation de la Mer oeuvre pour relever la grande aventure maritime du 21ème siècle. Sa mission est à la fois de rassembler tous les acteurs du monde maritime et de porter leur passion et leurs convictions auprès de 70 millions de français, et plus largement de 500 millions d'europeens. La Fondation de la Mer agit d'ores et déjà dans trois directions : protéger, découvrir et partager les richesses offertes par la mer.

Contact: <http://www.fondationdelamer.org>



## SEASTEMIC

Créée par Eric CROS, Seastemic est une société qui a dans son ADN l'exploration et la protection de l'Océan. Elle offre des prestations de Photographie Sous-Marine et Plongée Scientifique, en Conseil et Ingénierie Informatique ou encore en Formation. Ce bureau d'étude a assuré l'encadrement des plongées scientifiques lors de l'expédition 2019.

Contact: <http://seastemic.com/>



# LE BATEAU JORGE CARRANZA FRASER

## Un hommage au Dr Jorge Carranza Fraser

M. Jorge Carranza Fraser a étudié la biologie à l'École nationale des sciences biologiques de l'Institut polytechnique national (IPN) en se concentrant sur les sciences de la pêche.

De 1977 à 1982, M. Jorge Carranza Fraser a été directeur général de l'Institut national des pêches (INAPESCA). Au cours de son mandat, le biologiste a réussi à faire évaluer les ressources dans les zones de haute mer, en particulier là où vivent les sardines et les anchois, et à établir un lien entre les institutions nationales, étrangères et internationales pour effectuer des recherches et gérer des programmes qui tirent profit des ressources naturelles des mers. Il est à ce titre, l'un des plus grands contributeurs à cette science pour le Mexique, à l'origine de la découverte de nouvelles espèces de poissons dans les rivières, les lacs et les mers. Ainsi que l'étude des barrages et des méthodologies de pêche. Dans le cadre de ses études en biologie marine, il a fondé la Station de biologie marine de Veracruz et le Centre national des sciences et technologies marines de l'État.

Pour ces actions, le dernier navire de pêche et de recherche océanographique d'INAPESCA a été baptisé de son nom, afin que l'étude des mers et des écosystèmes

aquatiques puisse continuer à être promue par ce navire.

Nul autre bâtiment que le Carranza Fraser pouvait mieux se prêter à la logistique de cette mission scientifique en coopération avec la France sur l'atoll de Clipperton (Fig. 0-3).

## Un bateau océanographique à la pointe de la technologie

Le navire océanographique a été construit en 2013 en Espagne. Il mesure environ 60 m de long pour 13 m de large, accusant un poids de 484 tonnes pour un volume de 1774. Son tirant d'eau est de 4,9 m.

Il peut accueillir à bord, outre l'équipage de 18 personnes, jusqu'à 22 scientifiques, avec une autonomie en mer de 50 jours. Equipé de deux moteurs diesel-électriques 1,05 kW, la vitesse de croisière du bateau est autour de 8 KT avec une vitesse maximale de 13 KT.

Ce navire bénéficie d'un système de positionnement géodynamique et est équipé des dernières technologies de pêche hauturière, incluant des sonars acoustiques particulièrement performants, et un ROV pouvant évoluer jusqu'à -2 000 m (Fig. 0-4). A bord, plusieurs laboratoires permettent une complète autonomie pour ce qui est des études halieutiques.



**Figure 0-3.** Photo générale de l'équipe franco-mexicaine au retour de la mission sur l'atoll, rassemblée autour du Dr Isaac GONZALES (Mexique) et du Dr Eric CLUA (France) et ce, devant la prou du navire CARRANZA Fraser dont la contribution à la réussite de cette mission a été déterminante.



**Figure 0-4.** Haut: vue générale du bateau océanographique CARRANZA Fraser qui a opéré jusqu'à récemment en Océan Atlantique pour être désormais basé à Mazatlan sur la côte PACifique. EN encart, le ROV présent à bord pour de la photographie ou des prélèvements. En bas: vue sur les équipements du navire, notamment un jet à coque métallique (Source: INAPESCA).



# CHAPITRE 1

# INTRODUCTION

## Présentation brève de l'atoll de Clipperton-La Passion

Par 10°18' de latitude Nord et 109°13' de longitude Ouest, Clipperton se situe à 1200 km des côtes américaines à l'est, à 2400 km des Galápagos au sud-est, à 4000 km des Marquises au sud-ouest et à 4950 km des Hawaï au nord-ouest (Fig. 1-1). Clipperton est presque isolée que l'île de Pâques dans l'hémisphère sud. Clipperton se situe dans une série de petites îles au large des côtes américaines qui comporte du nord vers le sud : Revillagigedo, Clipperton, Cocos et Gorgona plus proches des côtes de Colombie, et les Galápagos (Equateur). Un rocher basaltique de 29 m de hauteur (Fig. 1-2) se dresse sur le plateau corallien de Clipperton à fleur d'eau dont l'altitude est de l'ordre de 3 m. Le périmètre de l'île, de forme ovale, est de 12 km et le plus grand axe (nord-ouest - sud-est) est de 4 km. Le lagon central de 10 km<sup>2</sup> est très particulier et suscite depuis plusieurs décennies l'intérêt des scientifiques. La surface totale de l'île est de 12 km<sup>2</sup>, ne comportant donc que 2 km<sup>2</sup> de platier émergé. En toute rigueur, Clipperton devrait être qualifié de «presqu'atoll» et non pas d'atoll dont le terme est consacré aux îles basses coralliennes sans aucune roche volcanique apparente et de moins de 7 m d'altitude. Au-delà de cette altitude, on parle d'atoll soulevé ou plus encore de «makatea» en référence à l'atoll soulevé d'une centaine de mètres de Makatea dans les Tuamotu (Polynésie française) et



célèbre pour l'exploitation passée de ses phosphates. Clipperton, presque atoll ou atoll, est l'île basse corallienne la plus orientale du Pacifique. C'est aussi le seul atoll à se situer à l'est de la ride océanique Pacifique, ride génératrice du plancher océanique qui défile de part et d'autre à près de 12 cm par an.

Aujourd'hui, le débarquement sur l'atoll est assujéti à une autorisation délivrée par le haut-commissariat de la République de Papeete (Polynésie française) et les eaux territoriales - dans un rayon de 12 km autour de l'atoll - bénéficient, depuis Novembre 2016, d'un statut d'Aire Marine Protégée.



**Figure 1-1.** Situation géographique de l'atoll de Clipperton dans le Pacifique Est tropical à plus de 1200 km à l'Ouest du premier continent, et dont les eaux adjacentes (dans un rayon de 200 miles) forment une zone économique exclusive quasi-équivalente à la surface de la France métropolitaine (Source: C. Jost).

**Figure 1-2.** Vue aérienne (depuis l'Ouest) de la partie Sud de l'atoll de Clipperton qui permet notamment de distinguer le rocher présent au Sud de la couronne corallienne.

Photo@ F. Aurat

## Objectifs de la mission

L'objectif principal de cette expédition reposait sur la mise en oeuvre d'actions prévues dans la cadre du projet de coopération scientifique franco-mexicain évoqué en p. 4 et 5 de ce rapport.

Sur le plan scientifique, la mission englobait trois axes :

- 1) Un axe pélagique hauturier (PH) consistait à mettre en oeuvre sept stations d'études de la zone d'Oxygène Minimal qui se trouve au large du Mexique dans le Pacifique Tropical Est (PTE) et ce, entre le port de Manzanillo (Région mexicaine de Sinaloa) et les eaux hauturières proches de l'atoll de Clipperton lui-même;
- 2) Un axe pélagique "côtier" (PC) consistait à mettre en oeuvre une campagne d'étude des ressources halieutiques des eaux hauturières proches de l'atoll de Clipperton, dans un rayon approximatif de 8 nautiques autour de l'atoll (Fig. 1-3); à cette campagne prévue sur une série de transects, s'ajoutait une étude bathymétrique au Nord-Ouest de l'atoll, pour l'implantation (à terme) d'une bouée océanographique (Fig. 1-3);
- 3) Un axe "atoll" incluant les eaux côtières, la couronne émergée et le lagon (CCL), consistant à poursuivre les études pré-existantes sur l'évolution de la biocénose et du biotope propres à ces compartiments, en tant que laboratoire naturel des effets du changement climatique, conjugués à des impacts anthropiques.

## Montages institutionnel et financier de la mission

Concernant l'organisation de cette mission scientifique, l'essentiel de la logistique a été assumée par le Mexique, via la mise à disposition du bateau Carranza Fraser entre le 20/10 et le 03/11/2019, et les efforts consentis par INAPESCA pour assurer aussi la logistique sur place à partir d'embarcations légères. La mobilisation



des chercheurs français, quant à elle, a pu se faire grâce à des financements consentis par l'ambassade de France au Mexique (5 000€), l'INEE-CNRS (5 000€), l'IRD (5 000€), la Fondation de la Mer (2 500€) et le ministère des outremer (via une enveloppe de 10 000 € affectée à l'association CPOM (Décision N° 19-030848-D du 25/11/2019)). A

noter les efforts consentis par toutes les organismes partenaires de cette mission (notamment l'EPHE, le CNRS et l'IRD), sous la forme de contributions en nature et en salaires.

## Moyens humains et techniques

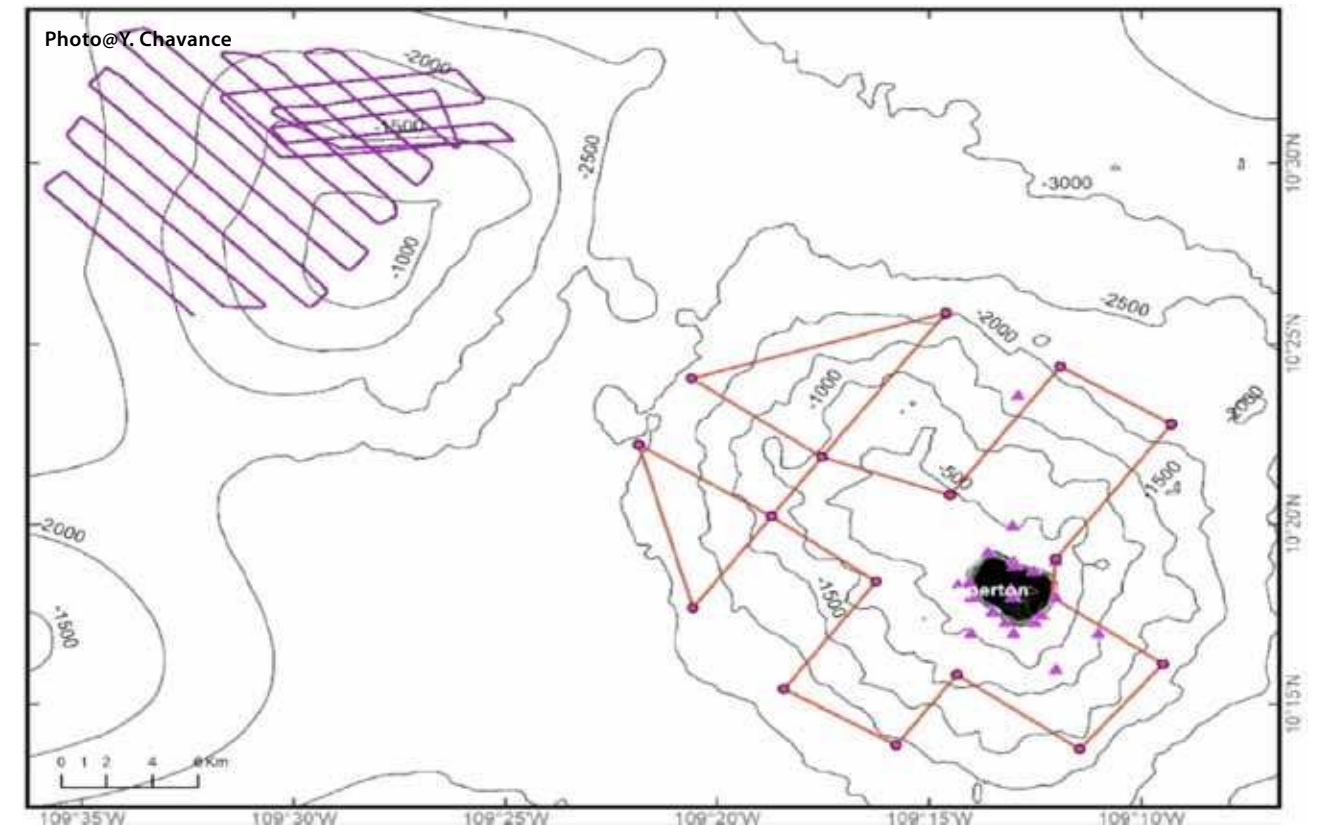
L'équipage INAPESCA se composait d'un capitaine et d'un Chef de mission, ainsi que 16 hommes d'équipage. Concernant les scientifiques, le groupe INAPESCA (essentiellement 'axe PC') comprenait 12 chercheurs et ingénieurs, alors que le groupe franco-mexicain (les deux autres axes PH et CCL) comprenait 10 chercheurs, à savoir cinq français et cinq mexicains. Un des chercheurs mexicains rattaché à l'axe PH a dû renoncer à s'embarquer au dernier moment en l'absence de matériel de prélèvement touchant à son domaine d'expertise; idem pour un des deux mexicains prévus sur le volet "plongée" CCL, pour raisons de santé. Finalement, le volet PH a bénéficié de l'implication de trois chercheurs mexicains (dont un d'INAPESCA), le volet PC de l'implication de 12 mexicains (INAPESCA) et trois français, et le volet CCL de trois mexicains (dont deux d'INAPESCA) et cinq français.

Concernant la plongée, la mission s'est effectuée avec deux binômes: un français composé de deux plongeurs professionnels ClassB (poissons et requins) et un binôme mexicain composé d'un scientifique et d'un technicien INAPESCA (benthos et corail).

Le Carranza Fraser a mis à disposition de la mission trois embarcations légères: un semi-rigide équipé d'un moteur hors-bord de 30 CV (qui s'est révélé non fonctionnel), un jet (90 CV) avec une coque métallique qui a été accidenté (Fig. 1-4) et une vedette à coque de fibre, équipée d'un moteur HB de 150 CV, qui a permis la réalisation des missions de plongée et pêche côtières (Fig. 1-5).



**Figure 1-5.** Vedette mis à disposition par INAPESCA qui a permis de réaliser les missions de plongée autonome et de pêche et marquage des requins.



**Figure 1-3.** Carte générale de la zone hauturière proche de l'atoll de Clipperton (en bas à droite) qui intègre les transects (en orange) liés à l'étude halieutique (axe PC) et les transects (en violet) liés à l'étude bathymétrique au Nord-Ouest de l'atoll.



**Figure 1-4.** Gauche et droite : Vues de l'embarcation (mise à l'eau par grue et à couple du Carranza) équipée d'une turbine et d'une coque métallique, adaptées à des évolutions à faible profondeur. Cette embarcation s'est malheureusement abîmée sur les récifs coralliens dès la première tentative d'accostage de l'îlot et n'a pu être utilisée comme prévue.

## Déroulement général

Retardé par une fenêtre météo défavorable, le navire CARRANZA FRASER a quitté le port de Manzanillo (Sinaloa) le 21 octobre au matin. La mise en oeuvre des stations en haute mer a été repoussée au trajet retour, ce qui permis d'atteindre l'atoll dès le 24 octobre au matin pour une tentative de débarquement d'une équipe franco-mexicaine de huit personnes au sud-ouest de l'atoll (près du camp Bougainville). Cette tentative, desservie par des embarcations légères peu adaptées à ce type d'opération, s'est avérée infructueuse, notamment en raison d'une houle puissante qui a endommagé une des embarcations. Un débarquement à la nage des deux binômes concernés par le travail à terre s'est déroulé avec succès le lendemain, avec l'appui technique de l'équipe des plongeurs, à l'Est de l'atoll (800 m au sud du camp américain; Fig. 1-6). Des binômes composés chacun d'un plongeur équipé et d'un scientifique en combinaison et

gilet ont débarqué à la nage, avant que le matériel ne soit débarqué à l'aide de touques étanches (Fig. 1-7). Ces mêmes touques ont été utilisées pour la récupération du matériel par les plongeurs (Fig. 1-7), qui ont aussi accompagnés l'équipe terrestre vers l'embarcation légère lors du retour.

Faisant preuve d'une grande flexibilité, l'équipe d'INAPESCA a proposé que les quatre plongeurs scientifiques (deux français et deux mexicains) restent basés à bord du navire CARRANZA, qui a effectué journalièrement des navettes entre le large et les eaux côtières afin de déposer les plongeurs le matin puis les récupérer tous les soirs, après une journée de travail réalisée à partir de l'embarcation légère.

Sur l'atoll, les deux binômes français ont érigé un campement sommaire (Fig. 1-8) leur permettant de bivouaquer cinq nuits, parfois sous des intempéries importantes.

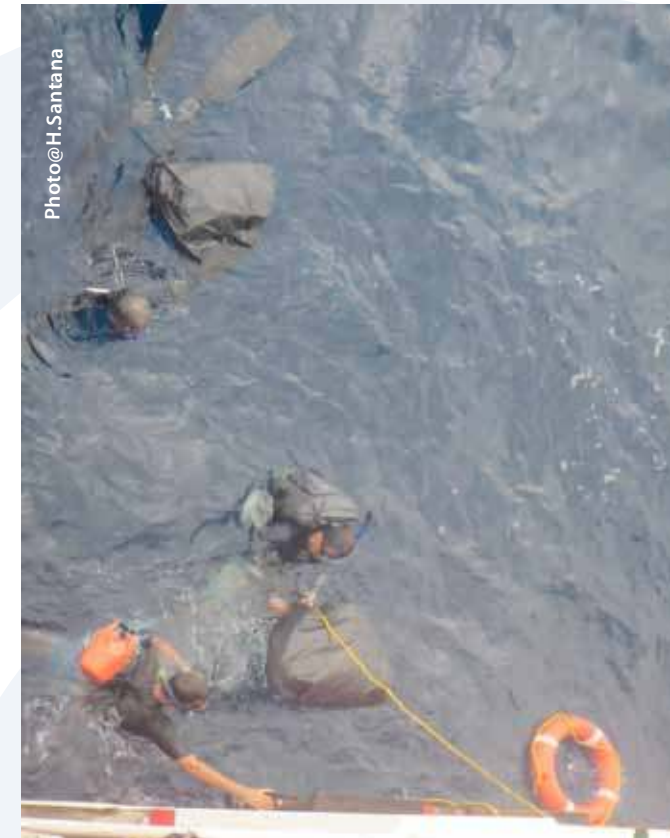


Photo@H. Santana

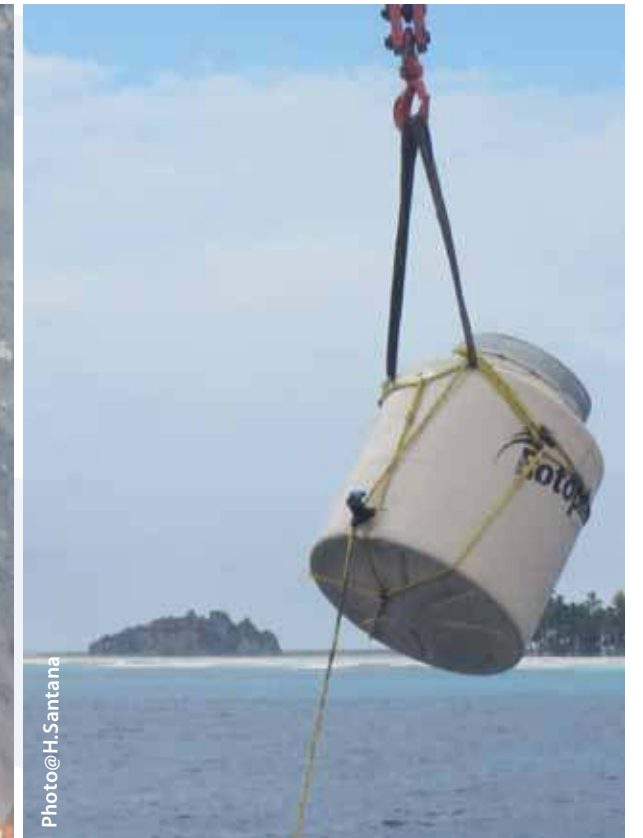


Photo@T.Berr

**Figure 1-6.** Haut: vue générale depuis la mer du lieu de débarquement sur la côte Est de l'atoll, au niveau de la première cocoteraie la plus imposante (en venant du rocher). La houle est toujours très puissante à cet endroit, mais le substrat est essentiellement meuble (sable) ce qui limite les risques de contusions graves lors des débarquements. Bas: Des touques étanches ont été utilisées afin de déplacer le matériel. Pour récupérer les touques, un long câble était relié à une embarcation (à l'abris des brisants) qui les tractait au large.



Photo@H.Santana



Photo@H.Santana

**Figure 1-7.** Les débarquements à la nage se sont effectués avec l'appui technique de l'équipe de plongeurs qui, à l'aller comme au retour, ont accompagné les scientifiques avant de leur emmener le matériel. Une grosse touque de 250 l (à gauche) a permis l'acheminement du gros matériel sur l'atoll.



Photo@T.Berr

**Figure 1-8.** Vue du campement sommaire érigé par les deux binômes français au sein d'une petite cocoteraie colonisée par les fous et les rats. Ces derniers étaient très actifs à la tombée et pendant la nuit. Le stress majeur demeure néanmoins les nombreux grains et le vent qui ont touché l'atoll lors du séjour.



**Figure 2-1.** Vue aérienne de l'atoll de Clipperton sur sa façade Sud-Est montrant l'uniformité de sa couronne et la présence d'un lagon fermé dont la couleur révèle la présence dominante d'algues et végétaux.



**Figure 2-2.** Schéma de l'atoll de Clipperton avec des éléments concernant le couvert végétal et la bathymétrie. Sont mentionnés certains points remarquables liés à la présence de l'homme (D'après Jost et al. 2015).

## Clipperton, côté terre...

Seul atoll, ou presqu'atoll car flanqué d'un rocher volcanique de 29m de haut, Clipperton est un anneau corallien fermé de 1,7km<sup>2</sup> de terres émergées et de forme ovoïde, d'environ 3 kilomètres sur 4 kilomètres et d'une circonférence (couronne externe) de 11,9 km de long (Fig. 2-1).

Il enferme un lagon dont le confinement et l'apport massif d'eau douce débouchent sur une combinaison unique au Monde de gradients de salinité, pH, oxygène, hydrogène sulfuré et lumière. L'eutrophisation omniprésente permet notamment un développement massif d'algues et végétaux qui confèrent à ce lagon une couleur verte atypique (Fig. 2-1). Seuls deux autres sites au Monde, en Mer noire et dans une fosse au large du Venezuela, hébergent de tels processus (Galand et al. 2012). Le courant Nord Equatorial dans lequel se situe Clipperton, ainsi que la houle du large, véhiculent de nombreux déchets en provenance du continent américain.

Concernant la biocénose terrestre, la couronne corallienne est essentiellement peuplée de milliers d'oiseaux marins et crabes, et partiellement recouverte d'une végétation rampante et de cocotiers en pleine expansion (Jost et al. 2015) (Fig. 2-2).

L'abordage de Clipperton n'est pas une opération aisée et s'effectue traditionnellement, selon la houle, soit au Sud-Ouest sur le site dénommé "Port Jaouen", comme ce fût le cas pour la mission Etienne en 2004, soit à l'Est aux abords de l'épave du Lily Mary, comme ce fût le cas pour d'autres missions.

Une stèle accolée à un mât pour drapeau se situe, quant à elle, à l'Ouest, à proximité du Camps Bougainville établi entre 1966 et 1969 par l'armée française. Les divers camps installés par l'homme ont laissés des vestiges de bâtiments ou du matériel, tels que décrits par les précédentes missions. A cet impact anthropique

ancien mais encore visible, se rajoute le rejet par la mer d'innombrables déchets (Jost et al. 2015).

Enfin, Clipperton est aussi unique en tant qu'atoll par la présence d'un imposant rocher issu de lave volcanique, à 29 m de hauteur qui trône au Sud de l'île, à proximité d'une ancienne passe (Fig. 2-3). Façonné par une érosion intense, de couleur noire sur laquelle la blancheur des fientes d'oiseau prend irrémédiablement le dessus, son aspect est unique pour qui aura le loisir de le contempler...



**Figure 2-3.** Vue arienne de la façade nord du rocher au sud de l'atoll, d'origine volcanique, la couleur blanche provenant des fécès d'oiseaux.

# ETUDE ECO-TOXICOLOGIQUE

Par Nathalie Mesmer-Dudons-Dufraisse<sup>1</sup>, Nikita Jost<sup>2</sup>, Leticia Huidobro Campos<sup>1</sup> et Eric Clua<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Univ. de Bordeaux, UMR CNRS EPOC 5805, station marine, équipe EA, place Peyneau, 33120 Arcachon

<sup>2</sup>Association Clipperton Projets OutreMer (CPOM), 2 rue des plantes 57680 Corny sur Moselle, France

<sup>3</sup>INAPESCA, Office central, Direction générale adjointe de la recherche halieutique en Atlantique, Av. Sábalo Cerritos, Cerritos Resort, 82112 Mazatlán, Sinaloa, Mexique

<sup>4</sup>PSL, CRILOBE USR EPHE-CNRS-UPVD 3278, 98729 Papetoai Polynésie Française.

## INTRODUCTION

L'atoll de Clipperton, territoire français situé dans l'océan Pacifique Nord, offre des potentialités de recherches intéressantes au regard des enjeux du XXI<sup>ème</sup> siècle touchant à une meilleure compréhension des effets du changement global, combinant les effets naturels et ceux d'origine anthropique sur les écosystèmes terrestres et marins, notamment en milieu tropical.

Sur Clipperton, les effets anthropiques directs peuvent être très clairement isolés. Soit ils relèvent d'une pollution directe induite par des séjours sur l'atoll, notamment ceux de l'armée américaine dans les années 40, de l'armée française dans les années 50 ou de missions longue durée (2004-2005) qui ont laissé sur place des macro-déchets plus ou moins polluants, qu'il s'agisse de munitions ou de matériaux de construction et autres moteurs thermiques (Fig. 2-4). Soit les effets anthropiques émanent indirectement de la quantité spectaculaire de déchets, notamment plastiques, qui sont rejetés sur les plages par la mer (Jost et al. 2015, Clua et al. 2016, 2018).

À l'heure actuelle, aucune étude écotoxicologique n'a été conduite sur cet atoll. La mission océanographique 2019 (co-organisée par les gouvernements mexicain et français) a permis de réaliser des prélèvements de biote (poissons, crabes, plumes, plantes aquatiques et terrestres, biofilms, ...) et de sédiments sur l'atoll de Clipperton-La Passion.

Deux types de contamination ont été ciblés, les métaux et les nano-microplastiques.

## MATERIEL ET METHODES

Les métaux sont facilement accumulés par les organismes aquatiques par voie directe (quand présents dans l'eau environnante) ou par voie trophique (par ingestion de proies contaminées), entraînant entre autres des modifications physiologiques, métaboliques, génotoxiques et reproductrices pouvant, dans certains cas, entraîner la mort des individus exposés (Gonzalez et al, 2006 ; Gentes et al, 2015 ; Bertucci et al, 2017).

Les prélèvements se sont effectués selon un gradient commençant par les eaux marines environnant l'atoll, jusqu'au sein des eaux saumâtres lagonaires de l'atoll, en passant par le compartiment terrestre.

Parmi les poissons récifaux ostéichthyens, 64 individus représentatifs de l'ensemble du réseau trophique dans la colonne d'eau ont été pêchés dans les eaux environnantes de l'atoll par E. Clua et E. Cros. Ces poissons ont ensuite été disséqués avec l'appui de l'équipe de biologistes mexicains du Dr Leticia Huidobro Campos (Fig. 2-5) afin de récupérer (1) les muscles et (2) les foies, en tant

qu'organes de référence pour toute contamination.

