

# SCIENCE

magazine



**PÉNURIE D'EAU**  
QUELLES SOLUTIONS ?

# CLIMAT

## LA RÉVÉLATION DES SCIENTIFIQUES

Et s'il n'était pas trop tard ?

Les solutions de la recherche et de l'innovation

**QUELLE PROTECTION FACE À L'IA ?**

# LES CHERCHEURS FACE À ChatGPT

**Océan Indien**  
À LA RECHERCHE  
DE L'ÎLE INVISIBLE

CPPAP



L 12580 - 79 - F: 7,80 € - RD

www.lafontpresse.fr

**Lafont  
presse**

N°79 - Trimestriel - Juillet/Août/Septembre 2023 - BEL : 8,10€ - LUX 8,50€ - CH 13,30CHF - ESP/PORT CONT 8,80€ - DOM 8,80€ - MAR 9,90MAD - AL CAL 10,50XPF - POL 11,00XPF - CAN 13,50CAD

# Mission Océan Indienne de « l'île invisible »

©Mission océan Indien © Filip Kulisev - Amazing Planet - Explorations de Menace-1



Le S.A. Agulhas II devant l'atoll d'Aldabra.

# n : à la recherche

A bord du navire océanographique et de ravitaillement sud-africain le S.A. Agulhas II, les Explorations de Monaco ont mené à l'automne dernier une mission dans le sud-ouest de l'océan Indien, entre La Réunion, l'île Maurice et les Seychelles. Là où se trouvent des joyaux de la nature, et notamment une « île invisible »...

Cette mission répondait à 3 objectifs majeurs : comprendre l'état et le fonctionnement écosystémique de la zone explorée pour ensuite conseiller les parties prenantes par une approche scientifique globale, partager les enjeux et les connaissances avec le plus grand nombre par un programme de médiation ambitieux, et mobiliser les gouvernements par l'action diplomatique en mettant à disposition les informations et analyses pour une gestion durable des espaces maritimes.

Plus de 150 participants d'une vingtaine de nationalités différentes y ont contribué : scientifiques, jeunes chercheurs, étudiants, cinéastes, photographes, plongeurs, artistes, communicants, et bien sûr l'équipage. Développée en concertation avec les autorités de Maurice et des Seychelles, la mission était guidée par un Comité d'orientation de 14 experts internationaux et elle était basée sur un programme multidisciplinaire incluant les sciences naturelles et sociales. Ses premiers résultats ont été présentés pendant la Monaco Ocean Week qui réunit chaque année les experts de l'environnement marin.



## Un voyage au long cours

Le voyage a duré deux mois sur environ 10 000 nautiques (18 500 km). Il consistait en un aller-retour du Cap avec 4 escales à l'île Maurice, à La Réunion, à Mahé (Seychelles), et à nouveau à l'île Maurice. Diverses recherches et opérations de terrain ont été effectuées en mer, autour de l'atoll d'Aldabra (Seychelles), sur le banc Saya de Malha, et autour de l'île de Saint Brandon (Maurice).

La mission Océan Indien 2022 est le premier élément du projet « Monaco Explorations » approuvé dans le cadre de la Décennie des Nations Unies pour les sciences océaniques au service du développement durable 2021-2030. L'expédition fait partie des projets approuvés par la Deuxième Expédition Internationale de l'Océan Indien (IIOE-2 - 2015-2025), un programme scientifique majeur développé



© Sven Bender - Authentix - Explorations de Monaco

**La Société des Explorations de Monaco est une plateforme au service de l'engagement de S.A.S. le Prince Albert II en matière de connaissance, de gestion durable, et de protection de l'Océan.**

Inventaire photographique et collecte d'organismes en plongée sur le banc Saya de Malha.

sur 10 ans par la communauté scientifique internationale afin de faire progresser les connaissances sur cet océan.

Les 4 thèmes principaux des Explorations de Monaco ont fait l'objet d'étude : la protection

des coraux, la protection de la mégafaune, les aires marines protégées et les nouvelles techniques d'exploration. Et ce via 8 projets de recherche mis en œuvre tout au long du trajet de la mission.

