

L'IMAGERIE MARINE

AIGUISE LE REGARD DE LA SCIENCE SUR L'OCEAN

Le 4^e rendez-vous mondial des spécialistes de l'imagerie marine "Marine Imaging Workshop" s'est tenu à Brest en octobre 2022, à l'invitation de l'Ifremer. Une centaine d'experts a fait le point sur ce secteur dont les avancées ne cessent d'éclairer les océans sous un jour nouveau. Les projets portés par l'Ifremer et ses partenaires dans ce domaine en apportent une belle illustration.

Par **CATHERINE BORREMANS**, ingénieure biologiste imagerie à l'Ifremer

Au-delà de sa simple vertu illustrative, l'image marine est devenue une donnée scientifique à part entière, grâce à l'invention de technologies toujours plus performantes depuis les années cinquante. Le microscope, ce vieux compagnon de la science, n'est plus le seul outil pour éclairer la lanterne des scientifiques. Photos et vidéos sous-marines, images satellites ou aériennes, images acoustiques, permettent d'explorer les angles encore méconnus d'un environnement marin, invisible à l'œil humain ou trop difficilement accessible.

100 SPÉCIALISTES POUR LES DÉFIS DE L'IMAGERIE MARINE

La communauté internationale de l'imagerie marine organise depuis 2014 le "Marine Imaging Workshop" qui accueille des experts de différentes disciplines dans ce domaine en constante évolution. Du 3 au 6 octobre 2022, le Laboratoire Environnement Profond de l'Ifremer a été l'hôte de la quatrième édition de ce rendez-vous mondial des spécialistes de l'imagerie marine, organisé à Océanopolis en mode hybride.

Plus d'une centaine de participants ont ainsi été accueillis à Brest et environ 80 personnes ont eu accès aux sessions en ligne. Il faut noter que l'atelier a reçu le soutien financier de plusieurs partenaires et sponsors qui ont permis d'offrir des bourses, favorisant ainsi la participation d'étudiants et de jeunes chercheurs.

L'atelier était organisé en une unique session plénière de présentations, suivie de larges séances de discussion autour de questions d'enjeux actuels ou de perspectives. Une journée entière a par ailleurs été consacrée à des sessions pratiques autour d'outils d'analyse d'images, de standardisation des données et de communication (réalité virtuelle).

Pour mutualiser leurs connaissances et poursuivre la dynamique d'innovations engagée, chercheurs, ingénieurs, entreprises et industriels ont discuté des défis et des orientations futures de l'imagerie marine. Tous les types d'imagerie marine étaient mis en avant : sous-marine (photos, vidéos), du côtier au profond, du fond à la colonne d'eau, télédétection (satellite, aérienne), laboratoire (imagerie en flux, microscopie...). Deux grands témoins ont été conviés : Edith Widder, docteur en océanographie et biologiste marine à l'Ocean Research & Conservation Association, et Chris Lintott, professeur d'astrophysique et spécialiste en sciences participatives au département de physique de l'université d'Oxford. Sept thématiques couvrant l'ensemble du workflow, de l'acquisition à la production de connaissances, ont été couvertes dans le programme du workshop.

L'IMAGERIE À IFREMER

Face à l'exploitation et à l'artificialisation croissante des océans, les acteurs politiques et la société reconnaissent le besoin urgent d'une évaluation globale de l'état des écosystèmes marins. Notre capacité à distinguer les variations naturelles des écosystèmes des changements

résultant des activités anthropiques passe par un suivi pluridisciplinaire de ces milieux.

Cette pensée a mené au développement de programmes de suivi sur des sites instrumentés en milieu côtier, et plus tard au développement des observatoires qui offrent un accès continu aux écosystèmes à la fois côtiers et profonds. Ces avancées ont été possibles grâce aux développements technologiques de ces dernières décennies. Notamment, l'utilisation de l'imagerie sous-marine est rapidement apparue comme une méthode non destructive, et permettant d'examiner la biodiversité sur des échelles de temps et d'espace sans précédent.