Les crabes *Johngarcia planatus* représentaient une population de 1,25 million d'individus au dernier recensement exhaustif (Bouchard and Poupin, 2009). D'après les dernières observations et celles réalisées cette année, leur nombre semble avoir significativement diminué. Leur régime omnivore et leur omniprésence sur l'atoll en faisaient néanmoins des candidats intéressants pour cette étude écotoxicologique. Ainsi, six individus (Fig. 2-6) ont été capturés, disséqués et séchés afin de récupérer les deux organes cibles de la contamination métallique: (1) muscle et (2) foie.



Photo@E.Clua

**Figure 2-4.** Cratère à l'Est de l'atoll où subsistent des munitions américaines récemment neutralisées par l'armée française. Source potentielle de pollution anthropique passée de l'atoll.



Photo@N.Jost

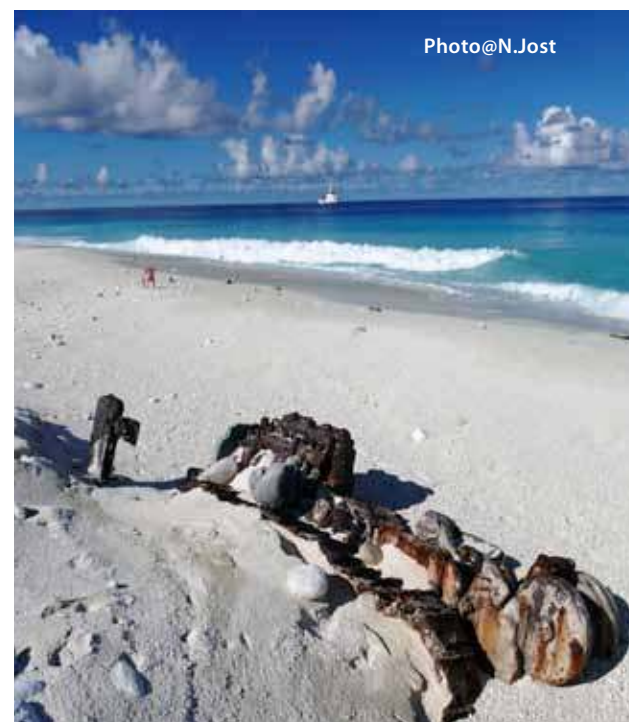
**Figure 2-5.** Gauche: dissection d'un poisson de récif afin de récupérer des échantillons de muscle et foies en vue d'une analyse écotoxicologique. A droite: prélèvements de fragments végétaux qui faisaient aussi partie de l'échantillonnage s'étalant entre le lagon et les eaux côtières autour de l'atoll.



Photo@N.Jost

Photo@E.Clua

**Figure 2-6.** Agrégation diurne de crabes qui se protègent du soleil à l'ombre d'un socle calcaire, avant de se disperser à l'aube, la nuit ou au crépuscule pour se nourrir. Les prélèvements de gros individus ont été privilégiés.



**Figure 2-8.** Epaves ayant donné lieu à des prélèvements de sédiment sur les plages à l'Est de l'atoll. A gauche: épave du Lily Mary, navire qui s'est échoué sur l'atoll en 2000. A droite: vestiges d'un engin à chenille abandonné par l'armée américaine en 1944.



**Figure 2-9.** Tous les prélèvements, qu'ils soient terrestres ou d'origine marine, ont été séchés et conditionnés en vue de leur rapatriement en métropole pour être analysés au sein du laboratoire EPOC d'Arcachon.

Les plumes représentent des bioindicateurs par excellence de la contamination métallique chez les oiseaux. En effet, celles-ci absorbent et retiennent les métaux et permettent d'identifier une éventuelle bioaccumulation. Pour cela, diverses plumes d'espèces différentes ont été prélevées telles que : fous masqués (*Sula dactylatra*), fous bruns (*Sula leucogaster*) et frégates du Pacifique (*Fregata minor*) (Fig. 2-7).

Plusieurs épaves sont actuellement référencées sur Clipperton. Néanmoins, au vu de la difficulté d'échantillonnage dans le temps imparti, seuls deux sites (Fig. 2-8) de la côte nord-est ont été sélectionnés afin d'évaluer la diffusion métallique issue de leur dégradation. Des échantillons de sédiments ont été prélevés en six points autour de chaque site puis tamisés afin d'obtenir une granulométrie  $< 125 \mu\text{m}$ .

Du fait de son lagon fermé, l'atoll de Clipperton constitue un écosystème quasi unique au monde. Un échantillonnage en cinq points autour du lagon a été effectué. Les prélèvements ont consisté en un ramassage systématique de : sédiments, biofilms, macrophytes, et plantes terrestres proches des berges (Fig. 2-7).

L'exposition aux plastiques présente, quant à elle, une vaste variété de toxicité allant de la modification de l'alimentation aux perturbations métaboliques (Anbumani & Kakkar 2018 ; Baudrimont et al, 2019). Au cours des vingt dernières années, plusieurs campagnes

de terrain (1994, 2005, 2008) ont permis la caractérisation des conditions physico-chimiques du lagon ainsi qu'un inventaire exhaustif de la faune et la flore, du lagon, de la couronne ainsi que de la zone côtière (Jost et al, 2015).

Cette mission étant un premier état des lieux exploratoire, seuls les contenus stomacaux ont été prélevés chez les crabes (*Johngarciaplanatus*) et les poissons afin d'identifier d'éventuelles présences de nano-microplastiques (Fig. 2-9). Il a donc été important de sélectionner des espèces représentant au mieux le réseau trophique local avec ses différents régimes alimentaires.

## RESULTATS ATTENDUS

Dans une démarche globale exploratoire, les analyses concernant les métaux seront conduites avec le spectre le plus large possible et ce, afin d'identifier des pistes potentielles qui seraient valorisées lors de prochaines missions quant aux animaux et supports de pollution à privilégier. Concernant les nano-microplastiques, la démarche sera similaire avant d'adapter éventuellement la méthodologie pour les prochaines missions de suivi.

## CONCLUSION

Il s'agit d'une première étude exploratoire dont la nature mais aussi l'échelle pourront, le cas échéant, être augmentées, notamment dans la sphère marine.



**Figure 2-7.** Macrophytes présents dans un amas de fientes sur un site bordant le lagon à proximité du rocher au Sud-Est de l'atoll, qui a fait l'objet de prélèvements. Idem pour les plumes d'oiseaux ramassées dans les nids après identification des espèces concernées.

# RECENSEMENT DES OISEAUX MARINS ET LIMICOLES

Par Tristan Berr<sup>1,2 et 3</sup>, Hélène De Meringo<sup>2</sup> et Eric Clua<sup>4</sup>

<sup>1</sup>UMR ENTROPIE IRD-UR-CNRS Institut de recherche pour le développement, 101 Promenade Larroque, 98748 Noumea, Nouvelle-Calédonie

<sup>2</sup>L'Institut Méditerranéen de la Biodiversité et d'Écologie marine et continentale (IMBE), Aix-Marseille Université, Av Escadrille Normandie Niémen 13 397 Marseille cedex 20, France

<sup>3</sup> Université de la Nouvelle-Calédonie, BP R4, Ave James Cook, Nouméa 98851, Nouvelle-Calédonie

<sup>4</sup>PSL, CRIIBE USR EPHE-CNRS-UPVD 3278, 98729 Papetoai, Polynésie Française

## INTRODUCTION

Les oiseaux marins comptent parmi les espèces d'oiseaux les plus menacées à l'échelle mondiale (Croxall et al. 2012; Paleczny et al. 2015). Leur forte vulnérabilité face à de nombreuses pressions anthropiques (espèces invasives, pollution, diminution des ressources halieutiques, dérangement, risques de submersion) en fait de précieux indicateurs de l'état de santé des écosystèmes terrestres et marins (Einoder 2009; Platt and Seydeman 2007).

Du fait de son isolement géographique, l'atoll de Clipperton (10°18'14"N, 109°13'04" O) a depuis longtemps été identifié comme un site majeur pour la reproduction de plusieurs espèces d'oiseaux marins. Le site héberge notamment la plus grande population mondiale de fous masqués *Sula dactylatra* (> 100 000 individus) ainsi que d'importants effectifs de fous bruns *Sula leucogaster* (Fig. 2-10 et 2-11). L'atoll est également un lieu de passage pour de nombreux migrateurs et limicoles (Weimerskirch et al. 2009).

En dépit du caractère exceptionnel du site, les populations nicheuses présentes n'ont plus été inventoriées de manière précise depuis les travaux de 2005 (Weimerskirch et al 2009). C'est dans ce contexte que nous avons effectué le recensement des espèces

reproductrices de l'atoll entre le 25 et le 30 octobre 2019.

Notre mission sur l'île visait à améliorer la caractérisation des communautés d'oiseaux nicheurs et visiteurs locaux, à travers une série d'objectifs complémentaires :

- Caractériser la communauté d'oiseaux nicheurs présents sur l'atoll : composition ; effectifs et phénologie des espèces présentes.

- Caractériser l'habitat de nidification utilisé par les espèces reproductrices (type de substrat, composition de la végétation, etc.).

- Décrire la distribution spatiale des populations nicheuses sur l'atoll (cartographie des sites de ponte par espèce ou groupes d'espèces).

- Relever la présence d'espèces visiteuses (notamment limicoles).

## MATERIEL ET METHODES

Pour les populations en effectifs importants, fous masqués et bruns, nous avons réalisé un dénombrement par quadrats (n= 72) de 900m<sup>2</sup> répartis de manière homogène (tous les 250m) sur la couronne de l'atoll (Fig. 2-12).



**Figure 2-12.** Quadrat aux abords du rocher de Clipperton avec la répartition ci-contre des quadrats (n=72 \* 900 m<sup>2</sup>) autour de l'atoll pour le dénombrement des fous masqués et bruns.



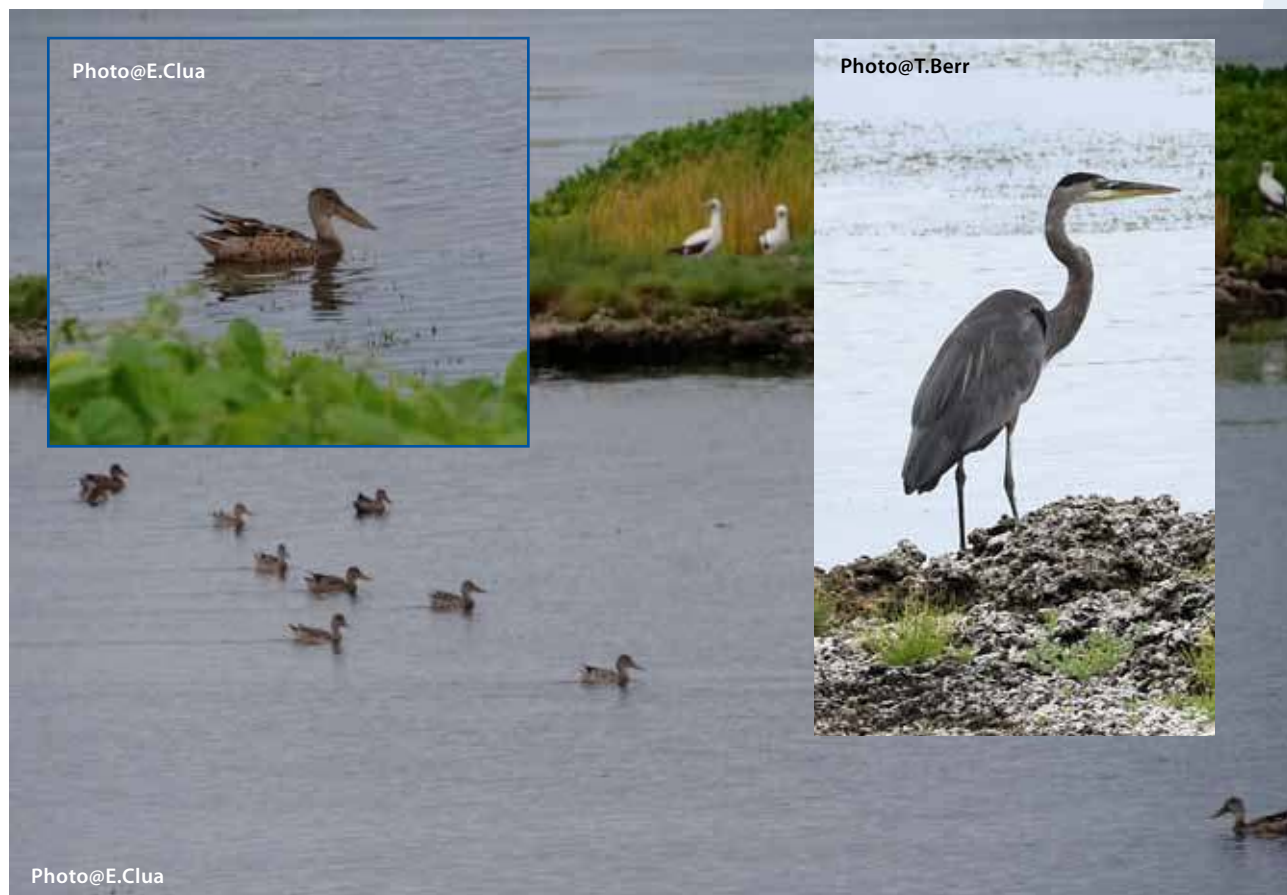
**Figure 2-10.** Plans larges sur les colonies de fous masqués *Sula dactylatra* pour lequel l'atoll de Clipperton demeure à ce jour la première colonie au monde de cet oiseau marin.



**Figure 2-11.** Couple de fou brun *Sula leucogaster webbsteri* sur nid avec un oisillon en bas-âge. Il s'agit de la deuxième population d'oiseaux marins en densité sur Clipperton. Deux autres espèces ont été observées (en incrustation): le Fou de Grant *Sula granti* (haut à gauche), reconnaissable à son bec orangé, et le fou à pied rouge *Sula sula* (à droite).



**Figure 2-12.** Gauche: couple de gygis blanche *Gygis alba* qui niche essentiellement -voire strictement que- dans le rocher de Clipperton. Droite: Noddis bruns *Anous stolidus* qui nichent comme la plupart des espèces trouvées sur Clipperton, à terre.



**Figure 2-14.** Agrégation d'une quinzaine de canards Souchet *Anas clypeata* (photo générale et encart en haut à gauche) aux abords du Camp de Bougainville. Cette espèce a déjà été répertoriée comme transiente. Il en est de même pour un Grand héron *Ardea herodias* (haut à droite) aussi observé à l'occasion de cette mission.

Les autres espèces, fous à pieds rouges ou de Grant (Fig. 2-11), noddis bruns, gygis (Fig. 2-12), Frégate du Pacifique, etc. ont été dénombrées de façon exhaustive dans la mesure du possible ou répertoriées de manière opportuniste.

Pour l'ensemble des taxons, la localisation des colonies a été relevée par GPS et l'habitat de reproduction a été succinctement caractérisé. Le stade de développement des poussins ainsi que la présence d'œufs ou d'individus en parade ont également été notés lorsqu'opportun.

## RESULTATS PRELIMINAIRES

La période choisie pour effectuer la visite de l'île s'est révélée pertinente pour effectuer des recensements ornithologiques. En effet, la plupart des espèces d'oiseaux marins contactées avaient engagé leur reproduction au moment des comptages. En dépit de légers décalages phénologiques interspécifiques, on peut dès lors supposer que le pic de reproduction sur l'atoll est atteint courant octobre-novembre, toutes espèces confondues. En terme d'effectifs, il semble que les populations nicheuses se maintiennent ou croissent, au moins concernant les différentes espèces de fous présentes sur l'atoll.

Une première estimation effectuée à partir des quadrats donne environ 35 000 - 40 000 couples de fous masqués et 9000 -10 000 couples de fous bruns, soit des effectifs de nicheurs parmi les plus importants relevés sur l'île. Bien que plus réduites, les populations de noddis

bruns (~1000 couples) et de fous à pieds rouges (~200 couples) participent également à la diversité spécifique du site. Une présence marginale de quelques autres espèces nicheuses (gygis blanche, sterne fuligineuse, noddin noir, talève violacée, fou de Grant) est à souligner, ainsi qu'une importante variété de limicoles (cf Fig. 2-13) et d'oiseaux d'eau (cf Fig. 2-14).

## CONCLUSION

Cette mission, bien que brève (quatre jours et demi), a permis de réactualiser de manière précise les inventaires ornithologiques de l'atoll de Clipperton. Les premiers résultats obtenus soulignent l'intérêt particulier du site pour la reproduction et la conservation du fou masqué. Les espèces nicheuses semblent par ailleurs peu affectées par l'introduction du rat noir *Rattus rattus* (début des années 2000) (cf Fig. 2-15): aucune décroissance marquée des effectifs présents (2005-2019) n'a été mise en évidence.

En revanche, d'autres menaces (accumulation de plastique, expansion rapide des buissons d'*Ipomea sp.*, montée des eaux) seraient à surveiller dans le cadre de missions futures. Une caractérisation plus poussée de l'habitat et la mise en place d'un suivi régulier des populations nicheuses faciliterait en outre l'élaboration d'une gestion réactive du site.



**Figure 2-15.** Rat noir *Rattus rattus* en lisière de cocoteraie. Cet espèce invasive a été contacté à de multiples reprises au cours de la mission, notamment aux abords des cocoteraies et dans les tapis d'*Ipomea*. Les conditions météorologiques rencontrées (fortes pluies) et la durée restreinte du séjour sur l'atoll en regard des prévisions initiales (5 jours vs 9) ont empêché la mise en place d'un effort de piégeage satisfaisant. Plutôt que de prélever quelques spécimens de manière uniquement opportuniste, le choix a été fait de privilégier dans la mesure du possible la qualité des recensements ornithologiques.



**Figure 2-13.** Limicoles dont l'identification exacte devra être confirmée. Potentiellement un sub-adulte de héron bihoreau violacé *Nyctanassa violacea* (à gauche) et un Chevalier errant *Tringa incana* (à droite).



# SUIVI DE LA GEOMORPHOLOGIE LITTORALE

Par Nikita Jost<sup>1</sup>, Nathalie Mesmer-Dudons-Dufraisse<sup>2</sup> et Eric Clua<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Association Clipperton Projets OutreMer (CPOM), 2 rue des plantes 57680 Corny sur Moselle, France

<sup>1</sup>Univ. de Bordeaux, UMR CNRS EPOC 5805, station marine, équipe EA, place Peyneau, 33120 Arcachon

<sup>3</sup>PSL, CRIOBE USR EPHE-CNRS-UPVD 3278, 98729 Papetoai Polynésie Française

## Historique et enjeux

Une carte réalisée en 1840 par Sir Edouard Belcher, matérialise l'existence de deux passes dans la couronne corallienne de l'atoll. L'une, plus large que l'autre, se situait au Nord-Est de l'atoll, l'autre au Sud-Est, à proximité du rocher qui était déjà mentionnée à l'époque (Fig. 2-16). Ces passes se seraient naturellement comblées dans la décennie qui a suivi dès lors qu'elles n'étaient plus présentes dans la description faite en 1858 par Le Coët de Kerveguen (Jost 2005b). L'érosion de ces dernières décennies laissait néanmoins anticiper une ré-ouverture potentielle de ces passes, avec une diminution constante, notamment entre 2015 et 2018, des cordons empêchant toute connection entre l'océan et le lagon aux endroits où existaient ces passes (Jost 2015, Clua et al. 2016a et 2018).

Les précipitations tropicales importantes (jusqu'à 5 000 mm) dans ce lagon fermé ont provoqué une forte désalure et débouché sur des eaux saumâtres plus ou moins salées à partir de 1861 (Charpy et al. 2010). Les eaux superficielles sont oxygénées jusqu'à une dizaine

de mètre, et deviennent anoxique ensuite. La chimie se déroulant au delà de 14 m de profondeur entraîne l'émission de sulfure d'hydrogène ( $H_2S$ ), qui s'avère toxique pour l'homme (Fig. 2-17). Ce milieu est très eutrophisé, ne permettant guère que le développement d'algues et de phanérogames (Fig. 2-18), combiné à la présence de bactéries à biogenèse d'hydrocarbures. Des macro-invertébrés, type crustacés, ou vertébrés, type poissons, y vivaient jusque dans les années 1980 mais ont depuis disparu.

La ré-ouverture naturelle et potentielle du lagon de Clipperton est un enjeu majeur concernant l'évolution des phénomènes chimiques très particuliers qui se déroulent au sein du lagon, identifiés dans seulement deux autres endroits au monde, à savoir une fosse au large du Venezuela et en mer noire.

C'est dans ce contexte que de nouvelles mesures géoréférencées du cordon littoral au Nord-Est et au Sud-Est (Fig. 2-16), correspondant à l'emplacement des anciennes passes notifiées au XIXème siècle, ont été effectuées lors de la mission 2019.

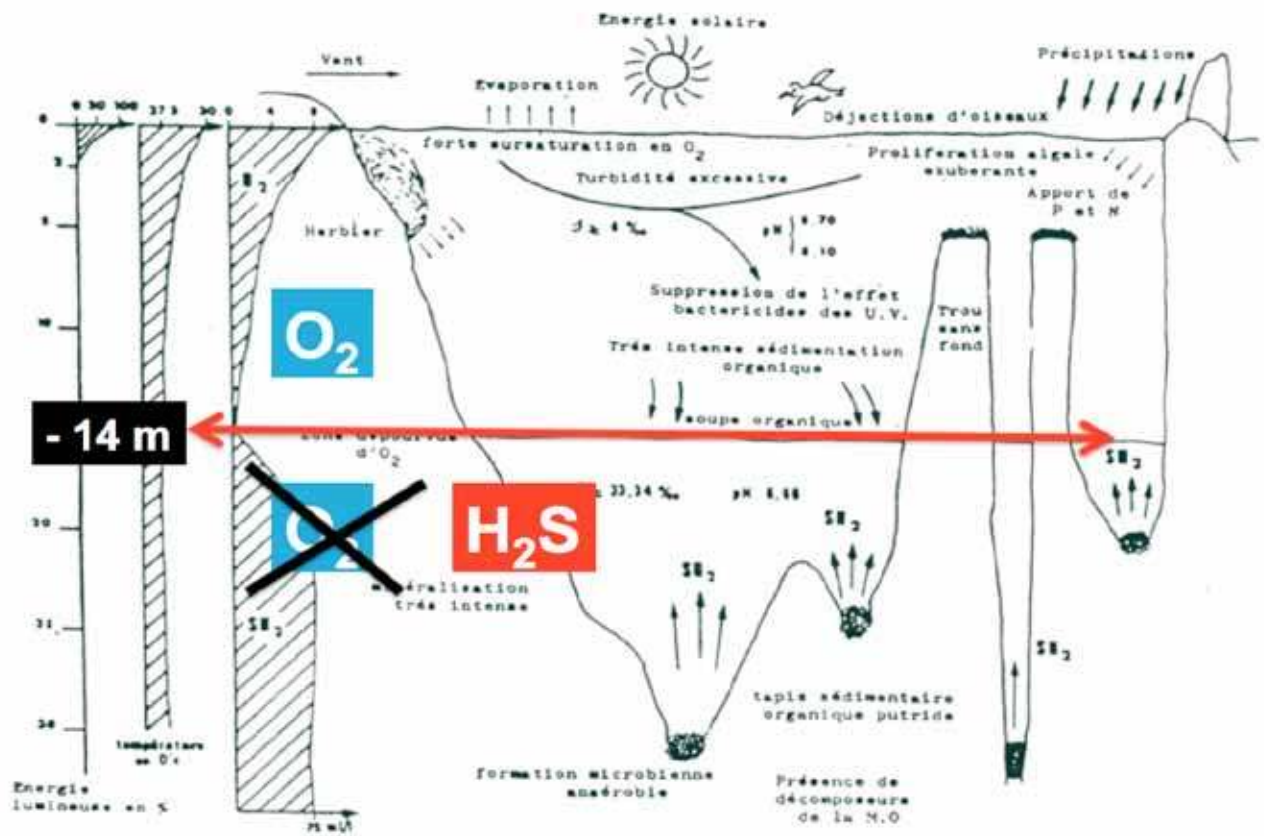


Figure 2-17. Chimie globale du lagon de Clipperton.

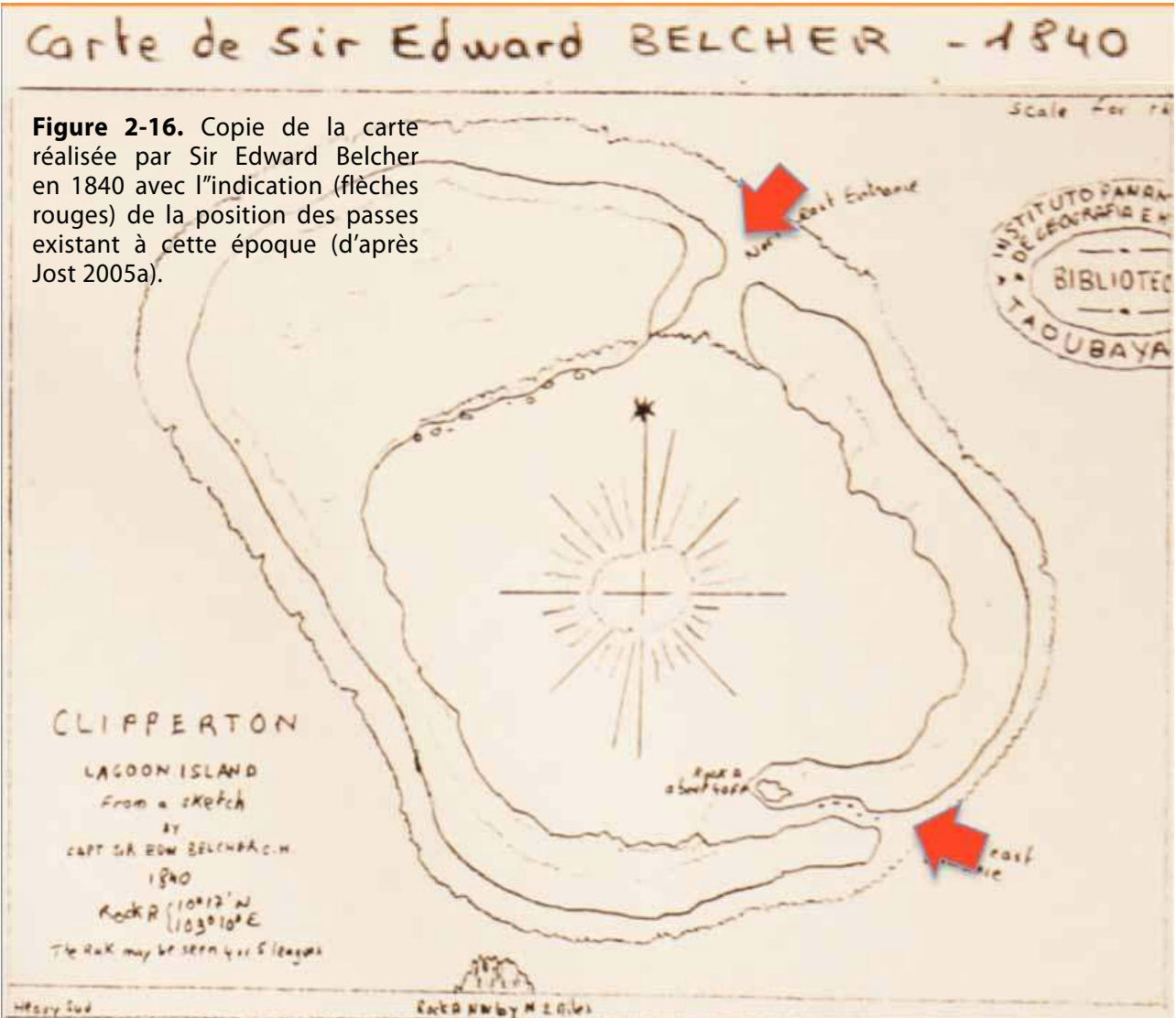


Figure 2-16. Copie de la carte réalisée par Sir Edward Belcher en 1840 avec l'indication (flèches rouges) de la position des passes existantes à cette époque (d'après Jost 2005a).



