



Le CESAM, acteur de la connaissance et de la compréhension des grands fonds marins

CESAM, a key player in the knowledge and understanding of the ocean depths

Par / By Ana Hilário, Chercheuse / Researcher au CESAM*

Les abysses constituent l'espace de vie le plus vaste de la planète et fournissent un large éventail de services écosystémiques essentiels au bien-être de l'homme, de la régulation du climat à la sécurité alimentaire. Elles sont aussi source d'inspiration. Jules Verne, dans *Vingt mille lieues sous les mers*, a embarqué plusieurs générations de lecteurs à la découverte des splendeurs abyssales, à bord du Nautilus, un sous-marin précurseur. Le cinéma, inspiré par les profondeurs, a donné vie à des créatures emblématiques du grand écran. Pour leur part, les scientifiques explorent les profondeurs de l'océan depuis 150 ans. Et pourtant, à ce jour, seuls 5 à 20% des fonds marins ont été cartographiés à divers niveaux de résolution. Au CESAM, Centre d'études environnementales et marines de l'université d'Aveiro au Portugal, une équipe de biologistes, spécialistes des grandes profondeurs, principalement animée par la dimension maritime du pays¹, concentre ses recherches sur l'étude de la biodiversité profonde, la manière dont les populations sont connectées et le rôle des organismes dans le fonctionnement des écosystèmes. Portées par le désir d'approfondir la compréhension des grands fonds marins, sans pour autant envisager quelque application spécifique dans le monde réel, ses recherches sont essentielles pour comprendre et anticiper la

1 - Le Portugal possède un littoral d'environ 2500 km et l'une des plus grandes zones économiques exclusives du monde, avec une surface de 1,7 million de km² et une profondeur moyenne de 3000 mètres. Le triangle maritime portugais - continent, Madère et Açores - représente 48% de l'ensemble des espaces sous juridiction des États membres de l'Union européenne, adjacents au continent. A cela s'ajoute le plateau continental au-delà de 200 milles marins, dont le processus de délimitation est en cours aux Nations unies, qui porte à 4 100 000 km² la zone maritime sous juridiction nationale.

*Centre d'études environnementales et marines de l'Université d'Aveiro (Portugal).

The deep sea, the largest living space on Earth, provides a wide range of ecosystem services that are unquestionably linked to human well-being, from climate regulation to food security. But the deep-sea is also a source of inspiration. Jules Verne, in his *Twenty Thousand Leagues Under the Sea*, has taken several generations of readers on a journey to explore the wonders of the ocean bottom onboard *Nautilus*, a submarine ahead of his time, film makers, inspired by deep-sea organisms have created some of the most emblematic creatures of the big screen, and scientists have explored the deep ocean for the last 150 years. Despite, we have still only mapped between 5 and 20% of the deep-sea, depending on level of resolution.

In CESAM, the Centre of Environmental and Marine Studies of the University of Aveiro (Portugal), a team of deep-sea biologists, mainly motivated by the oceanic dimension of the country¹ is focused on studying the diversity living in deep sea, how populations are connected and the role of organisms in ecosystem function. Driven by a desire to further our understanding of the deep sea, without necessarily considering specific real-world applications, this research is fundamental to forecast how biodiversity will respond to environmental changes and anthropogenic-related pressures. Further, from

1 - Portugal has a coastline of about 2500 km and one of the largest exclusive economic zones in the world, with a surface area of 1.7 million km² and an average depth of 3000 metres. The Portuguese maritime triangle - mainland, Madeira, and the Azores - represents 48% of the total area under the jurisdiction of the EU Member States bordering the European continent. To this should be added the continental shelf beyond 200 nautical miles, whose delimitation process is being discussed at the United Nations, bringing the maritime area under national jurisdiction to 4,100,000 km².

*Centre of Environmental and Marine Studies of the University of Aveiro (Portugal).



La plage de Nazaré au Portugal, connue des surfeurs du monde entier. Plus au large, un canyon sous-marin s'étend sur une centaine de kilomètres jusqu'à des profondeurs pouvant atteindre 5 000 mètres.

Nazaré beach in Portugal, known to surfers all over the world. Further offshore an underwater canyon extends for a hundred kilometres at depths of up to 5,000 metres.

réponse de la biodiversité aux changements environnementaux et aux pressions anthropiques. En outre, l'exploration et les nouvelles découvertes suscitent l'éveil du public ce qui permet d'accroître l'intérêt de la société pour ces grandes profondeurs, bien souvent éloignés de notre quotidien.