## La naissance d'Aires Marines Educatives

Du point de vue médiation, chaque escale fut l'occasion d'échange, de partage. Journalistes, personnalités locales, groupes scolaires et associations ont été accueillis à bord du bateau. Dans le cadre du programme éducatif Adopt a float, des classes ont adopté des flotteurs BGC Argo de la mission. Dans le cadre du projet Pareo (le « Patrimoine REcifal de l'Océan indien entre nos mains »), l'Aire Marine Educative (AME) de l'île Curieuse, la première AME aux Seychelles, a été inaugurée par les enfants de l'école Baie Sainte-Anne de Praslin. Il s'agit d'un projet de sensibilisation à la protection des récifs coralliens coordonné

### Les enfants et l'océan

**Le concept d'Aire Marine Educative (AME) est né en 2012 aux Marquises. Il consiste, pour des élèves et leur enseignant, à gérer de manière participative une zone maritime littorale de petite taille. Une démarche pédagogique et citoyenne qui vise à sensibiliser le jeune public à la protection du milieu marin et à découvrir ses acteurs. Les actions de conservation sont réalisées à partir de solutions envisagées et mises en œuvre par les enfants eux-mêmes, lesquels sont ainsi encouragés à devenir des acteurs de la protection et de la bonne gestion de leur environnement quotidien.**

**Ce programme d'AME se déroule actuellement sur 4 îles de l'océan Indien : La Réunion, l'île Maurice, les Seychelles et l'île de Mohéli aux Comores.**

par l'Institut de Recherche pour le Développement français (IRD) en collaboration avec la Seychelles Parks and Gardens Authority (SGPA).

La transmission des savoirs a eu lieu également à bord : une école embarquée de 20 étudiants de 11 nationalités différentes, ainsi que de jeunes étudiants chercheurs ou techniciens seychellois et mauriciens, ont pu se former entre autres à la science de terrain au contact de chercheurs expérimentés.

Malgré une couverture satellite parfois capricieuse, plusieurs échanges et interactions se sont effectués en direct pour faire vivre la mission et la faire partager au reste du monde. Ceci notamment à l'occasion de la Fête de la Science.

Enfin, dans la grande tradition des explorations scientifiques des XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles, deux jeunes artistes présents à bord ont posé leurs regards sur les différentes facettes et aspects de la mission : l'aventure humaine, le navire, la science menée à un rythme soutenu de jour comme de nuit, la découverte de sites naturels exceptionnels. Un processus créatif qui a vocation également de partage.

© Nicolas Mathys - Zeppelin - Explorations de Monaco



L'Aire Marine éducative de Curieuse.

## Aldabra : un joyau de la nature

Au niveau diplomatique, le Prince Albert II de Monaco s'est rendu aux Seychelles lors de cette mission, l'objectif étant de renforcer des liens étroits de coopération entre les Seychelles et l'île Maurice et d'associer étroitement à cette opération ces deux états (notamment autour de la zone conjointe de Saya de Malha). A bord du S.A. Agulhas II, il est allé également sur l'atoll d'Aldabra, l'un des plus extraordinaires sanctuaires marins et sous-marins au monde.

Ce joyau de la nature, comptant parmi les 50 sites classés au Patrimoine mondial marin de l'Unesco, a un écosystème fragile et menacé avec des débris marins sur ses plages ou encore un récif corallien qui souffre d'épisodes répétés de blanchissement suite aux changements climatiques.



© Nicolas Mathys - Zeppelin - Explorations de Monaco

S.A.S. le Prince Albert II de Monaco signe le flotteur Argo remis par la Principauté aux Seychelles.

## Des espèces nouvelles à Saya de Malha

Parmi les projets phares, on notera l'étude du banc Saya de Malha, un vaste plateau grand comme la Suisse situé sur la ride des Mascareignes et dépourvu de tout relief émergé. Une façon de « voir l'île invisible »... Il s'agit de l'un des plus grands herbiers sous-marins au monde. S'il fait l'objet d'examen depuis quelques décennies, rares sont cependant les occasions de déplacer des moyens d'études importants sur ce site éloigné des côtes. La mission monégasque a permis à 8 équipes scientifiques internationales, et en particulier à de jeunes chercheurs seychellois et mauriciens, de se rendre sur place. Ce banc situé en haute mer abrite des écosystèmes peu connus, difficiles d'accès, déjà fragilisés par la pression de la pêche. La mission a donc pour objectif de déterminer si sa situation nécessite à moyen terme une attention particulière et, dans ce cas, d'identifier des mesures de gestion.