Figure 2-18. Aspect de la bordure du lagon interne de Clipperton sur la façade Nord-Est (au fond le rocher situé au Sud-Est). Les algues sont omniprésentes y compris en surface ou elles forment des tapis denses.

Photo@E.Clua

## Passé Sud-Est: état des lieux

Le premier site de ré-ouverture naturelle potentielle du lagon se situe à proximité du rocher au Sud-Sud-Est de l'atoll, sachant qu'une extension lagunaire contourne à cet endroit-là le rocher pour dessiner un cordon sablonneux qui est le plus étroit de toute la couronne (Fig. 2-19). C'est à ce même endroit que des mesures avaient été conduites en 2016, respectivement en février par E. Clua et en juin par C. Jost. E. Clua avait évalué la largeur du cordon à 16 m (Fig. 2-19) (Clua 2016) et C. Jost à 14 m quelques semaines plus tard (Jost et al. 2016).

La mesure effectuée en août 2018, matérialisée sur une vue aérienne de l'endroit grâce à l'utilisation d'un drone manié par F. Aurat, débouche sur une longueur minimale de 15 m et 17 m (Fig. 2-20). Cette mesure faisait état d'une situation stable, malgré des marques de remaniements importants des amas de débris corallien qui tapissaient le sol à cet endroit-là. Aucune mesure précise n'a été faite, mais il semblait que la hauteur du monticule de débris était plus importante qu'en 2016.

Les mesures en 2019 se sont concentrées sur l'endroit mesuré par Jost et Clua en 2016, à savoir dans l'alignement de l'extrémité Est du rocher, correspondant à la mesure (A) (Fig. 2-19) et à la mesure M2 (Fig. 2-20) qui faisaient respectivement 16 m et 17 m, entre la lagune en eau et le sommet de l'estran (hauteur maximale des vagues (hors événement cataclysmique)). En octobre 2019, la largeur est de 21,4 m, soit une augmentation significative par rapport aux années précédentes (Fig. 2-21). Il apparaît que cette largeur fluctue régulièrement mais que la tendance reste au maintien de ce cordon, en désaccord avec les prévisions de réouverture qu'une baisse régulière à l'échelle de quelques années mais non avérée à une échelle temporelle plus importante, laissait penser.

Par ailleurs, la quantité de matériel minéral déposé par la mer semble à minima identique voire en progression (Fig. 2-21), ce qui hypothèque d'autant les possibilités de ré-ouverture naturelle, du moins sans un événement cataclysmique majeur.



**Figure 2-21.** Haut: Positionnement du pentadécamètre lors de la mesure du cordon sur le site dans l'alignement Est du rocher. Bas: Plan panoramique de la plage et du rocher montrant une largeur globalement constante, notamment par un approvisionnement constant en matériel minéral d'origine corallienne.



**Figure 2-19.** A: Matérialisation de l'endroit où le cordon littoral de 16 m a été mesuré en 2016 à proximité du rocher, emplacement de la passe du Sud-est mentionné dans la carte du XIXème siècle (Belcher 1840). B: Petit canal d'une largeur avoisinant 1 m qui relie la lagune située au Sud du rocher et le lagon de l'atoll.



**Figure 2-20.** Vue aérienne du cordon à proximité du rocher où ont été re-mesurées les distances les plus faibles séparant les eaux lagunaires de l'océan. M1 a été mesuré à 15 m et M2 à 17 m en août 2018.

## Passé Nord-Est: état des lieux

Concernant le site du Nord-Est, la mission de 2018 avait effectué deux mesures, à savoir sur i) le site 1 qui avait semblé, non pas le plus étroit, mais le plus en dépression avec des marques prononcées de passages d'eau fréquents en provenance de l'océan (Fig. 2-22A), et ii) le site 2 préconisé par C. Jost comme étant le plus étroit dans cette zone, juste au sud d'une avancée du cordon vers le lagon (Fig. 2-22B).

La mesure de l'épaisseur du cordon (en s'arrêtant côté plage au rebord abrupt du socle constitué par les conglomérats phosphato-calcaires) avait débouché respectivement sur une largeur de 35 m (voir M2 sur Fig. 2-22) et de 47 m (voir M1 sur Fig. 2-22). Si une largeur moindre du cordon pouvait jouer en faveur du site 2 concernant le passage d'eau, il se trouvait que la hauteur du cordon était à cet endroit significativement plus importante, notamment par la présence des conglomérats phosphato-calcaires qui, bien qu'érodés en plusieurs endroits, constituent une barrière pour les vagues. En revanche, le site 1, bien que plus large, semble beaucoup plus propice au passage régulier d'eau comme en témoignait le ravinement apparent, toujours très présent en 2019 (Fig. 2-23). En revanche, le passage fréquent de l'eau à cet endroit-là semble aussi apporter du matériel minéral qui s'amoncelle côté lagon pour augmenter la largeur du cordon en grignotant sur le lagon (cf Fig. 2-22A).

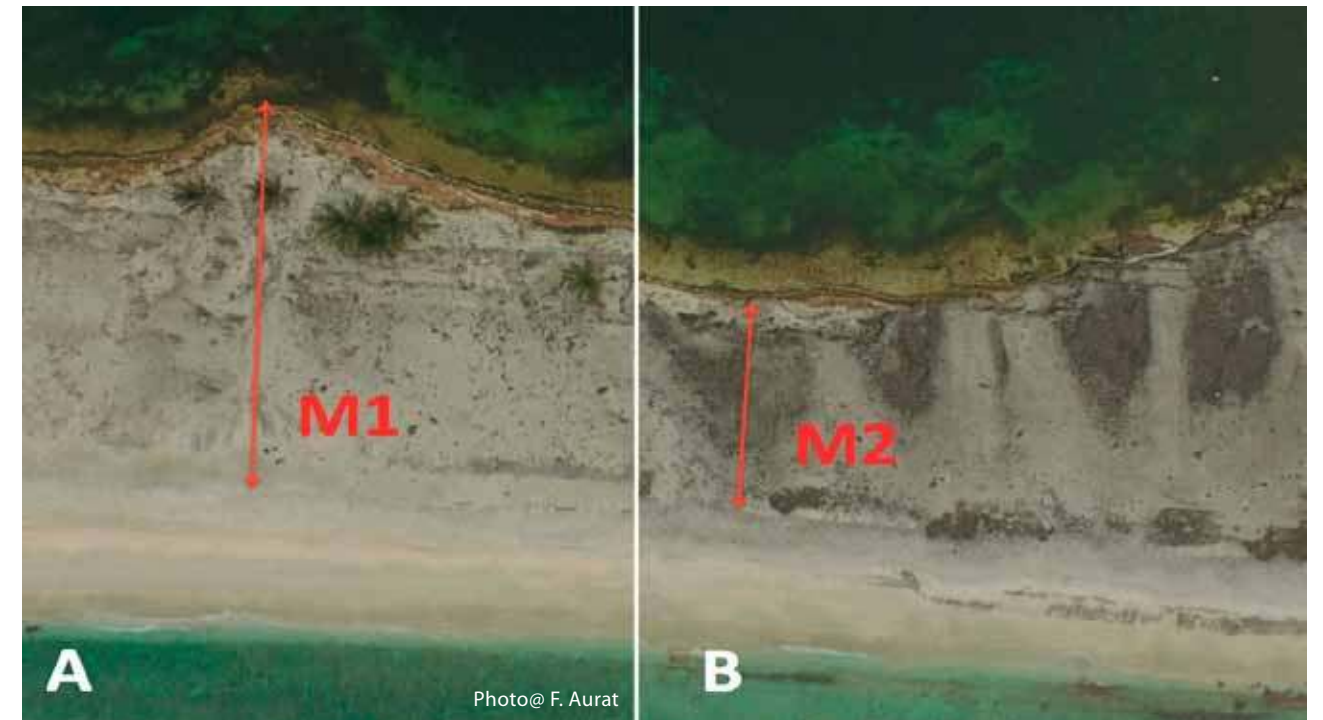
En 2019, les deux mesures effectuées montrent que le cordon est maintenant de 60 m en M1 (Fig. 2-24) et ce, malgré des signes évidents de passages importants d'eau qui ont provoqué une forte érosion (Fig. 2-23 et 2-25). A l'endroit le plus étroit, plus au nord, le cordon mesure 40 m, ce qui engage à la même prudence que sur la partie Sud de l'atoll quant à une ré-ouverture naturelle, peu probable sans évènement cataclysmique majeur restructurant.



**Figure 2-24.** Vue au sol de la mesure au point M1 qui révèle la présence éparse des agrégats phosphato-calcaires durs qui ont été très érodés par les passages d'eau. Ces agrégats surplombant la plage côté océan étaient simplement interrompus dans la zone M1 en 2016 et 2018, et ils ont maintenant disparus sur plusieurs dizaines de mètres de largeur, signant des passages d'eau probablement massifs et récurrents.



**Figure 2-25.** Vue au sol de la zone correspondant au point de mesure M1 de 2018, qui montre un sol en dépression et raviné par le passage fréquent d'eau. Le trottoir a carrément disparu à cet endroit-là côté plage.



**Figure 2-22.** Vue aérienne des endroits mesurés avec le pentadécamètre en M1 (A) et en M2 (B). En M1 (47 m), on peut discerner côté lagon (en haut) une expansion qui correspond à l'amoncellement de matière apportée par les vagues franchissantes, probablement plus fréquentes qu'en M2 (35 m).



**Figure 2-23.** Vue au sol depuis le sud de la zone en M1 (le trait rouge de la Fig. 2-38 passe par le deuxième cocotier en partant de la gauche), qui apparaît en 2019 beaucoup plus érodée qu'en 2018.



**Figure 2-26.** Vestiges de l'épave du Lily Mary à proximité du camp américain sur la façade Est (voir Fig 2-2) qui s'est échouée là en 2000. En haut aspect de l'épave en février 2016 et en bas, la même épave trois ans et demi après: le bas de la coque s'est affaissé et disloqué, la surface en tôle a diminué d'environ 20%.

## Pas de nouvelle épave majeure...

Depuis les années 2000, l'atoll n'a a priori pas enregistré d'échouage majeur qui se soit soldé par l'abandon sur place d'une épave imposante comme ce fut le cas pour le Lily Mary (côte Est) et l'épave Costaricaine (au Sud Ouest du rocher). Ces deux épaves sont toujours visibles et se démantèlent peu à peu, sous les effets des houles récurrentes.

Le Lily Mary est toujours bien visible et a peu évolué en trois ans (Fig. 2-26). Quant à l'épave Costaricaine, son démantèlement est quasi total (Fig. 2-27).

A titre anecdotique, deux épaves de barques légères ont été repérées à proximité du rocher (Fig. ci-dessous).



**Figure 2-27.** Au-dessus: vestige de la coque de l'épave costaricaine du sud de l'atoll, en grande partie disloquée. En haut à droite: morceaux de l'épave qui jonchent la plage à proximité de l'épave principale.

# SUIVI DES DECHETS HUMAINS

Par Eric Clua<sup>1</sup> et Nikita Jost<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PSL, CRIIBE USR EPHE-CNRS-UPVD 3278, 98729 Papetoai Polynésie Française

<sup>2</sup>Association Clipperton Projets OutreMer (CPOM), 2 rue des plantes 57680 Corny sur Moselle, France

Les traces des présences humaines passées, notamment autour du camp Bougainville et de l’ancien camps américain, restent toujours visibles et ce, malgré leur ancienneté (à savoir les années 40 et fin des années 50 respectivement).

La dépollution pyrotechnique du stock de munitions par les diverses missions de l’armée française a néanmoins bien progressé et aujourd’hui, les obus restant sont entassés dans divers cratères à l’Est de l’atoll (Fig. 2-28).

La préoccupation majeure en terme de pollution, à la fois visuelle et potentiellement chimique (l’étude écotoxicologique devrait permettre de se prononcer sur ce risque), demeure l’amoncellement des déchets, en grande majorité plastiques, qui sont rejetés par la mer sur les plages de l’atoll, avec des densités, empiriquement jugées supérieures, au Nord de l’atoll (Fig. 2-29) et des compositions surprenantes (Fig. 2-30).

Néanmoins, les oiseaux semblent s’en accommoder, certaines espèces comme les fous brun ou masqué, utilisent même des déchets quasiment exclusivement anthropiques pour élaborer leur nid (Fig. 2-31).

**Figure 2-31.** Fou masqué couvant des oeufs dans un nid délimité par 100% de matériaux d’origine anthropique.



Photos@T.Berr



Photo@E.Clua

**Figure 2-28.** Vestiges de munitions américaines désamorçées amoncelées dans des cratères.



Photo@E.Clua

**Figure 2-29.** En haut: vue de la plage au Nord de l’atoll où les déchets rejetés par la mer sont particulièrement denses. Les déchets issus de la pêche industrielles sont toujours très présents, incluant souvent des balises de géolocalisation des dispositifs de concentration des poissons DCP dérivants (ci-contre en bas à droite).



Photos@E.Clua

**Figure 2-30.** Ci-dessus: les déchets d’origine anthropiques sont multiples et variés, aussi inattendus que peuvent l’être un réfrigérateur ou une valise.



# SUIVI DU COUVERT VEGETAL

Par Eric Clua<sup>1</sup> et Nikita Jost<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PSL, CRIOBE USR EPHE-CNRS-UPVD 3278, 98729 Papetoai Polynésie Française

<sup>2</sup>Association Clipperton Projets OutreMer (CPOM), 2 rue des plantes 57680 Corny sur Moselle, France

Le dernier recensement exhaustif du couvert végétal de l'atoll fait état d'une phase de développement de ce couvert et ce, depuis 2005. Cette phase d'expansion coïncide avec une rémission des populations de crabes dont le pic numéraire -après l'éradication des cochons introduits qui régulaient leurs populations dans les années 50- avait entraîné une forte régression de ce couvert (Jost et al. 2019).

L'évaluation du couvert végétal par les missions de 2016, 2017 et 2018 avaient conclu à un dynamisme indéniable du couvert, en particulier les prairies d'*Ipomea triloba* ou d'*Ipomea pes-caprae* à l'Est de l'atoll (Fig. 2-32). Cette tendance est confirmée par les observations de 2019, qui concluent aussi à une augmentation du nombre de cocotiers (*Cocos nucifera*), de plus de 1 m de haut. Le total de 865 cocotiers répertoriés en 2016, puis 1405 en 2018 est aujourd'hui de 1690 (N. Jost Obsv. Pers.) (Fig. 2-33).

Sans que des comptages précis aient pu être mis en oeuvre, il semble que les prairies d'*Ipomea* qui ont gagné non seulement en étendue mais aussi en densité, servent de refuge aux poules d'eau qui se sont indéniablement multipliées (notamment à l'Ouest où elles étaient peu présentes jusqu'alors). Néanmoins, ces zones s'avèrent apparemment moins propices au nichage des fous et ce développement végétal exubérant pourrait constituer un facteur limitant à la reproduction de ces espèces, voire poser un problème aux cocotiers (Fig. 2-34).



**Figure 2-34.** Parterre très dense d'*Ipomea triloba* qui a certains endroits de l'atoll s'est développé au point de coloniser en hauteur les cocotiers.



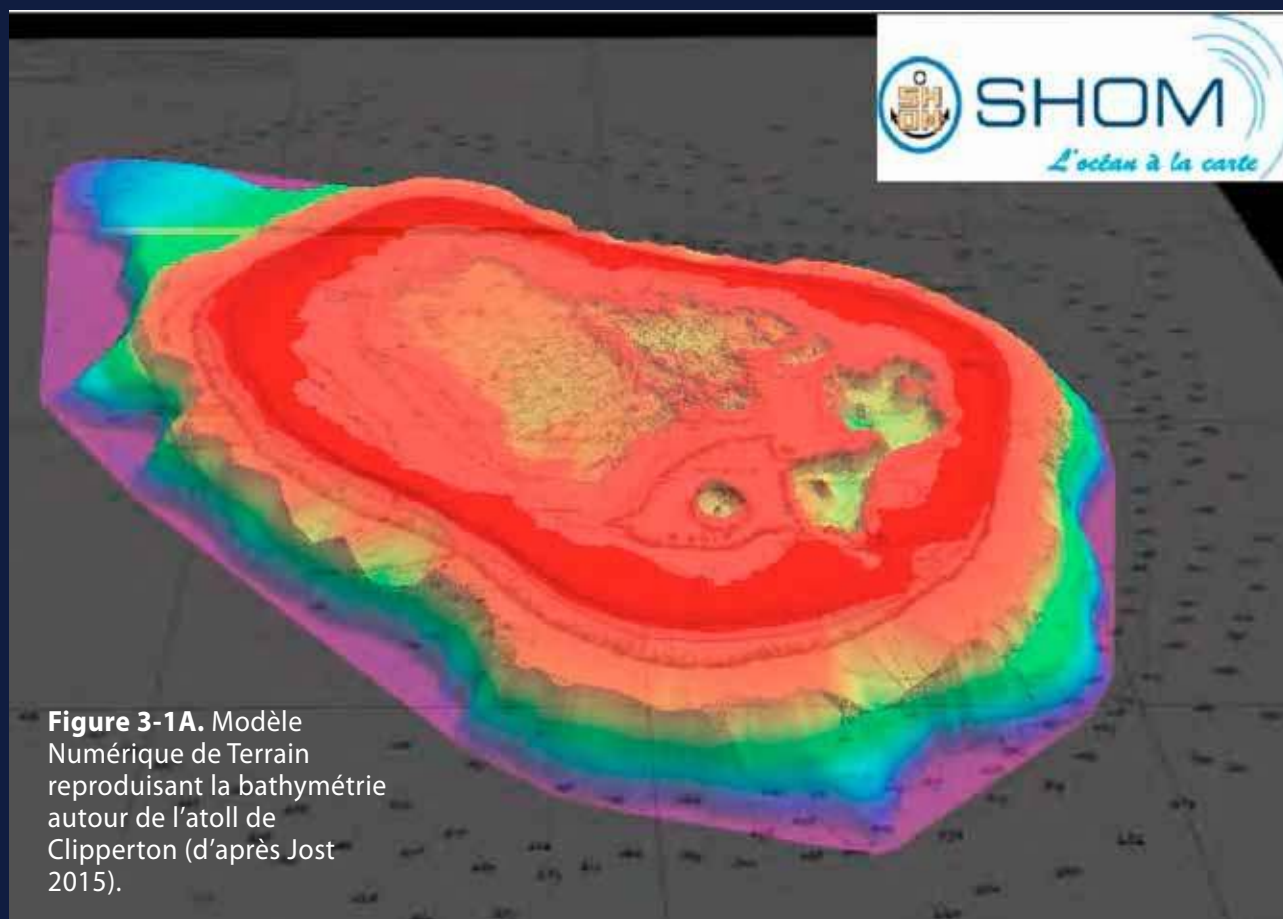
**Figure 2-33.** Jeunes pousses de cocotier (*Cocos nucifera*) dans la zone Nord-Est de l'atoll où les cocoteraies se sont densifiées. Par ailleurs, la prédation de ces jeunes pousses par les crabes semble toujours très marginale.



Photos@E.Clua



**Figure 2-32.** Haut: Parterre dense d'*Ipomea pes-caprae* à l'Est de l'atoll, qui semble plus propice à la nidification des fous plus présents que dans les parterres d'*I. triloba* de l'Ouest. Milieu: Parterre très dense d'*Ipomea triloba* au Nord de l'atoll où cette plante rampante s'est beaucoup développée. Bas: Parterre très dense impliquant des herbacées suffrutescentes (= à tige ligneuse) à arbrisseau, de la famille des *Malvaceae*, à savoir *Corchorus aestuans* L. (à gauche) et *Sida rhombifolia* (à droite), au Nord, entre l'aérodrome et le lagon.



**Figure 3-1B.** Vues sous-marines du début du tombant (vers 15 m) sur la façade Sud-Ouest de l'atoll de Clipperton, montrant la dominance des coraux massifs et un taux de couverture en corail vivant extrêmement élevé, de même qu'une biomasse exceptionnelle, notamment de meso-prédateurs.

## Clipperton, côté mer...

### Aperçu du biotope sous-marin

L'atoll de Clipperton est bordé sur sa façade extérieure d'un récif frangeant se présentant dans les premiers mètres de profondeur sous la forme d'une dalle calcaire fortement érodée, sur laquelle vient se briser la houle du large. Ces structures calcaires confinent par certains endroits des enclavements d'eau à proximité de la plage, que l'on pourrait assimiler à de mini-lagons dans lesquels évoluent essentiellement des poissons chirurgiens (Acanthuridae), perroquets (Scaridae) et autres balistes (Balistidae).

Dès les premiers mètres d'eau, les édifices coralliens prédominent largement dans une zone à sillons et éperons coralliens peu profondes (<2 m). Sur les sites du Sud-Ouest de l'atoll, un plateau en pente douce prédomine ensuite entre 8 et 12 m, à peine sur quelques dizaines de mètres de largeur, avant qu'une pente externe abrupte plonge sur 45 m de profondeur (Fig. 3-1A). Sur la côte Est, ce plateau semble plus court et la pente débute plus tôt, à quelques mètres de la zone des brisants, et chute plus rapidement. Au cours de toutes les plongées, la colonne d'eau apparaît très chargée en matières organiques et minérales en suspension, limitant la visibilité entre 10 et 20 m.

Sur la pente, les coraux sont essentiellement massifs, avec de nombreux *Porites* et coraux encroûtants (Fig. 3-1B). Quelques parterres sont formés de coraux branchus (*Pocillopora*), dont les branches restent toujours très courtes et de couverts coralliens formant des façades étagées (*Pavona*) (Fig. 3-2). Les espaces sans coraux sont très rares. Ces assemblages offrent une quantité d'abris appréciable, avec un taux «d'habitabilité» important, facilitant le développement des espèces de poissons cryptiques (nécessitant l'accès à des refuges). Entre 10 et 25 m, le corail paraît globalement en excellente santé, avec souvent des taux de recouvrement en corail vivant qui dépassent les 70% (Fig. 3-2).



**Figure 3-2.** Vue de la pente entre 10 et 15 m de profondeur, avec une dominance des coraux digités et recouvrant, en grande majorité vivants, et offrant une habitabilité importante pour les espèces cryptiques.

# ETUDE DE LA COUVERTURE BENTHIQUE

Par J.J. Adolfo Tortolero-Langarica<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Zoología Marina, Instituto Tecnológico de Bahía de Banderas, Tecnológico Nacional de México, Crucero a Punta de Mita S/N, Bahía de Banderas, C.P. 63734 Nayarit, México

## INTRODUCTION

Les récifs de l'île de Clipperton sont la zone corallienne la plus éloignée et la plus isolée de la côte est tropicale du Pacifique (ETP), qui fournit un laboratoire naturel pour l'étude des effets du changement climatique sans pression anthropique locale. Il s'agit d'une bande de 3,5 km<sup>2</sup> de récifs coralliens, caractérisée par des plates-formes récifales et des pentes frontales à des profondeurs de 10, 20 et 30 m (Carricart-Ganivet et Reyes-Bonilla, 1999). La température interannuelle varie entre 26 et 29 °C, avec un environnement oligotrophe et par conséquent une transparence élevée, ce qui facilite le développement de la structure primaire du récif, construit principalement par des coraux hermatypiques du genre *Porites*, *Pocillopora* et *Pavona* et dans une moindre mesure par *Leptoseris* et *Psamocora* (Glynn et al, 1996).

L'objectif de cette étude, conduite par le Dr Adolfo Tortolero (Fig. 3-3), était d'évaluer la couverture benthique du récif de Clipperton et l'effet de différents facteurs environnementaux tels que l'événement récent du Niño 2015-2016 sur la couverture des espèces coralliennes qui construisent les récifs. La couverture des coraux vivants

**Tableau 1.** Coordonnées GPS des 10 stations de suivi récifal qui ont été mises en oeuvre dans le cadre de la mission 2019. A noter la stratégie de faire coïncider autant de stations que possible (en rouge) avec les études précédentes.

| Sitios | Latitud        | Longitud        | Fecha      |
|--------|----------------|-----------------|------------|
| 1      | N 10° 17'.599" | W 109° 13'.696" | 24/10/2019 |
| 2      | N 10° 18'.800" | W 109° 12'.253" | 25/10/2019 |
| 3      | N 10° 18'.059" | W 109° 11'.904" | 25/10/2019 |
| 4      | N 10° 19'.347" | W 109° 13'.463" | 26/10/2019 |
| 5      | N 10° 19'.273" | W 109° 13'.770" | 26/10/2019 |
| 6      | N 10° 17'.313" | W 109° 13'.416" | 27/10/2019 |
| 7      | N 10° 18'.345" | W 109° 14'.186" | 27/10/2019 |
| 8      | N 10° 18'.846" | W 109° 12'.638" | 28/10/2019 |
| 9      | N 10° 17'.067" | W 109° 12'.605" | 29/10/2019 |
| 10     | N 10° 18'.682" | W 109° 12'.142" | 29/10/2019 |



**Figure 3-3.** Le Dr Adolfo Tortolero s'est chargé de l'étude du couvert benthique, avec l'appui de Ismaël Carillo, plongeur professionnel mexicain.

Photos@E. Cros - Seastemic



**Figure 3-5.** Disposition de la chaîne lors de l'évaluation de la rugosité par la technique portant ce nom.

et d'autres groupes morpho-fonctionnels (algues coralliennes encroûtantes, tapis d'algues, éponges, octocoraux, débris, sédiments et coraux morts) a été estimée.

## MATERIEL ET METHODES

Des transects de 50 m parallèles (Fig. 3-4), à la côte ont été installés en deux gradients de profondeur (10 et 20 m) à 10 sites différents autour de l'atoll (Tab.1). Les sites ont été choisis en fonction des sites identiques ou d'après des relevés effectués lors d'expéditions antérieures (p. ex. 2005, 2010, 2016) (Crane et al., 2018; Friedlander et al., 2019). De plus, afin de compléter l'information concernant la complexité tridimensionnelle du récif, elle a été évaluée selon la méthode de la chaîne (indice de rugosité) (Fig. 3-5) à deux niveaux de complexité : 1) au niveau du site, en suivant le contour du substrat en utilisant une chaîne de 10 m (3 cm, longueur des maillons) mesurant le début et la fin du transect en double à chaque profondeur ; 2) au niveau des espèces (microcomplexité), suivant le



**Figure 3-4.** Disposition du pentadécamètre servant à matérialiser les transects d'étude du benthos à -10 m et -20 m de profondeur.

Photos@E. Cros - Seastemic

contour de la morphologie de chaque espèce, à une chaîne fine de 3 m (0).40 cm, longueur des maillons) (Álvarez-Filip et al., 2011).

En parallèle, de petites sections de squelette de colonies vivantes (15 cm<sup>2</sup>) ont été prélevées (Fig. 3-6) pour 10 espèces de coraux (*Porites lobata*, *P. lutea*, *P. arnaudi*, *P. australiensis*, *Pavona clavus*, *P. duerdeni*, *P. maldivensis*, *P. varians*, *Leptoseris incrustans*), qui seront traité ultérieurement en laboratoire et ce, afin d'obtenir le taux annuel d'accrétion du carbonate de calcium (Fig. 3-7).