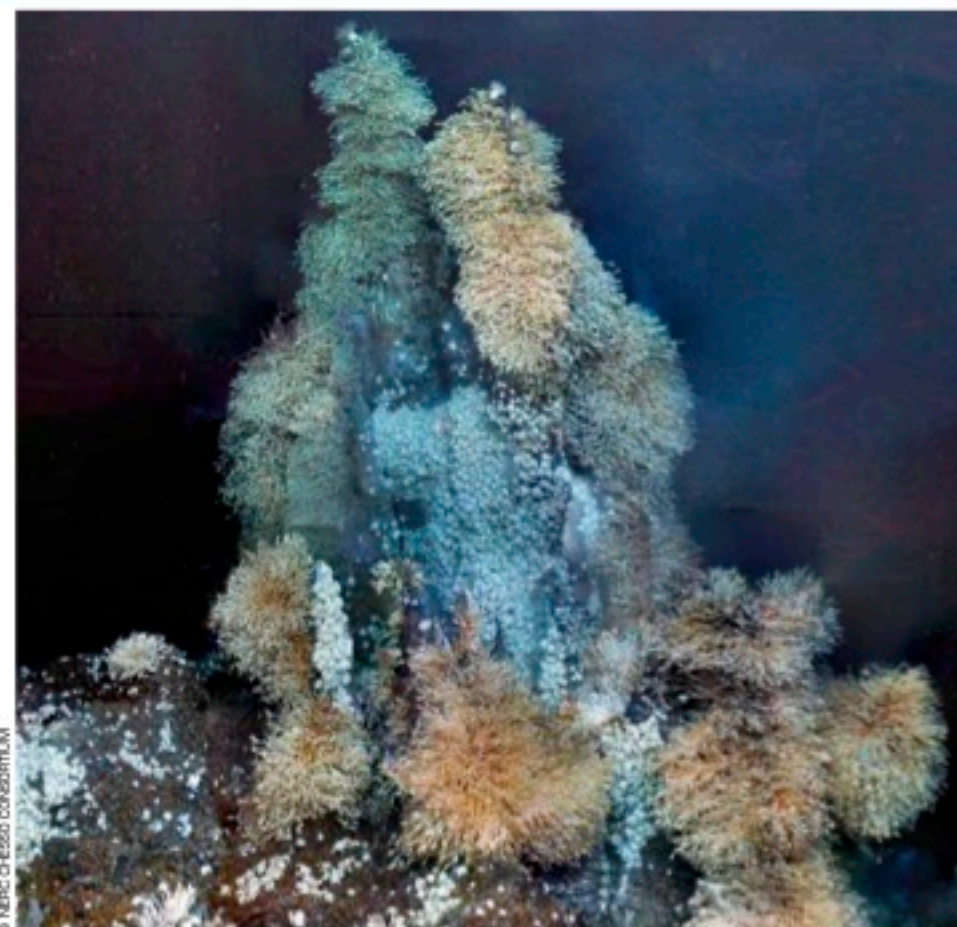
PLAINES ABYSSALES ET CANYON SOUS-MARINS...

Au cours des quinze dernières années, nous avons exploré les plaines abyssales, les monts sous-marins, les sources hydrothermales sur les dorsales médio-océaniques ainsi que les suintements froids et les canyons sous-marins sur les marges continentales, principalement dans l'Atlantique mais aussi dans d'autres zones de l'océan mondial. Nous avons, par exemple, participé à la découverte de sources hydrothermales dans l'océan Austral et à la collecte d'échantillons provenant de sources similaires sous la couverture de glace permanente de l'Arctique. Plus de 50 nouvelles espèces ont ainsi été répertoriées, dont *Bobmarleya gadensis*, un ver tubulaire découvert à 2 200 mètres de profondeur dans les volcans de boue du golfe

exploration and new discoveries arises public awakening, increasing societal engagement in the deep, which is often seen as distant from our daily lives.

