



HAL
open science

Des robots légers pour prélever la faune sous-marine inexplorée

Sébastien Dutertre, Vincent Creuze

► **To cite this version:**

Sébastien Dutertre, Vincent Creuze. Des robots légers pour prélever la faune sous-marine inexplorée. Sous la direction de Martina Knoop, Stéphane Blanc, Mokrane Bouzeghoub. L'Interdisciplinarité. Voyages au delà des disciplines., CNRS Editions, pp.98-102, 2023, 978-2-271-13983-2. hal-04177925

HAL Id: hal-04177925

<https://hal.science/hal-04177925>

Submitted on 23 Oct 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Des robots légers pour prélever la faune sous-marine inexplorée

Sébastien Dutertre et Vincent Creuze

Version Auteur extraite du livre *L'Interdisciplinarité - Voyages au-delà des disciplines*, CNRS Editions, sous la direction de Martina Knoop, Stéphane Blanc, Mokrane Bouzeghoub, ISBN : 978-2-271-13983-2, pp. 98-102, janvier 2023.

<https://www.cnrseditions.fr/catalogue/physique-et-astrophysique/l-interdisciplinarite/>

Affiliations

Sébastien Dutertre. Spécialiste des venins et toxines animales, Chargé de Recherches CNRS à l'Institut des Biomolécules Max Mousseron (IBMM, CNRS/Université de Montpellier/Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Montpellier), Montpellier. sebastien.dutertre@umontpellier.fr

Vincent Creuze. Spécialiste en robotique sous-marine, Professeur au Laboratoire d'Informatique de Robotique et de Microélectronique de Montpellier (LIRMM, CNRS/Université de Montpellier), Montpellier. vincent.creuze@lirmm.fr

L'environnement marin représente plus de 70 % de la surface de notre planète, et la biodiversité des fonds marins est considérée comme la dernière frontière à explorer. La riche zone benthique* (au fond des océans) des pentes externes des récifs coralliens recèle de nombreuses espèces non répertoriées qui constituent un réservoir potentiel de molécules biologiques à découvrir. Cependant, l'échantillonnage dans ces zones profondes et accidentées demeure complexe. La communauté scientifique et les autorités locales manifestent un fort besoin de connaissances à propos de ces espèces et de ces habitats méconnus, afin d'assurer leur conservation ou leur valorisation. À ce titre, le développement de la coopération entre les scientifiques et les gestionnaires est indispensable. En effet, la connaissance des espèces et des habitats ne sert pas uniquement à leur conservation directe, elle peut également permettre de leur attribuer une valeur socio-économique. Cet aspect est d'une importance particulière dans les départements et collectivités d'outre-mer, tels que Mayotte et la Nouvelle-Calédonie, dont le patrimoine naturel constitue l'une des richesses les plus précieuses et où une partie de la population et de l'économie locale dépend de la valorisation directe (pêche) ou indirecte (écotourisme) des ressources naturelles du lagon.

Les ressources inexploitées de la *terra incognita*

Parmi les nombreux taxons* et habitats qui n'ont fait l'objet que de très peu d'études, citons les habitats profonds incluant les pentes externes récifales, qui contrairement au lagon, sont souvent difficiles d'accès. L'inventaire de cette biodiversité représente une tâche difficile mais essentielle, et les scientifiques estiment que le nombre d'organismes non répertoriés pourrait s'élever à plusieurs millions. En particulier, les invertébrés tels que les crustacés, vers et mollusques apparaissent très diversifiés dans ces biotopes coralliens et produisent des molécules d'intérêt pharmacologique. Toutefois, ce potentiel demeure encore peu exploré, principalement à cause des difficultés d'échantillonnage, puisque les dragues, couramment employées pour les prélèvements biologiques et géologiques, ne peuvent être utilisées sur la pente accidentée de la partie externe des récifs. Les plongées en scaphandre autonome au-delà de 60 mètres, quant à elles, relèvent de la technologie complexe et parfois risquée du recycleur, avec des durées de prélèvement sur site très limitées. Ainsi, la zone entre 60 et 120 mètres de profondeur, qui porte le nom de « zone mésophotique » en raison de la faible luminosité qui y règne, est largement sous-étudiée et considérée comme « *terra incognita* » pour les scientifiques.