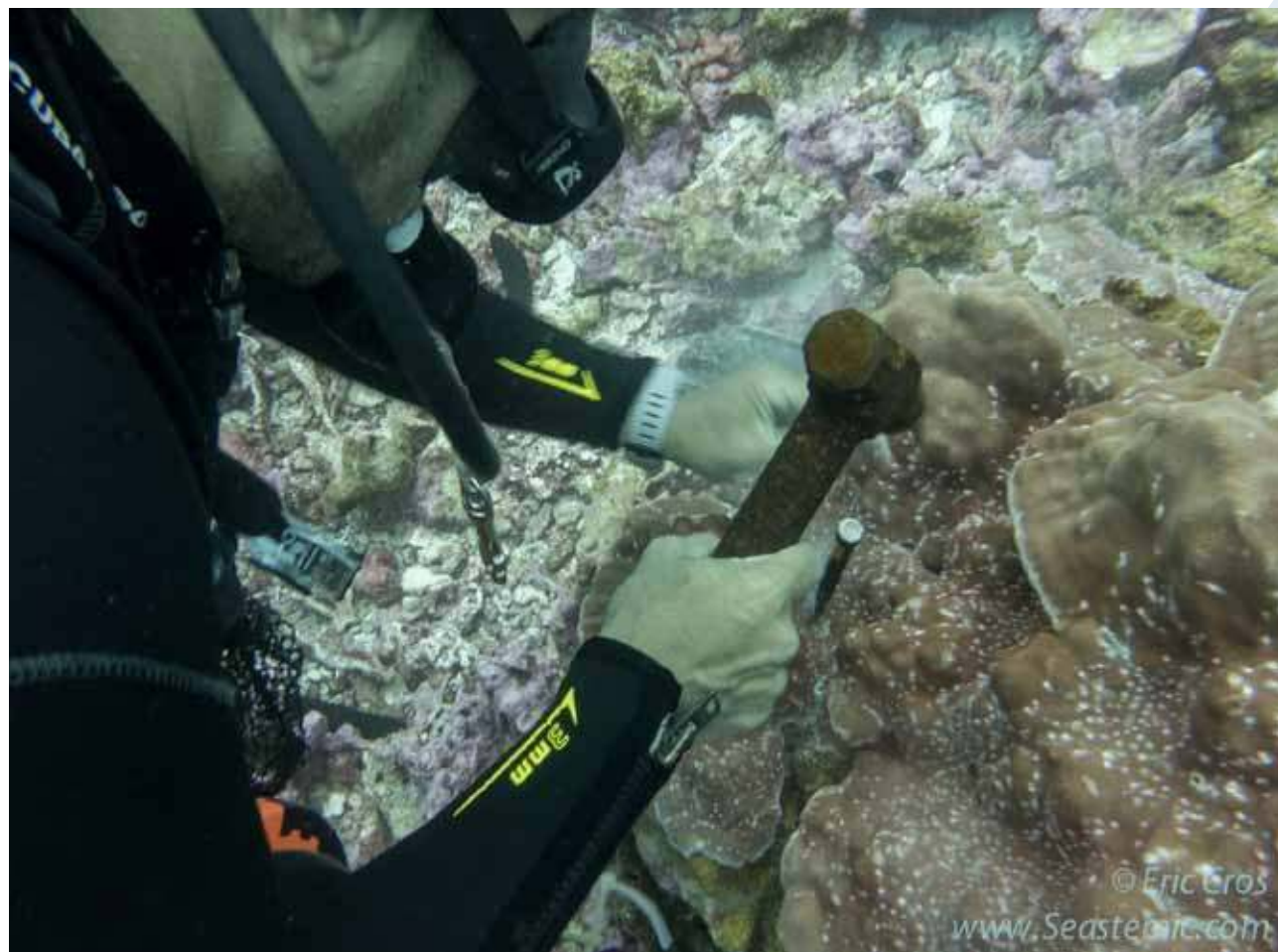
## PREMIERS RESULTATS

Les résultats préliminaires montrent une couverture corallienne > 60% de corail vivant, dominée par des espèces du genre *Porites* et *Pavona* qui contribuent avec 55% de la couverture totale, la couverture générée par les coraux de *Pocillopora* était de 11% en raison peut-être de la forte fragmentation présentée dans les zones peu profondes des 10 premiers mètres. Le passage d'un épisode cyclonique est une hypothèse, comme en témoignent également les données de couverture accumulées pour les débris et les coraux

morts, qui représentaient 19% de la couverture totale du benthos. De plus, on a observé une faible incidence de maladies, d'infestation par des bio-érodeurs et/ou de blanchissement pour tous les sites.

Malgré les résultats et le bon état du corail, le récif est maintenant fragmenté, dans la plupart des sites, principalement dans la zone peu profonde >10m, où de grandes colonies de *Porites lobata* (2-3m<sup>2</sup>) ont été retournées ou décapitées, ainsi que de grandes plaques de *Pocillopora* spp. complètement fragmentées avec de nombreux débris. Cela suggère le passage possible d'un ouragan récent qui a touché ces zones plus exposées du récif. Cependant, il est important de corroborer les données historiques des ouragans dans la région avec ces informations et surtout le résultat de l'analyse du squelette calcaire des échantillons recensés dans cette expédition.

Les résultats préliminaires de cette évaluation soulignent l'importance de poursuivre le suivi annuel du couvert corallien et d'en connaître la réponse à court et à long terme afin de générer des stratégies de gestion de conservation pour ce système récifal unique et paradisiaque.



**Figure 3-6.** Dr Adolfo Tortolera en train de prélever des ragments de coraux qui serviront, entre autres, à une étude sur les taux d'accrétion calcaire dans le contexte de cet atoll isolé.

Photos@E. Cros - Seastemic



Photo@E.Clua

**Figure 3-7.** Haut et bas: les échantillons prélevés sous l'eau ont été référencés en double exemplaire afin de conduire des analyses génétiques et autres études sur la calcification.



Photos@J. Cruz

# RESSOURCES ICHTYOLOGIQUES CÔTIÈRES

Par Eric Clua<sup>1</sup>, Diana del Campo Hernández<sup>2</sup>, Adriana Jazmín Alatorre Alba<sup>3</sup>, Daniel Hernández Cruz<sup>3</sup> et Leticia Huidobro Campos<sup>2</sup>

<sup>4</sup>PSL, CRIIBE USR EPHE-CNRS-UPVD 3278, 98729 Papetoai Polynésie Française

<sup>2</sup>INAPESCA, Office central, Direction générale adjointe de la recherche halieutique en Atlantique, Av. Sábalo Cerritos, Cerritos Resort, 82112 Mazatlán, Sinaloa, México

<sup>3</sup>INAPESCA, Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera (CRIAP-Manzanillo). México

## INTRODUCTION

Clipperton est situé à l'extrémité ouest du Pacifique Est (TEP) (10° 18' N et -109° 13' W), ce qui en fait une zone d'intérêt biogéographique particulier pour plusieurs raisons, dont son isolement extrême à 1 100 km du point le plus proche du continent américain (Mexique) et 950 km des îles Revillagigedo (Robertson et Allen 1996). En outre, cet atoll pourrait représenter un lien important entre le biote du Pacifique Est et du Pacifique Ouest, car il se trouve dans la plus grande étendue d'eau profonde du monde (Ekman 1953, Briggs 1961). L'atoll a été décrit comme le plus long récif du TEP et comme le seul récif dont la faune n'est pas influencée par les vastes zones non coralliennes continues qui l'entourent.

La faune ichthyologique qui habite la région (Fig. 3-8) se compose d'un mélange d'espèces d'origines biogéographiques différentes, dont certains taxons de la province de Panama, d'autres de distribution circumtropicale avec un pourcentage élevé d'espèces transpacifiques (Robertson et al. 2004). Les poissons relèvent de 197 espèces appartenant à 62 familles, dont 106 sont classées comme dépendantes des récifs et seulement sept endémiques (Fourrière et al. 2015). A cette liste s'ajoutent plusieurs espèces qui ne sont aperçues que sporadiquement et doivent être considérées comme transientes, la colonisation étant loin d'être achevée. C'est le cas de la Carangue géante *Caranx ignobilis* (Clua et al. 2016) ou encore du perroquet des Carolines *Calotomus carolinus* et du poisson ange roi *Holacanthus passer* (Clua and Planes 2019) (Fig. 3-9).

Clipperton est pleinement développée d'un point de vue géomorphologique et présente certaines caractéristiques communes à d'autres îles de la région. Cependant, elle a une faune appauvrie en coraux constructeurs de récifs, 50% de la couverture corallienne étant assurée par seulement deux genres de coraux massifs (*Porites spp.* et *Pavona spp.*) (Fig. 3-8) (Glynn et al. 1996, Reyes et al. 1999), qui fournit une moins grande diversité de niches que d'autres zones récifales océaniques et qui pourrait contribuer substantiellement à la diversité réduite de la faune de poissons trouvée dans Clipperton (Robertson et Allen 1996).

L'isolement extrême de l'atoll, sa petite taille et sa topographie sous-marine particulière en font un site clé pour l'étude de la diversité, de la distribution et de l'abondance des espèces marines qui sont actuellement soumises aux changements climatiques et globaux, avec des effets indirects comme le réchauffement des eaux ou plus directs avec la pollution anthropique, particulièrement présente sur l'atoll via des déchets abandonnés par l'homme ou ceux rejetés par la mer sur les plages.

C'est dans ce contexte que la mission franco-mexicaine impliquant le CRIIBE et l'Institut National des Pêches et de l'Aquaculture (INAPESCA), a mis en oeuvre une étude visant à mieux connaître l'ichtyofaune de l'atoll avec un focus particulier sur i) la biologie d'une espèce endémique (Fig. 2-10), et ii) l'étude éco-toxicologique (touchant aux métaux et nano-micro-plastiques) d'un panel d'espèces réparties sur la chaîne trophique.



**Figure 3-8.** Vue sous-marine générale de la pente externe entourant l'atoll de Clipperton, structurée autour de coraux massifs colonisés par des multitudes de poissons planctonophages dans la colonne d'eau, et de nombreux carnivores proches du substrat.



**Figure 3-9.** Position géographique de l'atoll de Clipperton, à l'interface entre le Pacifique Tropical Est et le Pacifique central, ce qui explique la mixité de sa faune ichthyologique. Ici (en rouge) les chemins migratoires possible d'une espèce de Carangidae récemment observée autour de l'atoll (Clua et al. 2016).



**Figure 3-10.** Individus de diverses taille de poissons anges de Clipperton *Holacanthus limbaughi* en train de se nourrir sur un oursin.



**Figure 3-11.** Selon la taille des poissons ciblés, le plongeur avait recours soit à une simple fléchette propulsée par un élastique (pour les petits individus) soit à une arbalète de 75 cm (pour les plus gros individus).

**MATERIEL ET METHODES**

Les poissons ont été capturés lors de pêches scientifiques en plongée à l'aide d'une arbalète. Les spécimens étaient directement transférés au laboratoire dès le retour de plongée (Fig. 3-11).

Les échantillons prélevés dans chaque série ont été traités dans le laboratoire de biologie de la pêche à bord du bateau CARRANZA Fraser et ce, afin d'être identifiés, sexés, mesurés, pesés et biopsés (ADN conservé dans de l'alcool à 96°). Les individus destinés à l'étude ecotoxicologiques faisaient l'objet d'un prélèvement de chair et de foie (pour les métaux) qui étaient congelés, de même que leur contenu stomacal (pour les micro-

plastiques). Les otolithes des poissons anges (destinés à l'étude biologique sur la croissance) étaient prélevés et conservés après séchage.

**RESULTATS PRELIMINAIRES**

Les spécimens capturés en plongée correspondaient à 58 individus de cinq familles, sept genres et huit espèces de poissons (tableau 3-1), avec une biomasse de 17,14 kg. Dans ces échantillons, 58 échantillons de muscle et de foie, 38 de contenu stomacal, 27 paires d'otolithes et 42 échantillons de la première nageoire dorsale ont été préservés.

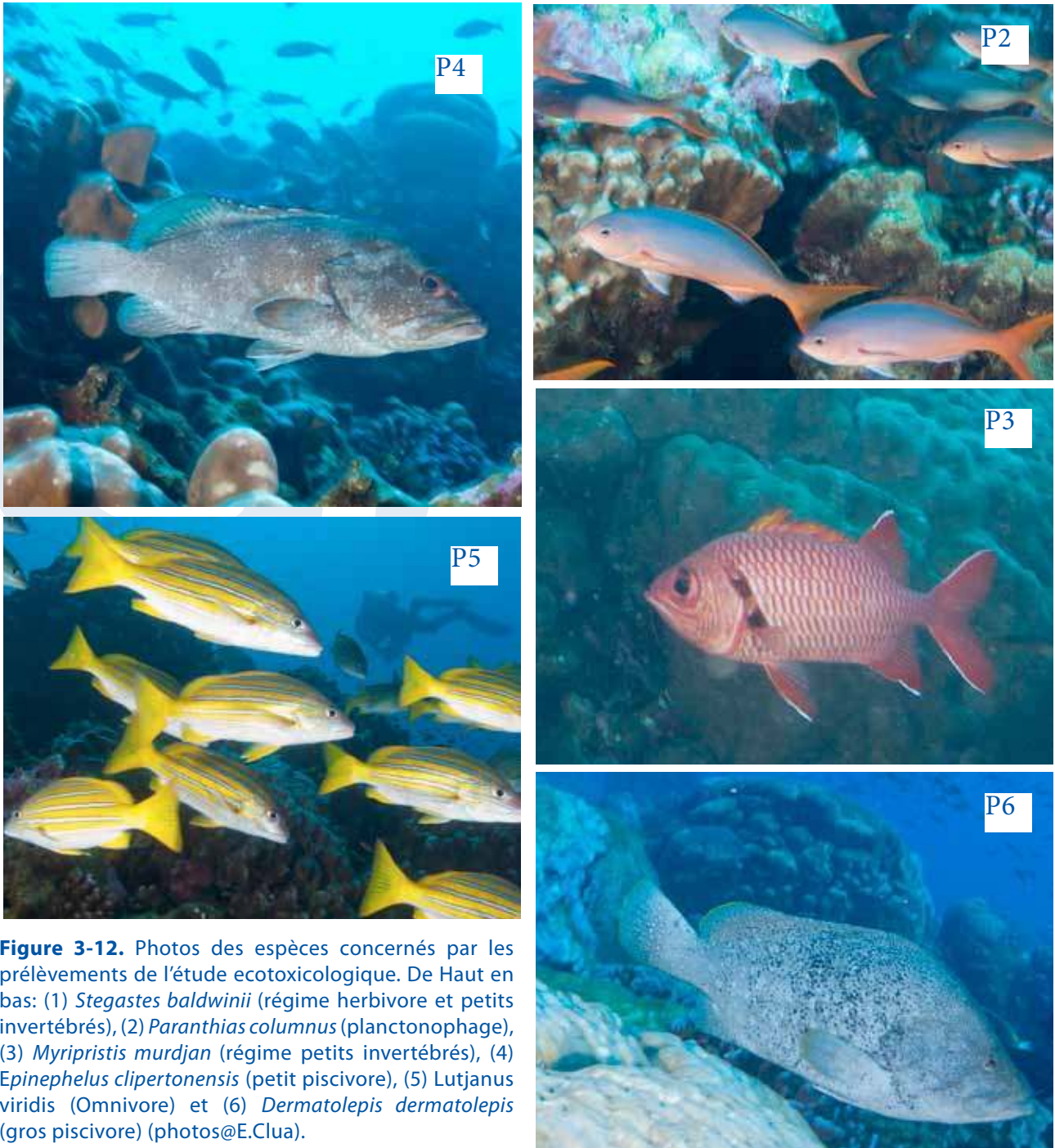
| Familia       | Especie                            | Biomasa (kg) | Abundancia (núm. inds.) |
|---------------|------------------------------------|--------------|-------------------------|
| Serranidae    | <i>Dermatolepis dermatolepis</i>   | 6.71         | 5                       |
| Serranidae    | <i>Epinephelus clippertonensis</i> | 2.34         | 6                       |
| Serranidae    | <i>Epinephelus labriformis</i>     | 1.07         | 3                       |
| Pomacanthidae | <i>Holacanthus limbaughi</i> *     | 2.39         | 23                      |
| Lutjanidae    | <i>Lutjanus viridis</i>            | 1.86         | 6                       |
| Holocentridae | <i>Mypristis murdjan</i>           | 0.91         | 5                       |
| Serranidae    | <i>Paranthias columnas</i>         | 1.78         | 5                       |
| Pomacentridae | <i>Stegastes baldwini</i> *        | 0.09         | 5                       |
| <b>Total</b>  |                                    | <b>17.14</b> | <b>58</b>               |

\*Especies endémicas

**Tableau 3-1.** Présentation par famille les espèces prélevées lors de cette étude, avec la biomasse et l'abondance en individus par taxon.

Les prélèvements des espèces destinées à l'étude ecotoxicologique (d'un minimum de cinq individus par taxon) se sont faits de façon à obtenir une image de la chaîne trophique, en partant de poissons herbivores jusqu'aux carnivores, en passant par des régimes basés sur les invertébrés ou le plancton (Fig. 3-12).

Les études de la courbe de croissance reposant sur un panel de tailles diverses, les prélèvements de poissons ange *Holacanthus limbaughi* ont concerné 23 individus en tout, de taille allant de 7 cm à 25 cm, la taille maximale de l'espèce étant de 27 cm (Clua et al. 2019). A noter par ailleurs que cette espèce, bien qu'endémique, compterait plus de 50 000 individus dans les eaux de l'atoll (Clua et al. 2019); ces prélèvements apparaissent dès lors très marginaux.



**Figure 3-12.** Photos des espèces concernées par les prélèvements de l'étude ecotoxicologique. De Haut en bas: (1) *Stegastes baldwini* (régime herbivore et petits invertébrés), (2) *Paranthias columnus* (planctonophage), (3) *Mypristis murdjan* (régime petits invertébrés), (4) *Epinephelus clippertonensis* (petit piscivore), (5) *Lutjanus viridis* (Omnivore) et (6) *Dermatolepis dermatolepis* (gros piscivore) (photos@E.Clua).

# SUIVI DES POPULATIONS DE REQUINS

Par Eric Clua<sup>1</sup> et Sergio Paul Padilla Galindo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PSL, CRIOBE USR EPHE-CNRS-UPVD 3278, 98729 Papetoai Polynésie Française

<sup>2</sup>INAPESCA, Office central, Direction générale adjointe de la recherche halieutique en Atlantique, Av. Sábalo Cerritos, Cerritos Resort, 82112 Mazatlán, Sinaloa, México

## INTRODUCTION

A l'instar d'autres récifs éloignés et indemnes de tout impact anthropique, les eaux bordant l'atoll de Clipperton hébergeaient encore dans les années 1950-60 des densités impressionnantes de requins. Ce fait est clairement établi par les missions scientifiques de l'institut américain de recherche SCRIPPS sous la responsabilité de Conrad Limbaugh, lui-même spécialiste du comportement des squales. Ce dernier a laissé des témoignages poignants, spécifiant que les premières tentatives d'exploration sous-marines avaient dû être interrompues lors de la première mission en 1953 à cause du comportement agressif des requins à l'égard des plongeurs (Limbaugh 1963). A tel point que Limbaugh avait confectionné une cage spéciale afin de pouvoir s'immerger lors de la mission suivante pour étudier les requins sans risquer sa vie. Un autre témoignage appuyé d'images convaincantes, provient de la mission de l'équipe Cousteau en 1980 qui avait constaté des densités importantes de requins, en particulier de requins marteaux (*Sphyrna lewini*) en banc de plusieurs dizaines d'individus dans les eaux adjacentes à l'atoll.

Néanmoins, dès la fin des années 1990, la rareté des observations de requins en plongée a été soulignée par des plongées exploratrices effectuées en 1997 et 2001 (Pauly 2009). L'hypothèse probable d'une surpêche motivée par le marché des ailerons de requins en développement dans le Sud-Est asiatique était alors avancée. Cette hypothèse est aujourd'hui corroborée par la présence de nombreux vestiges (calcifiés pour la plupart) de palangres emmêlés dans les coraux.

Dans le cadre des deux missions de Clipperton 2016 et 2018, la taille et le nombre de requins avaient été dénombrés. Les abondances moyennes de 4,6 et 11 requins/plongées avaient été respectivement calculées, montrant une amélioration des densités. En 2016, la taille moyenne des individus au sein de l'espèce la plus présente, le requin à pointe blanche (*C. albimarginatus*) (Fig. 3-13) était d'environ 90 cm (+/- 10 cm) montrant que l'extrême grande majorité étaient des animaux juvéniles, indiquant un tableau de surpêche probable des squales. En 2018, les juvéniles étaient encore prépondérants, mais les adultes semblaient en plus grande densité, à des tailles cohérentes avec les juvéniles observés deux ans plus tôt.

Outre l'évaluation globale des populations de requins, un enjeu scientifique important des expéditions de 2016 et 2018, concernait l'étude de la connectivité spatiale et génétique de ces animaux à l'échelle régionale. D'un point de vue spatial, le Pacifique Tropical Centre-Est (PTE) qui s'étend entre la basse Californie au Nord et l'Equateur au Sud, se caractérise par la présence d'îles ou d'archipels éloignés, agissant autant comme oasis d'une intense vie marine que comme relais pour une méga-faune migratrice telle que les requins, mais aussi tortues, mammifères marins voire oiseaux. Ces sites remarquables sont du Sud vers le Nord l'Archipel des Galapagos, Malpelo, Coïba island et Cocos island qui dépendent respectivement de l'Equateur, de la Colombie, du Panama et du Costa Rica. Toutes ces îles bénéficient de mesures de protection qu'il s'agisse de parcs ou d'Aires Marines Protégées. En 2004, les quatre pays sus-mentionnés ont créé le «Corridor du Pacifique Tropical Est», dénommé CMAR, qui a permis la mise en place du réseau MIGRAMAR qui a recours à la télémétrie acoustique et satellitaire pour étudier les déplacements des espèces migratrices à l'échelle du PTE. C'est dans le cadre de ce réseau que l'étude de la méga-faune migratrice a été étendue plus au Nord en 2010, avec l'intégration informelle de l'archipel mexicain des Revillagigedo et de l'atoll de Clipperton, au sein desquels ont été installés trois récepteurs acoustiques, en même temps que des requins étaient marqués acoustiquement par des scientifiques de l'association Pelagios.

En 2018, une vingtaine de requins avaient été marqués autour de Clipperton, dont six par une équipe franco-mexicano-colombienne en 2016 (Clua 2016).

Les résultats obtenus sur Clipperton en terme de mouvements des requins ont été intégrés à une étude générale en cours de publication qui repose sur 78 requins marqués (44 *C. falciformis* et 34 *C. galapagensis*) repérés par 43 récepteurs à l'échelle de l'ETP. Les premiers résultats confirment que l'ETP est un système interconnecté, basé sur les mouvements de *C. falciformis* et *C. galapagensis* (Figure 3-14).

Dans ce contexte, l'expédition Clipperton 2019 avait pour objectif une réévaluation des populations de requins, la récupération des données collectées par les récepteurs acoustiques autour de l'atoll, de même que leur maintenance (changement de batterie), et le marquage opportuniste d'individus, si possible de grande taille.



Photo@E.Clua

**Figure 3-13.** Juvénile de requin à pointes blanches *Carcharhinus albimarginatus*. Cette espèce semblait s'être bien ré-implantée après la surpêche constatée en 2016, mais la rencontre en 2019 avec des animaux matures reste très rare, ce qui engage à la prudence concernant l'inexistence d'un pêche persistante de ces animaux.



**Figure 3-14.** Localisation spatiale des divers archipels et îles océaniques du Pacifique Tropical Est qui font partie du réseau MIGRAMAR. Les flèches verte, orange et jaune représentent les échanges d'animaux (respectivement de requins soyeux, tigre et marteaux) qui ont été prouvés par les études en cours, avant 2018, au sein du «Corridor du Pacifique Tropical Est».

## Populations de requins

Les observations alarmantes de 2016 liées à une surpêche probable des squales, malgré une amélioration en 2018, restent d'actualité dès lors que 52% des individus observés mesuraient moins de 1 m de long et 90% moins de 1.4 m (soit en deçà de la maturité sexuelle) au sein de l'espèce la plus présente, à savoir le requin à pointes blanches *Carcharhinus alimarginatus*. La moyenne de 11 requins observés par plongée en 2018 est redescendue à 8,8 en 2019. La deuxième espèce en densité est le requin des Galapagos, au sein de laquelle dominant aussi les individus d'une longueur inférieure à 90 cm (70% contre 64% en 2018), sans aucune amélioration perceptible. En terme de diversité, le requin corail a de nouveau été observé à plusieurs reprises, de même que le requin marteau à festons (notamment une demi-douzaine d'individus entre 250 et 350 cm) (Fig. 3-15).

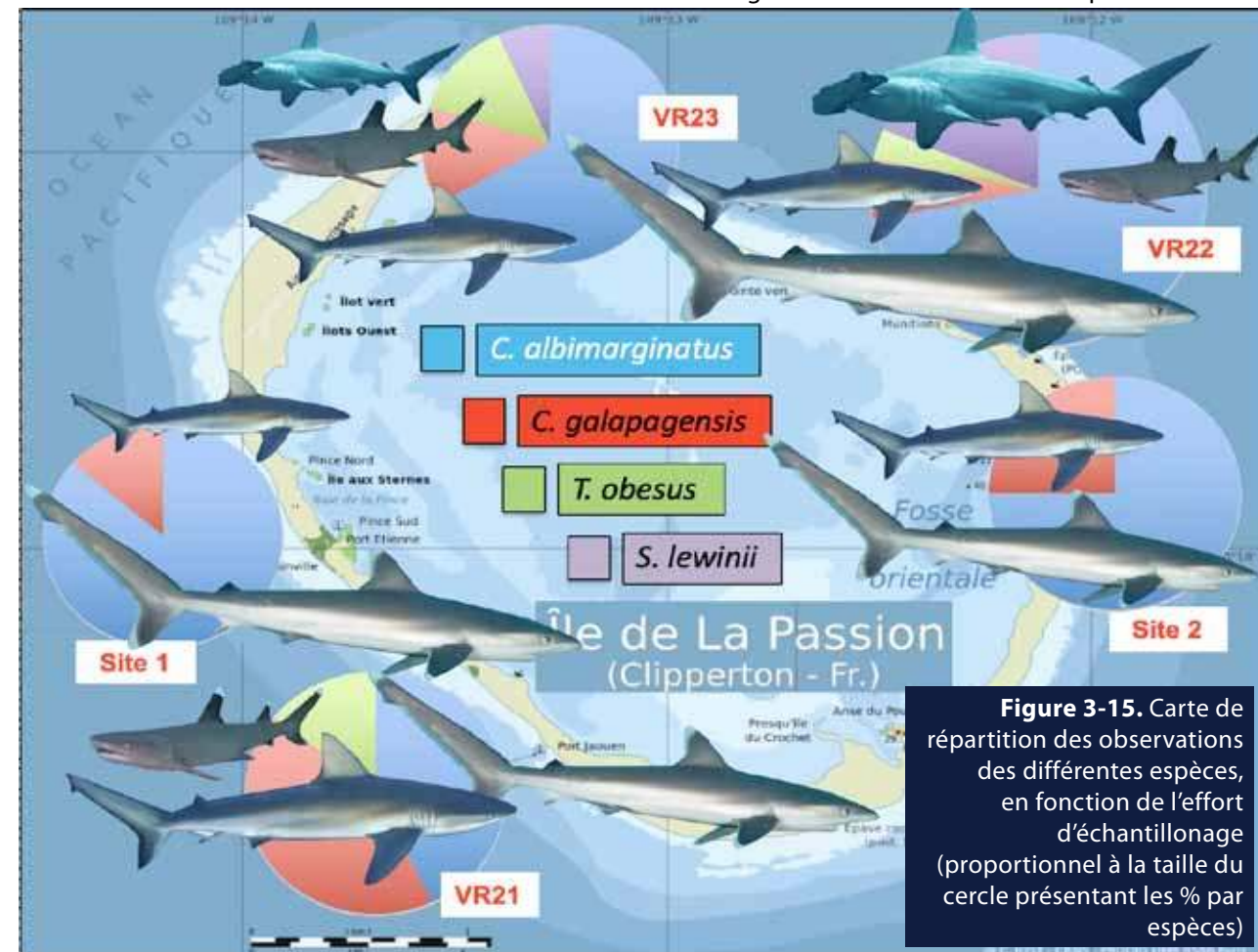
## Pêche et biopsies de requins

Une ligne légère faite d'un filin en nylon et d'un câble d'acier au bout duquel était disposé un hameçon sans ardillon (afin de ne pas blesser les animaux et faciliter le retrait de l'hameçon) a été utilisée pour capturer les requins qui étaient, selon sa taille, soit hissé à bord, soit maintenu dans l'eau (Fig. 3-16), afin de subir les diverses opérations. Un total de 24 prélèvements de requins à pointes blanches ont été cumulés. Les animaux

mesuraient entre 80 et 150 cm de longueur totale (LT). Aux prélèvements de peau, se sont rajoutées, sur certains individus, des prélèvements de fèces à l'aide d'une sonde enfoncée dans le colon des animaux avant que la matière en suspension ne soit aspirée avec une grosse seringue de 150 ml.