ABYSSAL PLAINS AND SUBMARINE CANYONS

In the last 15 years we've explored abyssal plains, seamounts, hydrothermal vents on mid-oceanic ridges and cold seeps and submarine canyons on continental margins, mainly on the Atlantic but also in other areas of the world's ocean. For example, we have been involved in the discovery of hydrothermal vents in the Southern Ocean and the collection of samples from hydrothermal vents under permanent ice cover in the Arctic. More than 50 new species have been described, including *Bobmarleya gadensis*, a tubeworm found in mud volcanoes in the Gulf of Cadiz, at 2200 m depth. Describing the species that compose a community is the first step for any further biodiversity analyses, but naming species can be challenging! The hardest part is to make sure that no one has named that species before, but today scientists have the



« Carwash », une source hydrothermale en eau profonde située dans la dorsale East Scotia, océan Austral.

"Carwash", a deep-sea hydrothermal vent in the East Scotia rift, Southern Ocean."

Ver tubicole *Bobmarleya gadensis* vivant dans les volcans de boue du Golfe de Cadix à des profondeurs supérieures à 2 000 m.

"Tube worm *Bobmarleya gadensis* living in the mud volcanoes of the Gulf of Cadiz, at depths beyond 2,000 meters."



de Cadix. Répertoire les espèces qui composent une communauté est le préalable à toute étude ultérieure de la biodiversité. Mais ce n'est pas toujours simple ! Le plus difficile consiste à vérifier que nul avant vous n'a déjà nommé cette espèce. Aujourd'hui les scientifiques disposent pour cela de nouveaux outils comme les codes-barres ADN. La recherche en environnements profonds peut, par ailleurs, être coûteuse nécessitant des équipements lourds et des technologies de pointe. C'est la raison pour laquelle elle est par définition collaborative.

help of new tools, such as DNA barcodes and also many additional sources of nomenclatural inspirations, such as the dreadlocks of reggae singer and songwriter Bob Marley. Deep-sea research can be expensive and requires access to large infrastructure and to state-of-the-art technology, for those reasons it is inherently collaborative.

PARTENARIATS INTERNATIONAUX

Le CESAM est et a été un partenaire clé dans plusieurs projets internationaux consacrés à l'étude des écosystèmes profonds mais également au sein de réseaux internationaux axés sur l'étude de la biodiversité abyssale, tels que le *Census of Marine Life* (2000-2010) et ses programmes INDEEP (*International Network for scientific investigations of DEEP-sea ecosystems*) et DOSI (*Deep-Ocean Stewardship Initiative*). Actuellement, le CESAM codirige le programme *Challenger 150* de la *Décennie des Nations unies pour les sciences océaniques au service du développement durable*².

Challenger 150 est une coopérative mondiale qui regroupe des chercheurs en environnements profonds dans le but de coordonner les efforts d'échantillonnage, de surveillance et de renforcement des capacités. C'est aussi un programme inter-

INTERNATIONAL PARTNERSHIPS

CESAM is, and has been, a key partner in several international projects dedicated to the study of deep-sea ecosystems, and international networks that focus on global deep-sea biodiversity science, such as the *Census of Marine Life* (2000-2010), and its legacy programmes INDEEP (*International Network for scientific investigations of DEEP-sea ecosystems*) and DOSI (*Deep-Ocean stewardship Initiative*). Currently, CESAM co-leads the *Challenger 150* programme of the UN Decade of Ocean Science for Sustainable Development.²

Challenger 150 is a global cooperative that brings together deep-sea researchers to coordinate sampling, monitoring

2 - www.challenger150.world

2 - www.challenger150.world



L'équipe du projet HACON (financé par le Conseil pour la Recherche de Norvège) présentant le pavillon du programme Challenger 150. The HACON project team (funded by the Reserach Council of Norway), displaying the Challenger 150 programme flag.

« Le CESAM est et a été un partenaire clé dans plusieurs projets internationaux consacrés à l'étude des écosystèmes profonds. »

"CESAM is, and has been, a key partner in several international projects dedicated to the study of deep-sea ecosystems."