Comme le souligne Francis Marsac, coordinateur des opérations scientifiques sur ce projet, le long d'un trajet de 1600 milles marins sur le banc Saya de Malha, les explorateurs ont découvert une magnifique moisson de spécimens des communautés benthiques répartie sur 5 secteurs : de 300 à 400 espèces de mollusques, environ 300 espèces de crustacés, et une centaine d'espèces d'algues ramenées à bord, triées et examinées à la loupe binoculaire par les experts du Muséum National d'Histoire Naturelle.

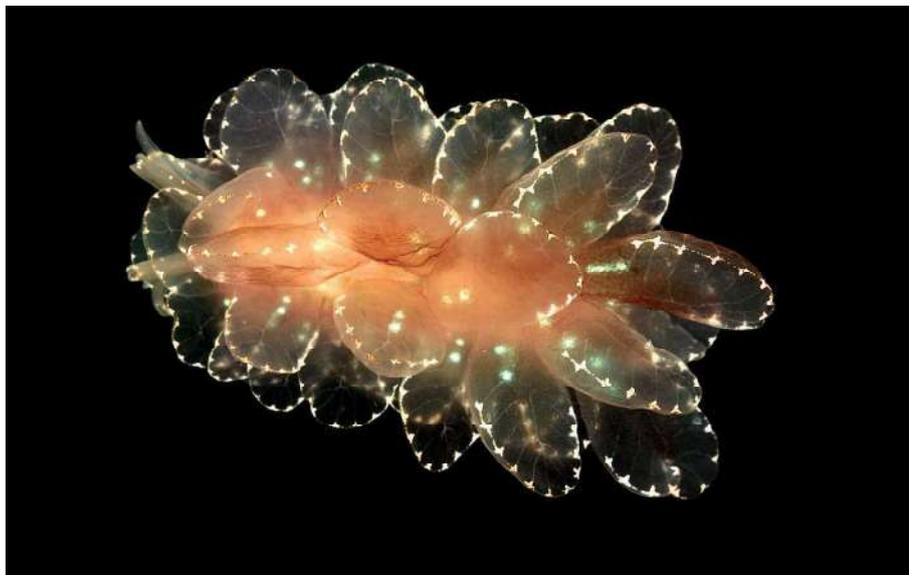
« Déjà, trois spécimens de gastéropodes et un de crustacé sont considérés comme des espèces nouvelles, c'est-à-dire non encore décrites par les taxonomistes. Deux espèces emblématiques - un gastéropode, *Conus primus*, et le bémittier *Tridacna rosewaterii* - ont été « re-découvertes » sur Saya de Malha. »

**Exploration à 700 m de profondeur : une première à Aldabra !**

**Sur les pentes du récif d'Aldabra, les investigations menées avec le ROV\* jusqu'à la profondeur de 700 m constituent une première. Jusqu'à présent, seules des profondeurs maximales de 250 m avaient été explorées sur ce site.**

Halieute et océanographe, Francis Marsac est le représentant de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) aux Seychelles. Il explique que les données de cette campagne ont été débarquées le 2 décembre au Cap, avant de rejoindre les laboratoires français. Ce sont des giga-octets de données numériques de paramètres physico-chimiques et biologiques mesurés par la bathysonde dans la colonne d'eau qui ont été engrangées sur les ordinateurs. Également de longues heures de séquences vidéo (filmées par le ROV\* durant ses 7 plongées) et des images prises par différentes caméras mouillées sur le fond restent à traiter.

Frédéric Ménard, spécialiste des écosystèmes marins, s'interroge sur l'apparente rareté de la mégafaune sur la zone investiguée : « Au premier abord, Saya de Malha ne remplit pas nos espérances. Peu de grands poissons, très peu de requins, d'oiseaux marins. La macrofaune n'est pas au rendez-vous. Et pourtant, les herbiers sont en bonne santé, les poissons certes de petites tailles sont présents sur les zones coralliennes, la mosaïque d'habitats abrite une faune fixée peu abondante, mais diversifiée et tellement fascinante comme, par exemple, pour les éponges ; nos filets à plancton récoltent une diversité intéressante d'organismes vivant dans la colonne d'eau, et les images rapportées par le robot sous-marin que nous avons déployé sur les ruptures



Sur le banc Saya de Malha pendant la mission océan Indien : l'une des 300 espèces de mollusques collectés.