## Marquage acoustique de requins

L'objectif d'équiper certains requins avec des émetteurs acoustiques n'a été que partiellement rempli dans la mesure où aucun individu de grande taille (> 160 cm) n'a pu être pêché. Ce type d'individus est privilégié car plus à même d'effectuer des migrations entre les archipels de l'ETP, tel que l'étude en cours tente de le démontrer. Les gros animaux étaient extrêmement rares: seuls deux individus de requin des Galapagos (*C. galapagensis*) d'environ >2,50 m ont été aperçus lors des pêches mais ils n'ont pas mordu à l'appât. Trois spécimens de requins à pointes blanches, respectivement une femelle de 150 cm LT et deux mâles (125 et 100 cm) ont néanmoins été implantés avec des VR16 VEMCO. Ces émetteurs ont des batteries qui durent plus de 5 ans et il est espéré que ces animaux, une fois arrivés à maturité sexuelle, migreront éventuellement sur d'autres archipels. Ce résultat mitigé sur le marquage ne remet pas en cause le programme en cours d'étude de la connectivité spatiale, sachant que la priorité concernait le changement de batteries des récepteurs VR2 et le



**Figure 3-16.** Pêche et contention des requins qui étaient soit hissés à bord lorsqu'il s'agissait de petits individus d'une longueur <100 cm, soit maintenus dans l'eau le long de la coque, en immobilité tonique (ventre en l'air), ce qui constitue une position antalgique permettant notamment une chirurgie abdominale sans avoir recours à une anesthésie.

téléchargement des données de la dernière année (cf chapitre suivant), sachant qu'une vingtaine de requins sont actuellement acoustiquement marqués et actifs autour de Clipperton.

## Récupération des récepteurs

Trois récepteurs avaient été placés par le chercheur mexicain Dr Mauricio Hoyos en 2010 autour de Clipperton, à savoir l'un au Sud-Ouest, un au Nord-Est et un au Nord-Ouest. Ils ont été entretenus et les données enregistrées depuis août 2018 ont été récupérées. Chacun de ces récepteurs est fixé par des sereflex à un boot ancré sur le substrat corallien et maintenu à la verticale par une bouée immergée incompressible et ce, autour de 30 m de profondeur (Fig. 3-17).

Les trois VR2 ont été récupérés lors de trois plongées dédiées à cette opération; à chaque plongée, le VR2 en place, recouvert d'algues encroûtantes, était récupéré et remplacé par un nouveau VR2 conditionné. A noter qu'un des deux thermomètres fournis par l'équipe mexicaine de James Ketchum, et installés à proximité des VR21 (sud-ouest) et VR22 (Est) a aussi été récupéré.

Suite au téléchargement et sans que les données n'aient pu être analysées en détail à ce stade, il apparaît néanmoins qu'elles sont très nombreuses (> 8 000 réceptions issues de vingt requins différents) et devraient permettre une analyse intéressante de la connectivité des requins, incluant potentiellement des requins qui auraient été marqués hors de Clipperton.



**Figure 3-17.** Remplacement d'un récepteur acoustique fixé sur un mouillage spécial prévu à cet effet. L'ancrage des trois récepteurs a été vérifié, le VR22 ayant fait l'objet d'un remplacement total.

# SUIVI DES POPULATIONS DE CETACES ET MANTAS

Par Eric Clua<sup>1</sup>

<sup>1</sup>PSL, CRILOBE USR EPHE-CNRS-UPVD 3278, 98729 Papetoai Polynésie Française

## Le groupe de grands dauphins *Tursiops truncatus*, toujours présent...

La mission de 2016 avait permis d'observer un groupe de grands dauphins qui s'étaient manifestés à deux reprises, dont une fois pendant une plongée à l'Est de l'atoll (Clua 2016). La mission de 2018 avait permis de confirmer la présence de cette espèce autour de Clipperton, qui s'était manifestée chaque jour de la mission et ce, tout autour de l'atoll. Le groupe semblait comporter plusieurs dizaines d'individus qui ont de nouveau été filmés et photographiés en 2019 (Fig. 3-18).

Cette série temporelle devrait permettre d'évaluer la taille, voire l'évolution de cette population, en l'absence d'une étude plus conséquente sur ces animaux, omniprésents autour de l'atoll. A noter leur présence autour du bateau d'INAPESCA lors des pêches nocturnes de calamars sur lesquels ils semblaient se nourrir.

## Première observation d'une Manta géante...

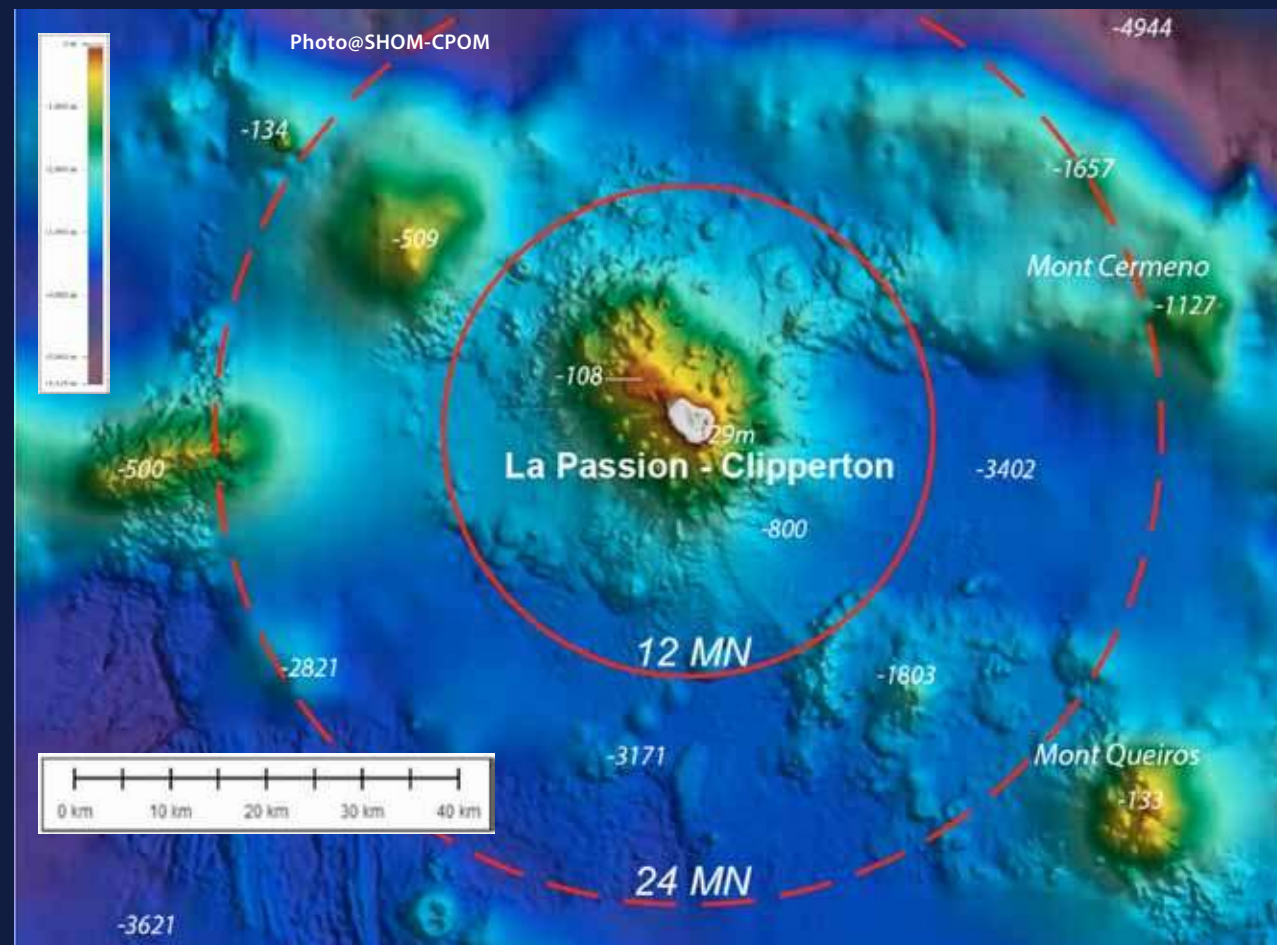
La mission 2019 a permis l'approche et la photographie d'un individu de plus de 2m d'envergure, identifié comme relevant de l'espèce de Manta géante *Mobula birostris* (Fig. 3-19). Le cliché montrant la face ventrale pour le cas échéant être comparé à ceux effectués au sein de la population de Mantas de l'archipel des Revillagigedo où est effectué un suivi par photo-identification.



**Figure 3-19.** Photos du dos (en haut à droite) et du ventre d'une Manta océanique ou Manta géante *Mobula birostris*, qui se caractérise par l'absence de pigmentation entre les branchies et la présence d'une épine caudale (indiquée par la flèche rouge) en arrière de l'aileron (grossissement d'image à gauche).



**Figure 3-18.** En haut: cliché d'un binôme de grands dauphins *Tursiops truncatus*. Au milieu: Individu caractérisé par la présence de deux gros rémoras *Echeneis naucratis* sur le flanc gauche, de même que plusieurs plaies externes. En bas à gauche: cliché de 2018.



**Figure 4-1.** Topographie sous-marine de la zone des 30 nautiques autour de l'atoll de Clipperton qui révèle la présence de nombreux monts sous-marins qui sont autant de configurations généralement accompagnées d'une présence importante de ressources pélagiques (d'après les travaux du SHOM).



**Figure 4-2.** Vue sous-marine d'un banc de thons jaunes *Thunnus albacares*, réputés pour leurs qualités gustatives; cette espèce, ici piégée dans une senne, est présente dans les eaux de Clipperton et est particulièrement ciblée par la pêche industrielle.

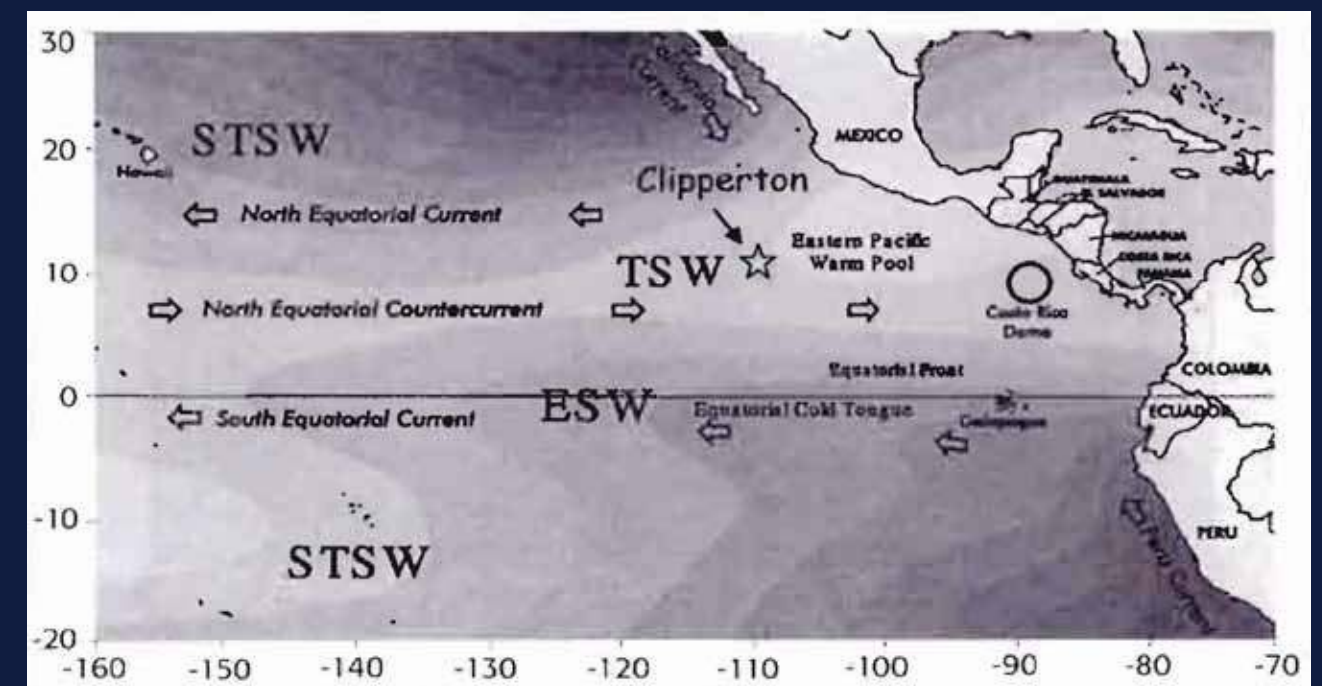
### Clipperton, côté large...

Le climat de Clipperton est de type tropical humide océanique, sous influence de l'ICZ (Intertropical Convergence Zone), avec une forte hygrométrie toute l'année. Chaleur et moiteur ainsi qu'avères brèves et brutales sont des constantes sur l'atoll. Il en découle que le milieu océanique environnant subit les conséquences d'un bilan précipitation-évaporation positif avec une salinité faible (<34) et une température moyenne >25°C. À 5 km au large de l'atoll, la couche de surface est légèrement enrichie en sels nutritifs, à l'instar de celle de toute la région, mais les valeurs de chlorophylle sont légèrement plus fortes et varient de 0,2 à 0,5 pg L<sup>-1</sup>; cette biomasse phytoplanctonique, dominée par des organismes de petite taille <10 µm, reste toutefois cinq fois plus faible que celle du lagon.

À proximité du récif, on trouve des eaux beaucoup plus riches en éléments nutritifs, jusqu'à cinq fois dans

le cas du nitrate. Plusieurs processus (percolation, remontées d'eaux profondes...) peuvent expliquer ces enrichissements le long de la pente récifale externe mais en l'absence d'études plus approfondies il est difficile de conclure (Rodier and Charpy in Charpy et al. 2009).

Autour de l'atoll, la couche d'eau de surface 0-60 m est stratifiée en température et salinité avec toutefois une couche homogène en température sur les 25 premiers mètres. La température de l'eau est comprise entre 27,4°C et 26,2°C et la salinité entre 34,0 et 34,7 g/l. En dessous de 60 m, la thermocline et la halocline sont a priori très marquées.



**Figure 4-3.** Schéma des masses d'eau de surface et des courants dans le Pacifique tropical Est. STSW: Subtropical Surface Water. TSW: Tropical Surface Water. ESW: Equatorial Surface Water. Les grisés représentent les températures moyennes de surface, les plus foncés correspondent aux températures les plus froides. Reproduit d'après Shea et al. (1992).

# ACCOUSTIQUE HALIEUTIQUE

Par Juan Roberto F. Vallarta Zárate<sup>1</sup> Leslie Altamiro López<sup>1</sup> et Mario Vásquez Ortiz<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>INAPESCA, Direction générale adjointe de la recherche halieutique  
 en Atlantique, Av. Sábalo Cerritos, Cerritos Resort, 82112 Mazatlán, Sin., Mexique

## INTRODUCTION

Dans le cadre de la mission franco-mexicaine d'octobre 2019, il a été proposée un parcours pré-établi cumulant plusieurs transects dans un rayon d'environ 8 nautiques (mi) autour de l'atoll I (Fig. 4-1).

Le navire CARRANZA Fraser a quitté le port de Manzanillo, Colima, le 21 octobre 2019 et a parcouru une distance de 1 204 mi (miles nautiques) pour arriver à l'atoll le 24 octobre 2019. L'itinéraire de prospection biologique situé à l'intérieur d'un polygone délimité par les coordonnées 10.4309° et 10.2293° Nord et 109.3642° et 109.1548° Ouest, comprenait 15 transects autour de l'île, de longueur variable et de longueur totale de 66,3 milles marins et de 300 à plus de 2.500 mètres de fond (Fig. 4-1 et 4-2). La prospection acoustique a débuté le 25 octobre après le débarquement du personnel de recherche terrestre. Simultanément, 16 stations océanographiques préétablies dans le programme de travail ont été réalisées. En outre, des activités de pêche exploratoire du calmar ont été menées pendant les sessions nocturnes.

## MATERIEL ET METHODES

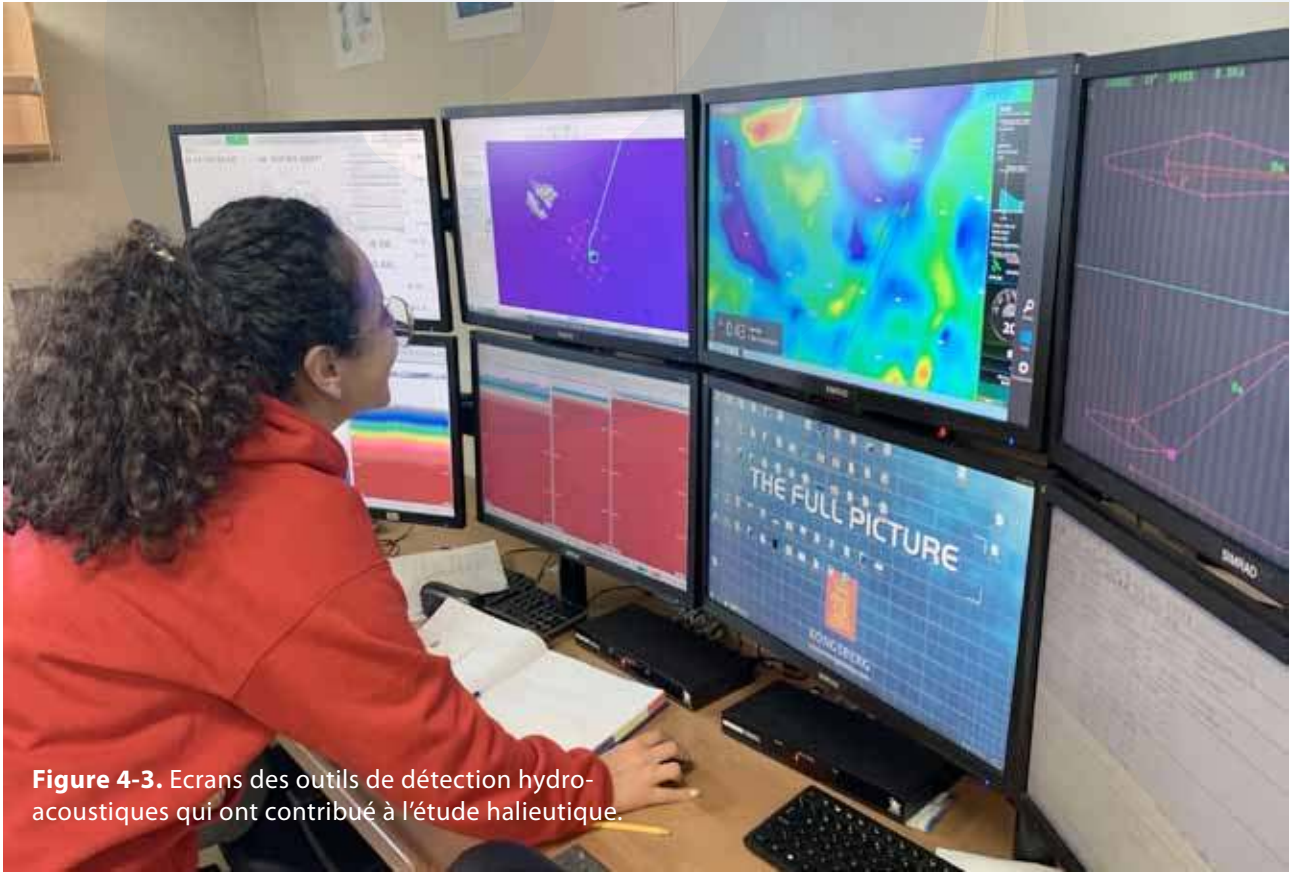
Pour l'exploration biologique des ressources, quatre traits de pêche en eau moyenne ont été réalisés avec un filet de type NMWT 25/25, basé sur la reconnaissance

hydroacoustique. Au total, 2 026 mi ont été naviguées, dont 1 204 mi correspondent à des transferts autour de Clipperton, 651 mi à la voie de prospection biologique et 104 mn à l'inspection bathymétrique.

L'acquisition des données a été réalisée 24 heures sur 24 à une vitesse constante de 8 nœuds, à l'aide d'un échosondeur Simrad EK60 équipé de quatre transducteurs à double faisceau (18, 38, 70 et 120 kHz) localisés une quille rétractable qui place les transducteurs à quatre mètres sous la coque pendant la campagne scientifique. La largeur du faisceau était de 7° pour 38, 70 et 120 kHz et de 11° pour 18 kHz. Le système a fonctionné en continu pendant la campagne scientifique, les transducteurs ont été configurés comme suit : durée d'impulsion de 1024 ms (18 kHz) et 512 ms (38, 70 et 120 kHz) et puissance de 1000 W (18 et 38 kHz) et 150 W (70 et 120 kHz).

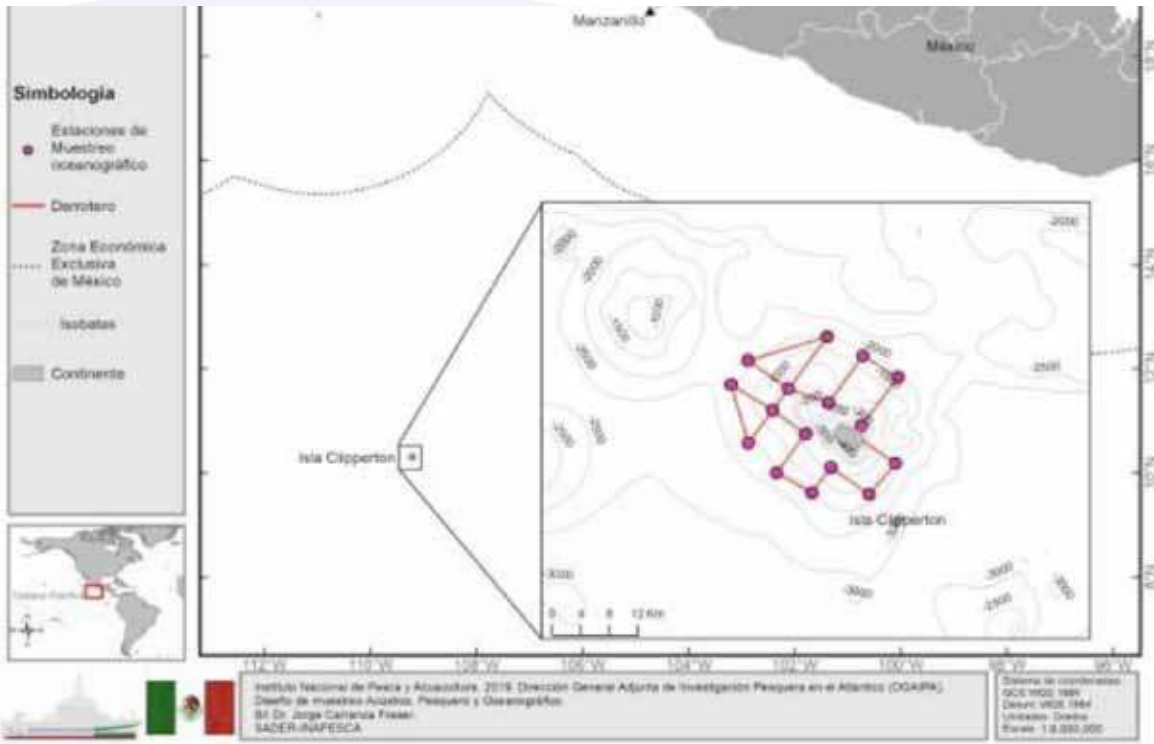
Le traitement des données acoustiques a été effectué sur la plate-forme Echoview version 9.0 (Higginbottom et al., 2000), principalement pour classifier l'énergie acoustique réfléchi par les poissons ; une analyse géospatiale a été générée dans ArcMap version 10.3 (Fig. 4-3).