Parmi les animaux vivants dans cet environnement, les invertébrés (vers, mollusques) occupent une place importante dans les chaînes alimentaires en tant que proies potentielles, mais aussi comme prédateurs. La famille des *Conoidea* regroupe des milliers d'espèces d'escargots venimeux, dont les plus dangereux appartiennent aux Conidés, communément appelés « cônes » (figure 1). Le venin de ces animaux a déjà montré un fort potentiel thérapeutique, avec un médicament mis sur le marché depuis 2004, l'analgésique Ziconotide (anti-douleur). Les espèces de la pente extérieure des récifs n'ont pas ou très peu été étudiées. Il est donc essentiel d'évaluer la diversité moléculaire au sein d'échantillons prélevés et de caractériser la nature des molécules produites par ces invertébrés. Dans le projet *Reef Explorer*, mené en 2017 et 2018, nous souhaitons donc prélever des spécimens de cônes, puis les étudier par transcriptomique* (séquençage d'organes particuliers, tels que les glandes à venins) et par protéomique* (en combinant la chromatographie en phase liquide*, qui permet de séparer les molécules, à la spectrométrie de masse*, qui permet de les analyser). Les nouvelles molécules ainsi identifiées ont également une grande valeur écosystémique, permettant de démontrer la richesse et de promouvoir la conservation de cette biodiversité.

La robotique à la rescousse

Pour le prélèvement d'échantillons biologiques dans la zone mésophotique, l'alternative à la plongée sous-marine est l'utilisation de robots sous-marins de type *Light Workclass Remotely Operated Vehicle* (ROV manipulateur léger). Malgré leur appellation, ces robots pèsent entre 200 et 400 kg. Ils prélèvent

les échantillons soit par pinces hydrauliques, parfois destructrices, soit par aspiration ou carottage. Les outils de prélèvement sont placés au bout de bras manipulateurs hydrauliques ou électriques, assez lents. Par conséquent, pour disposer d'une base fixe permettant de positionner les bras avec précision, le robot est contraint de se poser sur le fond ou de prendre appui sur une paroi, ce qui peut endommager l'environnement. De plus, les Light Workclass ROVs ne peuvent être déployés que depuis des navires d'au moins une vingtaine de mètres, équipés le plus souvent d'un système de positionnement dynamique permettant de tenir le point fixe, même lorsque la profondeur est trop importante pour s'ancrer. Ces opérations de prélèvement robotisé sont donc complexes et coûteuses, ce qui en limite considérablement l'utilisation pour les études biologiques.

Dans le projet *Reef Explorer*, nous avons proposé une alternative robotique originale. Le Laboratoire d'Informatique et de Robotique et de Microélectronique de Montpellier (LIRMM) a conçu un robot sous-marin de type ROV, très léger (20 kg), équipé de 8 hélices et d'un système d'aspiration. Ce robot peut facilement être mis à l'eau à la main depuis une embarcation modeste, ce qui diminue considérablement les coûts opérationnels. En outre, plutôt que de s'appuyer sur le fond ou sur un tombant, ce ROV, nommé *Flipper*, se stabilise automatiquement entre deux eaux pour positionner son aspirateur face aux échantillons à prélever, minimisant ainsi les contacts et les risques d'endommager l'environnement (figure 2). Quelques instants plus tard, l'échantillon est stocké dans un filtre-réservoir fixé sous le robot et dont le contenu est récupéré à l'issue de chaque plongée.