D'autre part, l'augmentation de la résolution et de la qualité des capteurs optiques permettent une identification de plus en plus précise des espèces, et la diminution de leur coût facilite leur acquisition. Ce constat suffit à mettre en avant le potentiel de cet outil pour le suivi écologique des écosystèmes marins. De plus, les progrès continus en processeurs et en capacité de stockage ont permis son utilisation en science de manière généralisée, et la production de données audiovisuelles à but scientifique a augmenté de façon exponentielle. ▶▶



CATHERINE BORREMANS

●
BIO

Ingénieure biologiste imagerie au sein du laboratoire Environnement profond (LEP) de l'Ifremer, Catherine Borremans est spécialisée dans la gestion et l'analyse des images (optiques) marines. Elle contribue à ce titre à différents projets de l'Ifremer utilisant l'imagerie, dont Blue Revolution et Ocean Spy qu'elle coordonne.

Exemples d'organismes benthiques (c'est-à-dire vivant sur les fonds marins), de petite taille (de 20 microns à 1 millimètre). Peu connus à présent, ils font l'objet d'études approfondies avec des technologies et méthodes modernes d'imagerie et d'analyse d'images au sein du projet BLUEREVOLUTION.



Clilles Martin/Ifremer

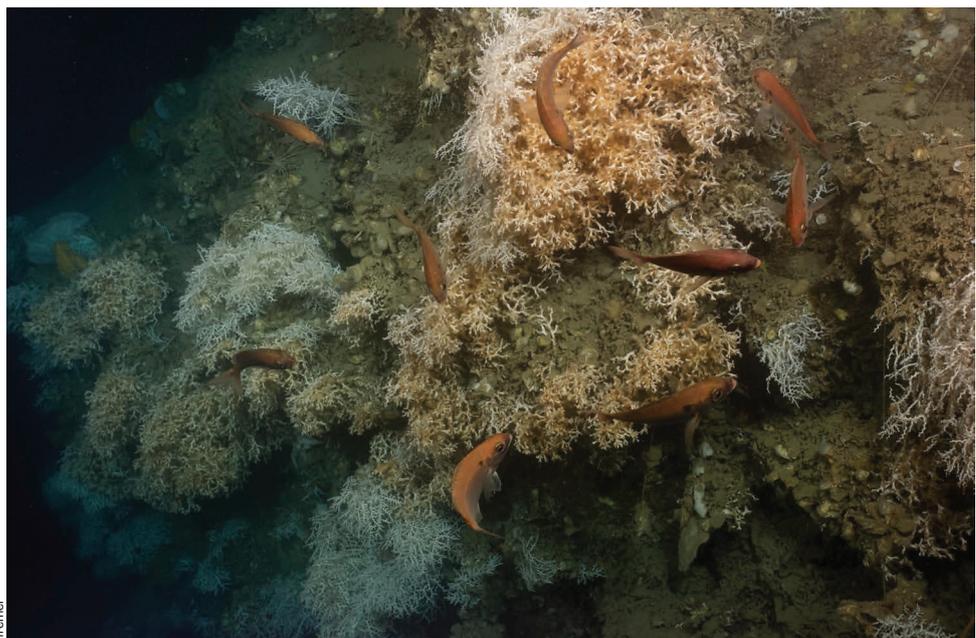
►► L'imagerie est ainsi utilisée de longue date à l'Ifremer : dès les années 1950, l'utilisation de caméras sous-marines a permis l'observation des écosystèmes abyssaux grâce aux sous-marins. Désormais, elle l'est aussi dans nombre de différents domaines : biologie, microbiologie, géologie, écologie (du côtier au profond), halieutique, océanographie physique et ingénierie, et ce au moyen de divers systèmes de capture d'image (sous-marins, aériens, microscopie...). La vidéo montée sur des vecteurs tels que des sous-marins (par exemple : le Nautille, le ROV Victor), ou remorquée (par exemple : le traîneau Pagure) est particulièrement appropriée pour observer les communautés benthiques (c'est-à-dire vivant sur les fonds marins) et leurs habitats, sans les impacter et avec une couverture et une résolution spatiale importantes. Les appareils mobiles nécessitent cependant des capteurs spécifiques et polyvalents pour assurer la qualité des images dans des contextes variés. La vidéo sous-marine à distance appâtée et les transects vidéo opérés par des plongeurs sont également utilisés pour observer les poissons. De plus, le Staviro/Micado développé par l'Ifremer a été largement utilisé pour les poissons et les habitats depuis 2007. Il s'agit d'un atterrisseur vidéo sous-marin panoramique non appâté déployé à des profondeurs allant de 1 à 80 mètres. Il est à la fois non intrusif, léger et facilement largué et récupéré depuis un petit bateau.