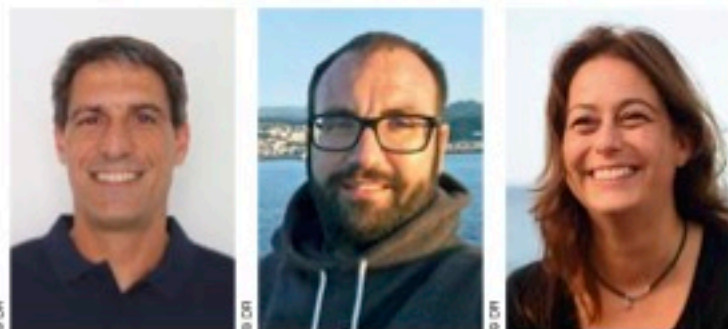
Ana Hilário

national de terrain, conçu comme un puzzle, dont les différents projets sont autant de pièces à assembler. A cela s'ajoute, particulièrement dans les pays en voie de développement, la mise en place d'une expertise en environnement profond destinée à former une nouvelle génération de chercheurs qui travailleront ensemble pour mettre la science au service d'une gestion efficace et d'une exploitation durable de ces espaces. Notre vocation au CESAM est de parfaire notre connaissance des grands fonds et d'y faciliter la recherche en la rendant plus accessible aux scientifiques de toutes les nations. Notre objectif est de mieux comprendre la diversité, la distribution et le rôle du biote³ abyssal dans tout l'écosystème maritime, et d'utiliser ces nouvelles connaissances pour éduquer et inspirer les générations futures afin de préserver l'intégrité des écosystèmes abyssaux et les services qu'ils apportent.

and capacity building efforts. Its core is a global-scale field programme, designed as a jigsaw puzzle, to which different projects contribute the pieces. Coupled to this is the development of deep-sea expertise, particularly in economically-developing nations, to build a new generation of scientists working together to deliver the science to better management and sustainable use of the deep sea. At CESAM, we are committed to broaden our knowledge of the deep-sea, and to facilitate deep-sea research, making it more accessible to scientists from all nations. Our aim is to advance the understanding of the diversity, distribution, and role of deep-sea biota³ in the whole marine ecosystem; and to use this new knowledge to educate and inspire future generations to preserve the integrity of deep-sea ecosystems and the services they provide.

3 - Biote : vie animale et végétale d'un biotope

3 - Biota: animal and plant life of a biotope



Faciliter l'accès à l'exploration profonde

Making access to deep exploration easier

Le Groupe de recherche sur les fonds marins des Açores a conçu un système, the Azor drift-cam, qui élargit l'accès à la recherche dans les grands fonds. Explications.

The Azores Deep-Sea Research Group has designed a system, the Azor drift-cam, that opens up access to deep-sea research. Explanations.

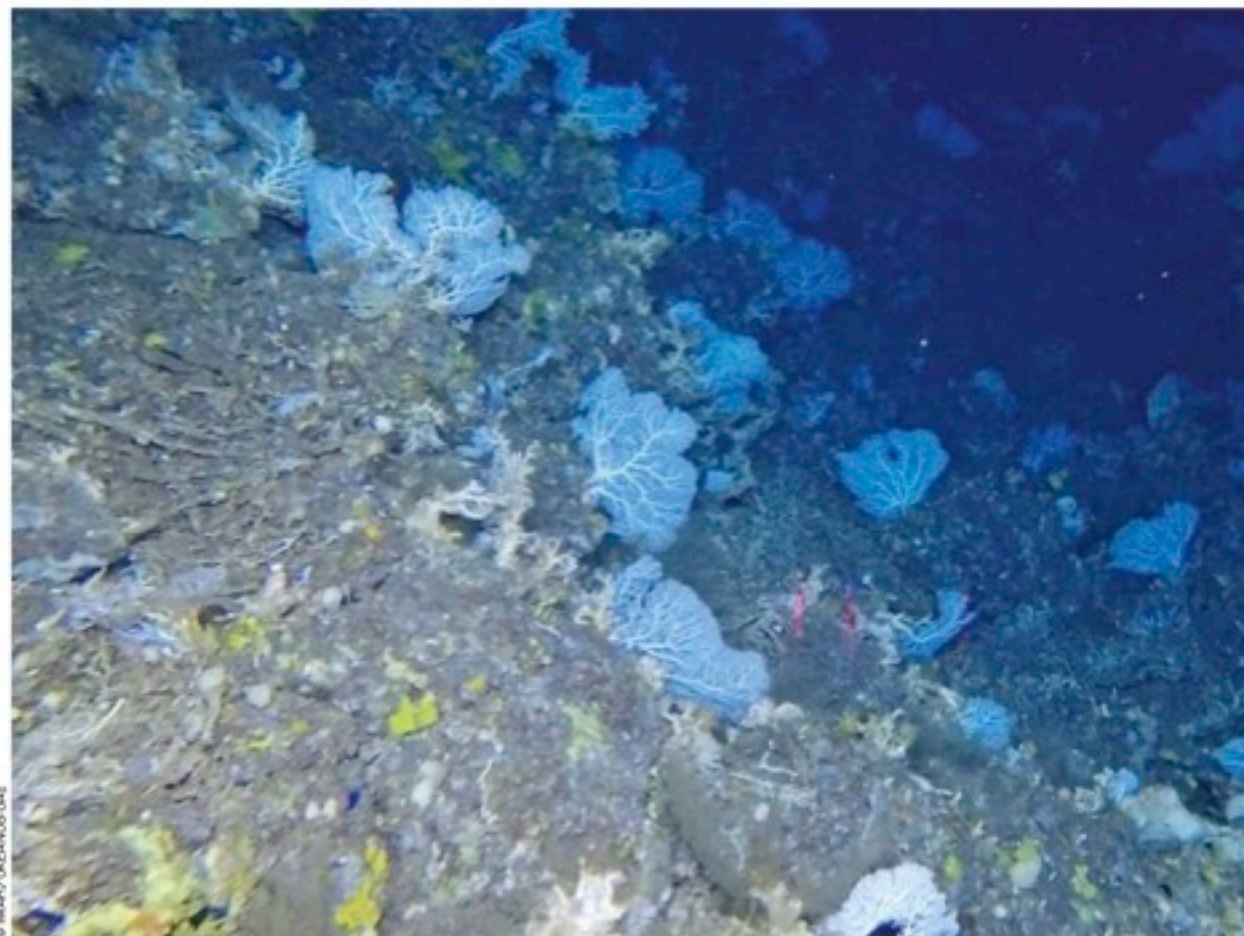
Par / By **Telmo Morato, Carlos Dominguez-Carrió & Marina Carreiro-Silva**, Institut des sciences océaniques Okeanos, Université des Açores (Portugal) / Ocean Sciences Institute Okeanos, University of the Azores (Portugal)