La complexité de ce développement robotique a résidé dans l'obtention d'une navigation très précise du robot. Le LIRMM maîtrise depuis plusieurs années la commande des robots sous-marins (pilotage automatique ou assisté par ordinateur) et l'applique à des disciplines telles que la biologie ou l'archéologie, pour lesquelles des précisions centimétriques sont requises. La stabilisation des très petits robots dans le plan horizontal demeurait néanmoins un problème mal résolu au début du projet. Ceci avait pour cause la difficulté à disposer d'une mesure précise et quasi instantanée de la position du robot dans le plan horizontal (le système GPS ne fonctionne pas sous la mer). Sur la plupart des sous-marins, la mesure des déplacements horizontaux repose sur des systèmes acoustiques parfois couplés à une encombrante et coûteuse centrale inertielle* à gyroscopes à fibre optique. Ces systèmes ne peuvent cependant pas fonctionner très près du fond et sont trop encombrants pour un robot aussi petit que le nôtre. Il a donc été nécessaire de développer une approche plus compacte, économique et rapide, qui permette de mesurer les déplacements horizontaux avec une précision centimétrique. Cette approche utilise une caméra, couplée à un capteur de pression et à une mini centrale inertielle de type MEMS (Micro ElectroMechanical Systems), semblable à celle embarquée dans tous les smartphones. Les données des trois capteurs sont fusionnées par un ordinateur qui calcule la position du robot 25 fois par seconde et qui utilise ces informations pour assurer l'assistance au pilotage.

L'ensemble de ces capteurs est dix fois plus compact et trente fois moins coûteux que les systèmes utilisés sur les gros robots.

Expérimentations sur le terrain

En 2017, une première campagne a été organisée à Mayotte, avec le concours du Parc naturel marin de Mayotte (Office français de la biodiversité). Plusieurs plongées du robot *Flipper* ont eu lieu dans le lagon et sur sa pente externe. Les cônes étant des animaux nocturnes, les plongées se déroulaient de la tombée du jour jusqu'au milieu de la nuit. Relié à la surface par un cordon ombilical, le robot disposait d'une alimentation électrique permanente et les plongées n'avaient donc pas de limite de durée. L'ombilical transportait également en direct les images vidéo filmées par le ROV et les valeurs des capteurs (profondeur, cap, assiette). Le pilotage assisté par ordinateur était assuré depuis le navire, sous l'œil vigilant des biologistes pour le repérage et la sélection des coquillages à prélever. Cette campagne robotique, complétée par une campagne de pêche à pied sur le rivage a permis de prélever de façon sélective et respectueuse de l'environnement une soixantaine de cônes, qui ont ensuite fait l'objet d'études par transcriptomique (pour séquencer les gènes d'intérêt) et protéomique (pour identifier et caractériser les protéines) .

À la fin de l'été 2018, pendant l'hiver austral, nous avons pris part à l'expédition *La Planète Revisitée*, organisée à Koumac (Nord-Est de la Nouvelle-Calédonie) par le Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN). Cette expédition, mobilisant une quarantaine de personnes, était consacrée au renouvellement de l'inventaire des crustacés et mollusques, précédemment effectué en 1993 dans cette zone. Durant notre présence, le robot *Flipper* a été utilisé quotidiennement (matin et nuit), sauf en cas de mauvaises conditions météorologiques, en vue de la collecte de cônes et d'autres coquillages, mais aussi pour de l'acquisition de vidéos (figure 3). Le déploiement s'est d'abord fait à partir de petites embarcations (vedettes de 6 mètres), puis à partir de l'*Amborella*, le navire de recherche de 26 mètres du gouvernement de Nouvelle-Calédonie (figure 4). Les plongées se sont déroulées, selon les conditions météorologiques, à l'intérieur du lagon (frange du récif Kerembay), dans la passe de Koumac, près de l'îlot Kendec, et à l'extérieur de la barrière récifale de Koumac. Les profondeurs d'opération étaient comprises entre une dizaine de mètres (plongées tests) et 90 mètres. La campagne 2018 a permis le prélèvement de 32 espèces de cônes, pour un total de plus de 200 spécimens. Tous n'ont pas été conservés pour notre étude. Selon leur intérêt scientifique, certains ont rejoint les collections du Muséum et d'autres ont été relâchés. Ces spécimens sont en cours d'étude, et grâce, notamment, aux technologies transcriptomiques, 8 espèces ont été séquencées en 2018 et ont déjà fourni un grand nombre de molécules (une centaine en moyenne par espèce). L'analyse et la classification des familles de toxines se poursuivent avec l'aide d'outils bioinformatiques. L'analyse

protéomique a également été effectuée pour 6 des 8 espèces et l'ensemble de ces données devraient fournir une ressource précieuse pour les futures recherches pharmacologiques.