Plusieurs instruments qui utilisent l'imagerie en flux ont été développés pour caractériser et dénombrer les particules océaniques dans la colonne d'eau. Par exemple, l'UVP (Underwater Vision Profiler) est une caméra sous-marine résistante à la pression qui peut prendre des images de plancton et des particules jusqu'à 6 000 mètres de profondeur. Le ZooCAM est un système en flux conçu pour numériser et analyser les œufs de poisson et le zooplancton à bord des navires et sur terre, à haute fréquence. Il permet l'analyse quasiment en temps réel d'échantillons d'eau de grand volume collectés au filet ou pompés et concentrés à un débit allant jusqu'à 1 L/min. Le système capture des images de l'eau et de son contenu en particules (plancton, œufs de poisson, déchets marins) dans une cellule d'écoulement calibrée en utilisant une caméra et une source de lumière.

De nombreux autres systèmes existent et peuvent être déclinés pour des usages spécifiques, comme l'équipement d'engins de pêche avec des caméras pour la caractérisation des captures ou le montage de capteurs optiques sur des vecteurs aériens (drones, avions) en écologie benthique côtière, qui n'en sont que quelques exemples.

L'essor de l'imagerie entraîne cependant de nouvelles problématiques, en particulier celles liées à l'ère du Big Data : la capacité des acteurs de la recherche à traiter le volume colossal d'images acquises. Les différents domaines de la physique sont confrontés depuis des

Paysage du canyon de Lacaze-Duthiers : cette image a été capturée par le HROV Ariane, un véhicule télécommandé, lors de la campagne CALADU 2019. On observe sur ce paysage des buissons de coraux d'eaux froides visités par des daurades roses. La profondeur est ici de 272 mètres.



l'Ifremer

DR

années à cet enjeu, par exemple pour le traitement des images satellites. L'avènement de l'intelligence artificielle (IA) et l'accès à des machines de calcul de plus en plus puissantes ont permis le développement d'algorithmes facilitant le traitement de ces grands jeux de données. Cependant, la capacité des machines à transformer ces volumes de signaux bruts (optiques, acoustiques ou électro-magnétiques) en données utilisables à des fins scientifiques est conditionnée par l'utilisation de bases de données de référence, c'est-à-dire issues du traitement "manuel" par des cerveaux humains, dont l'élaboration est un vrai défi.

DES PROJETS POUR RÉVOLUTIONNER L'ANALYSE D'IMAGES

Ocean Spy est un portail à destination du grand public. Au printemps 2023, il permettra d'accéder à des plateformes proposant l'annotation d'images de divers écosystèmes marins, côtiers et profonds: coraux d'eau froide, aménagements humains en mer (fondations d'éoliennes; câbles sous-marins), colonne d'eau... en plus de l'application d'annotation actuelle pour les sources hydrothermales. L'objectif est de constituer une base de données de référence d'annotations des images marines.

Le recours à la science citoyenne, où tout citoyen peut contribuer à l'annotation d'images en ligne sur la plateforme, présente en effet un fort potentiel. L'approche, basée sur un partenariat entre le citoyen et le chercheur, crée de la connaissance, contribue au développement technologique en facilitant la construction de méthodes d'IA, et accroît la sensibilisation du public aux changements des écosystèmes marins.