Les grands fonds, définis comme les eaux situées au-delà de 200 mètres de profondeur, constituent le plus grand biome¹ de la planète couvrant 66% de sa surface. Leur exploration scientifique a commencé au XIX^e siècle, lorsque les expéditions de Charles Wyville-Thomson, du Prince Albert I^{er} de Monaco et de Carlos I^{er}, roi du Portugal, ont entrouvert leurs habitats riches et diversifiés, elle s'est poursuivie, plus tard, lorsque Beebe et Barton sont descendus en submersible pour effectuer les premières observations de leur biodiversité. Depuis, grâce notamment aux véhicules sous-marins habités (HOV), télécommandés (ROV) ou autonomes (AUV), leur exploration a connu d'énormes progrès avec le développement d'instruments capables de prendre des images de haute qualité du plancher océanique, à des milliers de mètres de profondeur. Cependant, avec ces technologies de pointe, la recherche scientifique en eaux profondes nécessite une organisation et

1 - Un biome est une grande zone caractérisée par sa flore, son sol, son climat et sa faune. Il existe cinq grands types de biomes : aquatique, prairie, forêt, désert et toundra, bien que certains de ces biomes puissent être divisés en catégories plus spécifiques. Le biome aquatique se divise en eau douce et en eau de mer.

The deep sea, defined as the waters below 200 m depth, is the largest biome¹ on Earth and covers 66% of the Earth's surface. Its scientific exploration began in the 19th century, when the expeditions by Charles Wyville-Thomson, Prince Albert I of Monaco, and Carlos I, King of Portugal, opened a window to the rich and diverse habitats of the deep-sea, and continued, later when Beebe and Barton descended in a submersible to make the first observations of deep-sea biodiversity. Since then, deep-sea exploration has made tremendous strides with the development of underwater imaging instruments capable of capturing high-quality images of the seafloor thousands of meters below the surface. However, deep-sea scientific research using these cutting-edge technologies, such as remotely operated vehicles (ROVs) or submersibles, requires a very expensive setup with complex equipment, large oceanographic vessels, and specialized crews, which ultimately

1 - A biome is a large area characterized by its flora, soil, climate, and fauna. There are five major types of biomes: aquatic, grassland, forest, desert, and tundra, though some of these biomes can be further divided into more specific categories. Aquatic biome is divided in freshwater and marine.