Ce projet interdisciplinaire a permis le développement de nouvelles méthodes de prélèvement biologique. Pour les biologistes, cet outil peu invasif et peu coûteux permet d'étendre les zones étudiées et d'accéder à de nouvelles molécules. Pour les roboticiens, la nécessité de répondre à un besoin nouveau suscite l'émergence de méthodes originales, construites au cours d'un fructueux dialogue avec les biologistes, pour atteindre le résultat recherché, tout en conciliant les contraintes techniques et scientifiques des deux domaines. Ce travail se poursuit et a d'ailleurs été adapté et étendu les années suivantes au prélèvement corallien, en partenariat avec le CRIOBE (Centre de Recherches Insulaires et Observatoire de l'Environnement) de Moorea (Polynésie Française), ainsi qu'au prélèvement de petits objets archéologiques en collaboration avec les archéologues sous-marins du DRASSM (Département des Recherches Archéologiques Subaquatiques et Sous-Marine), élargissant encore un peu plus les frontières de l'interdisciplinarité.

Figures

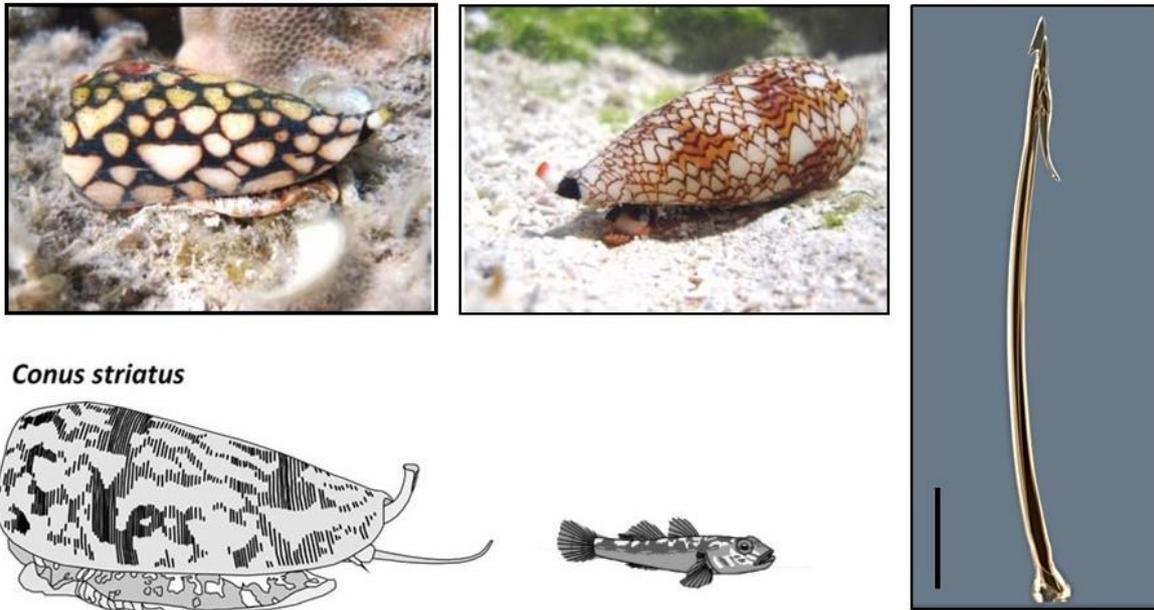


Figure 1. Les cônes (au-dessus, photos *in situ*) sont des animaux marins venimeux qui utilisent une radula (sorte de dent chitineuse) modifiée en forme de harpon creux (panel de droite, la barre verticale représente 1 mm) pour injecter leur venin neurotoxique et immobiliser leur proie (vers, mollusques ou poissons). Crédits : Thierry Vulliet (photos), Valentin Dutertre (graphiques et modélisation radula).