\*ROV : Remotely Operated Vehicle, soit un engin sous-marin téléopéré permettant de réaliser des prises de vue sous-marines et de recueillir des échantillons du fond.

*de pente témoignent de la présence de poissons, requins, coraux, gorgones, crinoïdes (appelés « lys de mer »)... Doit-on conclure à des zones refuge pour la macrofaune que nous n'observons guère sur le plateau ? Du travail en perspective pour comprendre les liens entre les conditions environnementales singulières de Saya de Malha et la répartition de la faune et de la flore. »*

Mais l'expédition, qui avait pour chef de mission Gilles Bessero, Directeur des Explorations de Monaco, fut avant toute une aventure humaine, avec une multitude de nationalités participant et une coopération accrue avec les scientifiques locaux. *« En tant que scientifiques mauriciens, cette expédition nous a offert une occasion exceptionnelle de renforcer nos capacités dans les différentes disciplines de l'océanographie et d'explorer davantage cette région reculée de Saya de Malha »* remarque Dass Bissessur, Docteur en géophysique marine, Directeur de l'Unité d'exploration des hydrocarbures/minéraux, Département du plateau continental pour l'administration et l'exploration des zones maritimes. Pour sa part, l'entrepreneuse seychelloise Mariette Dine, impliquée dans le développement des bioplastiques et diplômée de l'Université des Seychelles en sciences de la mer et durabilité, acquiesce : *« la mission des Explorations de Monaco dans l'océan Indien a été une grande opportunité pour moi et les autres participants seychellois de prendre part à la recherche marine sur le plateau des Mascareignes. »*

**« Le potentiel de découverte d'autres espèces endémiques, voire nouvelles, parmi nos collections est important. Ce qui va occuper les spécialistes pendant les 5 années à venir, compte tenu de l'ampleur de cette récolte. A suivre de très près... »**

Professeur Philippe Bouchet  
malacologiste du MNHN de renommée internationale et membre de l'expédition.



L'une des potentielles nouvelles espèces découvertes sur le banc de Saya de Malha pendant la mission océan Indien.



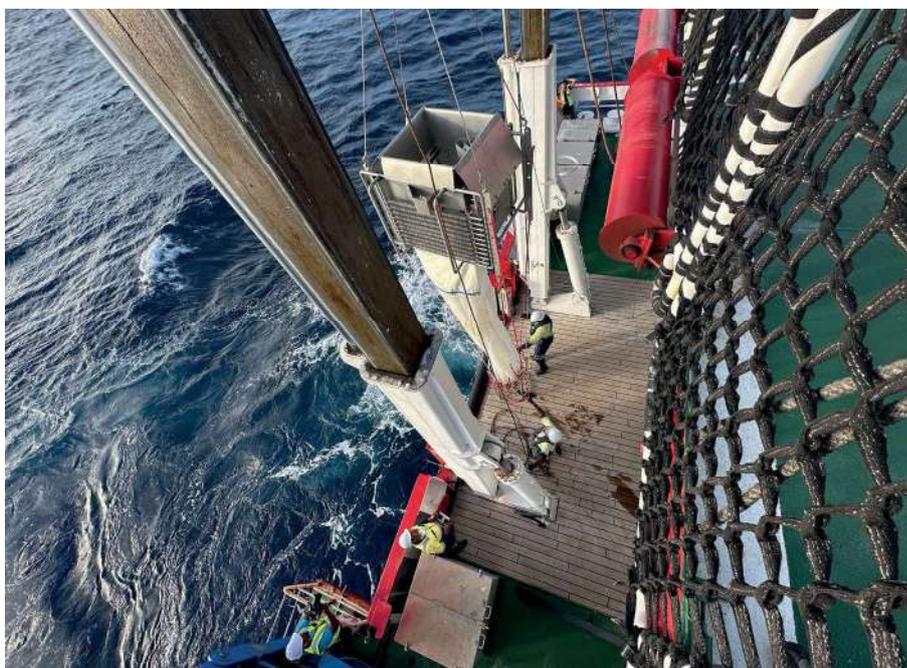
Banc Saya de Malha. L'herbier de Thalassodendron ciliatum.