© MARPOL/OKEANOS IAN



© MARPOL/OKEANOS IAN

▲ L'Azor drift-cam prête à être mise en œuvre.
Azor drift-cam ready to be deployed.
◀ Agrégation d'hydrocorail *Errina dabneyi*.
Aggregation of hydrocoral *Errina dabneyi*.

des équipements complexes, de grands navires océanographiques et des équipes spécialisées, et par conséquent d'importants budgets. Fort de ce constat, seul un nombre limité de pays et d'instituts de recherche disposent actuellement des ressources techniques et financières suffisantes pour mener à bien de telles missions. Aussi convient-il aujourd'hui de changer fondamentalement de paradigme concernant les méthodes de collecte des données scientifiques dans ces environnements, afin de rendre leur exploration plus simple, moins chère et accessible au plus grand nombre.

INNOVATION TECHNOLOGIQUE

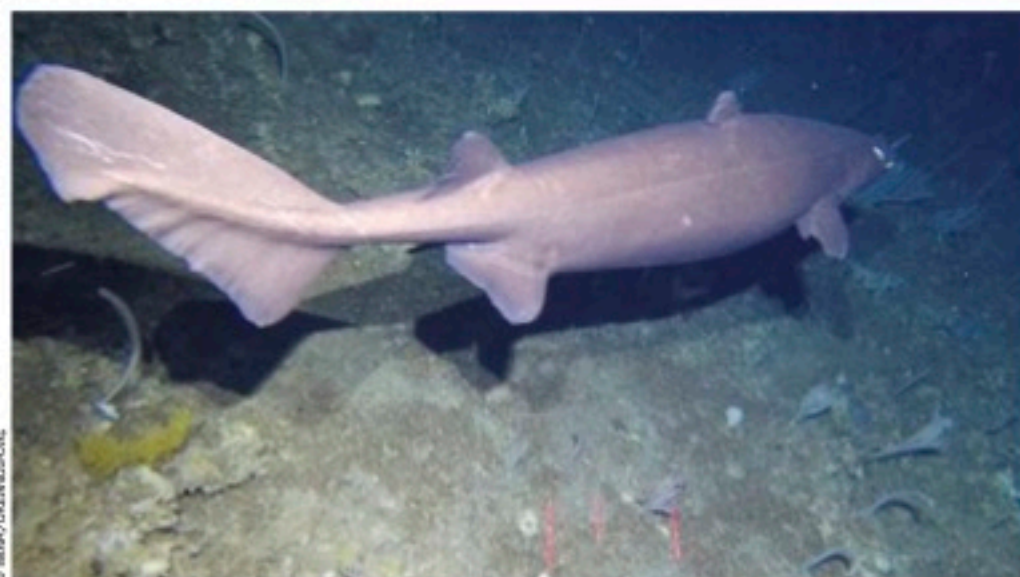
La *Décennie des Nations unies pour les sciences océaniques au service du développement durable* plaide pour réduire les inégalités concernant les moyens de la recherche océanique et pour un océan accessible à tous. Dans ce contexte, le *Groupe de recherche des Açores sur les grandes profondeurs* a développé l'Azor Drift-Cam, une plateforme vidéo économiquement viable permettant une évaluation rapide des habitats profonds. Construite avec des composants disponibles dans le commerce, cet instrument efficace, abordable, simple à assembler et à utiliser, résilient, opérationnel et fiable permet l'exploration visuelle des profondeurs jusqu'à 1 000 mètres. L'objectif principal de cette innovation technologique est de

translate into very high costs. Because deep-sea exploration is very expensive, only a limited number of countries and research groups currently have the technical and financial resources to pursue such goals. Therefore, a fundamental paradigm shift in the way deep-sea scientific data is generated is needed to make deep-sea exploration accessible to many.

TECHNOLOGICAL INNOVATION

The *United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development* recognizes the need to reduce inequality in ocean research capacity and make the ocean accessible to all. In this context, the *Azores Deep-Sea Research Group* developed a cost-effective video platform that enables rapid assessment of benthic habitats in the deep ocean. Built with commercially available components, the Azor drift-cam is an effective, affordable, simple to assemble, easy to operate, and reliable instrument for visual exploration of the deep sea down to 1,000 m depth. The main driver behind the development of this technological was to democratize deep-sea exploration by sharing a simple but versatile instrument that can be used aboard small local vessels to explore shelf and deep-sea habitats. For this reason, the design and operation of the Azor Drift Cam were shared in an open-access article in the journal *Methods in Ecology and Evolution*.