Le traitement consistait à extraire l'information par *transect path* pour effectuer la correction de la ligne de fond à l'aide des algorithmes d'Echoview, discriminant ainsi l'information réfléchi par le fond marin et sur la surface (champ proche) pendant l'analyse des

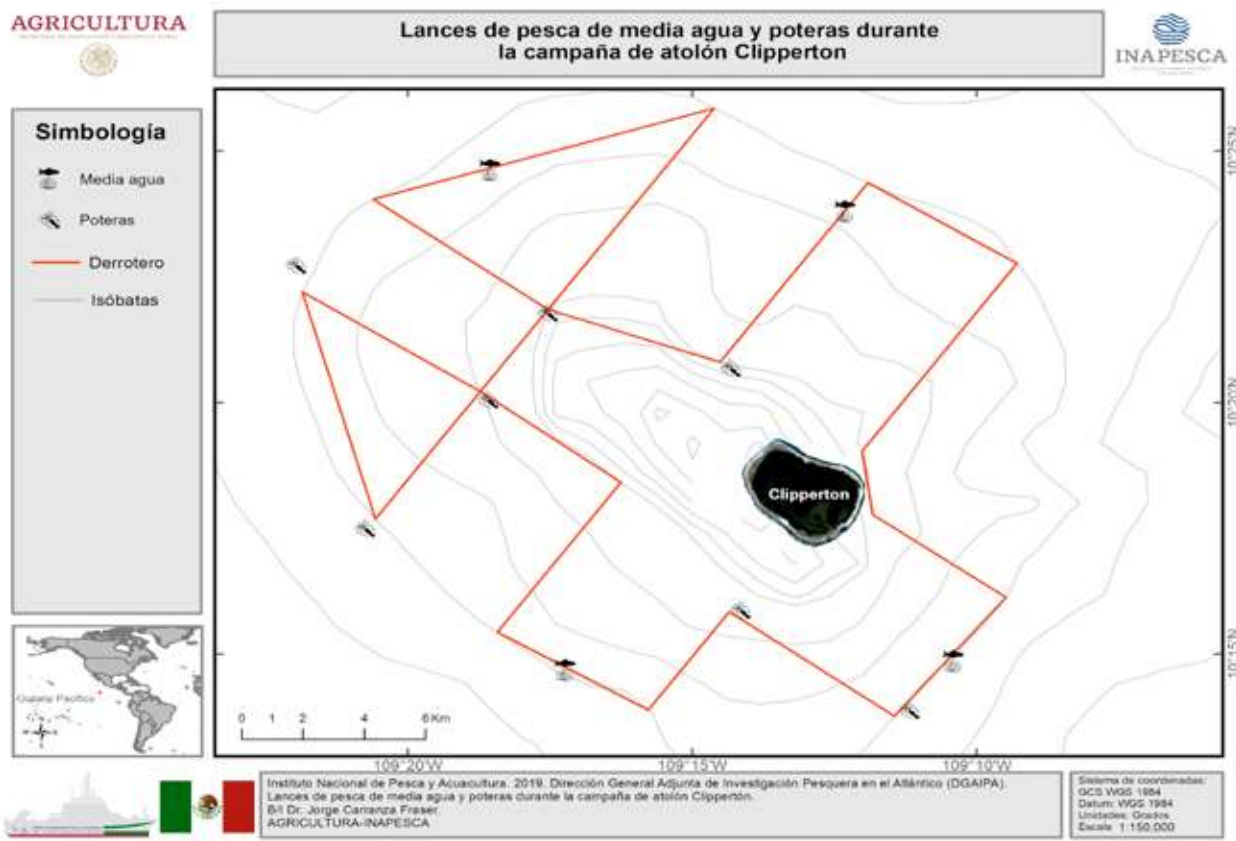


**Figure 4-3.** Ecrans des outils de détection hydro-acoustiques qui ont contribué à l'étude halieutique.

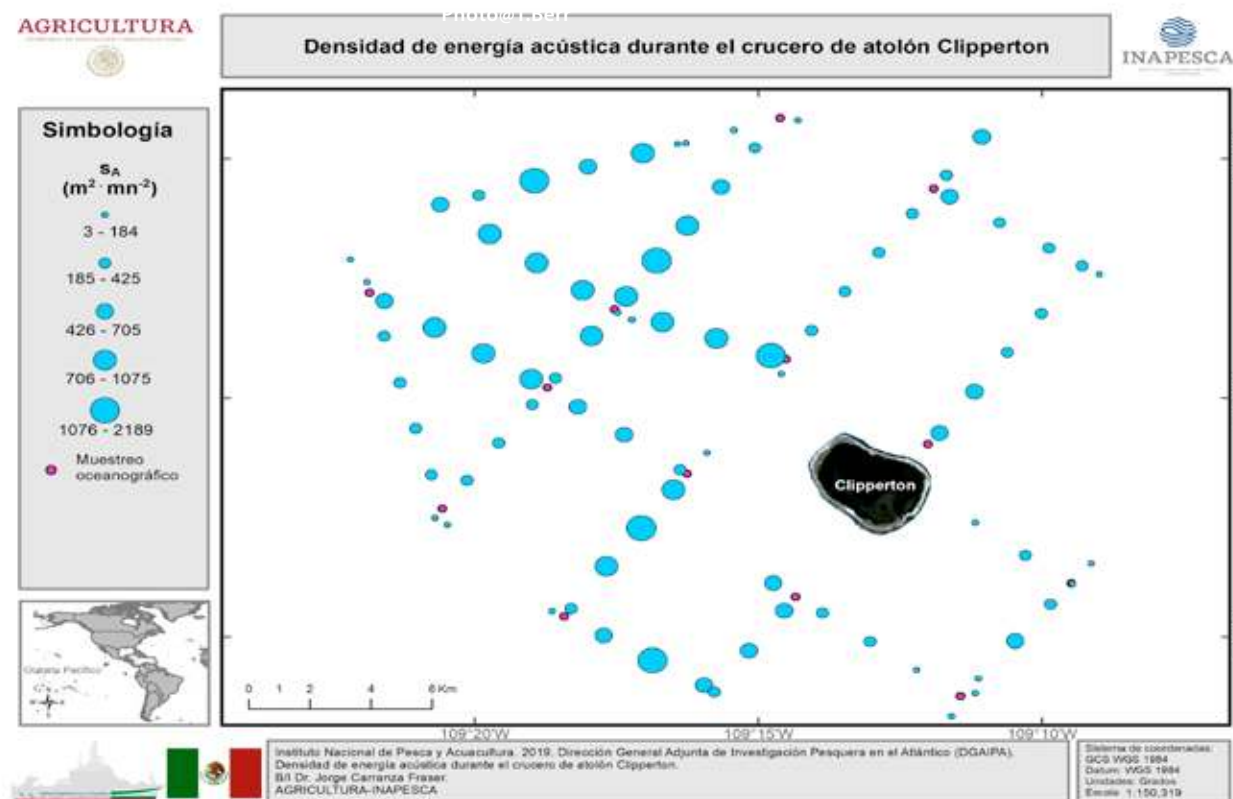
Photo@E.Clua



**Figure 4-1.** Carte routière (ligne) et stations océanographiques (points) des activités de recherche prévues dans le cadre de la mission autour de l'atoll de Clipperton.



**Figure 4-2.** détail des transects prévus dans les eaux pélagiques côtières (< 8 mi.) autour de l'atoll de Clipperton.



**Figure 4-5.** Distribution spatiale du coefficient de rétrodiffusion intégré de 38 kHz pour les poissons ( $sA$ ,  $m^2 \cdot mn^{-2}$ ; moyenne sur chaque mille marin et de 5 à 200 mètres de profondeur).



**Figure 4-6.** Un exemple d'agrégation multisécifique (oiseaux et poissons prédateurs se nourrissant sur du poisson fourrage) au large de l'atoll tel qu'observé à plusieurs reprises pendant les transects.

données. L'intervalle de vitesse du navire dans le relevé acoustique le long de la trajectoire de croisière a été validé comme étant de  $7,0 < v < 9,1$  nœuds ; les régions qui ne respectaient pas cette caractéristique ont été écartées de l'analyse. A ce stade, le traitement consistait à tracer des "régions" dans les échogrammes numériques des zones où les traits de pêche et les stations océanographiques ont été réalisés.

Par la suite, une analyse multi-fréquence a été générée pour séparer les échos des poissons des échos réfléchis par les organismes d'autres groupes biologiques (plancton, méduses, etc.). Cette procédure consistait à générer un filtre en "ajoutant" les échographies 18, 38 et 120 kHz, par la mise en œuvre d'un algorithme dans le module de variables virtuelles Echoview (Fernandes, 2009). La somme des échantillons de force de rétrodiffusion en volume ( $S_v$ , en dB re 1  $m^{-1}$ ) des trois fréquences, a été générée avec un seuil de -226 dB, obtenu empiriquement jusqu'à obtenir l'échogramme le plus propre (Fernandes, 2009). A la suite de cette procédure, des échogrammes de 38 kHz ont été générés à partir d'enregistrements de poissons seulement. Enfin, l'éco-intégration (EI) a été générée en unités élémentaires d'échantillonnage (ESU) de 1 mn de 5 à 200 mètres de profondeur.

### RESULTATS PRELIMINAIRES

L'exploration biologique sur l'atoll de Clipperton a consisté à naviguer à une vitesse constante de 8,0 nœuds, sur un parcours d'une longueur totale de près de 66 mn. Pour vérifier les détections observées sur l'écran de l'échosondeur EK60, quatre ensembles de pêche ont été répartis le long du trajet, ainsi que diverses pratiques de pêche exploratoire du calmar de nuit (Fig. 4-4). À l'aide de la méthodologie décrite ci-dessus, on a produit une carte qui renseigne sur la répartition et l'abondance du poisson dans la zone d'étude (Fig. 4-5). Les valeurs d'énergie  $sA$  ont montré les concentrations d'énergie les plus élevées (706 - 2 189) au sud-ouest et au nord-ouest de l'atoll et les concentrations d'énergie  $sA$  les plus faibles à l'est (3 - 705). Les observations de dauphins et de bancs d'albacore pendant la navigation du navire, ainsi que de grands bancs d'oiseaux dans les activités d'alimentation, étaient courantes (Fig. 4-6).

### CONCLUSION

Les spécimens capturés étaient de petits poissons, certains d'origine récifale. La biomasse la plus importante se trouvait dans le sud-ouest et le nord-ouest de l'atoll de Clipperton. Les détections acoustiques étaient rares pour les espèces pélagiques.



**Figure 4-4.** Ambiance nocturne sur le pont du Carranza Fraser à l'orée d'une session de pêche au calmar.

# ETUDE BATHYMETRIQUE

Par Juan Roberto F. Vallarta Zárate<sup>1</sup> Leslie Altamiro López<sup>1</sup> et Mario Vásquez Ortiz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INAPESCA, Direction générale adjointe de la recherche halieutique en Atlantique, Av. Sábalo Cerritos, Cerritos Resort, 82112 Mazatlán, Sinaloa, Mexique

## INTRODUCTION ET METHODE

En plus de la prospection biologique de l'atoll de Clipperton par la méthode hydroacoustique lors de la mission Clipperton 2019 à bord du B/I Dr Jorge Carranza Fraser, une inspection bathymétrique d'une région située au nord-ouest de l'atoll a été effectuée (Fig. 4-7). A cet effet, un échosondeur scientifique EK60 d'une fréquence de 18 kHz a été utilisé dans le laboratoire d'acoustique du navire, qui atteint des profondeurs de plus de 6 000 mètres.

L'objectif était d'identifier un terrain d'une superficie approximative de 2 milles marins carrés et d'une profondeur comprise entre 1500 et 1800 mètres, pour la localisation ultérieure d'un équipement autonome de mesure des variables physico-chimiques liées à un poids propre.

Ainsi, un parcours de 12 transects séparés tous les 1,2 km a été tracé, permettant une couverture homogène de la zone d'étude. Une fois les travaux de prospection bathymétrique terminés, une région répondant aux caractéristiques d'intérêt a été identifiée. Pour cette raison, 5 transects perpendiculaires ont été rajoutés

à ceux tracés initialement. Ces derniers transects ont été séparés tous les 500 mètres, afin d'obtenir une plus grande densité d'information de la zone (Fig. 4-7).

## RESULTATS PRELIMINAIRES

Une fois l'information obtenue, elle a été traitée dans la version 9.0 du programme Echoview, effectuant le contrôle de la qualité des données bathymétriques. Plus tard, il a été analysé dans ArcMap version 10.5 et Surfer version 14.0 (Fig. 4-8).

En général, la bathymétrie dans la région entourant l'atoll de Clipperton se caractérise par une grande robustesse et des surfaces irrégulières. La zone étudiée présente de multiples pentes abruptes avec des inclinaisons très importantes (jusqu'à 64°) induisant une diminution subite de la profondeur lorsque l'on se déplace dans la structure.

La profondeur du sommet de la structure sondée variait de 200 mètres (en haut) à plus de 2800 mètres (jupes) (Fig. 4-8).

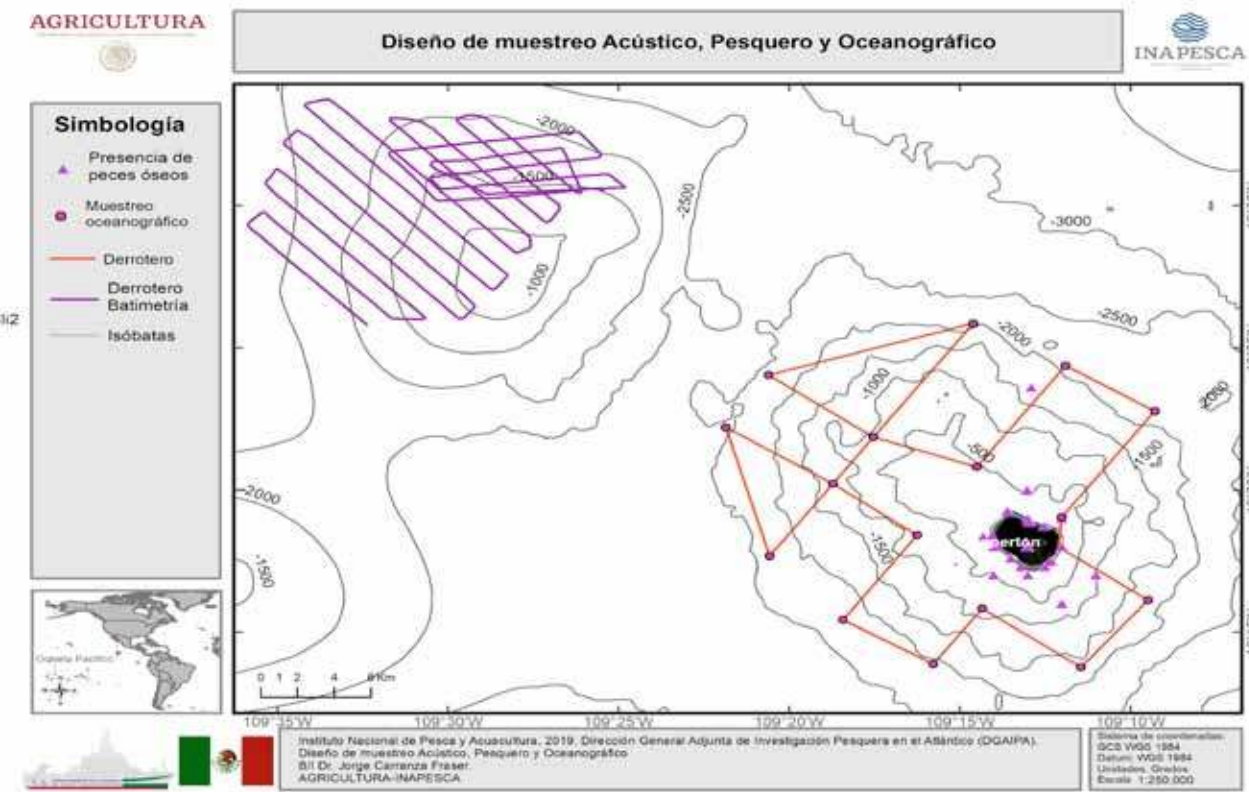


Figure 4-7. Localisation de la zone hydrographiée au Nord-Ouest de l'atoll de Clipperton-La Passion.

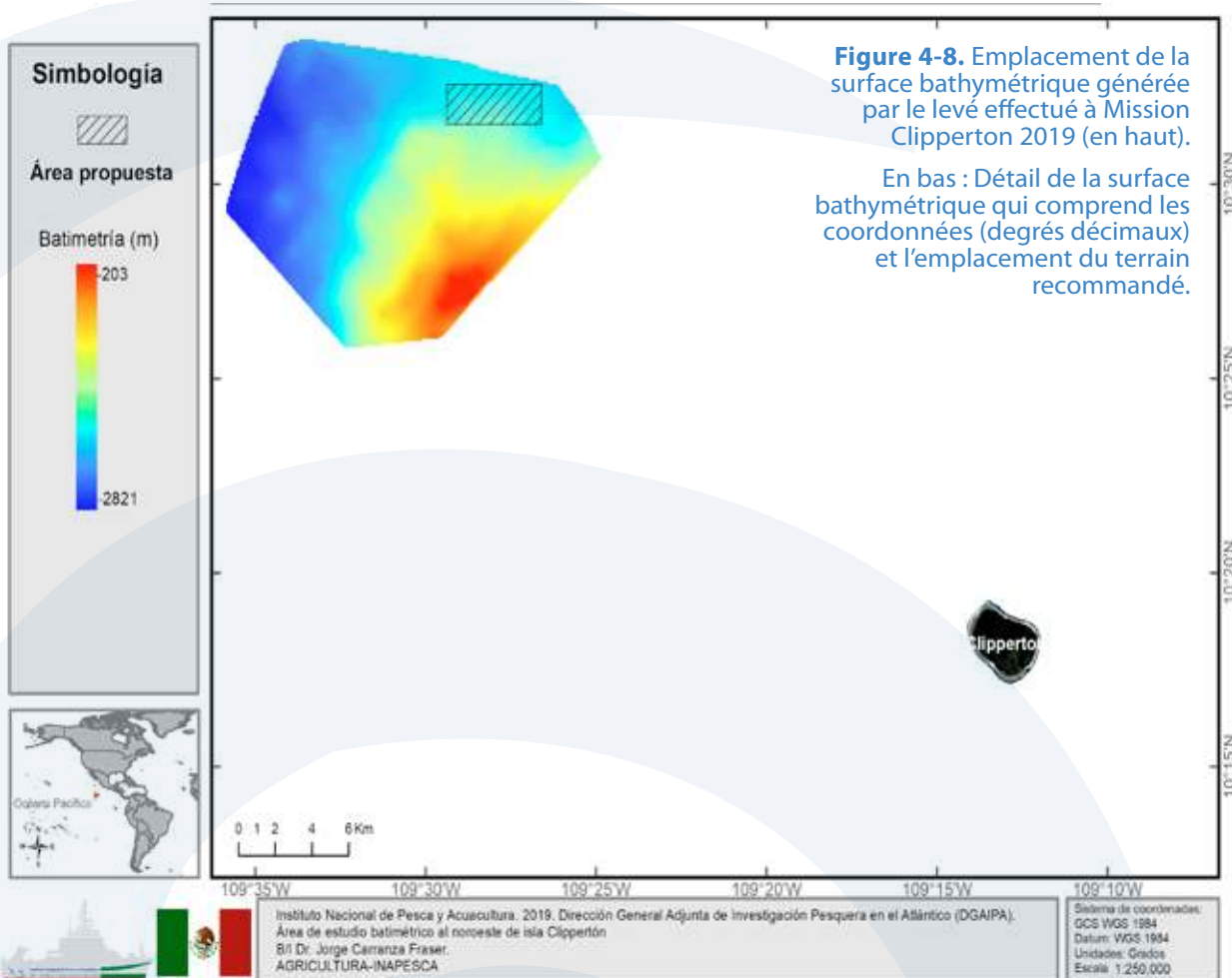
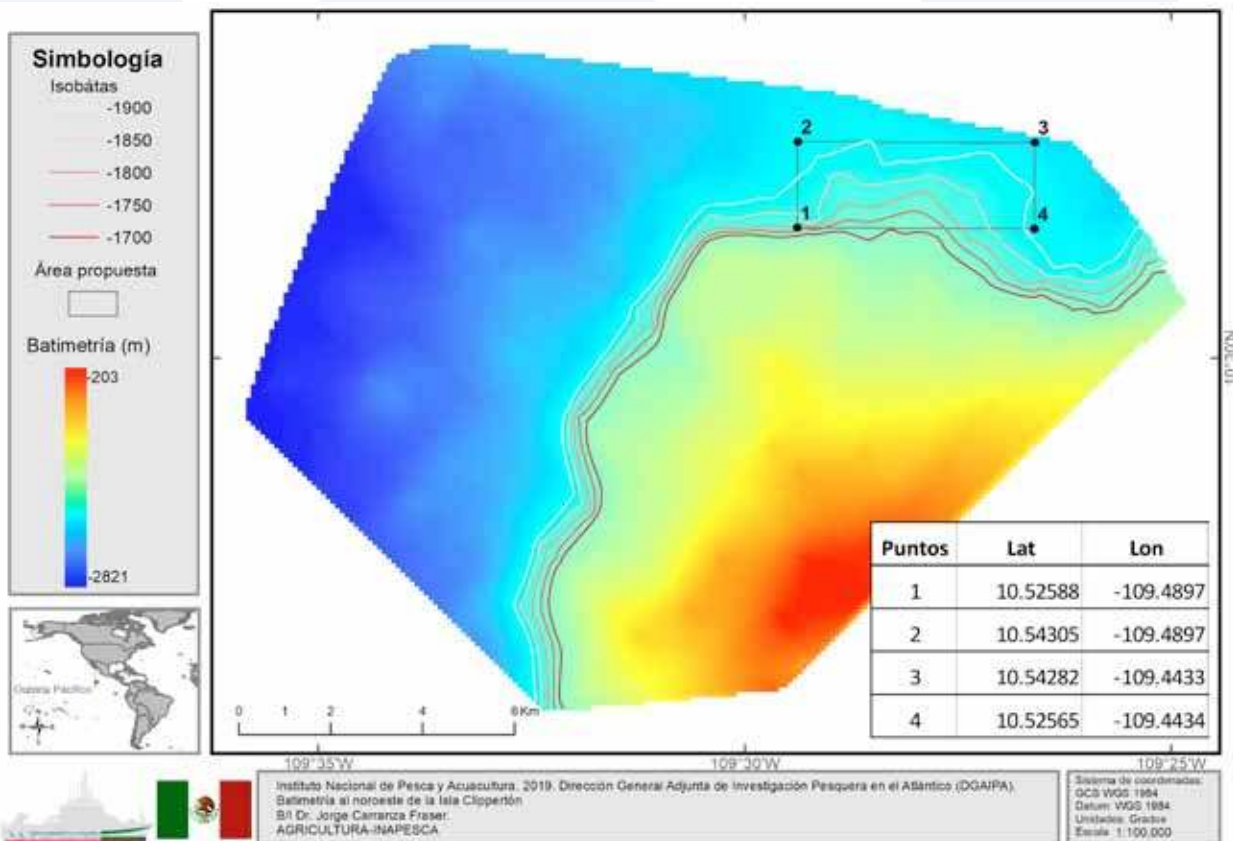


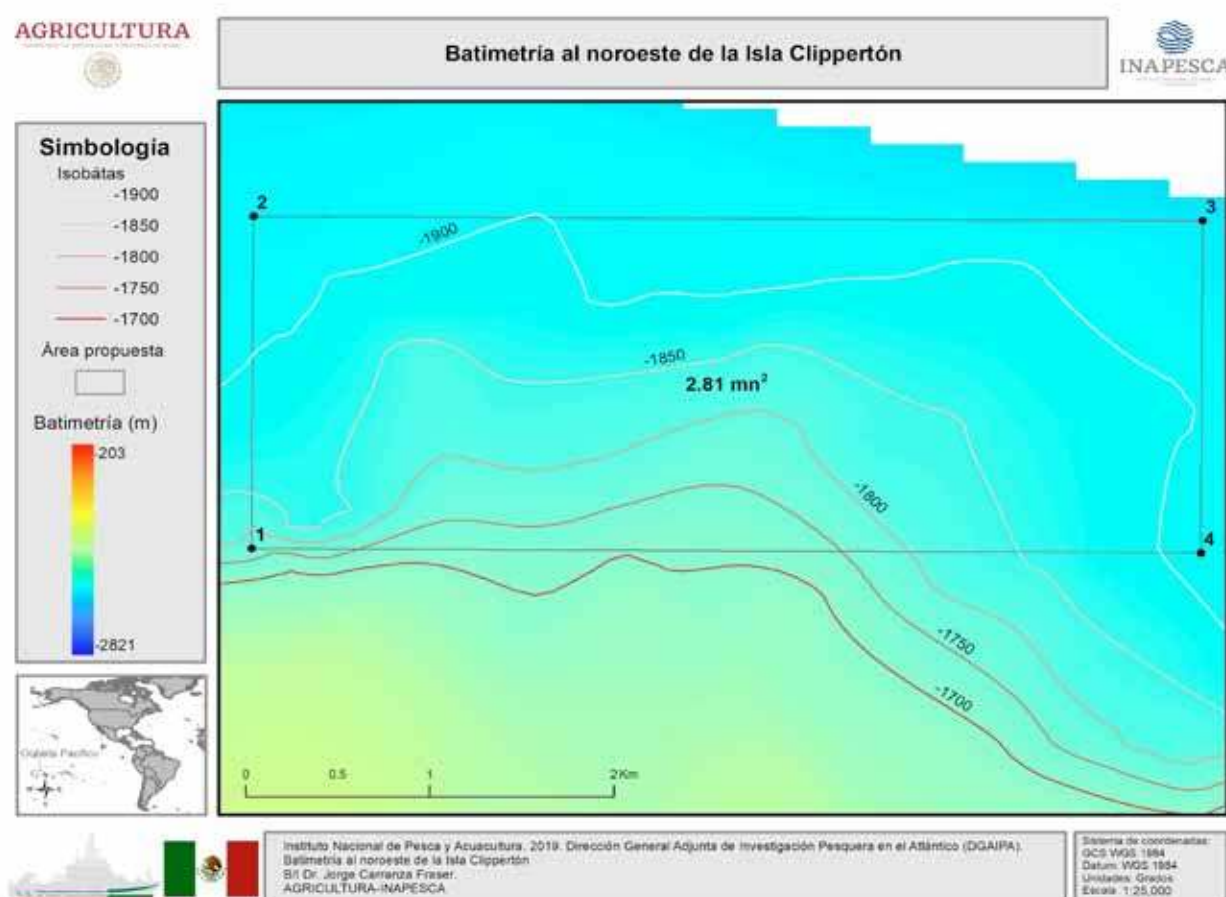
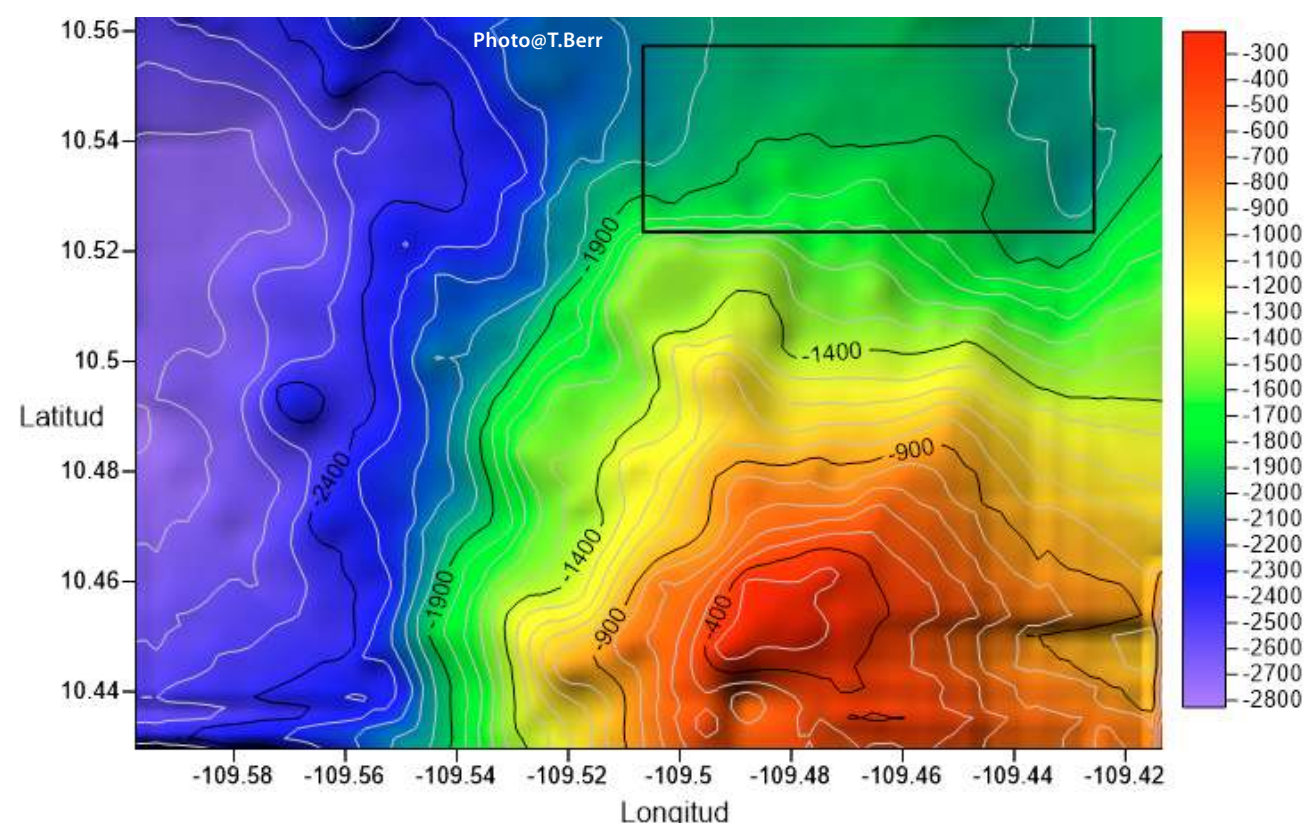
Figure 4-8. Emplacement de la surface bathymétrique générée par le levé effectué à Mission Clipperton 2019 (en haut).