## Les débris plastiques : triste constat

Autre projet de recherche : microplastique et pathogènes coralliens - Madcaps. Son objectif était de caractériser les débris plastiques transportés par les courants océaniques de surface, potentiellement vecteurs inertes de microorganismes pathogènes coralliens. Pour cela des technologies de pointe ont été employées.

Les scientifiques ont pu déplorer la situation près du magnifique site d'Aldabra : là, la circulation générale des courants autour de l'atoll provoque des accumulations denses de déchets plastiques. Ce n'est donc pas parce qu'il est isolé en plein océan Indien qu'il n'est pas lui aussi victime de cette pollution. Pour déterminer l'origine de ces déchets, les membres de l'équipe Madcaps ont procédé à 11 transects à terre, au cours desquels ils ont récolté environ 20 kg d'échantillons de plastique. Ils ont également procédé à 60 prélèvements avec le filet Manta en pleine mer tout au long du trajet pour récolter les microplastiques et déterminer leur origine.

Les échantillons récoltés vont faire l'objet d'analyses métagénomiques destinées à



Mise à l'eau du filet multinet. Mission océan Indien 2022.

déceler d'éventuelles communautés microbiennes pathogènes, et d'analyses en spectrométrie pour déterminer la nature des débris

plastiques collectés afin de réaliser une carte des concentrations de cette pollution dans le sud-ouest de l'océan Indien.

## Contamination et stress chez les tortues marines



Une tortue verte baguée et numérotée reprend la mer à Aldabra (Mission océan Indien).

© Jérôme Bourjea - Ifremer - Explorations de Monaco

Les tortues marines font l'objet depuis plusieurs années d'une étude dans l'ensemble du sud-ouest de l'océan Indien avec le projet GECOS. La mission des Explorations de Monaco a été l'occasion de pouvoir acquérir des données manquantes sur certains sites comme celui d'Aldabra. Les scientifiques souhaitent mieux comprendre la structure génétique des populations de tortues vertes et imbriquées et développer des indicateurs de l'état de santé de ces espèces afin d'en faire de véritables sentinelles de la qualité de l'environnement qu'elles fréquentent.

Des prélèvements d'échantillons sur une quarantaine de tortues (mesures biométriques, biopsies, prises de sang et prélèvements d'écailles) ont pu être effectués. Deux jeunes

individus de tortues vertes ont été équipés de balises Argos GPS de façon à pouvoir suivre leurs déplacements et mieux connaître leur comportement alimentaire au sein de l'atoll et en dehors.

Conditionnés dans l'azote liquide puis conservés à  $-80^{\circ}\text{C}$ , les échantillons récoltés permettront, après séquençage et analyse des génomes mitochondriaux, mais aussi dosage de paramètres physiologiques, d'en savoir un peu plus sur la structure génétique des populations de tortues présentes à Aldabra, leur origine, ainsi que leur degré de contamination et de stress lié à l'environnement. Repositionnées dans un contexte régional, ces données seront comparées à d'autres sites subissant des pressions humaines contrastées.

## Quel impact des activités humaines et du changement climatique ?

De son côté, le projet 4Sea visait à démêler les impacts combinés des activités humaines sur les côtes et du changement climatique sur les écosystèmes marins de l'ouest de l'océan Indien. Les images et données collectées avec des systèmes d'observation autonomes à faible impact environnemental vont permettre de réaliser des inventaires d'espèces et de nature des fonds, des restitutions vidéo, des mesures de bathymétrie et d'utiliser la photogrammétrie afin d'obtenir des cartographies 3D des habitats explorés.

À Aldabra, ce ne sont pas moins de 30 heures de transects effectués avec les planches connectées (véhicule autonome d'observation et de cartographie) sur le récif qui ont été effectuées, ainsi que 20 vols de reconnaissance drone (équipé de GPS centimétrique et d'une caméra pour la réalisation d'orthophotos). À Saya de Malha, 6 heures de transects ont permis la collecte des données bathymétriques. Et à St Brandon, 16 heures de transects ont été consacrées pour collecter des données bathymétriques et des vidéos pour l'identification automatique des espèces et des habitats.

© Nicolas Mathys - Zeppelin - Explorations de Monaco



Déploiement de la planche connectée sur le banc Saya de Malha.