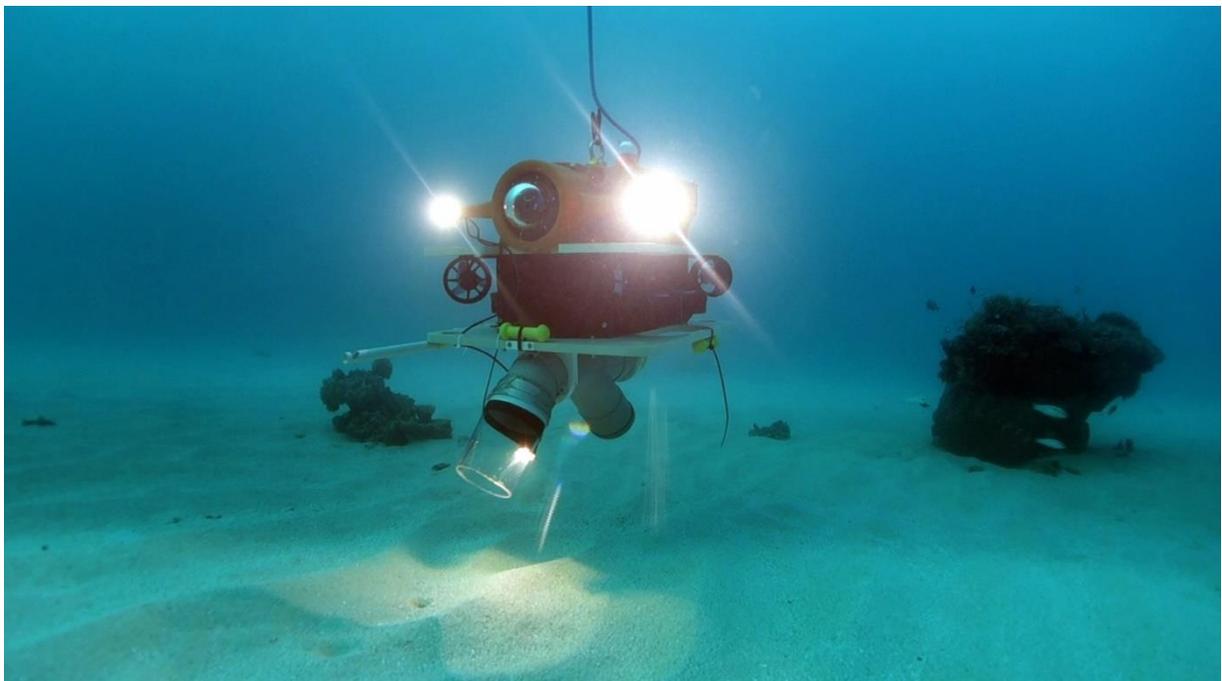


Figure 2. Le ROV *Flipper* accomplissant sa première plongée de test, en petits fonds, dans le lagon de Mayotte. Crédit : Bruno Garel / Office français de la biodiversité, CNRS, Université de Montpellier, 2017.



Figure 3. C'est la nuit que les cônes sortent du sable du lagon de Koumac pour chasser leurs proies (vers, mollusques ou poissons, selon les espèces de cônes). Pour les aspirer, le ROV *Flipper* survole le fond sans le toucher. Crédit : Laurent Charles, MNHN/CNRS/ Univ. Montpellier, 2018.