rendre l'exploration profonde accessible au plus grand nombre en partageant un instrument simple et polyvalent utilisable depuis de petits navires pour explorer les habitats du plateau continental et des grandes profondeurs. A cette fin, la présentation et le mode d'emploi de la Drift-Cam Azor ont récemment été mis en accès libre dans la revue *Methods in Ecology and Evolution* à l'attention d'autres équipes de recherche intéressées par l'exploration abyssale. L'Azor Drift-Cam peut jouer un rôle important dans la Stratégie de l'Union européenne en faveur de la biodiversité à l'horizon 2030 et pour la Décennie des Nations unies pour les sciences océaniques, mais aussi pour la mise en œuvre de la Stratégie d'observation des environnements profonds et pour la mesure de certaines variables océaniques essentielles à la surveillance et la conservation de ces environnements.



Un requin des profondeurs sur un jardin de corail.
A deep-sea shark on a coral garden.

PLUS DE 500 PLONGÉES EN QUATRE ANS

La zone économique exclusive (ZEE) portugaise autour des Açores abrite plus de 130 monts sous-marins dont les sommets culminent à moins de 1000 mètres de profondeur. Pendant des années, les scientifiques et les décideurs de l'archipel n'ont eu qu'un accès limité à l'imagerie sous-marine et son exploration profonde reposait principalement sur des navires de recherche internationaux équipés de ROV commerciaux. La plupart de nos connaissances sur la biodiversité des eaux profondes des Açores sont le fruit de nombreuses années de collaboration avec les pêcheurs locaux qui, au cours de leurs activités, ont remonté incidemment, par accident, de nombreux organismes marins. Grâce à la Drift-Cam d'Azor et à d'autres collaborations en cours, telles que le programme SEA OCEANS du projet Eurofleets+, nous avons considérablement accru nos connaissances et notre compréhension du capital naturel des eaux profondes des Açores. Au cours des quatre dernières années, nous avons effectué plus de 500 plongées sur plusieurs monts sous-marins et pentes des îles des Açores. Plus de 400 heures de nouvelles images en eaux profondes ont été collectées sur un total de plus de 570 kilomètres de fonds marins explorés. Certains de ces relevés ont été effectués depuis des navires de recherche de taille intermédiaire tels que le *N/Í Arquipélago* et à partir de petits bateaux de pêche. Cette polyvalence a accru notre capacité à étudier les grands fonds et permet de maintenir des coûts d'exploitation très bas, tout en bénéficiant de la connaissance des pêcheurs locaux acquises au fil d'années d'expérience.

ÉCOSYSTÈMES MARINS VULNÉRABLES

De récentes campagnes d'exploration ont permis de mieux appréhender l'importance des écosystèmes profonds des Açores. Nous avons constaté qu'ils abritaient une grande diversité de coraux d'eau froide dans l'Atlantique Nord-Est, avec plus de 180 espèces recensées à ce jour. Nous avons décou-

The system has the potential to play an important role in the EU Biodiversity Strategy 2030 and the UN Decade of Ocean Science, but also in the implementation of the Deep-Ocean Observing Strategy and the measurement of some of the essential ocean variables for deep-sea monitoring and conservation strategies.

MORE THAN 500 DIVES OVER THE PAST FOUR YEARS

The Portuguese Exclusive Economic Zone around the Azores Islands is home to more than 130 seamounts and ridges whose peaks are less than 1,000 meters deep. For years, local scientists and decision makers had limited access to underwater imagery, and deep-sea exploration depended mainly on international research vessels equipped with commercial ROVs visiting the archipelago. At that time, most of the knowledge of deep-sea biodiversity in the Azores resulted from years of collaboration with local fishers who brought ashore organisms they had collected incidentally during their fishing activities.

Thanks to the Azor Drift Cam and other ongoing collaborations, such as with the SEA OCEANS program of the Eurofleets+ project, we have now significantly increased our knowledge and understanding of the natural capital of the Azores deep sea. Over the past four years, more than 500 dives have been conducted at several seamounts and island slopes, resulting in 400 hours of new deep-sea imagery, totaling 570 kilometers of explored seafloor. Some of these surveys were conducted from medium-sized research vessels such as the *RV Arquipélago* and from small fishing boats. This versatility, increased our capacity to survey the deep sea and keeps operating costs very low, while benefiting from the knowledge of local fishermen acquired through years of experience.