En bas : Détail de la surface bathymétrique qui comprend les coordonnées (degrés décimaux) et l'emplacement du terrain recommandé.

Photo@T.Berr

Photos@T.Berr





**Figure 4-9.** Haut: Zone où s'est effectuée l'étude bathymétrique fine (représentée par un rectangle noir). Bas: Grossissement de la zone étudiée avec le détail des courbes bathymétriques et la surface considérée.

L'analyse du levé bathymétrique (Tab. 4-1) et de la pente dans le secteur a permis d'identifier une partie du terrain qui répond aux caractéristiques requises pour l'emplacement de l'équipement scientifique mentionné précédemment. Ce terrain identifié est

situé à une distance de 20,3 milles marins de l'atoll de Clipperton, à une superficie totale de 2,81 mn<sup>2</sup> et une pente douce inférieure à 5° (Fig. 4-9).

**Tableau 4-1.**  
Coordonnées UTM  
des limites du terrain  
caractérisé par une  
pente abrupte.

| Vértices | Lat     | Lon      | X      | Y       |
|----------|---------|----------|--------|---------|
| 1        | 10.5259 | -109.49  | 665262 | 1163950 |
| 2        | 10.543  | -109.49  | 665262 | 1165850 |
| 3        | 10.5428 | -109.443 | 670336 | 1165850 |
| 4        | 10.5257 | -109.443 | 670336 | 1163950 |



**Figure 2-11.** Trajet réel du bateau CARRANZA Fraser pour les investigations halieutique set bathymétrique.

# BIOLOGIE HALIEUTIQUE PELAGIQUE

Par Leticia Huidobro Campos<sup>1</sup>, Diana del Campo Hernández<sup>1</sup>, Adriana Jazmín Alatorre Alba<sup>2</sup>,  
Daniel Hernández Cruz<sup>2</sup> et Eric Clua<sup>3</sup>

<sup>1</sup>INAPESCA, Office central, Direction générale adjointe de la recherche halieutique en  
Atlantique, Av. Sábalo Cerritos, Cerritos Resort, 82112 Mazatlán, Sinaloa, Mexique

<sup>2</sup>INAPESCA, Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera (CRIAP-Manzanillo). México

<sup>4</sup>PSL, CRIIBE USR EPHE-CNRS-UPVD 3278, 98729 Papetoai Polynésie Française.

## INTRODUCTION

Clipperton est un petit atoll corallien situé à l'extrémité ouest du Pacifique Est (TEP) (10° 18' N et -109° 13' W). C'est une zone d'intérêt biogéographique particulier pour plusieurs raisons, dont son isolement extrême à 1 100 km du point le plus proche du continent américain (Mexique) et 950 km des îles Revillagigedo (Robertson et Allen 1996), le plus proche. En outre, cet atoll pourrait représenter un lien important entre le biote du Pacifique Est et du Pacifique Ouest, car il se trouve dans la plus grande étendue d'eau profonde du monde (Ekman 1953, Briggs 1961). L'atoll a été décrit comme le plus long récif du TEP et comme le seul récif dont la faune n'est pas influencée par les vastes et zones non coralliennes continues qui l'entourent.

La faune ichthyologique qui habite la région se compose d'un mélange d'espèces d'origines biogéographiques différentes, dont certains taxons de la province de

Panama, d'autres de distribution circumtropicale et d'un pourcentage élevé d'espèces transpacifiques (Robertson et al. 2004). De ce nombre, 197 espèces de poissons appartiennent à 62 familles, dont 106 sont classées comme dépendantes des récifs et seulement 7 endémiques (Clua et al. 2019).

Parmi les caractéristiques du cycle biologique des organismes qui composent l'unité géographique, il convient de distinguer ceux qui habitent le milieu pélagique et visitent rarement le récif (comme les scombridés), les pélagiques associés au récif (comme les Carangidae, Fig. 4-10), ceux limités aux eaux côtières et de surface (certains requins et carangues), ainsi que les organismes dits benthiques (échinodermes et autres poissons osseux) (Robertson et Allen 1996).

Ce chapitre se focalise sur les ressources halieutiques des eaux pélagiques proches de l'atoll (rayon de 8 nautiques), telles qu'appréhendées via les transects (cf Fig. 4-2).



Photos@E. Cros - Seastemic

**Figure 4-10.** Banc de Carangidae dans les eaux côtières de l'atoll de Clipperton.



Photo@H.Santana

**Figure 4-11.** Halage du chalut après un trait expérimental dans les eaux pélagiques autour de l'atoll de Clipperton.

## MATERIEL ET METHODES

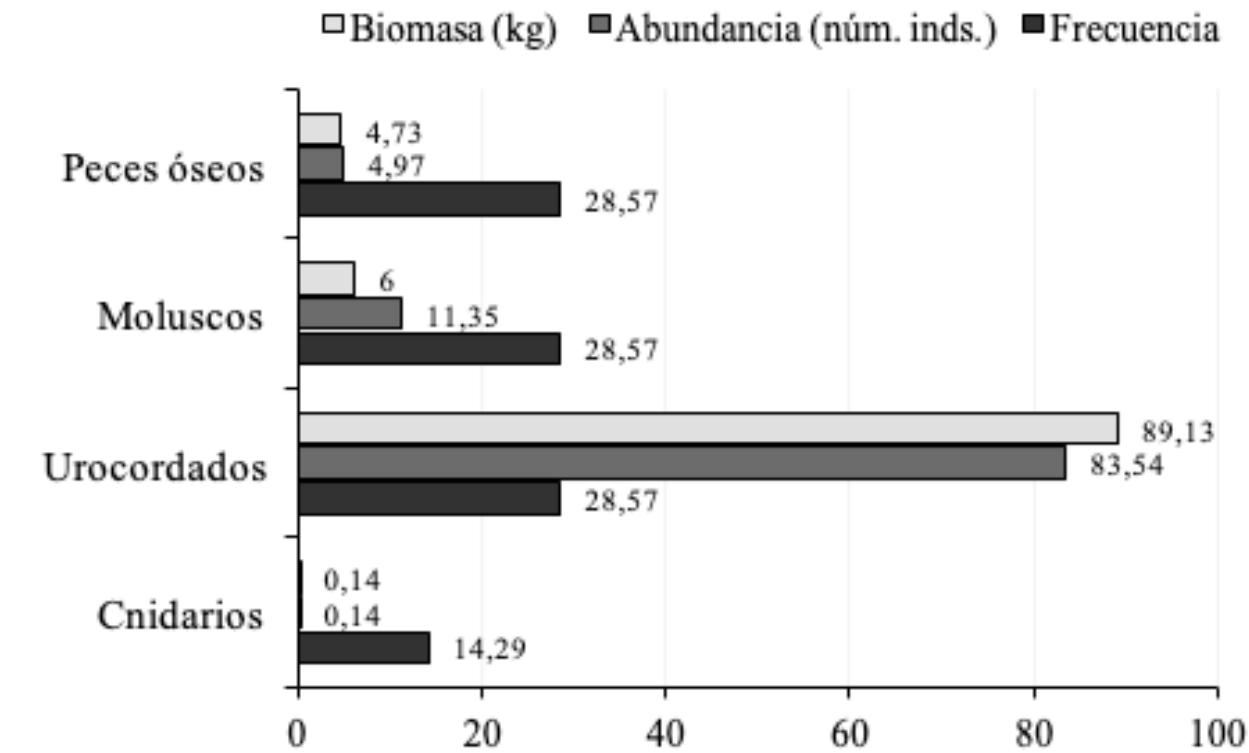
Les engins de pêche mobilisés lors de cette campagne sont le chalut à mailles 25/25 (Nets Systems 2016) (Fig. 4-11), les turlutes à calamars (Fig. 4-12) et la pêche à la traîne avec une ligne à main et ce, en s'appuyant sur la reconnaissance hydroacoustique par les échosondeurs à la disposition du navire, qui ont fourni des informations sur la disponibilité et l'abondance des espèces susceptibles d'être capturées, ainsi que le type et les caractéristiques du fond marin et de la colonne d'eau en fonction de la structure du fond marin et des espèces. Plusieurs spécimens marins ont été prélevés pour réaliser les études d'identification, des autopsies (contenus stomachaux notamment) et des prélèvements d'ADN.

Une fois la prise déposée sur le pont, les espèces ont été identifiées et séparées par groupe taxonomique. L'échantillonnage morphométrique consistait à prendre la longueur standard (LP, mm), la longueur totale (LT, mm) et le poids (total, gr) de chaque individu.

Lors des sessions de travail nocturnes, des sets de pêche exploratoire aux calmars ont été réalisés à l'aide de machines de pêche électriques ('calamareras'). Cette activité consistait à éclairer la zone autour de l'arrière du navire pendant 15 minutes. Pendant la préparation du treuil, la ligne multiple de 22 turlutes est vérifiée



**Figure 4-12.** Exemple de turlutes qui sont utilisées soit sur les treuils électriques (qui en compte une vingtaine) soit une seule sur une ligne à main.



**Figure 4-13.** Pourcentage de biomasse absolue (kg); d’abondance absolue (Nbre individus) et fréquence d’occurrence par groupe taxonomiques avec les filets de mi-eaux durant la campagne JCF/INP/10910/CLIPPERTON

afin que chacune soit a une distance de 1,60 m, en veillant à ce que la programmation respecte un temps d’immersion maximum d’une minute à différentes profondeurs, toute la manoeuvre de capture étant de 30 minutes.

Parallèlement à l’utilisation des ‘calamareras’, la pêche était effectuée à la ligne à main (une seule turlute) par au moins une personne.

La pêche dirune à la ligne à main pour la capture de grands pélagiques, a été effectuée lorsque les conditions de navigation le permettaient, activité réalisée par deux ou trois personnes en même temps.

Les échantillons prélevés dans chaque série ont été examinés dans le laboratoire de biologie de la pêche, afin de réaliser les études d’identification correspondantes, d’ADN, d’âge, de croissance, etc.

A l’issue du traitement de l’échantillonnage par espèce/exemplarité, un relevé photographique de chaque espèce capturée lors de chaque campagne de pêche a été réalisé. Lorsque l’identification au niveau de l’espèce n’était pas possible, un à trois spécimens par taxon ont été fixés à 10% de formaline puis conservés dans de l’alcool à 70% pour faire partie de la collection de référence du Dr Jorge Carranza Fraser. Ces spécimens seront identifiés à l’aide de la littérature spécialisée en collaboration avec d’autres institutions de recherche avec lesquelles il existe une entente de collaboration.

**RESULTATS PRELIMINAIRES**

Au total, une biomasse de 41,83 kg a été obtenue et 10 345 individus ont été enregistrés dans les 4

traits de pêche pélagique réalisés. Les prises étaient représentées par quatre groupes taxonomiques, dont les urochordés constituaient le groupe dominant en termes de biomasse et d’abondance avec 89,13% et 89% respectivement, suivis des mollusques avec une biomasse de 6% et une abondance de 11,3%, des poissons osseux avec une biomasse et une abondance de presque 5% et des cnidaires de moins de 1%. En ce qui concerne la fréquence de l’occurrence, les poissons, mollusques et urochordés ont été capturés en trois séries sur quatre, et les cnidaires en seulement trois séries (Fig. 4-13).

La diversité enregistrée était d’environ 23 familles, 36 taxons, parmi lesquels les poissons osseux (24), suivis des mollusques (5), des cnidaires (4) et des urochordés (3) (Tableau 4-2). Il convient de mentionner que de nombreux taxons sont restés au stade d’identification du genre, à la famille voire à un niveau supérieur, qui seront par la suite passés en revue et identifiés avec la littérature spécialisée.

Sept sets de pêche à calmars et à la ligne à main ont été réalisés dans sept stations océanographiques pendant la période nocturne, au cours desquelles aucune prise n’a été effectuée. Toutefois, des calmars ont été observés pendant la période d’éclairage artificiel et pendant le fonctionnement des machines. Il est possible que l’absence de capture soit due à la proximité de la côte et au grand nombre de dauphins qui, probablement en train de se nourrir, se sont agrégés autour du bateau, provoquant de fait la dispersion des calmars et leur éloignement des leurres.

Les captures obtenues par pêche à la ligne manuelle étaient constituées de cinq individus correspondant

**Tab. 4-2.** Détail des captures par taxon avec les biomasse et abondance correspondantes.

| Phylum/Famille   | Taxon                            | Biomasse (kg) | Abundance    |
|------------------|----------------------------------|---------------|--------------|
|                  | <b>Cnidarios</b>                 | <b>0.058</b>  | <b>15</b>    |
| Cnidaria         | Cnidario                         | 0.001         | 3            |
| Cnidaria         | Medusa 1                         | 0.047         | 3            |
| Cnidaria         | Medusa 2                         | 0.006         | 5            |
| Ctenophora       | Ctephoro                         | 0.004         | 4            |
|                  | <b>Urocordados</b>               | <b>37.285</b> | <b>8,643</b> |
| Pyrosomidae      | <i>Pyrosoma atlanticum</i>       | 0.003         | 1            |
| Pyrosomidae      | <i>Pyrostremma spinosum</i>      | 0.014         | 1            |
| Salpidae         | Salpas                           | 37.268        | 8,641        |
|                  | <b>Moluscos</b>                  | <b>2.509</b>  | <b>1,174</b> |
| Argonautidae     | <i>Argonauta</i> sp.             | 0.018         | 3            |
| Chiroteuthidae   | Chiroteuthidae                   | 1.171         | 460          |
| Enoploteuthidae  | Enoploteuthidae                  | 1.238         | 708          |
| Loliginidae      | Loliginidae                      | 0.002         | 2            |
| Onychoteuthidae  | <i>Onychoteuthis</i> sp.         | 0.080         | 1            |
|                  | <b>Peces óseos</b>               | <b>1.979</b>  | <b>514</b>   |
| Bregmacerothidae | <i>Bregmaceros bathymaster</i>   | 0.005         | 6            |
| Nomeidae         | <i>Cubiceps</i> sp.              | 0.030         | 4            |
| Acanthuridae     | <i>Acanthurus</i> sp.            | 0.009         | 1            |
| Balistidae       | <i>Balistes polylepis</i>        | 0.011         | 2            |
| Trichiuridae     | <i>Benthodesmus</i> sp.          | 0.032         | 27           |
| Myctophidae      | <i>Diaphus</i> Sp.               | 0.005         | 15           |
| Idiacanthidae    | Idiacanthidae                    | 0.034         | 55           |
| Tetraodontidae   | <i>Lagocephalos lagocephalos</i> | 0.063         | 1            |
| Myctophidae      | <i>Lampadena</i> sp.             | 0.001         | 1            |
| Myctophidae      | <i>Lampanyctus</i> sp.           | 0.001         | 1            |
| Bothidae         | Larva de Bothidae                | 0.002         | 4            |
|                  | Larva leptocephala               | 0.272         | 56           |
| Lestidiidae      | <i>Lestidiops</i> sp.            | 0.107         | 12           |
| Melanostomiidae  | Melanostomiidae                  | 0.003         | 1            |
| Nomeidae         | Nomeidae                         | 0.013         | 1            |
| Scombridae       | Scombridae                       | 0.050         | 110          |
|                  | sp. 1                            | 0.081         | 27           |
|                  | sp. 2                            | 0.010         | 24           |
| Myctophidae      | <i>Stenobrachius</i> sp.         | 0.007         | 1            |
| Trachipteridae   | Trachipteridae                   | 1.070         | 1            |
| Myctophidae      | <i>Triphoturus</i> sp.           | 0.001         | 1            |
| Paralepididae    | <i>Uncisudis</i> sp.             | 0.050         | 53           |
| Phosichthyidae   | <i>Vinciguerrria lucetia</i>     | 0.113         | 109          |
| Zanclidae        | <i>Zanclus cornutus</i>          | 0.009         | 1            |
| Total general    |                                  | 41.831        | 10,346       |

à deux espèces pélagiques majeures, le wahoo *Acanthocybium solandri* (n=1) et le thon jaune *Thunnus albacares* n=4) (Fig. 4-14). Alors que le wahoo accusait un poids de 20,5 kg et une LT de 150 cm, le plus gros thon pesait 40 kg pour 147 cm. Les trois autres sépciments pesaient autour de 15 kg (poids cumulé total de 74,8 kg, avec LT de 84,5 à 147 cm).

Le même type d'échantillonnage a été effectué que sur les poissons prélevés sur le récif (voir chapitre correspondant).

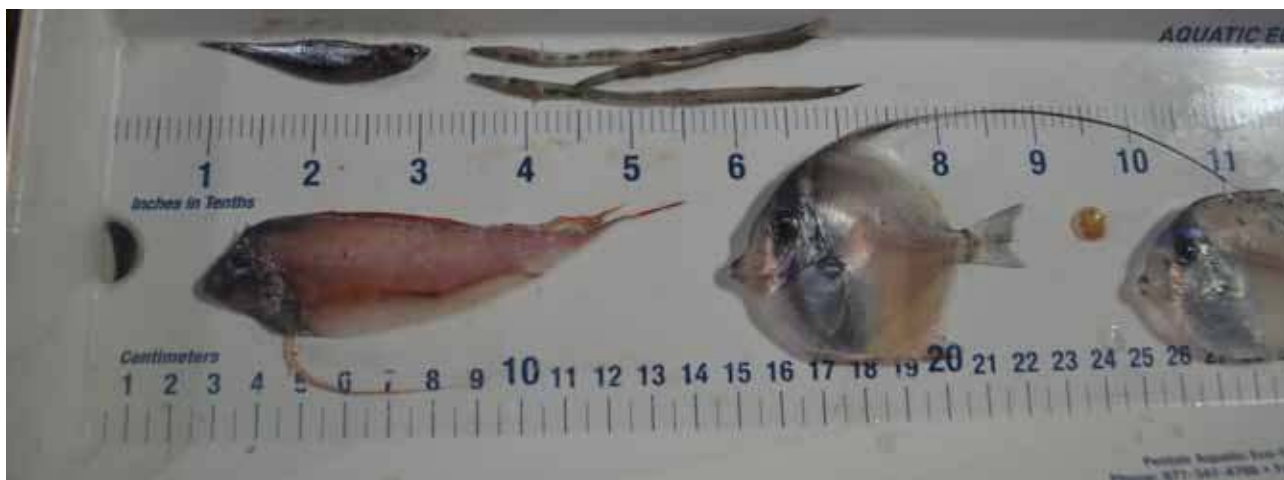
## CONCLUSION

En ce qui concerne les prises via les traits de filets en eaux moyennes, 24 relevés de poissons ont été obtenus, dont 22 appartenant à l'environnement épipélagique et mésopélagique autour de l'atoll (Fig. 4-15).

La plupart de ces espèces subissent des migrations verticales, ce qui les rend susceptibles d'être capturées en bancs peu profonds (28-43 m). Le groupe des urochordates, composé principalement de salpes, était le groupe avec la biomasse la plus élevée (Fig. 4-16), ce qui est à prévoir dans les ensembles épipélagiques et dans les zones proches des milieux récifaux.

Bon nombre des taxons capturés dans les demi-eaux n'ont pu être identifiés au niveau de l'espèce, tâche qui devrait être accomplie sous peu.

Concernant les gros pélagiques et malgré un effort de pêche relativement important, peu d'animaux ont été capturés, ce qui conduit à relativiser la biomasse disponible localement ou à envisager des prélèvements importants toujours d'actualité malgré l'interdiction en vigueur de pêche dans la zone des 12 nautiques. D'autres investigations s'imposent pour mieux appréhender ces enjeux.



**Figure 4-15.** Détail de certaines prises de poissons lors des traits de filets, incluant des larves de poissons de récifs dans leur phase pélagique (au milieu avec la dorsale allongée, un *Zanclus cornutus*).



**Figure 4-14.** Thon jaune *Thunnus albacares* d'environ 12 kg capturé lors des sessions de pêche à la traîne qui se sont avérées peu productives.



**Figure 4-16.** Aperçu du contenu d'un trait de filet qui laisse apparaître une masse importante de salpes (reconnaissables par leurs aspect transparent et visqueux).

# ETUDE DE LA ZONE D'OXYGENE MINIMUM

Par Cesar O. Almeda-Jauregui<sup>1</sup>, Jonatan Santander<sup>2</sup> et Víctor Hugo Martínez Magaña<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Depto. Oceanografía Biológica, CICESE, Ensenada, Baja California, México

<sup>2</sup> Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California, México

<sup>3</sup> INAPESCA, Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera (CRIAP-Manzanillo). México

## INTRODUCTION

Dans les océans, il existe des zones où les concentrations d'oxygène sont proches de zéro. Il a déjà été montré que les océans ont tendance à perdre de l'oxygène. A ce titre, les eaux de la zone d'utilisation économique exclusive du Mexique dans le Pacifique comprennent une partie de la plus grande zone minimale d'oxygène du monde, située à l'Est du Pacifique. Les modèles globaux prévoient que le processus de désoxygénation se poursuivra jusqu'à la fin du siècle et que, dans le cadre du processus de désoxygénation, les zones minimales d'oxygène (MOS) vont s'étendre et devraient à ce titre être étudiées.

La zone d'oxygène minimum du Pacifique mexicain s'étend entre le golfe de Californie et le Guatemala à partir d'une profondeur côtière d'environ 50 m jusqu'à environ 1000 m (Fig. 4-17). Depuis la côte, il s'étend sur plus de 1000 km vers l'ouest, y compris les limites territoriales de l'île Clipperton. Malheureusement, il y a très peu de données hydrographiques pour cette zone d'utilisation économique exclusive du Mexique. Le plateau continental du Mexique dans cette région forme l'une des plus grandes ou des plus grandes zones suboxiques et anoxiques benthiques du monde. Les plateaux continentaux jouent un rôle écologique important, par exemple pour le cycle de vie des organismes.

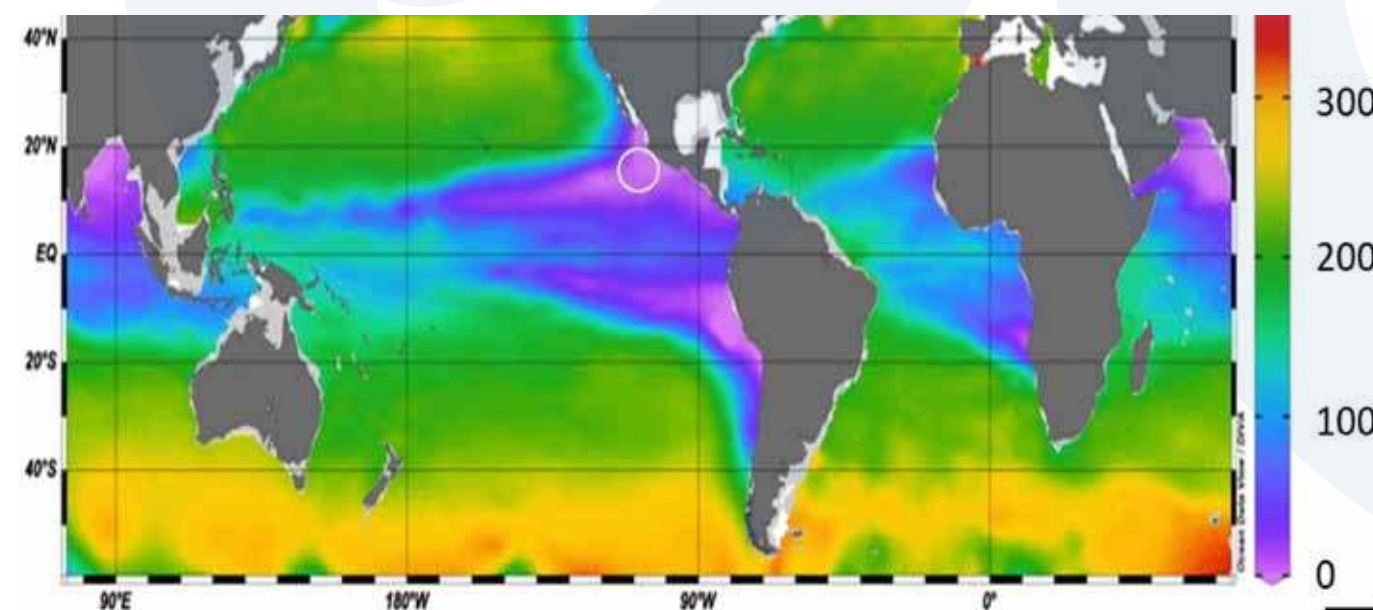
Il convient de mentionner que la présence de la ZMO affecte l'échange de CO<sub>2</sub> entre l'atmosphère et l'océan et donc le bilan carbone de la région concernée.

La question et l'objectif de cette campagne océanographique étaient :

Quelle est la relation entre la variabilité spatiale de la zone d'oxygène minimum (ZMO) mexicaine, la plus étendue et la plus intense de l'océan, et la structuration de l'écosystème dans les couches superficielles et son impact sur la pêche et le climat par les émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère ?

Ces questions locales et mondiales sont liées aux projets internationaux VOICE/GOOS, TPOS2020/CLIVAR, SOLAS et IMBER.

Objectif principal : Mettre en place un système d'observation multidisciplinaire durable dans la ZMO la plus grande et la plus intense. Il s'agira notamment d'observer certaines "variables océaniques essentielles" physiques et biogéochimiques majeures (par exemple O<sub>2</sub>, mais aussi température, salinité, chlorophylle, nutriments, CO<sub>2</sub>, pH) entre le Mexique et Clipperton, avec l'ambition de planter un ancrage fixe près de Clipperton pour la surveillance physique et chimique, inter et intra-annuelle de la couche minimale d'oxygène.



**Figure 4-17.** Distribution spatiale de la concentration d'oxygène à 200 m de profondeur (la barre de couleur indique la concentration en  $\mu\text{mol kg}^{-1}$ ). Les zones minimales d'oxygène correspondent approximativement à des concentrations inférieures à  $50 \mu\text{mol kg}^{-1}$  (en violet). Data source: Climatología de Datos de World Ocean Data Bank 2013 (<https://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOD13/>).



**Figure 4-18.** Rosette avec profileur de profondeur, température et conductivité, avec bouteilles Niskin de 12 litres pour échantillons d'eau.

## MATERIEL ET METHODES

Sept stations hydrologiques ont été réalisées au cours du trajet retour de l'île de Clipperton à Manzanillo, à l'aide d'un profileur de profondeur, température et conductivité (CTD) de la marque IDRONAUT OCEAN SEVEN, modèle 320Plus qui possède également des capteurs d'oxygène, pH, PAR et émetteurs lumineux, avec le CTD (Fig. 4-18), un réseau de zooplancton a été fixé pour documenter la biomasse zooplanctonique pour chaque station (Fig. 4-19).