Par ailleurs, le concept du projet BLUEREVOLUTION a été imaginé par 5 équipes de recherche (Ifremer, Senckenberg Institute, ENIB, Station Biologique de Roscoff et Florida State University).

Daniela Zeppilli, responsable du laboratoire Environnement Profond (LEP) à l'Ifremer explique: *"Dans ce projet nous nous intéressons aux organismes présents dans les sédiments marins comme les copépodes ou les nématodes. Leur petite taille (de 20 microns à 1 millimètre) les contraint à vivre dans l'anonymat, car ils sont invisibles à l'œil nu et encore peu décrits dans la littérature scientifique"*.

Cette petite taille est pourtant inversement proportionnelle à l'importance de ces animaux, qui figurent parmi les groupes les plus diversifiés sur terre. Ils sont aussi des indicateurs écologiques idéaux et des sentinelles pour la santé des écosystèmes. Vu l'augmentation rapide des pressions anthropiques sur les écosystèmes marins, il est urgent pour la communauté scientifique de disposer d'un ensemble de bases de données solides et de catalogues de la vie marine pour pouvoir mesurer les changements du milieu et les pertes éventuelles de biodiversité.

Grâce aux nouvelles méthodes d'imagerie, héritées pour la plupart de l'univers médical, le métier de taxonomiste — qui consiste à décrire les différentes espèces du monde vivant — va rentrer dans une nouvelle ère. Les technologies et méthodes testées dans BLUEREVOLUTION utilisent aussi bien la microscopie holographique (permettant de restituer le relief des objets) que l'imagerie par fluorescence 2D/3D, combinées à des outils de classification basés sur l'IA. Il est ainsi possible de générer des données quantitatives et fonctionnelles sur les communautés d'organismes vivants sur les fonds marins (organismes benthiques) à des vitesses jamais vues auparavant.

"Avant, il fallait 3 jours de manipulation pour isoler les individus en passant les sédiments à la centrifugeuse puis engager l'étape de description au microscope. Grâce au progrès de l'imagerie, on aboutit au même résultat aujourd'hui en 15 minutes! Cela va permettre de donner un coup d'accélérateur au recensement de cette biodiversité méconnue qui pourra être répertoriée dans des bibliothèques de référence mises à la disposition du monde scientifique" se réjouit Daniela Zeppilli.

Ces nouvelles méthodes viennent compléter les avancées réalisées en taxonomie par les techniques de l'ADN environnemental qui visent à identifier les organismes grâce aux traces génétiques qu'ils laissent dans le milieu marin. "Le problème majeur pour appliquer les techniques d'empreintes génétiques à l'écologie des fonds marins est le manque de référence provenant des taxons de la faune sédimentaire, ce qui rend impossible l'association de séquences aux espèces et à leurs rôles fonctionnels dans l'écosystème". BLUEREVOLUTION contribuera justement à venir pallier ce manque.

UN JUMEAU NUMÉRIQUE DES OCÉANS

Les données récoltées alimenteront le projet de jumeau numérique de l'océan, pour pouvoir simuler dans des modèles les réactions d'un environnement marin sous pression climatique et humaine.

L'imagerie marine fait faire un pas de géant à la connaissance de la biodiversité et permet une prise de conscience plus rapide des menaces qui l'affectent. Plus la communauté scientifique échange sur ces innovations comme à l'occasion du "Marine Imaging Workshop", plus les jeunes générations de chercheurs seront formées à ces nouvelles méthodes et plus la science sera en capacité d'assurer la protection d'un environnement qu'elle connaît chaque jour un peu mieux. ▲

Références de cet article:

- www.ifremer.fr
- Cochonot, P., Enjeux des grands fonds océaniques, Mines Revue des Ingénieurs #472 Mars/Avril 2014
- Blue revolution project : <https://bluerevolution.ifremer.fr>
- Deep Sea Spy project : www.deepseaspy.com
- HROV Ariane sur www.flotteoceanographique.fr