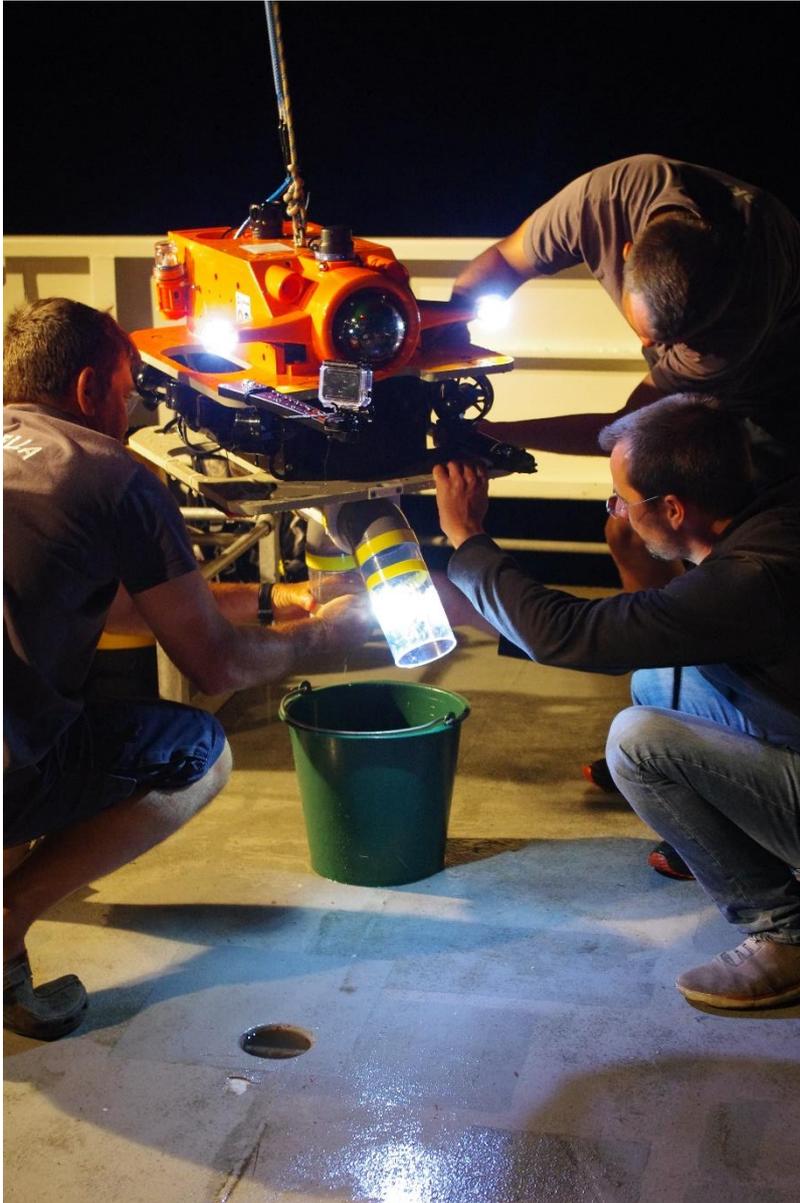


Figure 4. Minuit, sur le pont de l'*Amborella*, le réservoir du ROV *Flipper* est ouvert pour y récupérer les coquillages prélevés. Crédit : Laurent Charles, MNHN/CNRS/ Univ. Montpellier.

Glossaire

Transcriptomique. Cette technique repose sur le séquençage et la quantification de l'ensemble des ARN messagers produits lors du processus de transcription d'un génome.

Protéomique. Méthodologie qui repose sur l'identification des protéines d'une cellule, d'un organe, d'un tissu, d'un organe ou d'un organisme à un moment donné et sous des conditions données.

Chromatographie en phase liquide. Technique d'analyse quantitative, qualitative et séparative principalement utilisée comme outil scientifique majeur pour déconvoluer des mélanges complexes.

Spectrométrie de masse. Technique physique d'analyse permettant de détecter et d'identifier des molécules d'intérêt par mesure de leur masse, et de caractériser leur structure chimique.

Zone benthique. Région écologique regroupant l'ensemble des organismes vivants à proximité du fond de l'océan.

Taxon. Désigne des organismes regroupés selon leurs caractéristiques communes et leur parenté.

Centrale inertielle ou *Inertial Measurement Unit (IMU)*. Capteur capable de mesurer des accélérations, des vitesses de rotation et, pour certaines technologies, le champ magnétique terrestre. Ces mesures sont combinées pour déterminer l'orientation du capteur par rapport à la Terre.

Références

[1] Sébastien DUTERTRE · Evelyne BENOIT · Jordi MOLGÓ. Du venin de cônes au médicament. **Biofutur**, Article pp.35-40 du Vol.33 n°355 (2014).

[ROVArcheo] <https://lejournal.cnrs.fr/articles/un-robot-sous-marin-pour-larcheologie-preventive>

[FlipperMayotte] <https://lejournal.cnrs.fr/diaporamas/flipper-laspirateur-a-coquillages>

[PlaneteKoumac 2018] <http://www.nouvellecaledonie.laplaneterevisitee.org/fr/carnet-bord/carnet-bord-koumac-2018/exploration-robotisee-fonds-marins>