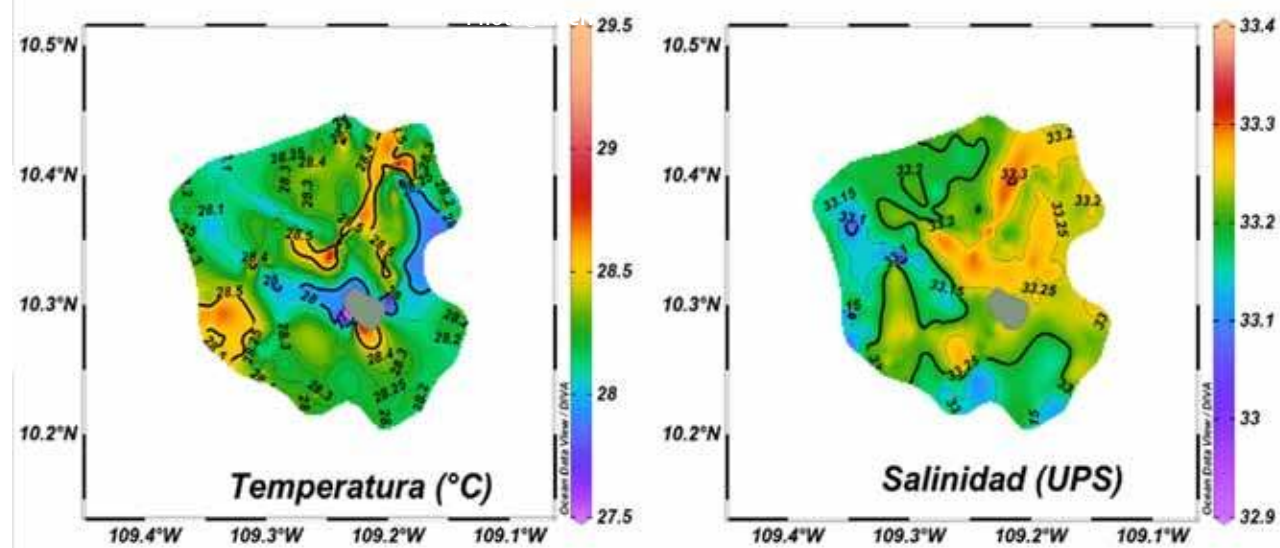
Autour de l'île Clipperton, le groupe océanographique de l'INAPESCA a réalisé un total de 16 stations d'échantillonnage (Fig. 4-2) qui ont réalisé des ensembles hydrologiques, des filets de bongo pour la collecte du zooplancton et des prélèvements d'eau pour les nutriments dans chaque station.

En plus de ces mesures, un ADCP (profileur acoustique Doppler) a été utilisé en continu pendant le transect pour observer l'agrégation des organismes dans la zone oxyclinique peu profonde, ainsi qu'un thermalinomètre et un fluorimètre à flux continu pour les mesures de température, salinité et fluorescence à la surface (Fig. 4-20).

Autour de l'île, un parcours bathymétrique a été effectué avec l'aide du groupe acoustique d'INAPESCA



**Figure 4-19.** Filets à plancton immergés en parallèle de la CTD et ce, afin d'évaluer un niveau de production primaire.



**Figure 4-20.** a). Température en °C et b). salinité de surface autour de l'île Clipperton en octobre 2019.

pour trouver une surface plane entre 1500-1800 mts. de profondeur pour lancer un ancrage de ligne avec instrumentation dans une prochaine campagne dans la région (cf chapitre sur la bathymétrie).

## RESULTATS PRELIMINAIRES

Les résultats préliminaires des variables étudiées sont présentés et une fois à terre, une analyse exhaustive des variables sera effectuée.

La figure 4 montre les isolignes de température (a) et de salinité de surface (b) prises à l'aide du thermalinomètre ; on peut observer que pour cette zone il n'y a pas de variations significatives de température allant de 28,1 à 28,5°C, ainsi que de salinité.

En Fig. 5 se trouve un profil vertical typique d'une zone minimale d'oxygène, où l'on peut observer un oxycline très peu profond, à environ 50 m de profondeur à partir d'une station près de la côte (Fig 4-21 A) et trouvant l'oxygène de surface minimal à 80m. Dans la Fig.4-21 B), qui est un ensemble vertical de DTC profonds, on peut déterminer l'épaisseur de la couche d'oxygène minimale à partir de 80 m jusqu'à 700 m de profondeur.

Nous disposons déjà de l'information bathymétrique de l'endroit approprié pour effectuer dans un proche avenir le lancement du mouillage avec l'instrumentation pour surveiller les variables physiques et biologiques.

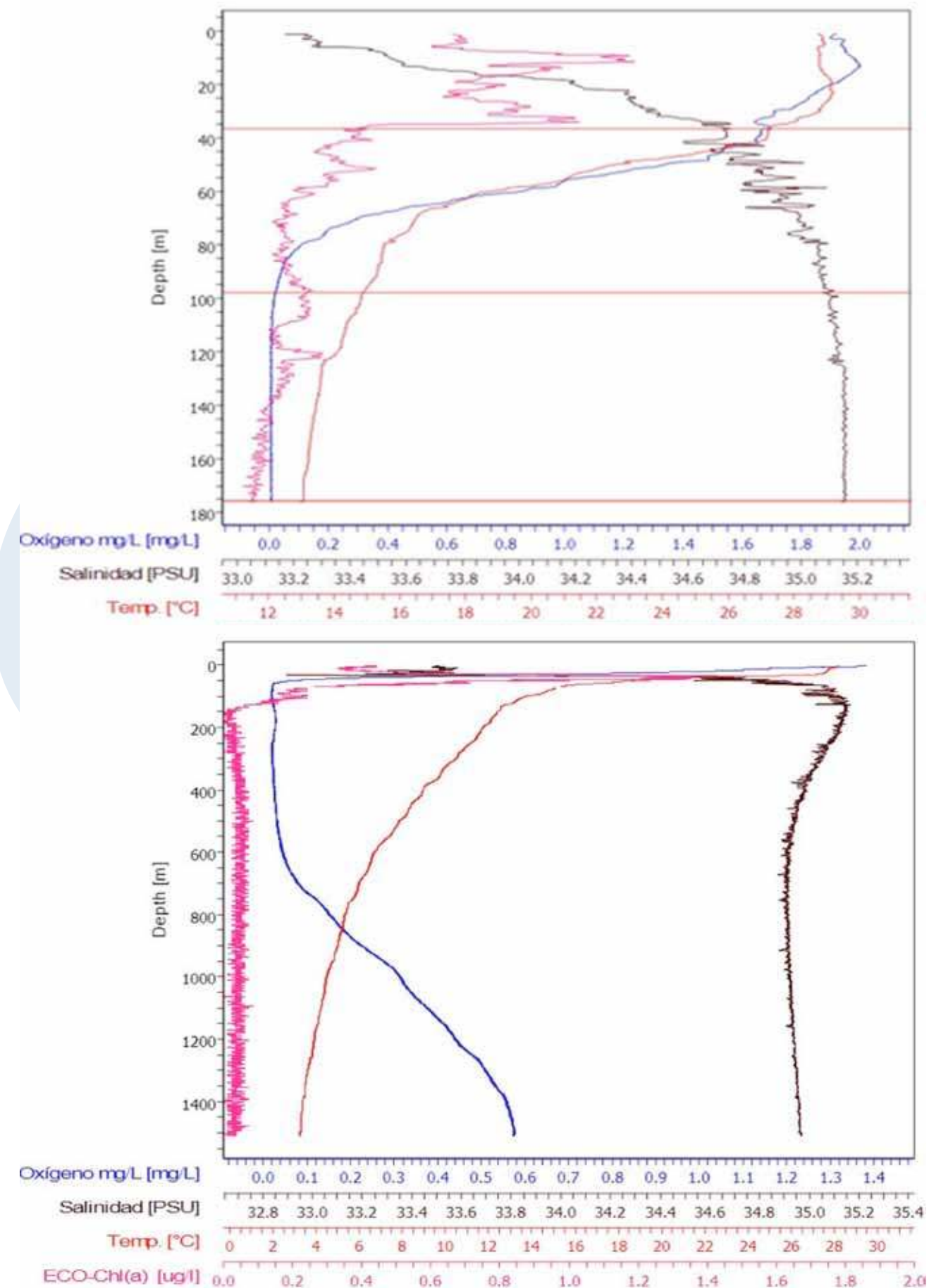
## DISCUSSION

Des résultats préliminaires sont présentés ici sur cette campagne océanographique centrée sur la région du minimum d'oxygène du Mexique. Il est nécessaire à terme de faire un travail de synthèse pour avoir une meilleure analyse des résultats obtenus, ce qui est de la plus haute importance car cette région du minimum d'oxygène est très peu étudiée et toute contribution qui aide à mieux comprendre les processus qui se produisent dans ce système est de grande valeur.

La perte d'oxygène est associée à une augmentation du carbone inorganique dissous et liée à une acidification de l'eau de mer. Cette acidification a des conséquences physiologiques pour les organismes qui dépendent des précipitations de carbonate de calcium, comme les coraux. Lorsque les conditions océanographiques ou météorologiques transportent les eaux profondes vers la surface, elles ont un fort impact écologique sur tous les organismes, en particulier les organismes sessiles qui ne peuvent s'échapper des eaux profondes.

À l'avenir, on s'attend à ce que la limitation métabolique des organismes calcifiants soit affectée de façon significative par l'augmentation de la température de surface, la fréquence respiratoire augmentera et les faibles concentrations d'oxygène auront un impact supplémentaire sur les organismes. Au fur et à mesure que le ZMO s'étend, on s'attend également à une compression de l'habitat pour les espèces qui ont besoin de concentrations plus élevées d'oxygène. Compte tenu de l'impact écologique régional potentiel à grande échelle d'une expansion minimale de l'oxygène dans le Pacifique mexicain, il convient d'établir un programme de surveillance qui documente les changements dans la répartition géographique de l'oxygène minimum.

**Figure 4-21A et B.** Ci-contre page en regard: Profils verticaux de CTD montrant les variables hydrologiques d'une station à faible profondeur (en haut: -180 m) et d'une station à forte profondeur (en bas: -1 500 m) sur le transect entre Clipperton et Manzanillo lors de la mission d'octobre 2019.



## BIBLIOGRAPHIE

- Alvarez-Filip L, Dulvy NK, Côté IM, Watkinson AR, Gill JA. 2011. Coral identity underpins architectural complexity on Caribbean reefs. *Ecol. Appl.* 21, 2223–2231. <https://doi.org/10.1890/10-1563>.
- Anbumani, S., Kakkar, P. (2018) Ecotoxicological effects of microplastics on biota: a review. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 25, 14373–14396.
- Baudrimont M., Arini A., Guégan C., Venel Z., Gigault J., Pedrono B., Prunier J., Maurice L., Ter Halle A. and Feurtet-Mazel A. (2019). Impacts of polyethylene nanoplastics from the North Atlantic oceanic gyre on freshwater or marine organisms (microalgae and filter-feeding bivalves). *Environmental Science and Pollution Research*, in press. [doi.org/10.1007/s11356-019-04668-3](https://doi.org/10.1007/s11356-019-04668-3).
- Bertucci A., Pierron F., Thébault J., Klopp C., Bellec J., Gonzalez P. and Baudrimont M. (2017). Transcriptomic responses of the endangered freshwater mussel *Margaritifera margaritifera* to trace metal contamination in the Dronne River, France. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(35):27145-27159. [doi: 10.1007/s11356-017-0294-6](https://doi.org/10.1007/s11356-017-0294-6).
- Briggs J. C. 1961. The Eastern Pacific Barrier and the distribution of marine shore fishes. *Evolution* 15: 545-554.
- Briot C. and Briot J. (ed) 2010. *Journal de navigation du capitaine Michel Dubocage. Voyage à Amoy (Xiamen) par le Cap-Horn. Découverte de l'île de la Passion (1707-1716)*. Paris: Books on Demand.
- Carricart-Ganivet J.P., Reyes-Bonilla H. 1999. New and previous records of Scleractinian corals from Clipperton Atoll, Eastern Pacific. *Pac. Sci.* 53: 370-375.
- Charpy L. (coord.) et al. 2009. -Clipperton, environnement et biodiversité d'un microcosme océanique. *Museum national d'Histoire naturelle, Paris ; IRD, Marseille*, 420 p. (Patrimoines naturels ; 68).
- Charpy, L., Rodier, M., Coute, A., Perrette-Gallet C., Bley-Loez, C. (2010). Clipperton, a possible future for atoll lagoons. *Coral Reefs* (2010) 29:771–783. [DOI 10.1007/s00338-010-0627-0](https://doi.org/10.1007/s00338-010-0627-0)
- Clua, E. (2016). Mission internationale sur l'atoll de Clipperton (île de La Passion - France) et les îles Revillagigedo (Mexique) du 28 janvier au 11 février 2016. Rapport de mission. CRILOBE USR3278 CNRS-EPHEUPVD. RA231. 62 pp.
- Clua, E., & Vignaud T. (2016) Possible collapse of reef shark populations in remote coral reef ecosystems in the Coral Sea (Western Pacific). *Cybio* 2016, 40(1): 51-59.
- Clua, E., Bessudo S., Labrecque M., and Hoyos-Padilla, M. (2016). First record of giant trevally (*Caranx ignobilis*) around the Clipperton Atoll-La Passion Island (North-Eastern Tropical Pacific). *Cybio*, 40(3): 259-260.
- Clua E., S. Bessudo, J.E. Caselle, C. Chauvet, C. Jost and A.M. Friedlander. 2019. Population assessment of the endemic angelfish *Holacanthus limbaughi* from Île de La Passion-Clipperton Atoll (Tropical Eastern Pacific). *Endang Species Res* 38: 171–176.
- Clua E., Aurat F., Bin N., Bin S., Boissin E., Chavance Y., Cron D., Hertau, Elineau A., M., Lancelot J., Moro J-M., Moulin C., Pey A., Pogoreutz C., Pollina T., Troublé R., Planes S. (2018) Mission Tara Pacific sur l'atoll de Clipperton (île de La Passion - France) du 06 au 13 août 2018. Rapport de mission. CRILOBE USR3278 CNRS-EPHE-UPVD et TARA PACIFIC. RA272. 72 pp.
- Crane NL, Taniel J, Caselle JE, Friedlander AM, Robertson DR, Bernardi G. 2018. Clipperton Atoll as a model to study small marine populations: endemism and the genomic consequences of small population size. *PLOS ONE* 13(6):e0198901. [DOI 10.1371/journal.pone.0198901](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198901).
- Croxall, J. P. et al. Seabird conservation status, threats and priority actions: a global assessment. *Bird Conserv. Int.* 22, 1–34 (2012).
- Einoder, L. D. A review of the use of seabirds as indicators in fisheries and ecosystem management. *Fish. Res.* 95, 6–13 (2009).
- Ekman S. 1953. *Zoogeography of the Sea*. Sidwick and Jackson, London.
- Fernandes, P. G. (2009). Classification trees for species identification of fish-school echotraces. *ICES Journal of Marine Science*, 66(6), 1073-1080.
- Fourrière, M., Reyes-Bonilla, H., Rodríguez-Zaragoza, F. A., & Crane, N. (2014). Fishes of clipperton atoll, eastern pacific: Checklist, endemism, and analysis of completeness of the inventory. *Pacific Science*, 68(3), 375-395.
- Friedlander AM, Giddens J, Ballesteros E, Blum S, Brown EK, Caselle JE, Henning B, Jost C, Salinas-de-León P, Sala E. 2019. Marine biodiversity from zero to a thousand meters at Clipperton Atoll (Île de La Passion), Tropical Eastern Pacific. *PeerJ* 7:e7279. [http://doi.org/10.7717/peerj.7279](https://doi.org/10.7717/peerj.7279).
- Gentès S., Maury-Brachet R., Feng C., Pedrero Z., Tessier E., Legeay A., Mesmer-Dudons N., Baudrimont M., Maurice L., Amouroux D. and Gonzalez P. (2015). Specific effects of dietary methylmercury and inorganic mercury in zebrafish (*Danio rerio*) determined by genetic, histological and metallothionein responses. *Environmental Science & Technology*, 49(24): 14560-9. [doi: 10.1021/acs.est.5b03586](https://doi.org/10.1021/acs.est.5b03586).
- Glynn, P.W. & De Weerd, G. (1991). Elimination of two reef building hydrocorals following the 1982-1983 El Niño warming event. *Science*, 253, p. 69-71.
- Glynn P.W.G., J.E.N. Veron and G.M. Wellington. 1996. Clipperton Atoll (Eastern Pacific): oceanographic settings, geomorphology, reef-building coral communities and zoogeographic relationships. *Coral Reefs* 15: 71-99.
- Gonzalez P., Baudrimont M., Boudou A., and Bourdineaud JP. (2006). Comparative effects of direct cadmium contamination on gene expression in gills, liver, skeletal muscles and brain of the zebra fish (*Danio rerio*). *Biometals*, 19, 225-235.
- Higginbottom, I. R., Pauly, T. J., & Heatley, D. C. (2000, July). Virtual echograms for visualization and post-processing of multiple-frequency echosounder data. In *Proceedings of the Fifth European Conference on Underwater Acoustics, ECUA* (pp. 1497-1502).
- Jost, C. (2005a). Bibliographie de l'île de Clipperton-Île de La Passion (1711-2005). *Le Journal de la Société des Océanistes*, (120-121), 181-197.
- Jost, C. (2005b). Risques environnementaux et enjeux à Clipperton (Pacifique français) *Environnement hazards on Clipperton Island (French Pacific): what is at stake?*. *Cybergeogé*, 1(314).
- Jost C., Tchekemian A., Grellier M., Arakino M., Laine H., Jost X., Dumas P., Gravier-Bonnet N., Solis-Weiss V., Sanvicente Añorve L. E., Lemus Santana E., Duchauchoy A., Duchauchoy D., Dugast S. (2015) Mission scientifique internationale - passion 2015 - Clipperton – Rapport Du 01 avril au 06 mai 2015 et sur l'île de La Passion (Clipperton) du 14 au 29 avril 2015 ; [doi : 10.13140/RG.2.2.36025.36966](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36025.36966)
- Jost, X., Jost, C. and JY Meyer (2019) FLORA AND VEGETATION OF CLIPPERTON (LA PASSION) ATOLL, NORTH-EASTERN PACIFIC OCEAN: THREE CENTURIES OF CHANGES AND RECENT PLANT DYNAMICS. *Atoll Research Bulletin* No. 623.
- Limbaugh, C. (1963). Field notes on sharks. *Sharks and survival*, 2, 63-94.
- Paleczny, M., Hammill, E., Karpouzi, V. & Pauly, D. Population Trend of the World's Monitored Seabirds, 1950-2010. *PLOS ONE* 10, e0129342 (2015).
- Pauly, D. (2009). The fisheries resources of the Clipperton Island EEZ (France). *Fisheries Centre Research Reports*, 17, 35.
- Piatt, I. & Sydeman, W. Seabirds as indicators of marine ecosystems. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 352, 199–204 (2007).
- Robertson, D. R., & Allen, G. R. (1996). Zoogeography of the shorefish fauna of Clipperton Atoll. *Coral Reefs*, 15(2), 121-131.
- Reyes B.H., J.P. Carricart, V. Solis y A. Granados. 1999. El Atolón de Clipperton: aspectos históricos y ecológicos. *Ciencia y Desarrollo* :16-23.
- Robertson D.R. y G.R. Allen. 1996. Zoogeography of the shorefish fauna of Clipperton Atoll. *Coral Reefs* 15: 121-131.
- Robertson D.R., J.S. Grove y J.E. McCosker. 2004. Tropical transpacific shorefishes. *Pac Sci* 58: 507–565.
- Shea D.-J., et al. 1992. - A global monthly sea surface temperature climatology. *Journal of Climate* 5. 987-1001.
- Weimerskirch H., Le Corre, M. Bost, C.A., T. Ballance, L., Pitman, R. 2009. L'avifaune et l'écologie des oiseaux marins. In CHARPY L. (coord.) — Clipperton, environnement et biodiversité d'un microcosme océanique. MNHN, Paris ; IRD, Marseille. (Patrimoines naturels ; 68), 380-392.

ANNEXE 1 - POISSONS COLLECTÉS

| Núm.<br>Organismo | Especie                            | Peso<br>(kg) | LT (cm) | LP (cm) | Músculo | Hígado | Cont.<br>estomacal |
|-------------------|------------------------------------|--------------|---------|---------|---------|--------|--------------------|
| 1                 | <i>Dermatolepis dermatolepis</i>   | 1.18         | 41      | 33.5    | SI      | SI     | NO                 |
| 2                 | <i>Dermatolepis dermatolepis</i>   | 1.07         | 40      | 32      | SI      | SI     | NO                 |
| 3                 | <i>Dermatolepis dermatolepis</i>   | 1.69         | 46.5    | 37.5    | SI      | SI     | NO                 |
| 4                 | <i>Dermatolepis dermatolepis</i>   | 0.93         | 37      | 30      | SI      | SI     | SI                 |
| 5                 | <i>Dermatolepis dermatolepis</i>   | 1.84         | 47      | 37.5    | SI      | SI     | SI                 |
| 6                 | <i>Lutjanus viridis</i>            | 0.98         | 28.5    | 23      | SI      | SI     | SI                 |
| 7                 | <i>Lutjanus viridis</i>            | 0.25         | 25.5    | 20.5    | SI      | SI     | SI                 |
| 8                 | <i>Holacanthus limbaughi</i>       | 0.12         | 17.5    | 13.4    | SI      | SI     | SI                 |
| 9                 | <i>Holacanthus limbaughi</i>       | 0.11         | 17.5    | 13.5    | SI      | SI     | SI                 |
| 10                | <i>Holacanthus limbaughi</i>       | 0.1          | 16.5    | 13      | SI      | SI     | SI                 |
| 11                | <i>Holacanthus limbaughi</i>       | 0.1          | 14.5    | 12      | SI      | SI     | SI                 |
| 12                | <i>Holacanthus limbaughi</i>       | 0.1          | 14.5    | 11      | SI      | SI     | SI                 |
| 13                | <i>Holacanthus limbaughi</i>       | 0.07         | 13.3    | 11      | SI      | SI     | SI                 |
| 14                | <i>Holacanthus limbaughi</i>       | 0.05         | 11.7    | 10.2    | SI      | SI     | SI                 |
| 15                | <i>Holacanthus limbaughi</i>       | 0.04         | 11.2    | 9       | SI      | SI     | SI                 |
| 16                | <i>Holacanthus limbaughi</i>       | 0.02         | 11      | 9.4     | SI      | SI     | SI                 |
| 17                | <i>Holacanthus limbaughi</i>       | 0.03         | 10      | 8.1     | SI      | SI     | SI                 |
| 18                | <i>Epinephelus clippertonensis</i> | 0.32         | 28      | 23      | SI      | SI     | SI                 |
| 19                | <i>Epinephelus clippertonensis</i> | 0.44         | 30      | 26      | SI      | SI     | NO                 |
| 20                | <i>Epinephelus clippertonensis</i> | 0.86         | 37.9    | 32.7    | SI      | SI     | NO                 |
| 21                | <i>Epinephelus labriformis</i>     | 0.52         | 31.6    | 27.3    | SI      | SI     | NO                 |
| 22                | <i>Epinephelus labriformis</i>     | 0.34         | 27      | 22.8    | SI      | SI     | NO                 |
| 23                | <i>Epinephelus labriformis</i>     | 0.21         | 25.6    | 20.4    | SI      | SI     | SI                 |
| 24                | <i>Lutjanus viridis</i>            | 0.34         | 29.5    | 24      | SI      | SI     | NO                 |
| 25                | <i>Lutjanus viridis</i>            | 0.3          | 28.3    | 23.5    | SI      | SI     | NO                 |
| 26                | <i>Lutjanus viridis</i>            | 0.23         | 25      | 20.2    | SI      | SI     | NO                 |
| 27                | <i>Acanthocybium solandri</i>      | 20.5         | 150     | 141     | SI      | SI     | SI                 |
| 28                | <i>Holacanthus limbaughi</i>       | 0.4          | 25.7    | 20.5    | SI      | SI     | SI                 |
| 29                | <i>Holacanthus limbaughi</i>       | 0.34         | 23.5    | 18.5    | SI      | SI     | SI                 |
| 30                | <i>Holacanthus limbaughi</i>       | 0.21         | 21.5    | 16.5    | SI      | SI     | SI                 |
| 31                | <i>Holacanthus limbaughi</i>       | 0.16         | 20.5    | 16      | SI      | SI     | SI                 |
| 32                | <i>Holacanthus limbaughi</i>       | 0.13         | 18.5    | 15      | SI      | SI     | SI                 |
| 33                | <i>Holacanthus limbaughi</i>       | 0.084        | 15.9    | 12.9    | SI      | SI     | SI                 |
| 34                | <i>Holacanthus limbaughi</i>       | 0.11         | 15.6    | 12.4    | SI      | SI     | SI                 |
| 35                | <i>Holacanthus limbaughi</i>       | 0.08         | 13.6    | 11      | SI      | SI     | SI                 |
| 36                | <i>Stegastes baldwini</i>          | 0.02         | 9.8     | 7.9     | SI      | SI     | SI                 |
| 37                | <i>Stegastes baldwini</i>          | 0.017        | 9.3     | 7.6     | SI      | SI     | SI                 |
| 38                | <i>Stegastes baldwini</i>          | 0.02         | 9.7     | 7.5     | SI      | SI     | SI                 |
| 39                | <i>Stegastes baldwini</i>          | 0.014        | 9.2     | 7.3     | SI      | SI     | NO                 |
| 40                | <i>Epinephelus clippertonensis</i> | -            | -       | -       | NO      | NO     | NO                 |
| 41                | <i>Holacanthus limbaughi</i>       | 0.019        | 9.2     | 7.4     | NO      | NO     | NO                 |

|    |                                    |       |      |       |    |    |    |
|----|------------------------------------|-------|------|-------|----|----|----|
| 42 | <i>Holacanthus limbaughi</i>       | 0.025 | 9.7  | 7.6   | NO | NO | NO |
| 43 | <i>Holacanthus limbaughi</i>       | 0.044 | 11.6 | 9.3   | NO | NO | NO |
| 44 | <i>Holacanthus limbaughi</i>       | 0.025 | 9.6  | 7.5   | NO | NO | NO |
| 45 | <i>Epinephelus clippertonensis</i> | 0.269 | 36   | 31    | NO | NO | NO |
| 46 | <i>Epinephelus clippertonensis</i> | 0.29  | 26.8 | 22.6  | SI | SI | SI |
| 47 | <i>Epinephelus clippertonensis</i> | 0.16  | 22.6 | 9.2   | SI | SI | NO |
| 48 | <i>Holacanthus limbaughi</i>       | 0.021 | 9.3  | 7.5   | SI | SI | NO |
| 49 | <i>Stegastes baldwini</i>          | 0.016 | 8.2  | 6.1   | SI | SI | SI |
| 50 | <i>Myripristis murdjan</i>         | 0.22  | 24.5 | 19.4  | SI | SI | NO |
| 51 | <i>Myripristis murdjan</i>         | 0.21  | 25   | 19.5  | SI | SI | NO |
| 52 | <i>Myripristis murdjan</i>         | 0.32  | 27.5 | 21.8  | SI | SI | NO |
| 53 | <i>Myripristis murdjan</i>         | 0.085 | 17.5 | 13.5  | SI | SI | NO |
| 54 | <i>Myripristis murdjan</i>         | 0.071 | 17.2 | 13.5  | SI | SI | NO |
| 55 | <i>Paranthias columnus</i>         | 0.414 | 36.2 | 26.2  | SI | SI | SI |
| 56 | <i>Paranthias columnus</i>         | 0.35  | 34.5 | 26    | SI | SI | SI |
| 57 | <i>Paranthias columnus</i>         | 0.122 | 24   | 18    | SI | SI | SI |
| 58 | <i>Paranthias columnus</i>         | 0.36  | 35.5 | 27    | SI | SI | NO |
| 59 | <i>Paranthias columnus</i>         | 0.53  | 39   | 30    | SI | SI | NO |
| 60 | <i>Lutjanus viridis</i>            | 0.36  | 30.5 | 25    | SI | SI | SI |
| 61 | <i>Thunnus albacares</i>           | 19    | 115  | 99    | SI | SI | SI |
| 62 | <i>Thunnus albacares</i>           | 8.2   | 86   | 72.5  | SI | SI | SI |
| 63 | <i>Thunnus albacares</i>           | 7.6   | 84.5 | 71.5  | SI | SI | SI |
| 64 | <i>Thunnus albacares</i>           | 40    | 147  | 124.6 | SI | SI | SI |