## 4 000 flotteurs sur l'océan !

La zone explorée par la mission est à présent couverte par le programme international de surveillance BGC Argo avec le déploiement de 29 flotteurs sur l'ensemble du trajet. Ce programme vise à instrumenter l'océan avec une flotte de 1 000 robots de type flotteurs profileurs de nouvelle génération, lesquels vont venir compléter la flotte de 3 000 flotteurs profiteurs dérivant déjà dans l'océan. Ces instruments très perfectionnés vont contribuer à la meilleure connaissance de cette région jusque-là peu équipée en flotteurs.

Les 29 flotteurs ont en moyenne une durée de vie de 5 à 7 ans. Pendant ces années, ils

vont mesurer entre 0 et 2 000 mètres de profondeur des variables physiques, chimiques et biologiques essentielles à la compréhension de l'évolution de la santé de l'Océan et de sa réponse au changement climatique : température, salinité, Ph, concentrations en oxygène, nitrates, chlorophylle a, particules en suspension, ainsi que l'éclairement. A chaque remontée en surface du flotteur, ces données sont transmises aux satellites qui couvrent la zone, puis aux laboratoires qui traduisent les données et les valident. Elles sont mises ensuite à disposition de la communauté internationale.

Des bouées dérivantes de surface ont été également déployées. Soit 19 bouées ainsi que 4 flotteurs dérivant avec les courants à 15 m de profondeur. Leur fonction consiste à acquérir des données de température de surface et de courant à partir de l'analyse de leur trajectoire suivie par satellite pour contribuer à l'observation et à la modélisation précises des flux océaniques, et étudier leur influence sur la connectivité (biologique, notamment) dans la région. Ces données seront précieuses également pour les autres projets.



Déploiement d'une bouée dérivante de surface.

## Une banque mondiale du corail

Partout dans le monde, le réchauffement climatique provoque des ravages dans les récifs coralliens. La plupart des scientifiques estiment qu'au rythme actuel, les coraux ne réussiront pas à s'adapter ni à se régénérer. C'est pourquoi le Centre Scientifique de Monaco et l'Institut océanographique ont décidé de créer un Conservatoire mondial du corail. Un projet ambitieux, équivalant à « l'arche de Noé des coraux ».



Colonie du Conservatoire mondial du corail.

Lors de l'étape du S.A. Agulhas II à Aldabra, l'équipe du Conservatoire mondial du corail a effectué sa première mission en prélevant 58 colonies de coraux vivants, n'excédant pas la taille de 15 cm et représentant 21 espèces, au cours de 7 plongées. Ces colonies sont destinées à être conservées dans 4 aquariums publics : Nausicaa, Burgers Zoo, Oceanopolis et le Musée océanographique de Monaco. Cette opération a scellé une étroite collaboration scientifique entre les Seychelles, la France et Monaco quant à l'avenir des coraux, un maillon capital de l'équilibre biologique des océans.

Ont été également étudiées la connectivité des coraux et la biodiversité invertébrée associée. Ce projet du programme marin de la Fondation Bertarelli, mené par la Zoological Society of London et l'Université d'Oxford, vise à comprendre si ces atolls et bancs de l'océan Indien central (archipel des Chagos, Aldabra et Saya de Malha) jouent un rôle de "tremplin" pour le recrutement et la biodiversité des invertébrés (notamment des coraux) entre les régions de l'océan Indien oriental et

occidental. L'équipe a par exemple cherché à savoir si le corail cerveau des Chagos, *Ctenella chagius*, en danger critique d'extinction, était présent à Saya de Malha. Malheureusement, en raison des conditions météorologiques lors des opérations de plongée, des travaux supplémentaires seront nécessaires pour déterminer cela.

Comme le soulignent les chercheurs, « nous avons laissé les 58 colonies de coraux prélevées à Aldabra en cours de stabulation à Mahé, avant leur envoi en Europe. Arrivées à destination une semaine après leur prélèvement, ces colonies sont désormais parfaitement acclimatées dans les bassins de l'Aquarium du Musée océanographique de Monaco, d'Océanopolis à Brest, de Nausicaa à Boulogne-sur-Mer et du Burgers'Zoo à Arnhem, aux Pays-Bas. » Ce premier résultat est donc encourageant pour la suite du projet : d'autres missions devraient en effet venir, dans les prochains mois, compléter ce coup de maître pour enrichir progressivement la constitution de cette banque mondiale du corail.