Champs d'éponges.
Sponge fields.

vert la plus grande colonie de coraux noirs jamais observée dans l'Atlantique. Ces derniers ont une croissance très lente et peuvent vivre pendant plusieurs milliers d'années. Les jardins qu'ils forment peuvent être considérés comme l'équivalent européen des forêts de séquoias (les plus vieux arbres sur Terre) qui existent encore aux États-Unis d'Amérique, par exemple. Nous avons également découvert un nouveau jardin naturel d'octocorail d'une densité jamais observée auparavant, composé de grandes colonies rouges et blanches de corail bubble gum (*Paragorgia johnsoni*). Il se situe à 580 m de profondeur sur les pentes d'une petite crête à l'est du mont sous-marin Gigante dans la dorsale médio-atlantique de la région des Açores.

Sur les nombreux monts sous-marins que nous avons pu explorer, nous avons découvert plusieurs zones de fourrés coralliens dont le rôle dans le stockage du carbone et dans l'atténuation du changement climatique est particulièrement important. Certains de ces coraux, tout comme les éponges, sont des espèces structurantes en matière d'habitat et servent de refuge à de nombreuses autres espèces, notamment des poissons d'eau profonde à valeur commerciale, augmentant ainsi la biodiversité globale de ces habitats. Au cours de ces études, nous avons également découvert d'importantes concentrations d'hoplostètes orange et de poissons cardinaux, caractérisés par une grande longévité, ce qui tend à démontrer la pertinence de l'interdiction, en 2005, du chalutage dans la ZEE des Açores pour protéger ces espèces et leur habitat.

Plusieurs des zones explorées à ce jour répondent aux critères établis par l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) pour être reconnus comme des *Ecosystèmes marins vulnérables* (EMV) en raison de la complexité structurelle et de l'importance fonctionnelle de leurs habitats benthiques, de leur grande vulnérabilité aux activités humaines et d'une récupération potentiellement lente après une perturbation. L'amélioration de nos connaissances sur l'emplacement de ces *Ecosystèmes marins vulnérables*, inconnus jusqu'alors pour la plupart, a renforcé notre capacité à élaborer des plans de gestion par zone, qui devraient conduire à une utilisation plus durable des ressources naturelles des fonds marins et à une meilleure conservation, à long terme, du capital naturel des Açores. ■

« Grâce à l'Azor drift-cam, nous avons considérablement accru nos connaissances et notre compréhension des eaux profondes des Açores. »

"Thanks to the Azor drift cam, we have significantly increased our knowledge and understanding of the Azores deep sea."

Telmo Morato, Carlos Dominguez-Carrió,
Marina Carreiro-Silva

VULNERABLE MARINE ECOSYSTEMS

Recent explorations in the Azores have led to a better understanding of the ecological importance of deep-sea ecosystems. We have found that the Azores is a hotspot of cold-water coral diversity in the NE Atlantic, with more than 180 species identified to date. We have discovered the largest assemblage of black corals ever observed in the Atlantic. These corals grow very slowly and can live for thousand years, so the gardens they form can be considered the European equivalent of the redwood forests (oldest trees on Earth) that still exist in the USA, for example. We also discovered the densest, natural and novel octocoral garden, composed of large colonies of bubble gum coral (*Paragorgia johnsoni*), at 580 m depth on the slopes of a small ridge east of Gigante seamount. On many of the seamounts explored, we found several areas of coral thickets that play an important role in carbon storage and in climate change mitigation. Some of these corals, as well as sponges, are habitat structuring species that serve as refugia for several other species, including commercially important deep-sea fishes, thus increasing the overall biodiversity in these habitats. During these surveys, we also found aggregations of the long-lived orange roughy and cardinalfish, confirming to some degree that the 2005 trawl ban in the Azores EEZ was a positive management measure to protect these species and their habitats. Several of the areas explored to date meet the criteria established by FAO to be considered Vulnerable Marine Ecosystems (VMEs) due to the high structural complexity and functional importance of their benthic habitats, with high vulnerability to human activities and potentially slow recovery after disturbance. The improved knowledge of the location of these VMEs, most of which were previously unknown, has enhanced our ability to inform area-based management plans that should lead to more sustainable use of deep-sea natural resources and better long-term conservation of the Azores' natural capital. ■